

Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Secretaría de Investigación y Postgrado. Maestrías en Madera, Celulosa y Papel

Maestrando
Ana Laura Pino

Evaluación preliminar de la aptitud papelera del ciprés calvo (*taxodium distichum*)

**Tesis de Maestría presentada para obtener el título de “Magíster en Ciencias de la Madera, Celulosa y Papel”
OCyP**

Directora
Dra. Mirtha Maximino

Co-Directora
Dra. María Cristina Area

Posadas, 2000



Esta obra está licenciada bajo Licencia Creative Commons (CC) Atribución-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES
Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales

**EVALUACION PRELIMINAR DE LA APTITUD PAPELÉRA
DEL CIPRES CALVO (*TAXODIUM DISTICHUM*)**

ANA LAURA PINO

**Tesis presentada a la Universidad
Nacional de Misiones como exigencia
parcial de la Maestría en Ciencias de
la Madera, Celulosa y Papel.**

Directora: Dra. Mirtha Maximino
Codirectora: Ph D Ma. Cristina Area

2000

*A mis hijos Carolina y Facundo, que me dieron la fuerza
y el valor para completar mis estudios,
donando desinteresadamente todo el tiempo
que como hijos pequeños les correspondía, gracias.*

AGRADECIMIENTOS

A mi Directora de tesis, Dra. Mirtha Maximino, por guiarme y orientarme en todos los aspectos del desarrollo de este trabajo, pero sobre todo por haber confiado en mí.

Al Ing. Luis Mina, por su constante aliento y apoyo, y por su valiosa colaboración en el trabajo experimental.

Al Ing. Aldo A. Lossada, por el aporte de su valiosa experiencia fundamental en el análisis de los resultados obtenidos.

A mi codirectora de tesis, Ph. D. Ma. Cristina Area, por su apoyo en todo momento, a pesar de la distancia.

A todo el PROCYP en general, y a Carlos Núñez y Carlos Crusolet en particular, por su colaboración en algunos temas de este trabajo.

A Federico Yabale y Gonzalo Puig, gracias por su cooperación.

RESUMEN

A través de este trabajo se propuso realizar la evaluación preliminar de la aptitud celulósico-papelera del ciprés calvo (*Taxodium distichum* L. Rich.). Este objetivo se fundamentó no solo en el desconocimiento de su potencial técnico, sino también en datos alentadores encontrados en la bibliografía, con referencia de una especie de rápido crecimiento y de particular adaptación a suelos inundables, no productivos, donde no crecen otras especies comerciales como pinos y sauces.

A partir de un ejemplar de la zona costera de la provincia de Santa Fe, se fijan tres grandes líneas de trabajo a desarrollar: caracterización química, a través de un análisis químico completo; identificación macro y microscópica de caracteres morfológicos y estructurales de las fibras; y las respuestas al pulpado químico Kraft y pulpado mecánico de refinador en molino de discos a nivel piloto Sprout Waldron.

La composición química determinada reveló a grandes rasgos composición típica general de las coníferas, pero con un contenido mayor de lignina, respecto al promedio de aquellas (32%). Las características morfológicas de las fibras, enfocadas principalmente a la determinación de sus dimensiones más importantes: longitud de fibra, diámetro y espesor de pared, así como la evaluación de parámetro como coeficientes de flexibilidad y Runkel, muestran a esta madera como apropiada desde el punto de vista morfológico y comparable con materias primas fibrosas comerciales.

Las experiencias de pulpado Kraft, realizadas a dos niveles de N° Kappa (98 y 66) alcanzados con ciclos en condiciones usuales pero con tiempos prolongados (factor H= 2000 y 3000 respectivamente), resultaron en pulpas cuyas propiedades mecánicas no son destacables, pero quizás adecuada en empastes para papeles onda y liner.

Los tanteos en el rango mecánico, mostraron consumos de Energía mecánica específica comparables con pulpas similares (siempre a nivel piloto), lo mismo que los valores de drenabilidad y aún las fracciones de Bauer McNett. Asimismo, las propiedades ópticas no están tan alejadas de las de las pulpas utilizadas en la comparación, pero no se evidencia la misma correspondencia cuando se refiere a las

propiedades mecánicas ensayadas, que resultan muy inferiores a las de coníferas de clima frío y templado.

CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	iii
CONTENIDO	iv
LISTA DE TABLAS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE ABREVIATURAS	vii
LISTA DE FOTOS	viii
CAPITULO 1: INTRODUCCION GENERAL	1
1.1 Objetivo general de la tesis	1
1.2 Objetivos particulares	1
1.3 Fundamentación del Tema de tesis	2
1.4 Limitaciones del trabajo	3
CAPITULO 2: INFORMACIÓN SILVICULTURAL Y DASOMÉTRICA DE <i>Taxodium distichum</i>	5
2.1 Introducción	5
2.2 Nombres comunes del <i>Taxodium distichum</i>	5
2.3 Clima y Suelos	5
2.4 Descripción del árbol	7
2.5 Datos de crecimiento	7
2.6 Prácticas silvícolas	9
2.7 Utilidad como madera y en la fabricación de pasta	9
CAPITULO 3: CARACTERIZACION DE MATERIAS	

PRIMAS FIBROSAS	11
3.1 Análisis químico. Análisis sumativo	11
3.2 Aspectos morfológicos	15
3.2.1 Identificación de género y especie: como árbol y como pulpa	15
3.2.2 Caracteres estéticos	16
3.2.3 Caracteres macroscópicos y microscópicos	16
CAPITULO 4: OBTENCION DE PULPA CELULOSICA	17
4.1 PULPADO KRAFT	17
4.1.1 Generalidades	17
4.1.2 Descripción breve del proceso	18
4.1.3 Variables de importancia	19
4.1.4 Nomenclatura utilizada	19
4.1.5 Acción del licor de cocción sobre los constituyentes de la madera	21
4.2 CLASIFICACION DE LAS PULPAS	21
4.3 REFINO	23
4.4 EVALUACION DE LA COCCION Y LAS PULPAS	25
4.4.1 Análisis de los licores de cocción	25
4.4.2 Determinación de Número Kappa en pulpa	25
4.4.3 Propiedades físicas	25
4.5 PULPADO MECANICO	26
4.5.1 Generalidades	26
4.5.2 RMP de ciprés calvo	28
CAPITULO 5: TRABAJO EXPERIMENTAL	29
5.1 ANALISIS SUMATIVO DEL CIPRES CALVO	29

5.2 ASPECTOS MORFOLOGICOS	32
5.2.1 Identificación de género y especie: como árbol y como pulpa	32
5.2.2 Caracteres estéticos	33
5.2.3 Observación de caracteres macroscópicos	33
5.2.4 Preparación de cubos de madera para obtención de cortes micrométricos	33
5.2.5 Observación de cortes	33
5.2.6 Medición de espesor y diámetro de pared fibrosa	34
5.2.7 Preparación de disociados	34
5.2.8 Determinación de longitud de fibra	34
5.2.9 Cálculo de coeficientes y comparación con otras especies papeleras	35
5.2.10 Determinación de densidad de madera	35
5.3 PULPADO KRAFT	35
5.3.1 Equipos utilizados	35
5.3.2 Metodología para la obtención de pulpa Kraft	37
5.3.3 Preparación del licor de cocción	38
5.3.4 Cálculos para las digestiones	38
5.4 CLASIFICACION DE LAS PULPAS OBTENIDAS	39
5.5 REFINO	39
5.5.1 Equipo utilizado para el refino: PFI	39
5.5.2 Metodología para el refino de pastas Kraft	40
5.6 EVALUACION DE LA COCCION Y PROPIEDADES DE LAS PULPAS	40
5.6.1 Análisis de los licores de cocción	40
5.6.2 Cálculo del consumo de reactivos	42

5.6.3 Determinación de Número Kappa en pulpa	42
5.6.4 Determinación de lignina Klason en pulpa	43
5.6.5 Determinación de la drenabilidad de pulpas	44
5.6.6 Evaluación de propiedades físicas	44
5.7 PULPADO MECANICO	47
5.7.1 Equipo: Refinador de discos S.W.	47
5.7.2 Metodología utilizada para la obtención de pasta mecánica	48
5.7.3 Clasificación de las pastas virgen y refinada	50
CAPITULO 6: RESULTADOS Y DISCUSION	51
6.1 ANÁLISIS QUÍMICOS DE <i>Taxodium distichum</i>	51
6.2 ASPECTOS MORFOLÓGICOS DEL CIPRÉS CALVO	54
6.2.1 Identificación de género y especie: como árbol y como pulpa	54
6.2.2 Caracteres estéticos	55
6.2.3 Observación de caracteres macroscópicos	56
6.2.4 Observación de cortes	56
6.2.5 Espesor y diámetro de pared fibrosa	57
6.2.6 Observación de disociados	58
6.2.7 Longitud de fibra	60
6.2.8 Cálculo de coeficientes y comparación con especies papeleras	62
6.2.9 Densidad de madera	65
6.3 PULPADO KRAFT	66
6.3.1 Digestión a Factor H = 2000	66
6.3.2 Digestión a Factor H = 3000	70
6.4 REFINO EN PFI	74

6.4.1 Resultados para K2000	74
6.4.2 Resultados para K3000	75
6.4.3 Observaciones microscópicas	77
6.5 EVOLUCION DE PROPIEDADES FISICAS.	
DISCUSION	80
6.6 PULPADO MECANICO	96
6.6.1 Energía mecánica consumida	96
6.6.2 Control de calidad de RMP de ciprés calvo	99
6.6.3 Observaciones microscópicas	101
6.6.4 Propiedades ópticas y físicas. Discusión	102
CAPITULO 7: CONCLUSIONES	104
BIBLIOGRAFIA	106
ANEXO I: Caracterización del ciprés calvo	110
A. Análisis químicos.	110
B. Mediciones morfológicas	112
ANEXO II: Pulpado Kraft	118
ANEXO III: Refino en PFI de pulpas Kraft	123
ANEXO IV: Ensayo de propiedades mecánicas	125
<hr/>	
ANEXO V: Pulpado mecánico	126

LISTA DE TABLAS

2.1: Datos dasométricos de plantaciones de ciprés calvo	8
2.2: Datos dasométricos de distintas materias primas fibrosas	8
3.1: Composición química típica de softwood y hardwood, en %	13
4.1: Producción mundial de pulpas químicas de madera y non-wood, en millones de toneladas métricas al 10 % de humedad, respecto de la producción total	18
5.1: Dimensiones de las barras de los discos del Sprout Waldron	48
6.1: Resultados de análisis químicos de <i>Taxodium distichum</i>	51
6.2: Resultados de análisis químicos de <i>Taxodium mucronatum</i>	52
6.3: Análisis químicos de Pinos en Misiones	53
6.4: Espesor de pared del ciprés calvo	58
6.5: Diámetro de fibra de <i>Taxodium distichum</i>	58
6.6: Parámetros estadísticos de medición de longitud de fibra de <i>Taxodium distichum</i>	63
6.7: Dimensiones morfológicas y coeficientes de distintas materias primas fibrosas	64
6.8: Densidad básica del ciprés calvo	65
6.9: Densidad básica de distintas especies papeleras	65
6.10: Concentración de licor y consumo de reactivos versus Tiempo de digestión. (K2000)	67
6.11: N° Kappa para K2000	69
6.12: Resultados de digestión Kraft. Pulpa K2000	69
6.13: Concentración de licor y consumo de reactivos versus tiempo de digestión. (K3000)	71
6.14: N° Kappa para digestión a f H = 3000	72
6.15: Resultados de digestión Kraft. Pulpa K3000	72
6.16: Porcentaje de Lignina ácido insoluble (Klason).	73
6.17: Energía de refino consumida por la pulpa K2000	74
6.18: Drenabilidad de la pulpa K2000	75
6.19: Energía de refino consumida por la pulpa K3000	75
6.20: Drenabilidad de la pulpa K3000 relacionado a la energía de refino	

consumida	77
6.21: Propiedades de pulpa K2000	81
6.22: Propiedades de pulpa K3000	81
6.23: Refino de pulpa Kraft comercial de pino sin blanquear. (Kraft com.) N° Kappa: 35.2	82
6.24: Comparación de consumos de energía para pulpas K2000 y K3000, y Kraft com.	90
6.25: Características técnicas de papeles liner	95
6.26: Características técnicas de papel onda	95
6.27: Resultados de los ensayos de CMT y RCT para las pulpas K2000 y K3000	96
6.28: Consumo de energía específica para pasta RMP de distintas MPF	99
6.29: Fracciones de Bauer McNett para pasta desfibrada y refinada de ciprés calvo, expresadas en %P.	100
6.30: Fracciones de Bauer McNett para distintas materias primas fibrosas	100
6.31: Propiedades de RMP de ciprés calvo.	102
6.32: Propiedades para RMP de distintas especies papeleras	103

LISTA DE FIGURAS

3.1: Componentes de una materia prima fibrosa	11
3.2: Esquema que ilustra la separación química de los componentes de la madera	14
3.3: Distintas alternativas de análisis sumativos	15
4.1: Esquema que representa las fracciones de una etapa de depuración	22
5.1: Análisis sumativo seleccionado para caracterización de <i>Taxodium distichum</i>	29
5.2: Metodología empleada para análisis químicos de <i>Taxodium distichum</i>	30
5.3: Secuencia de obtención de pasta RMP de ciprés calvo	49
6.1: Microfotografía óptica de corte transversal de <i>Taxodium distichum</i> . (35X)	57
6.2: Microfotografía óptica de disociado de <i>Taxodium distichum</i> (160X)	59
6.3: Polígono de Frecuencia para longitud de fibra del ciprés calvo	61
6.4: Histograma de Frecuencias acumuladas para longitud de fibra del ciprés calvo	62
6.5: Evolución de la Temperatura con el tiempo de digestión durante la digestión Kraft de ciprés calvo. (f H = 2000)	66
6.6: Concentración de licor y Consumo de reactivos versus tiempo de digestión. (K2000)	68
6.7: Concentración de licor y Consumo de reactivos versus tiempo de digestión. (K3000)	71
6.8: Microfotografía óptica de pulpa K2000 con 20000 rev. PFI (54X)	77
6.9: Microfotografía óptica de pulpa K2000 con 20000 rev. PFI (100X)	78
6.10: Microfotografía óptica de pulpa K2000 con 20000 rev. PFI (200X)	79
6.11: Canadian Standard freeness vs. Revoluciones de PFI	84

6.12: Consumo de energía vs. Revoluciones de PFI	85
6.13: Índice de Tracción vs. Consumo de energía específica	86
6.14: Índice de tracción vs. Revoluciones de PFI	87
6.15: Índice de tracción vs. Densidad	89
6.16: Índice de desgarro vs. Índice de tracción	91
6.17: Canadian Standard freeness vs. Índice de tracción	92
6.18: Canadian Standar freeness vs. Densidad	94
6.19: Canadian Standar freeness vs. Consumo de energía	95
6.20: Potencia activa neta vs. Tiempo para pulpa mecánica clasificada de ciprés calvo (CSF= 230)	97
6.21: Potencia activa neta vs. Tiempo para RMP de ciprés calvo	97
6.22: Energía mecánica acumulada vs. Tiempo para pulpa mecánica clasificada de ciprés calvo	98
6.23: Energía mecánica acumulada vs. Tiempo para RMP de ciprés calvo	98
6.24: Microfotografía óptica de pulpa mecánica M0 de ciprés calvo (35X)	101
6.25: Microfotografía óptica de pulpa mecánica M1 de ciprés calvo (54X)	102

LISTA DE ABREVIATURAS

%: porcentaje

μ : micrones

A : área de la muestra, en m^2

a: cantidad de $Na_2S_2O_3$ consumido por la muestra en ml

AA: álcali activo en %

acum: acumulada

arb: árboles

b: cantidad de $Na_2S_2O_3$ consumido en la determinación del blanco en ml

cm: centímetros

CMT: Concora medium test

Conc.: concentración en g/l

CSF: Canadian Standar freeness.

D: diámetro de fibra

DAP: diámetro a la altura de pecho, en cm

E.E.U.U.: Estados Unidos

e: espesor

E. carga: energía en carga

E. vacío: energía en vacío

etc.: etcétera

f H: factor H

F.I.Q.: Facultad de Ingeniería Química

f: factor para corregir a 50 % el consumo de $KMnO_4$ 0,1 N, según el valor de p (Tabla 2 de la norma Tappi)

F: relación de flexibilidad

Fi: fieltabilidad

Fig: figura

gh: gramos húmedos

gs: gramos secos

h: hora

ha: hectárea

húm.: húmedo

HW: hardwood
ID o I. desgarró: Índice de desgarró
inic.: inicial
interm.: intermedia
IT o I. Tracci3n: Índice de tracci3n
ITC: Instituto de Tecnología Celul3sica
K3000: pulpa Kraft obtenida en la segunda experiencia de pulpado
K2000: pulpa Kraft obtenida en la primera experiencia de pulpado
Kraft com.: pulpa Kraft comercial, utilizada como referencia
L: longitud de fibra en mm
l: lumen
L:M: relaci3n licor a madera
m : masa de la muestra acondicionada, en g
M_{AA} : masa en g de 3lcali activo
M_{NaOH} : masa en g de NaOH
M: masa en gramos
m: metro
M0: pulpa mec3nica desfibrada
M1: pulpa mec3nica con un recicló en el refinador
M2: pulpa mec3nica con dos recicl3s en el refinador
M3: pulpa mec3nica con tres recicl3s en el refinador
mat: material
m3x.: m3xima
min: minutos
ml: mililitros
mm: mil3metros
MPF: materia prima fibrosa
n : n3mero de hojas
N: normalidad del Na₂S₂O₃
nm: nanometros
N° K: n3mero Kappa
°C: grado cent3grado
P_{mad} : peso de chips de madera en g
p: cantidad de KMnO₄ 0.1 N realmente consumido por la muestra en ml

p: peso
PFI: refinador de laboratorio PFI
PROCYP: Programa de Investigación en Celulosa y Papel
PZGW: pulpa mecánica de piedra presurizada
 R_{∞} : reflectancia
r.p.m.: revoluciones por minuto
R: coeficiente de Runkel
R: resistencia al desgarro
R0: reflectancia
RCT : Ring Crush Test
Re: rendimiento
Rev: revoluciones
RMP: pasta mecánica de refinador
S : sulfidez en %
Semiqca.: semiquímica
S.W.: Sprout Waldron
S: sulfidez en %
seg: segundo
Seq: sequedad
SGW: Stone Groundwood
SS: seco seco
SW: softwood
temp: temperatura
TMP: pulpa temomecánica
tratam: tratamientos
UHY: ultra alto rendimiento
UNL: Universidad Nacional del Litoral
V: volumen
vs: versus
w: peso seco de la muestra ensayada en gramos

HW: hardwood
ID o I. desgarró: Índice de desgarró
inic.: inicial
interm.: intermedia
IT o I. Tracci3n: Índice de tracci3n
ITC: Instituto de Tecnología Celul3sica
K3000: pulpa Kraft obtenida en la segunda experiencia de pulpado
K2000: pulpa Kraft obtenida en la primera experiencia de pulpado
Kraft com.: pulpa Kraft comercial, utilizada como referencia
L: longitud de fibra en mm
l: lumen
L:M: relaci3n licor a madera
m : masa de la muestra acondicionada, en g
M_{AA} : masa en g de 3lcali activo
M_{NaOH} : masa en g de NaOH
M: masa en gramos
m: metro
M0: pulpa mec3nica desfibrada
M1: pulpa mec3nica con un reciclo en el refinador
M2: pulpa mec3nica con dos reciclos en el refinador
M3: pulpa mec3nica con tres reciclos en el refinador
mat: material
m3x.: m3xima
min: minutos
ml: mililitros
mm: mil3metros
MPF: materia prima fibrosa
n : n3mero de hojas
N: normalidad del Na₂S₂O₃
nm: nanometros
N° K: n3mero Kappa
°C: grado cent3grado
P_{mad} : peso de chips de madera en g
p: cantidad de KMnO₄ 0.1 N realmente consumido por la muestra en ml

p: peso
PFI: refinador de laboratorio PFI
PROCYP: Programa de Investigación en Celulosa y Papel
PZGW: pulpa mecánica de piedra presurizada
 R_{∞} : reflectancia
r.p.m.: revoluciones por minuto
R: coeficiente de Runkel
R: resistencia al desgarro
R0: reflectancia
RCT : Ring Crush Test
Re: rendimiento
Rev: revoluciones
RMP: pasta mecánica de refinador
S : sulfidez en %
Semiqca.: semiquímica
S.W.: Sprout Waldron
S: sulfidez en %
seg: segundo
Seq: sequedad
SGW: Stone Groundwood
SS: seco seco
SW: softwood
temp: temperatura
TMP: pulpa temomecánica
tratam: tratamientos
UHY: ultra alto rendimiento
UNL: Universidad Nacional del Litoral
V: volumen
vs: versus
w: peso seco de la muestra ensayada en gramos

LISTA DE FOTOS

5.1: Digestor utilizado para producción de pulpa Kraft	36
5.2: Refinador de discos Sprout Waldron	47

CAPITULO 1

INTRODUCCION GENERAL

El ciprés calvo es una de las pocas coníferas de hoja caduca, árbol nativo de Estados Unidos, que se caracteriza por resistir y prosperar en regiones de anegamiento hasta permanente, creciendo comúnmente en pantanos, a lo largo de los cursos de agua y fundamentalmente en áreas bajas, de tierra húmeda y arenosa.

Su madera, de buena calidad, es durable y tiene muchos usos en su país de origen en construcción de muebles, y como adorno de jardín (es decir, con un valor ornamental).

Esta especie tiene en nuestro país un cultivo limitado en el Delta del Paraná, especialmente como protector de erosión en las costas, con un crecimiento del orden de los 18m³/ha/año (9) y Tortorelli (37) ratifica que crece muy bien allí, en las márgenes del río Paraná junto a otras especies exóticas de, según sus propias palabras, “extraordinario porvenir forestal”.

1.1 Objetivo general de la tesis

El objetivo general de este trabajo de tesis es evaluar de la forma más acabada posible al ciprés calvo para su uso potencial como materia prima papelera, sin intentar en esta etapa al menos, la optimización de procesos.

1.2 Objetivos particulares

1. Llevar a cabo un **análisis químico completo** de los principales componentes, que permita su caracterización desde el punto de vista químico, y la comparación con la composición química de especies papeleras reconocidas.

2. Realizar una **identificación macro y microscópica de caracteres morfológicos**, y **caracterización estructural**, que posibilite la generación de resultados que permitan luego predecir su comportamiento durante los procesos de pulpado, como longitud de fibra, densidad básica y espesor de pared, entre otras determinaciones.

HW: hardwood
ID o I. desgarró: Índice de desgarró
inic.: inicial
interm.: intermedia
IT o I. Tracci3n: Índice de tracci3n
ITC: Instituto de Tecnología Celul3sica
K3000: pulpa Kraft obtenida en la segunda experiencia de pulpado
K2000: pulpa Kraft obtenida en la primera experiencia de pulpado
Kraft com.: pulpa Kraft comercial, utilizada como referencia
L: longitud de fibra en mm
l: lumen
L:M: relaci3n licor a madera
m : masa de la muestra acondicionada, en g
M_{AA} : masa en g de 3lcali activo
M_{NaOH} : masa en g de NaOH
M: masa en gramos
m: metro
M0: pulpa mec3nica desfibrada
M1: pulpa mec3nica con un reciclo en el refinador
M2: pulpa mec3nica con dos reciclos en el refinador
M3: pulpa mec3nica con tres reciclos en el refinador
mat: material
m3x.: m3xima
min: minutos
ml: mililitros
mm: mil3metros
MPF: materia prima fibrosa
n : n3mero de hojas
N: normalidad del Na₂S₂O₃
nm: nanometros
N° K: n3mero Kappa
°C: grado cent3grado
P_{mad} : peso de chips de madera en g
p: cantidad de KMnO₄ 0.1 N realmente consumido por la muestra en ml

papeles de escritura y de envolver, con buenos rendimientos y resistencias satisfactorias.

Sin embargo, los resultados corresponden a experiencias realizadas a nivel laboratorio, ni siquiera a escala piloto, y con equipamiento hoy prácticamente obsoleto.

Una condición complementaria de relevancia económica, es la disponibilidad real o potencial masiva de la especie en cuestión en el país del estudio. Esto exige un área disponible de dimensiones y condiciones de suelo y clima adecuados para un desarrollo normal. Obviamente la velocidad de crecimiento de la especie completará el cuadro global de aptitudes.

La región potencial para implantación masiva del ciprés calvo sería la costera e isleña del Paraná Medio e Inferior, que comprende centenares de miles de hectáreas, allí donde inundaciones extraordinarias no lejanas han diezmado especies de uso papelerero, menos adaptables al medio: eucaliptos, pinos y aún salicáceas, usadas por plantas celulósicas cercanas.

Por otra parte, ya en la década del '60 se proponía la diversificación forestal en el Delta y terrenos aledaños, mencionándose al "ciprés calvo", como se lo conoce comúnmente, entre otras especies en la bibliografía relacionada, como un medio de aprovechar tierras improductivas o que por diferentes causas han disminuido sensiblemente los rendimientos de especies allí cultivadas.

Finalmente, la elaboración de conclusiones a partir de los resultados obtenidos, generará un aporte al conocimiento de una nueva oportunidad para las industrias papelera y forestal de nuestro país.

1.4 Limitaciones del trabajo

El trabajo experimental se realizará en base a un ejemplar de ciprés calvo tomado de una zona inundable en condiciones extraordinarias, que crece a unos

100m del curso de agua, y a un nivel de aproximadamente 3 m por debajo del nivel del Puerto local de la ciudad de Santa Fe.

El crecimiento de un árbol en bosques cultivados depende no sólo del clima y suelo en que se encuentre, sino que además son de importancia otros factores como densidad de la población, tratamientos silviculturales, etc.

Esto implica limitaciones en lo que se refiere a las conclusiones finales que puedan extractarse de los resultados, ya que al encontrarse aislado, dicho ejemplar puede o no ser representativo, en cuanto al comportamiento del mismo en una plantación comercial.

Sin embargo, es importante destacar que este ejemplar se ha desarrollado justamente en el medio ambiente al que se apunta como posibilidad de aprovechamiento –zona inundable de Santa Fe y alrededores-. Además, el hecho de que no existan plantaciones experimentales en esta zona, marca el comienzo de un estudio que sería importante continuar en presencia de buenos resultados, generando antecedentes respecto a la viabilidad papelera de esta especie.

Por otra parte, sí serán válidas las comparaciones de los datos de crecimiento encontrados en la bibliografía para esta misma materia prima, en plantaciones tipo cortina o terraplén y en bosques, con los de otras especies de utilidad papelera. _____

CAPITULO 2

INFORMACION SILVICULTURAL Y DASOMETRICA DE *Taxodium distichum*

2.1 Introducción

Los representantes conocidos del género *Taxodium* son tres: *Taxodium ascendens* Brong., *Taxodium distichum* L. Rich. y *Taxodium mucronatum* Tenorio. El primero mencionado, todavía no experimentado en nuestro país, es originario de la costa atlántica del sudeste de E.E.U.U. y se halla en lagunas de aguas estancadas. Este, al igual que el *Taxodium distichum*, son especies de hojas caducas, que presentan neumatóforos y ensanchan el diámetro de su base. Su madera es algo más pesada que la del *Taxodium distichum*, y es poco explotada, debido a la dificultad de extraer los árboles de las lagunas (1).

El *Taxodium mucronatum*, a diferencia de los dos anteriores, sólo crece en forma silvestre en algunas regiones de Méjico y Guatemala, y es llamado comúnmente como ciprés Montezuma o Ahuehuate. Su follaje es perenne o en regiones más frías semipersistente, diferenciándose del ciprés calvo en su fuste más recto y uniforme y en la no-formación de "codillos", entre otras diferencias. Crece en nuestro país en Misiones, Corrientes, Chaco, Formosa y Santa Fe, pero no se halla tan difundido como el ciprés calvo debido a la carencia de sus semillas, que deben importarse de México (27).

2.2 Nombres comunes del *Taxodium distichum*

Además de ciprés calvo, se lo conoce como ciprés de los pantanos, baldcypress, ciprés americano, deciduous cypress, red, yellow or white cypress, southern cypress, etc.

2.3 Clima y Suelos

El *Taxodium distichum*, conocido por su nombre vulgar como "ciprés calvo", es originario de las regiones pantanosas del Valle inferior del Río Mississipi. Su difusión natural abarca la costa del Golfo de Méjico y la parte sudeste de la costa

Atlántica hasta cerca de Washington. En la parte central, sigue el curso de los grandes ríos. (1, 2)

En nuestro país se encuentran ejemplares aislados y contadas plantaciones en forma de masa boscosa, en las provincias de Misiones, Corrientes, Entre Ríos y Buenos Aires (3). Generalmente se encuentran en bordes de arroyos o en terraplenes, formando hileras o cortinas.

Lo dilatado de estas regiones con sus climas diversos, le permite adaptarse a climas templado-cálidos, con elevado porcentaje de humedad relativa, soportando en invierno temperaturas de hasta 3°C.

No es muy exigente en suelos, pero rehusa terminantemente los salitrosos (1); aparentemente no puede tolerar agua que contenga más que 0,89 % de sales, y una muy baja concentración de sal en exceso ya afecta adversamente su fotosíntesis, o lo que es lo mismo su crecimiento (4).

Prefiere lugares bajos, pero no necesariamente continuamente anegados, donde el agua fluctúe y se renueve (2). Soporta sin dificultad periódicas inundaciones estacionarias (1). También se encuentra en tierra firme (2).

Conociendo esta capacidad del "ciprés calvo" para crecer en suelos periódicamente inundables, y ante la necesidad de incorporar a la producción extensas zonas de suelos hidromórficos, en nuestro país se han llevado a cabo distintas experiencias de explotación en las zonas antes citadas (5-7, 2).

Comparado con el género *Sáliz* en una publicación (7), su tolerancia a permanecer inundado es mucho más importante que la de aquel género. Su resistencia a los anegamientos, encharcamientos y problemas de drenaje en campos del Delta del Paraná por ejemplo, quedó demostrada durante la creciente del río Paraná del año 1983, la cual dañó severamente plantaciones artificiales y especies autóctonas (ceibales y monte blanco). Un año después al retirarse las aguas, murió casi toda la plantación de sauce álamo existente en dicho sitio. Cabe hacer notar que

no sólo no se registró mortandad alguna de *Taxodium distichum* sino que se produjo una regeneración espontánea, sobre todo en los lugares más bajos (8). Esto demuestra que, siendo una especie exótica, presenta buena aclimatación al medio.

2.4 Descripción del árbol

Es un árbol de gran porte, con copa piramidal, con las ramas extendidas horizontalmente y tronco derecho. Una de las pocas coníferas de hoja caduca, su corteza es escamada, hendida y de color castaño. Como árbol de valor ornamental, su belleza radica en la tonalidad rojiza que adquieren sus hojas en el otoño (9-11).

Esta especie posee una especial multiplicación espontánea y precoz de sus raíces ancladoras o profundizadoras, rasgo predominante en sus individuos desde el primer año de crecimiento, que debe considerarse herencia genética. Ello le permite profundizar y anclarse con más fuerza y rapidez en el terreno, otra demostración de su natural predisposición específica a suelos blandos de baja consistencia física (12).

En terreno firme la raíz no forma hendiduras o éstas son muy poco pronunciadas, pero cuanto más bajo es el terreno donde se encuentran los árboles, más pronunciadas son las hendiduras, más anchas sus bases y más altos los codillos (protuberancias llamadas neumatóforos). Estos tienen por objeto funciones respiratorias (7) y sostén del árbol (1), y su existencia está en relación con el nivel del agua y la consistencia firme o blanda del terreno.

2.5 Datos de crecimiento

Existen trabajos que registran los resultados de su crecimiento en zonas de las características señaladas, como las del Delta de Paraná (3, 7), Misiones (5), Corrientes (6) y Buenos Aires (2).

Por citar algunos, en la Tabla siguiente se muestran datos de crecimiento recolectados para *Taxodium distichum* en distintas regiones de nuestro país:

Tabla 2.1: Datos dasométricos de plantaciones de ciprés calvo. # (1, 13) ^ (5)

Ubicación	Edad	Densidad	Altura promedio	Diámetro promedio	Incremento anual en volumen
Delta #	12 años	1042 arb/ha	14 m	22,8 cm	15,5 m ³ /ha/año
Delta #	14 años	677 arb/ha	14 m	26,5 cm	20,2 m ³ /ha/año
Cerro Azul ^	21 años	650 arb/ha	18 m	31,5 cm	17,5 m ³ /ha/año
Misiones ^	16 años	1234 arb/ha	15 m	20,0 cm	14,6m ³ /ha/año

Lo interesante es que en el sector de terreno más bajo, anegadizo, la especie demuestra justamente su mejor aptitud forestal (14).

A los fines comparativos, la Tabla 2.2 incluye junto a los datos dasométricos del ejemplar de ciprés calvo en estudio, los de materias primas fibrosas de conocida utilidad papelera, que corresponden a plantaciones en la provincia de Misiones (16-18). Cabe aclarar que las limitaciones de comparar con este ejemplar se explicaron en el punto 1.4.

Tabla 2.2: Datos dasométricos de distintas materias primas fibrosas

Especie	Nº de ejemplares	Edad (años)	DAP (cm)
<i>Taxodium distichum</i>	1	8	25
<i>Pinus elliottii</i>	6	13	20,7
<i>Pinus taeda</i>	12	13	23,8
<i>Eucaliptus dunni</i>	5	8	35

Comparando las maderas de fibra larga, el ciprés calvo alcanza un diámetro mayor a los pinos en menor tiempo, corroborando lo citado en la bibliografía con respecto al rápido crecimiento en nuestros suelos de esta especie exótica. De los datos disponibles en dichas revistas mencionadas, los presentados en la tabla anterior

corresponden a suelos hidromórficos, clasificados en la cartografía de suelos usual en la provincia de Misiones correspondientes a la unidad cartográfica 7.

Para el caso del eucalipto, madera de longitud de fibra mucho menor (fibra corta), el crecimiento alcanzado es superior. Sin embargo, los datos consignados corresponden a suelos ubicados como 6 A, es decir áreas con pendientes y pedregosos, poco aptos para la agricultura. Por lo tanto, no es del todo comparable con el ciprés calvo, que no aceptaría ese tipo de suelo.

2.6 Prácticas silvícolas

Se reproduce fácilmente por semillas, y generalmente se plantan plantines de vivero a raíz desnuda, con simple ollado de pala. Tanto los costos de implantación como las labores culturales durante su desarrollo, son bajos o casi nulos (7, 8). Se debe tener en cuenta el ciclo vegetativo anual de la especie según la región donde se va a plantar.

Las prácticas silvícolas preconcebidas son de gran importancia, pues según el objeto o la finalidad que se persigue es la densidad inicial de plantación, lo mismo que la planificación de turnos de corta teniendo en cuenta el destino de la madera, y si se prefiere una tala total, cabe mencionar que las plantas rebrotan bastante bien, dando lugar a un nuevo corte probablemente a los 10 años (1). Efectuando los aclareos en épocas propicias, puede mantenerse un crecimiento relativamente constante, superior a los 20 mm anuales de diámetro promedio (1).

2.7 Utilidad como madera y en la fabricación de pasta

Es madera blanda, liviana, moderadamente fuerte, fácil de trabajar, obteniéndose buena terminación de superficies en el cepillado, lijado, lustrado y barnizado. Se utiliza en la fabricación de puertas y ventanas, recipientes industriales, etc. (9, 7). Su notable crecimiento permitiría acortar el ciclo de corta final, o utilizar la madera de corta para fabricación de pasta, como se ha realizado en el Delta (5) y lo proponen Brückman y Brückman (1) y Cozzo (13), permitiendo de esa manera un aprovechamiento económico integral.

Se objeta el poco interés que muestran los compradores por esta madera, debido al desconocimiento de su calidad y por los volúmenes pequeños y discontinuos en oferta. Pero estas dificultades pueden ser superadas si se tiene en cuenta que esta especie puede plantarse en terrenos de tierras anegadas, actualmente improductivas, o de aquellas que por diversas causas (enfermedades, agotamiento del suelo, etc.) han disminuido sensiblemente por ejemplo, los rendimientos de los distintos clones de sauce cultivados (1).

Es muy importante remarcar esto último, ya que no se espera una competencia con el fin de superar las propiedades o aptitudes de los pinos u otras especies comerciales, utilizados actualmente en la fabricación de papel, sino lograr una diversificación con esta especie que crece en suelos que podrían catalogarse como no aprovechables para dichas maderas, de gran extensión en nuestro país.

Por otra parte, la plantación de *Taxodium distichum* permitiría recuperar la capacidad productiva de bosques naturales degradados de la provincia de Santa Fe (15), con esta especie exótica de crecimiento rápido, aplicando simples prácticas silvícolas adecuadas.

CAPITULO 3

CARACTERIZACION DE MATERIAS PRIMAS FIBROSAS

3.1 Análisis químico. Análisis sumativo

Los componentes químicos de una materia prima fibrosa son los llamados componentes mayoritarios o macromoleculares, que comprenden polisacáridos (celulosa y hemicelulosas) y lignina; y los componentes minoritarios o de bajo peso molecular, que se dividen comunmente en material orgánico (extractivos) y material inorgánico (cenizas), como se esquematiza en la Fig. 3.1.

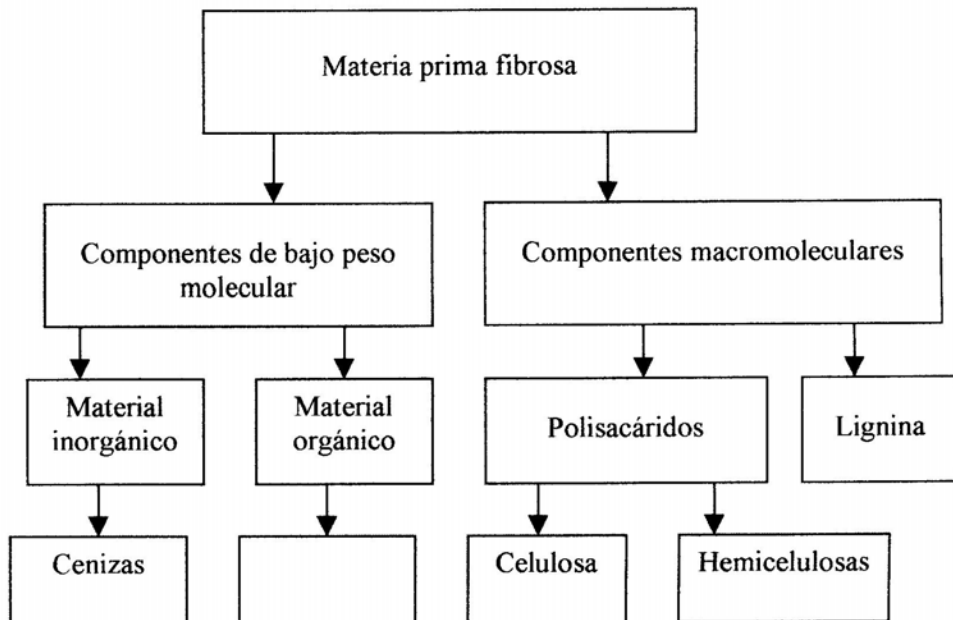


Fig. 3.1: Componentes de una materia prima fibrosa

La celulosa, principal componente de la pared celular, es un polímero de cadena larga de D-glucosa en forma piranosa, unidas por enlaces β 1-4 glicosídicos para formar unidades de celobiosa, que son las que se repiten en la cadena de celulosa. La configuración β impone una rotación de 180° en las unidades alternadas de glucosa. Como resultado, la cadena de celulosa es lineal y rígida, donde las cadenas individuales están unidas por fuertes enlaces puente hidrógeno (22).

La celulosa consiste de regiones cristalinas altamente ordenadas, y zonas amorfas o desordenadas. Es insoluble en agua, pero muy higroscópica por la presencia de una gran cantidad de grupos hidroxilo, y la accesibilidad y disponibilidad de dichos grupos influirán en todas las reacciones de la celulosa.

Asociada a la celulosa en la pared celular se encuentran otros polisacáridos conocidos como hemicelulosas, de cadenas mucho más cortas y ramificadas, constituidas principalmente por pentosas y hexosas. En coníferas, principalmente se encuentran galactoglucomananos (alrededor del 20 %), y pequeñas cantidades de arabinoglucuronoxilanos (5-10 %). En latifoliadas, los glucuronoxilanos son los más abundantes (15-30 %), con una pequeña cantidad de glucomananos (2-5 %).

Las hemicelulosas pueden disolverse en álcali fuerte, y son más fácilmente hidrolizadas que la celulosa en medio ácido. Su mayor solubilidad y susceptibilidad a la hidrólisis, comparada con la celulosa, se debe a su estructura amorfa y su bajo peso molecular.

La lignina es un polímero aromático tridimensional de estructura no totalmente dilucidada, ya que no puede aislarse completamente sin que sufra alguna modificación. Está formada por unidades de fenilpropano con distinto tipo de enlaces entre ellos. Desde el punto de vista químico, las coníferas difieren de las latifoliadas no solo en su contenido de lignina, sino también en el tipo de estructura de la misma, proporción de enlaces entre unidades y distribución dentro de la pared celular.

Tanto coníferas como latifoliadas presentan estos componentes en su composición química, pero difieren en su proporción, como puede comprobarse en la Tabla 3.1 donde se muestra la composición típica de Softwood (SW) o conífera, madera de fibra larga, y de Hardwood (HW) o latifoliada, madera de fibra corta (19).

Tabla 3.1: Composición química típica de softwoods y hardwoods, en % (19)

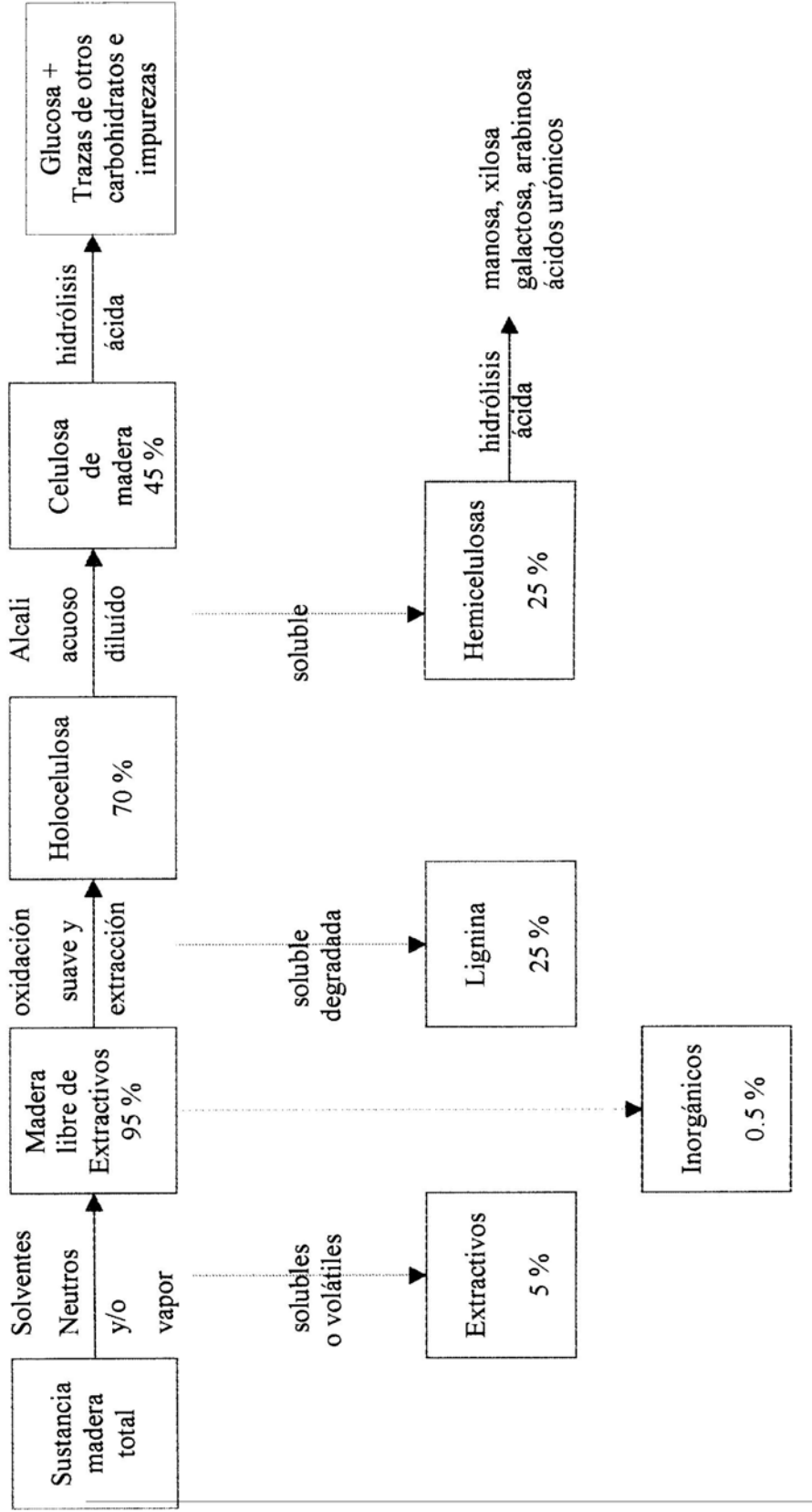
	SWs	HWs
Celulosa	42 ± 2	45 ± 2
Hemicelulosas	27 ± 2	30 ± 5
Lignina	28 ± 3	20 ± 4
Extractivos	3 ± 2	5 ± 3

El objetivo principal de la realización de los ensayos químicos sobre la materia prima en estudio es su caracterización desde este punto de vista.

Los métodos de análisis de madera están más o menos estandarizados. La principal dificultad no es el número de componentes, que son muy diferentes en su composición química y comportamiento, sino el hecho de que existe una íntima asociación química y estructural entre las macromoléculas de la pared celular.

Por lo tanto, dichos componentes mayoritarios son insolubles en la mayoría de los solventes comunes y las separaciones sólo pueden completarse después de someter al material a reacciones químicas que convierten a uno o más componentes a una forma soluble. En forma esquemática, se presenta en la Figura 3.2 un camino de separación de los componentes de la madera, con los porcentajes aproximados de los mismos

Figura 3.2: Esquema que ilustra la separación química de los componentes de la madera



El análisis químico de la madera puede llevarse a cabo de diferentes formas, con mayor o menor grado de detalle en la determinación de los distintos componentes. El objetivo es lograr un análisis sumativo satisfactorio, es decir alcanzar valores cercanos al 100 %. En la Figura 3.3 se presentan distintas alternativas para llevar a cabo ese análisis sumativo (19-22).

A	B	C
Extractivos	Extractivos	Extractivos
Holocelulosa	Lignina	Lignina
Lignina	α - celulosa	Glucano
Cenizas	Hemicelulosas	Manano
	Grupos acetilos	Galactano
	Cenizas	Xilano
		Arabinano
		Anhidrido urónico
		Grupos acetilos
		Cenizas

Fig. 3.3: Distintas alternativas de análisis sumativos

Si se determinan todos los componentes y no hay pérdida parcial de algún constituyente, si no hay solapamiento en las determinaciones por deficiencias de los métodos, impurezas en los residuos, interferencias, o compuestos no tenidos en cuenta, la suma debe ser cercana a 100 %. En la práctica, las sumatorias de 100 % se consideran fortuitas, y en general se toman como aceptables valores entre 95 y 102%, según el autor.

3.2 Aspectos morfológicos

3.2.1 Identificación de género y especie: como árbol y como pulpa.

Identificar el género de una especie es comúnmente posible, pero la identificación de especies es algunas veces más difícil pues en muchos casos las

distintas especies son morfológicamente muy poco diferenciadas. Esto depende de la experiencia del analista, del conocimiento del origen o procedencia de la muestra, de la comparación de características con Atlas de fibras (26, 32), y de la existencia de claves de identificación apropiadas, que permitan la diferenciación entre especies.

3.2.2 Caracteres estéticos

Son los que están directamente ligados al valor decorativo u ornamental del leño y son perceptibles por los órganos sensoriales, de allí que también se los denomine como caracteres organolépticos. Estos son color, olor, veteado, brillo, textura y grano.

3.2.3 Caracteres macroscópicos y microscópicos

La observación al microscopio óptico permite el conocimiento de particularidades en lo que se refiere a disposición de los elementos estructurales de cualquier materia prima fibrosa, y cuando el estudio se realiza con mayor aumento, por medio de la preparación de cortes micrométricos en las direcciones transversal, longitudinal radial y longitudinal tangencial, es posible realizar mediciones de espesor de pared, diámetro o ancho de fibra, y ya a partir de disociados, la medición de longitud de fibra.

La determinación de la densidad básica de esta madera y finalmente, el cálculo de coeficientes como parámetros de comparación con los de otras especies de reconocida utilidad papelera, completa la caracterización desde el punto de vista morfológico de una materia prima fibrosa.

Esto se fundamenta en la existencia de una relación observada entre la morfología o características morfológicas de una fibra, y su efecto sobre la pasta formada con ella. Sin embargo, esta observación cualitativa debe tomarse con cuidado y cuantificarse. En general, para establecer el valor o aptitud papelera de una especie de interés, se evalúan simultáneamente parámetros y relaciones.

CAPITULO 4

OBTENCION DE PULPA CELULOSICA

4.1 PULPADO KRAFT

4.1.1 Generalidades

Se define pulpado químico como aquel en el cual el punto de liberación de fibra se alcanza con reactivos químicos, sin necesidad de aplicar energía mecánica adicional, mediante la disolución del material que cementa las fibras (deslignificación). Si el pH de los reactivos utilizados es alcalino, entonces se denomina pulpado alcalino (34).

El licor de cocción utilizado en el proceso Kraft está constituido principalmente por una mezcla de hidróxido de sodio y sulfuro de sodio, aunque contiene cantidades menores de sulfato y carbonato de sodio entre otras sustancias, que aparecen en las condiciones industriales de cocción.

Es utilizado para cualquier especie de madera, da pulpas de alta resistencia (Kraft significa fuerte en alemán), es tolerante a la presencia de corteza, y posee un ciclo eficiente de recuperación de químicos y energía. Las principales desventajas son la dificultad para blanquear la pasta comparada con las pulpas al sulfito, el bajo rendimiento debido a la pérdida de carbohidratos, y la presencia de sulfuro en su forma reducida, que genera emisiones extremadamente olorosas. Otra consideración son los costos, tanto de producción como de blanqueo (36).

A nivel mundial, la pulpa celulósica se produce principalmente por procesos mecánicos y químicos, y de estas últimas la mayoría se obtiene por el proceso Kraft (19). La Tabla 4.1 presenta la producción mundial de pulpas químicas y su evolución en el tiempo. En ella se observa que el total de pulpas obtenidas por proceso Kraft se ha incrementado de un porcentaje de 47 % en 1969 a 56 % en 1989, valores que confirman lo antedicho.

Tabla 4.1: Producción mundial de pulpas químicas de madera y non-wood, en millones de toneladas métricas al 10 % de humedad, respecto de la producción total (19).

Año	1969	1979	1989
Producción total de pulpa	103,9	130,7	166,3
Sulfito blanqueado y no blanqueado	12,7	10,9	10,4
Kraft no blanqueado	27,0	33,9	36,5
Kraft blanqueado	22,3	38,1	57,1
Pulpa para disolver, bisulfito ácido y Kraft con prehidrólisis	4,9	4,8	4,5

4.1.2 Descripción breve del proceso

Las astillas provenientes de la chipeadora, se cargan al digestor junto con el licor de cocción, se ingresa vapor al digestor, se lleva a la temperatura de digestión y se digieren las astillas durante un tiempo determinado según el producto final deseado, y luego se descarga la pulpa y el licor residual. Los digestores continuos actuales permiten en el mismo digestor una impregnación previa y un lavado en la última zona del mismo, previo a la descarga. Posteriormente la pulpa obtenida va a etapas de lavado, depuración y secado, o si la fábrica está integrada, a formación, prensado y secado de la hoja de papel.

Por otra parte, el pulpado Kraft posee un proceso optimizado y eficaz de recuperación de químicos, que le permite cerrar sus circuitos. El licor débil se concentra en un sistema de evaporación de múltiple efecto con vapor vivo en contracorriente, y luego se quema en el horno de recuperación. En el mismo, el carbono orgánico se transforma en carbonato de sodio y los compuestos de azufre en sulfuro de sodio. El fundido obtenido se disuelve en agua obteniéndose lo que se conoce como licor verde, que se clarifica y luego se caustifica en los caustificadores con la incorporación de hidróxido de calcio, cuya función es transformar el carbonato de sodio en carbonato de calcio insoluble, formándose en la misma reacción el hidróxido de sodio necesario para obtener nuevamente el licor blanco de partida.

4.1.3 Variables de importancia

El rendimiento, la composición química y las propiedades físicas de las pulpas obtenidas por este proceso dependen de un doble juego de variables:

1. Variables asociadas a la madera:

Dentro de estas variables se tiene en cuenta la especie de madera, su densidad, factores de crecimiento, el tiempo de estacionamiento, las dimensiones de las astillas y el daño mecánico que presenten, ya que todas ellas pueden afectar en mayor o menor medida a la calidad de la pulpa resultante.

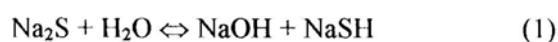
2. Variables asociadas a la operación de pulpado

Las variables a tener en cuenta son el tiempo, la temperatura, la carga y concentración de álcali y sulfidez del licor de cocción. En general, un aumento de una o más de estas variables, reduce el rendimiento.

4.1.4 Nomenclatura utilizada

A continuación se detalla la terminología utilizada en el pulpado Kraft, con sus definiciones correspondientes.

- **Alcali total:** $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \frac{1}{2} \text{Na}_2\text{SO}_3$, todo expresado como Na_2O equivalente
- **Alcali activo:** $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$, expresado como Na_2O equivalente. Es la suma de los ingredientes activos en el proceso de pulpado. Juntos conforman el licor blanco.
- **Alcali efectivo:** $\text{NaOH} + \frac{1}{2} \text{Na}_2\text{S}$, expresado como Na_2O . Es la suma de los químicos de sodio que producirán OH^- durante la cocción. El hidróxido de sodio se ioniza completamente y por cada 2 átomos de Na del Na_2S , se producirá uno de OH^- , ya que en agua el sulfuro de sodio presenta el siguiente equilibrio (1):



A medida que se consume el hidróxido original, la reacción anterior se desplaza a la derecha, es decir que el sulfuro aumenta la cantidad de hidróxido disponible. Esto significa que sólo la mitad del sulfuro agregado es realmente efectivo en la determinación de la cinética de la reacción, y por el mismo motivo muchas fábricas tienen más en cuenta este valor que el de álcali activo.

- **Sulfidez:** es la relación de sulfuro de sodio a álcali activo, expresada en porcentaje. Un aumento en la sulfidez se traduce en un aumento en la velocidad de cocción y mejoramiento de la calidad de la pulpa, pero hasta cierto límite, pasado el cual ya no se observan mejoras y aumentan los problemas de contaminación ambiental. La mayoría de las fábricas trabajan con una sulfidez entre 25-35 %.
 - **Licor blanco:** contiene los reactivos para la cocción Kraft y en planta se obtiene por caustificación del licor verde.
 - **Licor verde:** se obtiene por disolución en agua del fundido proveniente del horno de recuperación, y va a la caustificación.
 - **Licor negro:** es el licor residual luego de la digestión. Contiene parte de productos químicos utilizados en la cocción que no se agotaron, y material orgánico disuelto de la madera. En planta se recircula una pequeña parte que reingresa al digestor, y el resto va al proceso de recuperación de químicos.
 - **Factor H:** es un parámetro típico del proceso Kraft, que relaciona tiempo y temperatura de cocción en una variable simple que indica la extensión de la reacción, es decir el grado de deslignificación de la pasta. Se obtiene por integración de la curva velocidad de reacción versus tiempo. Su aplicación es útil en las operaciones de planta pues permite, variando ciclos tiempo-temperatura, obtener pastas con el mismo grado de deslignificación. Por ejemplo, para obtener una pulpa Kraft de conífera en grado blanqueable, con un contenido de lignina residual de alrededor del 5%, típicamente se cocina 1,5 h a 170°C. Esto corresponde a 0,75 h a 178°C o 3 h a 162°C, considerando iguales ciclos de trepada hasta temperatura máxima.
-

4.1.5 Acción del licor de cocción sobre los constituyentes de la madera

Si bien la lignina es el componente más afectado por el licor alcalino, los carbohidratos también sufren reacciones de distinto tipo. Entre ellas, las más importantes son (35):

- Hidrólisis alcalina con pelado del monómero extremo reductor (peeling)
- Hidrólisis alcalina: rotura de enlaces β 1-4 glicosídicos
- Deshidratación y reordenamiento del monómero extremo a un grupo estable (stopping)
- Reprecipitación y adsorción de xilanos sobre la fibra
- Disolución de carbohidratos de bajo peso molecular sin degradación química
- Hidrólisis de grupos acetilos y urónicos en hemicelulosas.

En cuanto a la lignina, partiendo de un modelo aceptado de estructura, la ruptura de los enlaces β - aril éter es uno de los pasos más importantes de la degradación alcalina, ya que estos enlaces se presentan en un porcentaje de alrededor del 60%.

El sulfuro de sodio acelera la reacción de deslignificación, protegiendo a la celulosa de la degradación del medio alcalino, y evitando reacciones de condensación de los fragmentos formados. A través de la formación de un intermediario quinona metídica, pasible de sufrir adición nucleofílica por el ión sulfhidrilo, se postula que dicha sulfidación ocurre en el carbono α , rompiendo enlaces α alquil éter y acelerando la ruptura de grupos éter aromáticos unidos al carbono β .

4.2 CLASIFICACIÓN DE LAS PULPAS OBTENIDAS

La depuración de las pulpas es una etapa que generalmente está presente en todo proceso, y cuyos objetivos principales son la eliminación de impurezas presentes en la misma, que interferirán en la buena formación de la hoja de papel, consumiendo reactivos de blanqueo si lo hubiera, o entorpeciendo el funcionamiento de los equipos utilizados.

En general, la operación de clasificación en una zaranda, con un tamiz ranurado vibrante, se puede incluir dentro de las operaciones de tamizado y depuración de la pasta. En este caso, se eliminan de la pasta impurezas que poseen un ancho mayor a por lo menos una dimensión de las fibras a partir de una suspensión acuosa, es decir por una diferencia de tamaño.

Los tipos de impurezas presentes en una pulpa química pueden ser incocidos provenientes de madera densa (nudos) o haces fibrosos, es decir manojos de fibras unidas que no fueron suficientemente cocidas para separarse completamente, y algún material extraño a la pasta, proveniente de los equipos utilizados, como óxido, arena o tierra.

Se define como **pasta entera** a la pulpa sin clasificar, como **aceptado** a la pasta que pasa a través de las ranuras y como **rechazos** a las impurezas de mayor tamaño que quedan retenidas sobre el tamiz luego de la operación. Se muestra un esquema de estas fracciones en la Figura 4.1.

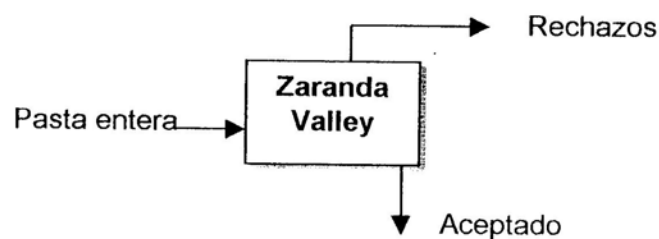


Fig. 4.1: Esquema que representa las fracciones de una etapa de depuración

Por lo tanto, se plantea incorporar como una etapa más la depuración en zaranda Valley de las pulpas que se obtengan del ciprés calvo.

4.3 REFINO

Las fibras de pulpa de madera son inadecuadas para su uso directo en la formación de papel (23). Una hoja de papel hecha a partir de fibras no refinadas se caracteriza por su baja resistencia a la tracción, su volumen y su superficie abierta e irregular. Para la mayoría de los papeles comerciales, estas características son indeseables, pero se pueden modificar en gran medida mediante la operación de refino mecánico.

El refino o batido de una pulpa puede definirse entonces como la alteración mecánica de las fibras, y es la operación que les proporciona las características necesarias para formar la hoja de papel que se desea. El objetivo final del refino es preparar las fibras para la fabricación de papel y asegurar que el producto terminado tenga la resistencia y otras propiedades buscadas, según el uso final del mismo.

Según el resumen de Ebeling (24), se puede categorizar los efectos provocados por el refino como:

- ✓ Cambios en la estructura interna: fibrilación interna, causada por rotura de enlaces de hidrógeno intrafibra y reemplazo por enlaces fibra-agua. El agua penetra en la pared celular, provocando hinchamiento (swelling) y aumento de flexibilidad de la fibra.
- ✓ Cambios en la estructura externa: fibrilación externa, la cual se define como el arrancado de fibrilas de las paredes exteriores de la fibra, sin desprendimiento de las mismas.
- ✓ Acortamiento o cortes de fibra: por fuerzas de corte directas de las barras que pasan del refinador, o por rotura transversal (generalmente indeseable) de las fibras.
- ✓ Generación de finos: necesarios en el desarrollo de enlaces interfibra en la red fibrosa, debido a la eliminación de partes de la pared y rotura de fibrilas, o por corte de fibras.

Por otra parte, esta operación se ve afectada por la materia prima de que se trate, su morfología y composición química, el proceso de pulpado, grado de deslignificación y/o tratamiento de blanqueo que haya recibido. Tienen gran influencia las características del equipo, como tamaño, área y forma de las cuchillas, lo mismo que las condiciones en que se realice el batido, es decir a qué temperatura, consistencia y la energía aplicada, por mencionar las variables de mayor importancia. Según Page (25), la acción de un refinador puede describirse en los términos de dos parámetros, uno que indica el número de impactos recibidos por una fibra dentro del equipo y otro que indica su intensidad.

En general, se acepta que las pulpas Kraft son más difíciles de refinar que las pulpas al sulfito, y las pastas no blanqueadas más difíciles de refinar que las blanqueadas. Esto se debe no sólo al contenido de lignina, que es hidrofóbica y actúa inhibiendo la formación de enlaces fibra-fibra, restringiendo el swelling y la delaminación posterior de la fibra, sino también al contenido y distribución en la pared y superficie de la fibra de carbohidratos de bajo peso molecular, que influyen en la respuesta al refinado de una pulpa (49).

De esta forma, se mejoran las propiedades de resistencia del papel, la formación por control del drenaje y se controlan otro tipo de propiedades como la porosidad, rugosidad y espesor.

La pulpa Kraft de ciprés calvo se refinará en PFI con la intención de obtener una curva de refinado, con distinto número de revoluciones, y luego evaluar las propiedades desarrolladas por la pasta refinada.

El seguimiento de la influencia de este tratamiento mecánico sobre las pastas Kraft se realiza en función de la drenabilidad de las mismas, ya que esta determinación se utiliza frecuentemente como una medida del avance del refinado. El drenado de la pulpa se encuentra directamente relacionado, para pastas químicas, con la producción de finos en dicha operación, y en menor grado con la fibrilación externa e interna (flexibilidad) de las fibras.

CAPITULO 5

TRABAJO EXPERIMENTAL

5.1 Análisis sumativo del ciprés calvo

El siguiente análisis sumativo fue el seleccionado para completar la caracterización de esta materia prima (Fig. 5.1):

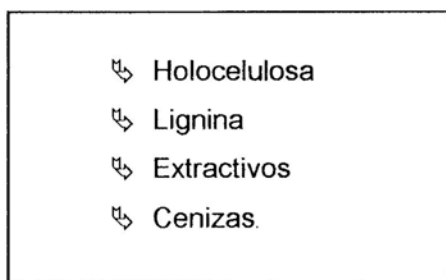


Fig. 5.1: Análisis sumativo seleccionado para caracterización de *Taxodium distichum*

El trabajo experimental se desarrolla en base a un ejemplar de ciprés calvo tomado de una zona inundable en condiciones extraordinarias, que crecía a unos 100 m del curso de agua, y a un nivel de aproximadamente 3 m por debajo del nivel del Puerto de Santa Fe. Del tronco cortado a la altura de pecho, se obtienen rodajas de aproximadamente 5 cm de espesor, que se chiapan a mano. La mayor parte se reserva para realizar digestiones, y una fracción se utiliza para la caracterización química y morfológica.

La metodología empleada para el desarrollo de los análisis químicos se esquematiza en la Fig 5.2.

Los resultados obtenidos de las mediciones de gramaje, espesor, densidad, índices de tracción y desgarró, CMT y RCT, indicarán la aptitud o no de esta materia prima fibrosa como alternativa forestal.

El ensayo de compresión en anillo RCT, es uno de los ensayos específicos que pueden probarse para papel liner. Posee potencial como predictor de resistencia (50), y es útil en el control del proceso de fabricación del cartón, y una medida de la calidad del producto terminado (52). En cuanto a papel para ondular, se evalúa el CMT como ensayo de control de calidad (52), a un gramaje determinado.

4.5 PULPADO MECANICO

4.5.1 Generalidades

El pulpado mecánico es el proceso por el cual la madera se convierte en una masa fibrosa con la utilización de energía mecánica. En el proceso más antiguo y más común, llamado “de piedra” (Stone Groundwood: SGW), los troncos son comprimidos contra una piedra en rotación, en presencia de agua. Por lo tanto, se obtiene una pasta que contiene fibras, haces fibrosos y finos, con todos los constituyentes químicos de la madera (34).

Este procedimiento tiene como ventajas que es el más barato, aprovecha la madera casi al 100 %, no produce mayor contaminación y tiene algunas propiedades específicas muy favorables para la impresión. Como principal inconveniente, las pulpas mecánicas producen fibras muy dañadas, de tal manera que se obtienen pastas de muy baja resistencia.

El proceso RMP, variante de la pasta mecánica clásica, es un desarrollo que aparece a principios de la década del '60, que utiliza molinos de discos metálicos operando sobre astillas de madera o chips.

La utilización de desfibradores de discos, en reemplazo de los de piedra, permite obtener fibras más sanas y por lo tanto pulpas de mejor resistencia. Estas pulpas presentan las ventajas adicionales de permitir utilizar residuos de los

aserraderos y troncos deformados, y de ocupar menor mano de obra. La principal desventaja es el mayor consumo de energía específica.

La separación de fibras es el resultado de reiteradas compresiones y alivios de tensión que se producen sobre las astillas ante el sucesivo paso de barras y ranuras intermedios paralelos que poseen los discos enfrentados de cada molino, en dirección radial o inclinada.

Los discos son los elementos encargados de desfibrar el chip, y consisten de placas con barras radiales, fabricadas de acero o fundición de alta resistencia al desgaste. La parte más central del disco, posee barras gruesas con mayor espaciamiento. Estas barras rompen los chips y permiten el desarrollo de fuerzas centrífugas que mueven la madera hacia la zona periférica del disco, donde se concentra la operación de desfibrado/refino propiamente dicha.

La zona de desfibrado en sí está compuesta por barras y ranuras mucho más angostas hacia la periferia. Se combinan en el entrehierro o cruce de barras fuerzas de compresión y cizallamiento, cuya intensidad estará determinada por la separación entre los discos, y los distintos diseños de barras y ranuras.

Entre las variables a tener en cuenta, es de gran importancia la humedad de entrada de los chips, pues ello contribuye a debilitar enlaces en la porción de carbohidratos de la pared celular de la fibra y facilita la separación de fragmentos fibriformes, a su vez que mejora su flexibilidad para que haya menor cantidad de cortes posteriores por la acción mecánica del molino. Este agua, sumada a la que ingresará junto con los chips es la encargada además de absorber gran parte de la energía puesta en juego, y evitar que la madera se quemé.

La consistencia es otro de los parámetros críticos, admitiéndose en general la conveniencia de trabajar a media consistencia, entre 10–15 %, pero según el equipo que se utilice puede variar entre 8–25 %.

Otras variables a tener en cuenta incluyen las referidas a la materia prima de que se trate, y la calidad de las astillas, las especificaciones de los discos, su material de construcción y diseño, y en cuanto a parámetros operacionales, la carga aplicada (separación entre discos), la velocidad de alimentación, etc.

4.5.2 RMP de ciprés calvo

Se intentará obtener pasta mecánica con un molino refinador de discos, con el fin de realizar un tanteo de resultados en el otro extremo de rendimiento.

Por otra parte, en forma simultánea a la obtención de la pasta mecánica, se evaluará la energía consumida en dicha operación, factor decisivo en este tipo de pulpado. Del mismo modo que con la pasta química obtenida, se formarán hojas de ensayo y se evaluarán propiedades de resistencia y ópticas del papel formado.

Como control de calidad de las pastas mecánicas, se realizará el ensayo cuantitativo de la drenabilidad CSF de la misma, es decir la facilidad de pasaje de agua a través y desde una suspensión de pulpa. En general, puede inferirse que la drenabilidad de las pastas mecánicas depende de la geometría de las partículas y de su superficie específica.

Otro instrumento útil para evaluar una pulpa mecánica es el clasificador de fibras Bauer McNett, que separa por longitud a través de tamices estándares, una cantidad de pasta establecida como porcentajes que pasan o son retenidos en ellos, como una medida de la molienda ocurrida. Ambas determinaciones son muy utilizadas para caracterizar la calidad de una pasta mecánica.

CAPITULO 5

TRABAJO EXPERIMENTAL

5.1 Análisis sumativo del ciprés calvo

El siguiente análisis sumativo fue el seleccionado para completar la caracterización de esta materia prima (Fig. 5.1):

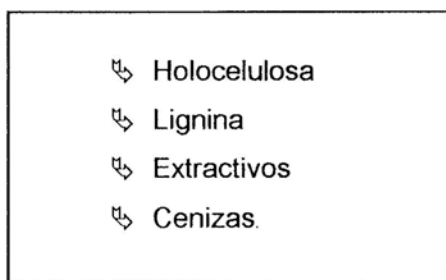


Fig. 5.1: Análisis sumativo seleccionado para caracterización de *Taxodium distichum*

El trabajo experimental se desarrolla en base a un ejemplar de ciprés calvo tomado de una zona inundable en condiciones extraordinarias, que crecía a unos 100 m del curso de agua, y a un nivel de aproximadamente 3 m por debajo del nivel del Puerto de Santa Fe. Del tronco cortado a la altura de pecho, se obtienen rodajas de aproximadamente 5 cm de espesor, que se chiapan a mano. La mayor parte se reserva para realizar digestiones, y una fracción se utiliza para la caracterización química y morfológica.

La metodología empleada para el desarrollo de los análisis químicos se esquematiza en la Fig 5.2.

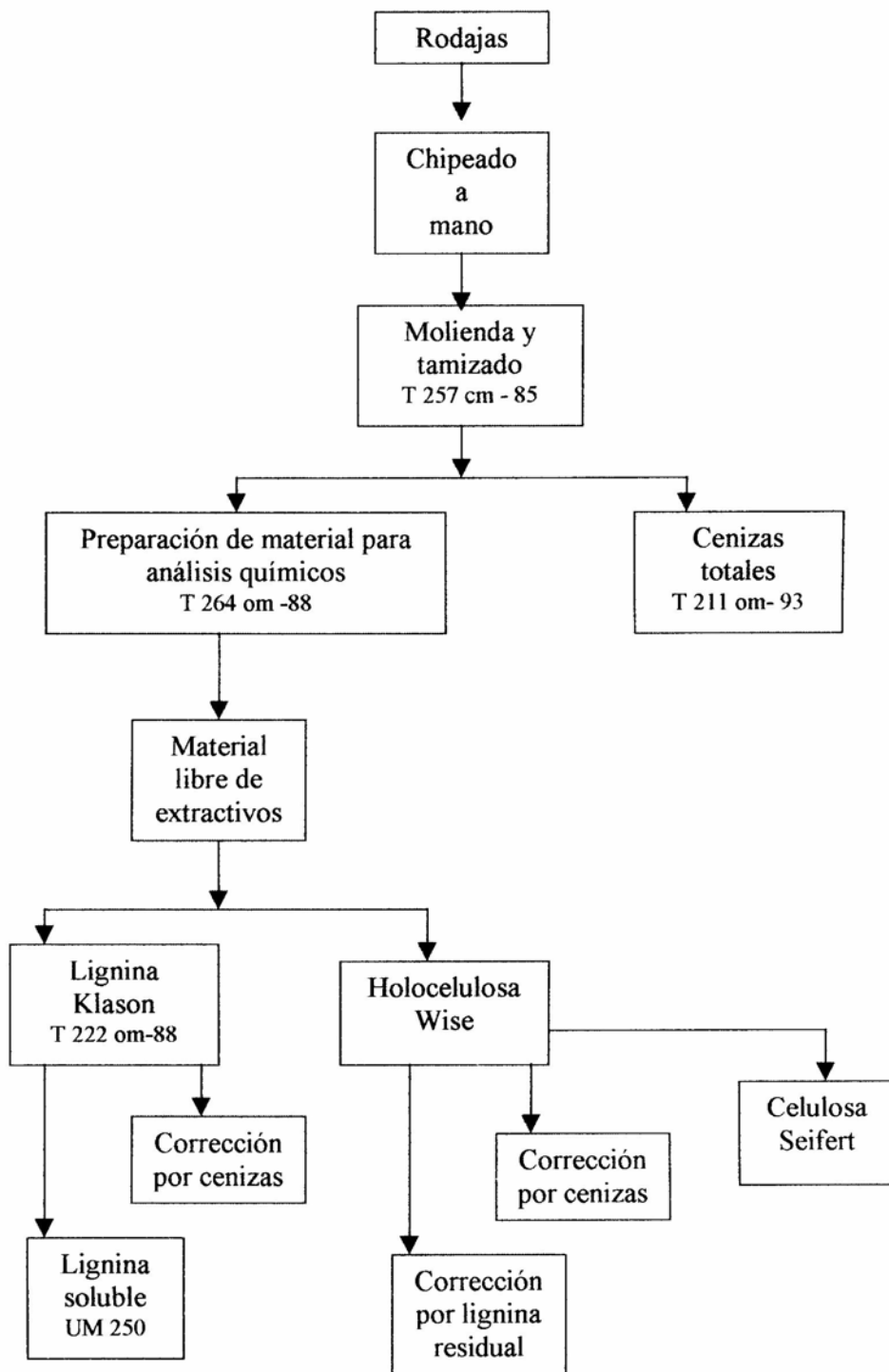


Fig. 5.2: Metodología empleada para análisis químicos de *Taxodium distichum*

En primer lugar, para realizar los análisis químicos la madera debe molerse a un tamaño de partícula que permita la completa reacción de la misma con los reactivos usados. Se muelen pequeñas porciones en molino Wiley, siguiendo la Norma Tappi 257 cm-85, primero con una malla gruesa, para luego utilizar la malla 40, tamizar y remoler la porción más gruesa, hasta obtener la cantidad total de material que pase el tamiz de 40 mesh, sin fraccionamiento adicional. El material fino puede contener una cantidad desproporcionada de algunos constituyentes de la madera y su extracción puede alterar la composición química cuando se la analice.

- ✓ **Cenizas totales:** A menudo no se incluye en el análisis sumativo el contenido de cenizas, por ser pequeño y la corrección trivial frente a la incertidumbre de otros análisis. La norma Tappi T 211 om-93, realiza la combustión a 525°C, asignando como cenizas al porcentaje de material no-celulósico presente en la madera, material mineral y metales.

- ✓ **Preparación de material libre de extractivos:** Los extractivos son materiales solubles en solventes neutros, y se extraen antes de algunos análisis químicos pues pueden interferir con ellos y no se consideran parte de la sustancia madera. Según la norma Tappi T 264 om-88, se utiliza la mezcla etanol-benceno, seguida de la extracción con etanol y finalmente agua caliente, para la preparación de material libre de extractivos, punto de partida para las determinaciones siguientes. La norma Tappi T 204 cm-97 menciona que la extracción con etanol-benceno es más completa que la con dicloro metano (DCM), ya que además de las sustancias eliminadas con dicho solvente (grasas, ceras, resinas, taninos, etc), se extraen otros componentes insolubles en DCM, tales como carbohidratos de bajo peso molecular, sales y otras sustancias solubles en agua.

- ✓ **Lignina ácido insoluble (Klason):** según la norma Tappi T 222 om-88, se define como lignina Klason, al constituyente de la madera insoluble en ácido sulfúrico al 72 %. Los carbohidratos son completamente hidrolizados y la lignina se obtiene como residuo insoluble luego de filtrar, secar y pesar.

- ✓ **Lignina soluble:** en la determinación de lignina Klason, algo de lignina se disuelve en la solución ácida. La norma T 222 om-88 menciona que para

softwoods es una cantidad pequeña (0,2 a 0,5 %). A partir de un Useful Method de Tappi (UM 250) puede determinarse la lignina soluble en el filtrado proveniente de Klason, mediante un método espectrofotométrico basado en la absorción en la región ultravioleta a 205 nm. La suma de la lignina soluble e insoluble da la lignina total.

- ✓ **Holocelulosa Wise:** se conoce como holocelulosa a la fracción total de carbohidratos, es decir celulosa más hemicelulosas. Ella se prepara por oxidación de la lignina con clorito de sodio en medio ácido, a 70-80°C, repitiendo el tratamiento las veces que sea necesario de acuerdo a la materia prima, de modo que el contenido de lignina residual (determinado luego) esté entre el 2 y 4 %. No son convenientes niveles menores de lignina, ya que trae aparejado pérdidas en la fracción de polisacáridos a cuantificar. Por lo tanto, es necesario la corrección del valor de holocelulosa por lignina residual y cenizas.

- ✓ **Celulosa Seifert:** a partir de holocelulosa se trata la muestra con una mezcla caliente de ácido clorhídrico, acetilcetona y dioxano, luego se lava con una serie de solventes (metanol, dioxano, agua caliente y éter), hasta conseguir un producto casi blanco, de celulosa.

5.2 Aspectos morfológicos

5.2.1 Identificación de género y especie: como árbol y como pulpa.

La identificación de género y especie de la materia prima evaluada se realiza por comparación de características con Atlas de fibras (26, 32), y por seguimiento de claves de identificación apropiadas, que permitan la diferenciación entre especies. Dichas claves se muestran en el Anexo I.

La identificación en pulpa se realiza por observación al microscopio de los elementos fibrosos, características de forma y tipo de presentación de puntuaciones, y por comparación con Atlas de fibras y bibliografía relacionada al estudio microscópico, y la norma Tappi 263 om-93.

5.2.2 Caracteres estéticos

La observación de los caracteres estéticos se realiza sobre el microscopio óptico con luz transmitida, en pomas de madera pulida.

5.2.3 Observación de caracteres macroscópicos

Para observar la estructura macroscópica de esta madera, se pule la superficie de una poma de madera con pulidora mecánica y luego con lijas de granulometría cada vez más fina. La superficie pulida se observa al microscopio con luz reflejada, aunque también podría usarse una lupa con aumento de 10 X.

5.2.4 Preparación de cubos de madera para obtención de cortes micrométricos

Para realizar cortes en micrótopo la madera debe estar convenientemente ablandada. La técnica utilizada, recomendada por Hillton (28), consiste en aplicar a la madera tratamientos sucesivos en agua hirviendo y fría, con el objetivo de acelerar la impregnación, hasta observar que el cubo de madera se hunde, es decir que está completamente impregnado. Las muestras así tratadas se guardan en una solución de partes iguales de glicerina y alcohol etílico, que permite su conservación y continúa el ablandamiento.

A partir de estos cubos se realizan cortes micrométricos, en las direcciones transversal, longitudinal radial y longitudinal tangencial, utilizados en las determinaciones que se detallan a continuación.

5.2.5 Observación de cortes

A partir de los cubos de madera ablandada, con la ayuda de un bisturí, se realizan cortes delgados en las direcciones mencionadas, y se tiñen con safranina con el sólo objeto de lograr mayor contraste en la observación. El examen microscópico de la madera se realiza con microscopio de luz transmitida, con mayor o menor aumento de acuerdo a lo que se desea observar.

5.2.6 Medición de espesor y diámetro de pared fibrosa

A partir de cortes transversales efectuados de la manera indicada anteriormente, se miden simultáneamente espesor y diámetro de pared celular. También se sacan fotos de dichos cortes.

Para la determinación de espesor de pared, se trabaja con el microscopio óptico del PROCYP, con un ocular de 10X y un objetivo de 40X, lo que equivale a decir que una división de la pantalla corresponde a 1,58 μm , procesando los datos con una planilla de cálculo.

La determinación de diámetro de pared se realiza en forma simultánea a la medición de espesor de pared, en las direcciones de los ejes mayor y menor de la fibra. Se trabajará con el microscopio óptico del PROCYP, con el mismo juego de ocular y objetivo mencionados en el párrafo anterior.

5.2.7 Preparación de disociados

Siguiendo el método recomendado por Hillton (28), pequeñas astillas se calientan a reflujo en una mezcla de ácido acético y agua oxigenada, que elimina la lignina completamente y libera las fibras individuales. El tiempo de tratamiento es variable según la materia prima en estudio. Las astillas tratadas se lavan con agua para eliminar los solventes, y se deja secar la mata fibrosa obtenida, que servirá como punto de partida para la obtención de suspensiones de los elementos fibrosos.

5.2.8 Determinación de longitud de fibra

Según Isemberg (30) y Hillton (28), a partir de un disociado se prepara una suspensión de fibras de concentración adecuada, se siembran portaobjetos, que se dejan secar al calor suave (50°C), agregando luego una gota de glicerina al 10 % y con la ayuda de agujas se alinean las fibras entre sí en forma paralela, se coloca un cubreobjeto y se mide la longitud de fibra eligiendo un juego de ocular y objetivo adecuado, en la pantalla graduada del microscopio.

Esta técnica si bien es larga y tediosa, no precisa de material costoso y da resultados de baja desviación. Se calcula una longitud de fibra promedio ponderada

por longitud, según la norma Tappi T 232 obteniéndose también la distribución de frecuencia, y otros parámetros estadísticos.

5.2.9 Cálculo de coeficientes y comparación con especies papeleras

La **relación de flexibilidad** se calcula como el cociente de la dimensión del lumen (es decir la diferencia entre el diámetro exterior y el doble del espesor) dividido el diámetro exterior, en por ciento. El **coeficiente de Runkel** está dado por la relación del doble del espesor de pared al lumen, también en %. La capacidad fieltante o **Fieltrabilidad**, está definida como la relación de longitud de la fibra a diámetro exterior (o ancho de fibra).

5.2.10 Determinación de densidad de madera

Es el peso de la sustancia madera por unidad de volumen, y se expresa en g/cm^3 . La densidad básica es un parámetro artificial que se define para medir el peso en estado completamente seco (a estufa) y el volumen en estado completamente saturado en agua, según norma Tappi T 258 om-94.

A partir de tres rodajas de la madera, se cortan cubos, que se humectan en agua corriente. Una vez saturados en agua (aproximadamente 15 días), se elimina el agua excedente con un papel secante, y se mide el volumen desplazado de una probeta graduada con agua. Luego se colocan en estufa hasta sequedad completa, en que se pesan.

5.3 PULPADO KRAFT

5.3.1 Equipos utilizados

Digestor : el digestor utilizado para la obtención de pasta a partir de materiales celulósicos, ubicado en la planta piloto de la Facultad de Ingeniería Química de la UNL, es un reactor multipropósito rotatorio cilíndrico horizontal, con capacidad de 35 l, y se muestra en la Foto 5.1.

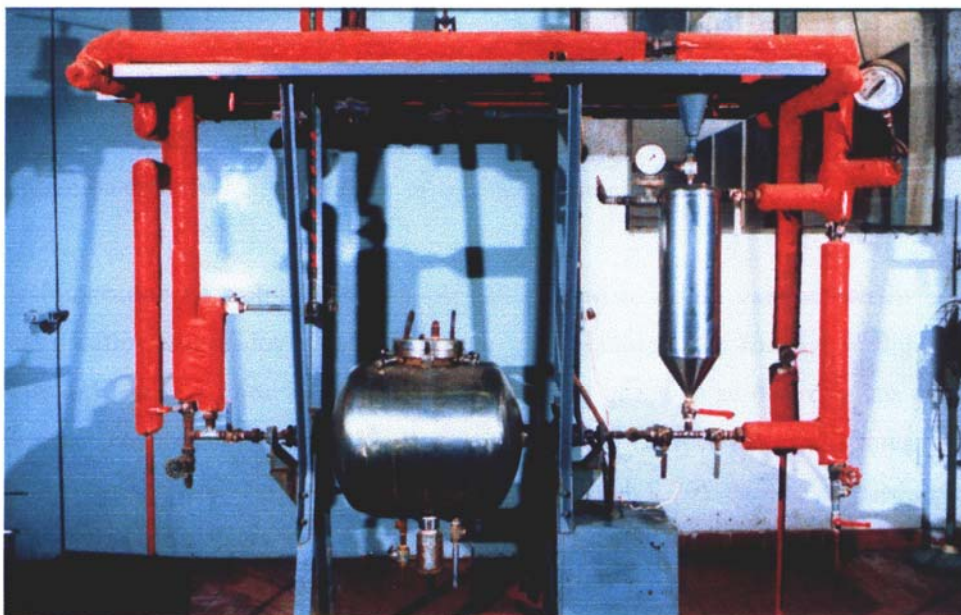


Foto 5.1: Digestor utilizado para producción de pulpa Kraft

Se calefacciona con vapor de inyección directa a la cámara de reacción, y por camisa. Está construido con material AISI 316, gira a 1,23 r.p.m., y cuenta con dos alimentaciones reguladas de vapor, tanto para la camisa como para la cámara; ésta última cuenta con un sensor a termorresistencia PT 100 con salida digital remota. Adicionalmente cuenta con un tanque auxiliar para inyección de reactivos cuando el reactor ya está presurizado, y con una válvula de descarga que permite sacar muestras durante el transcurso de la digestión.

Hidrapulper piloto Black Clawson: es un equipo perteneciente a la planta piloto de la FIQ de la UNL, equipo básico para repulpado de papel usado, discontinuo, con una consistencia máxima de trabajo de aproximadamente 4–5 %.

Consiste de un tanque con rotor vertical tipo Vortex de 150 l de capacidad, de acero inoxidable AISI 316, con transmisión por correa y polea conducida doble cono para regulación de velocidad por variación de distancia entre ejes. Cuenta con un motor trifásico de 7,5 HP 1440 r.p.m. con conexión estrella.

Zaranda de clasificación Valley: zaranda de suspensiones fibrosas con placa ranurada de distintos calibres. Posee un sistema hidráulico de leva que mueve el diafragma para mantener siempre limpias las ranuras de clasificación. Retiene agrupaciones fibrosas (shives) de pastas. Puede ser usada para la clasificación y/o separación de rechazos, tanto de pulpa química como mecánica.

Desintegrador de pulpa estándar (British): consiste de un vaso cilíndrico con cuatro baffles espiralados atravesados en su pared interior, que formará el flujo de líquido. El vaso se encaja de modo que un agitador quede en su centro, a una dada distancia del fondo. Se le puede asignar un número de revoluciones o tomar un tiempo de agitación. En la Tabla 1 de la norma Tappi T 205 om-88, se puede ver especificaciones y tolerancias para un desintegrador estándar.

5.3.2 Metodología para la obtención de pulpa Kraft.

Se cargan los chips a temperatura ambiente y se cierra el digestor. Se ventea por algunos segundos con vapor de baja presión. Se realiza un prevaporizado a 120°C por espacio de 15 min. Se inyecta el licor (el registrador acusa un leve y momentáneo descenso de la temperatura) y se procede a la trepada de temperatura desde 120°C a la temperatura de cocción elegida, 170°C en este caso, en un lapso de 30 min.

Se calcula el factor H al momento de llegar hasta la temperatura de régimen, y el tiempo necesario a temperatura máxima. Se mantiene a esa temperatura hasta cumplir con el factor H de consigna. Se extraen muestras de licor en tiempos intermedios.

Finalmente, se enfría el digestor exteriormente, se descarga y lava rápidamente, recogiendo la pasta obtenida en una bolsa de tela. Se centrifuga para cortar la reacción, eliminando la mayor cantidad de licor contenido en la pasta, luego se lava en el hidrapulper a baja consistencia y se vuelve a centrifugar. Se pesa para calcular el rendimiento de digestión. Se titulan los licores intermedios y final.

5.3.3 Preparación del licor de cocción

El licor blanco de Kraft se prepara en laboratorio a partir de las drogas sólidas en forma separada, ellas se titulan para conocer su concentración exacta y luego se mezcla una parte de cada una en una proporción establecida por cálculos, con el objeto de cumplir con la concentración de álcali activo y sulfidez elegidas para la cocción. Se prepara un volumen de licor en exceso, de modo de contar con licor de la misma concentración para corridas posteriores.

En primer lugar, es necesario calcular las masas de Alkali Activo (AA), NaOH y Na₂S para un total de 3000 g de madera (3 cargas de chips al digestor). Como las drogas utilizadas en la preparación de las soluciones son de grado técnico, se afecta la masa por la pureza. Se pesa entonces la cantidad calculada para cada droga, se disuelven en agua a temperatura ambiente, y luego de una completa disolución, se titulan ambas. En el Anexo II se puede encontrar en forma más detallada, los cálculos efectuados para la preparación de este licor.

5.3.4 Cálculos para las digestiones

- **Cálculo de sequedad de los chips de madera**

Se pesa una muestra de chips de madera antes y después de colocar en estufa a 105°C durante 24 h o hasta sequedad constante. La determinación se realizó por duplicado. En el Anexo II se incluye un ejemplo del cálculo, y el mismo procedimiento se aplica cada vez que es necesario conocer la humedad que posee la muestra.

Sequedad de los chips de ciprés calvo: 0,885 gs/gh

- **Cálculo de volúmenes para la primera experiencia de pulpado**

M chips SS= 1000 g	Seq= 0,885	M chips húm= 1130 g
Licor blanco: AA= 81,03 g/l	V licor= 3,085 l	
S= 25,8 %		

Seq Vaporado= 0,76

L:M= 5: 1

V total= 5,0 l

$$\text{H}_2\text{O de vaporado} = 1000 \times (1 - 0,76) = 240 \text{ ml}$$

$$\text{V H}_2\text{O a agregar} = 5000 - (3085 + 240) \text{ ml} = 1675 \text{ ml}$$

De igual manera, este cálculo se efectúa para la segunda etapa de digestiones.

- **Cálculo de factor H durante la cocción y del tiempo a temperatura máxima.**

Durante la trepada, el objetivo es pasar de 120°C a 170°C en treinta minutos, en nuestro caso. Por ello, la temperatura teórica se calcula de modo que dicha subida de temperatura sea gradual. Se anota la temperatura real, como la que se obtiene en la práctica. Aplicando fórmulas, se calcula $K_{(t)}$ como una función de la temperatura, y luego se va integrando para obtener el factor H acumulado.

Una vez alcanzada la temperatura máxima, a la cual se va a llevar a cabo la digestión, se calcula el tiempo a temperatura máxima para cumplir con el factor H de consigna (2000 y 3000). Un ejemplo de cálculo puede verse con detalle en el AnexoII.

5.4 CLASIFICACIÓN DE LAS PULPAS OBTENIDAS

Para clasificar las pulpas Kraft obtenidas en las experiencias de pulpado, 25 g secos de pasta se desintegran en el British durante 12-15 min, y se pasan por la zaranda Valley durante 30 min, a caudal estándar, utilizando en nuestro caso una placa ranurada con aberturas de 10 milésimas de pulgada. Al finalizar, se colocan los rechazos en un recipiente tarado y se llevan a estufa para obtener su peso seco, referirlo al peso de pasta entera y calcular el % de rechazos de la pasta obtenida.

5.5 REFINO

5.5.1 Equipo utilizado para el refino: PFI

El PFI es un equipo de refino estándar de laboratorio, que consta de una carcaza dentro de la cual gira un cilindro provisto de 33 barras metálicas, y de una carga para dar la presión de batido. Tanto el cilindro como la carcaza de batido (lisa) giran en la misma dirección, pero a velocidades periféricas diferentes, con una

diferencia de 6,0 m/s, cuando rota sin resistencia. Según la norma SCAN C 24:67, este equipo trabaja a una consistencia del 10 %, y permite cargar 30 g de pasta seca.

5.5.2 Metodología para el refinado de pastas Kraft

Una porción de 30 g de pulpa, llevada al 10 % de consistencia con agua, se carga en el PFI, se refina durante un tiempo o un número de revoluciones determinado, midiendo simultáneamente la energía consumida a través de un vatímetro incorporado al PFI. Previamente, se realiza la lectura del consumo de energía en vacío del equipo, y se realiza la regresión lineal de los datos. Esto puede comprobarse antes y/o después de realizar el refinado.

Se grafica el nº de revoluciones del PFI en función de la lectura en vacío. El valor obtenido de la recta es el que se utiliza a los fines de calcular la energía entregada en el refinado de la pasta. El consumo de energía específica se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Energía (kWh/t)} = \frac{(\text{E. Lectura} - \text{E. Vacío}) \times 2 \times \sqrt{3} \times 1000}{\text{Masa pasta}}$$

Donde E. Lectura = es el valor leído al refinar
 E. Vacío = es el obtenido en vacío por la curva de regresión
 Masa pasta = 30 g secos
 2 y $\sqrt{3}$ = constantes del vatímetro

5.6 EVALUACION DE LA COCCION Y PROPIEDADES DE LAS PULPAS

5.6.1 Análisis de los licores de cocción

Para el análisis de control tanto de licor blanco como de licor negro residual, se realiza una valoración siguiendo procedimientos estándar (Normas Tappi 624 cm-85 y 625 cm-85). Se pueden utilizar indicadores (fenolftaleína) o peachímetro, más útil debido al color oscuro del licor negro.

La técnica utilizada consiste en pipetear 10 ml de licor en un vaso de precipitado de 150 ml, diluir con 40 ml de agua destilada y agregar 10 ml de solución de cloruro de bario neutralizado al 20 %. Realizar la prueba del ácido sulfúrico diluido, para verificar la ausencia de carbonatos. Titular con ácido clorhídrico 0,5N hasta $\text{pH} = 9,1$. Anotar el volumen gastado hasta ese pH . Inmediatamente, agregar 5ml de formaldehído neutralizado, esperar 30" y continuar titulando, sin llenar la bureta, hasta $\text{pH} = 8,3$. Anotar el volumen total gastado.

Las drogas puras se titulan con HCl 1N, mientras que el licor blanco se titula con ácido 0,5 N. En el Anexo II se puede encontrar en forma más detallada los cálculos efectuados para la titulación de este licor, a continuación de los datos de su preparación.

De acuerdo a las condiciones elegidas para la digestión, se toma un volumen calculado de este licor, que contenga la carga elegida de álcali activo. Para cumplir con la relación de licor a madera seleccionada, se debe tener en cuenta la sequedad de los chips, que contienen algo de agua en su interior, y el agua que se introduce durante el vaporizado (este valor se encuentra calculado de corridas previas realizadas en el digestor de nuestra planta piloto). Descontando ambas, se calcula el volumen de agua pura a añadir para alcanzar el volumen total.

Antes de cada experiencia de pulpado, el licor se vuelve a titular, de modo de conocer su concentración exacta, y de la misma forma se calcula el volumen a tomar para cumplir con las condiciones elegidas para dicha digestión.

Durante la primera etapa de digestión, se extrajeron las siguientes muestras de licor:

- 1- luego de la trepada hasta temperatura máxima (30 min)
- 2- correspondiente a un tiempo intermedio a temperatura máxima (aproximadamente 1,5 h del inicio del ciclo), y
- 3- al finalizar el ciclo de cocción (licor residual).

mediante una valoración por retorno, y según la norma Tappi T 236 cm-85, se define el N° Kappa como el volumen en ml de permanganato de potasio 0,1 N consumido por un gramo de pulpa libre de humedad. El N° Kappa se relaciona linealmente con el contenido de lignina Klason de la madera, mediante la ecuación:

$$\% \text{ lignina Klason} = \text{N}^\circ \text{ Kappa} \times 0,13$$

La muestra consiste de hojitas de ensayo formadas con pulpa Kraft depurada que se dejan secar al aire y luego se rompen manualmente en pequeños trozos. El N° Kappa se calcula como se indica a continuación:

$$p = (b - a) N / 0,1 \qquad \text{N}^\circ \text{ Kappa} = p \times f / w$$

donde b= cantidad de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ consumido en la determinación del blanco en ml

a= cantidad de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ consumido por la muestra, en ml

N= normalidad del $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

p= cantidad de KMnO_4 0,1 N realmente consumido por la muestra, en ml

f= factor para corregir a 50 % el consumo de KMnO_4 0,1 N, según el valor de p (Tabla 2 de la norma Tappi)

w= peso seco de la muestra ensayada, en gramos

Esta determinación se lleva a cabo para las pastas obtenidas en las dos digestiones Kraft, antes y después de su depuración.

5.6.4 Determinación de lignina Klason en pulpa

Se realiza la determinación de lignina Klason en pulpa según la norma Tappi 222 om-88, partiendo de hojitas que se dejan secar al aire, se trozan y muelen en molino Wiley, tomando la fracción que pasa 20, tratando con 40 ml de ácido sulfúrico y llevando luego a un volumen de 1540 ml.

Con esta determinación se intenta corroborar el valor de lignina residual obtenido por cálculo a partir del N° Kappa, por comparación del obtenido directamente por la determinación de lignina Klason.

5.6.5 Determinación de la drenabilidad de pulpas

El ensayo de drenabilidad de la pulpa por el método Canadian Standard Freeness (CSF), da una medida de la velocidad a la cual drena una suspensión de pulpa bajo condiciones arbitrariamente normalizadas: 3 g de pulpa en 1 l de agua, a 20°C (norma Tappi 227 om-85). Se completa esta determinación para cada punto de las curvas de refinado de las pulpas obtenidas.

Se pesa una muestra de pulpa y se diluye de modo de obtener una consistencia del 0,3 %. Se mide el CSF y se anota la temperatura del ensayo. Con la misma muestra se forma una hoja, que se lleva a estufa y se pesa una vez seca, para conocer la consistencia exacta del ensayo. Existen tablas de corrección que permiten obtener el valor de la drenabilidad cuando las condiciones difieren de las normalizadas.

5.6.5 Evaluación de propiedades físicas

Se forman hojas de laboratorio, tanto a partir de una suspensión de las pulpas Kraft como de las de mecánica, con el propósito de llevar a cabo ensayos mecánicos y ópticas con ellas, según la norma Tappi 205 sp-95.

Se desintegra pasta suficiente para formar hojas de 60 g/m², se vierte en la formadora un volumen medido del stock, se agita y se deja drenar. La hoja húmeda se levanta con secante húmedo y una pesa y se va formando una pila con todas las hojas. Las hojas se prensan y luego se secan en ambiente acondicionado. Tanto la humedad relativa como la temperatura a la que se realicen los ensayos, tienen influencia significativa sobre los resultados de las propiedades físicas medidas. Por ello, las hojas de ensayo se acondicionan en un ambiente de humedad y temperatura controladas, según norma T 402 om-88. Se detallan a continuación las propiedades medidas, según la norma T 220 sp-96, salvo para la determinación del desgarrado, que se realiza según la norma SCAN P11.

- **Gramaje**

El gramaje o masa laminar es la masa por unidad de superficie de una hoja de papel. Normalmente se expresa en gramos por metro cuadrado, g/m². La determinación se realiza pesando una superficie perfectamente conocida del papel, y se calcula con la fórmula:

$$\text{Gramaje} = m / (A \times n)$$

Donde m = masa de la muestra acondicionada, en g

A = área de la muestra, en m^2

n = número de hojas

- **Espesor**

El espesor es la distancia entre las caras del papel, medida en condiciones normalizadas. Es una de las medidas más difíciles de realizar en forma precisa, y la que mayor variación puede presentar como consecuencia de oscilaciones en condiciones ambientales. Se mide con un micrómetro, sobre una pila de hojas en distintos lugares establecidos al azar sobre la superficie de la hoja, a una determinada presión mecánica.

- **Densidad aparente**

La densidad aparente de un papel, expresada en gramos por centímetro cúbico es la relación entre el gramaje y el espesor.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{Volumen aparente}} = \frac{\text{masa}}{\text{superficie} \times \text{espesor}} = \frac{\text{gramaje}}{\text{espesor}}$$

- **Resistencia a la tracción**

Es la resistencia límite de una probeta de papel sometida a un esfuerzo creciente, de tracción en cada extremo, bajo condiciones de ensayo normalizadas. La carga de rotura se expresa en kN por metro, (ancho de la probeta 15 mm).

- **Desgarro – SCAN P 11**

Se determina el trabajo requerido o la fuerza media para continuar el desgarro de una hoja de papel de dimensiones y bajo condiciones normalizadas. Se emplean varias probetas a fin de obtener una lectura en el medio de la escala, se realiza un corte que luego se continuará al soltar el péndulo. Para poder comparar resistencias al desgarro de papeles de gramajes diferentes, se acostumbra a emplear el Índice de desgarro.

$$\text{I.D.} = 100 \times R / \text{gramaje}$$

donde R es la resistencia al desgarro en gramos – fuerza.

- **Ring Crush Test (RCT) T 822 om-93**

Característica decisiva para papeles componentes del cartón ondulado, es una medida de la resistencia a la compresión de canto, y se realiza colocando una probeta en un anillo, entre los planos de un compresómetro. Se anota la carga máxima por unidad de longitud que resiste (kN/m). Este ensayo se ve notablemente afectado por el contenido en humedad del papel.

- **Concora Medium Test (CMT) T 809 om-93**

Este ensayo es específico sobre el papel para ondular. El nombre del ensayo corresponde a la empresa que desarrolló y normalizó el ensayo. El mismo consiste en ondular una probeta en una onduladora de laboratorio, pegarla a una cinta adhesiva para simular un cartón simple, y someter la muestra a un ensayo de compresión en plano mediante un compresómetro.

Se mide el esfuerzo necesario (N) para aplastar las 10 ondas. El CMT depende del gramaje de los papeles y de la calidad de la composición fibrosa. Está relacionado con la resistencia a la compresión en plano, con la rigidez y el módulo elástico. Debe especificarse el tiempo en que se realiza el ensayo, es decir si se ensaya inmediatamente, o se espera 30 o 60 min (CMT₀, CMT₃₀ o CMT₆₀).

- **ISO Brightness T 452 om-92**

Se mide la blancura del papel mediante la reflectancia de una pila de hojas, en comparación con la reflectancia de un estándar como sulfato de bario, utilizando un instrumento estandarizado, a 457 nm de longitud de onda.

- **Coefficiente de Scattering**

Para calcular el coeficiente de Scattering, se mide el valor de R_0 y R_{∞} , en una hoja y una pila de hojas respectivamente, ésta última suficiente como para que no ocurra variación en la lectura cuando se añaden más hojas a la misma, determinando además el gramaje acondicionado.

Los resultados obtenidos de los ensayos mencionados se procesan en una planilla de cálculo. Se tabulan los valores promedio para cada punto de las curvas de refinado de las pulpas K2000 y K3000, obtenidas en las dos digestiones Kraft. En el Anexo IV puede verse una planilla de ensayo como ejemplo de un punto en la curva de refinado.

5.6 PULPADO MECANICO

5.6.1 Equipo: Refinador de discos Sprout Waldron

El Sprout Waldron de 12" de diámetro de nuestra planta piloto, consiste de dos discos de eje horizontal, uno de ellos fijo, con una abertura a través de la cual pasa el material a desfibrar. El otro, giratorio, es desplazable a lo largo del eje para ajustar la separación entre discos en forma mecánica, con una precisión de 0,001", y está acoplado a un motor trifásico de 30 kW, con arranque estrella-triángulo. El juego estándar de discos estático y motorizado, identificados como NH con diseño D2 A 505, están diseñados para trabajar en estas condiciones. El equipo se muestra en la Foto 5.2, a continuación.

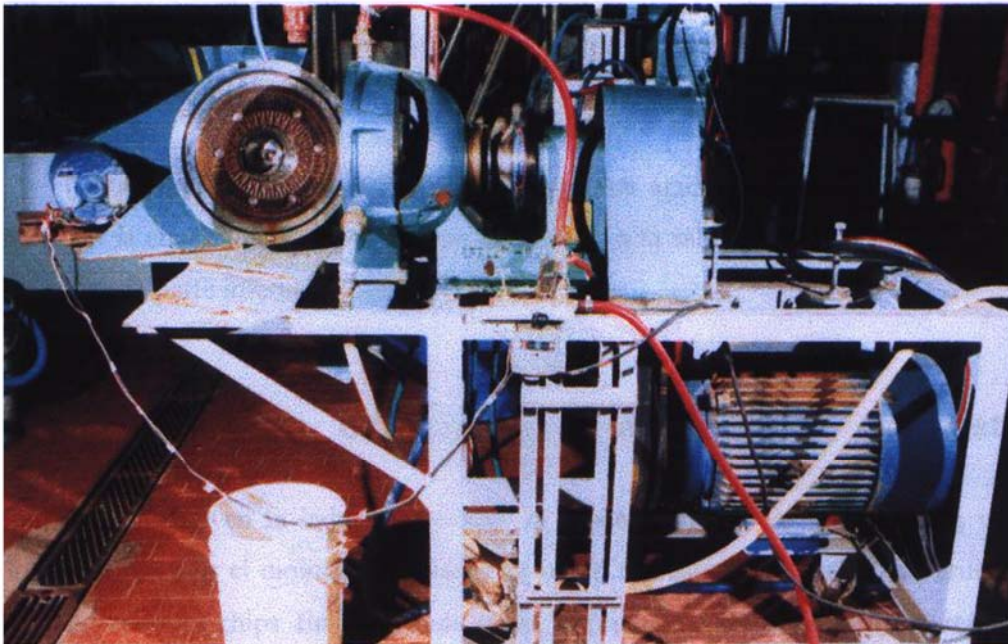


Foto 5.2: Refinador de discos Sprout Waldron

La introducción de los chips se efectúa en una tolva adosada al equipo, que posee un alimentador a tornillo hasta el ojo abierto del refinador. Esta operación se realiza en forma manual, permitiendo variar la velocidad de entrada.

Las barras van haciéndose más angostas, más cercanas y menos profundas, desde el centro hacia la periferia de los discos. En la Tabla siguiente se indican las dimensiones de las barras en mm, para las zonas interior, media y exterior del disco.

Tabla 5.1: Dimensiones de las barras de los discos del Sprout Waldron.

Zonas	Ancho de barra (mm)	Profundidad de la barra, (mm)	Separación entre barras, (mm)
Interior	5.0	3.0	4.0
Media	2.6	2.5	3.0
Exterior	2.0	1.3	0.75

La introducción de los chips se efectúa en una tolva adosada al equipo, que posee un alimentador a tornillo hasta el ojo abierto del refinador. Esta operación se realiza en forma manual, permitiendo variar la velocidad de entrada.

Trabaja a presión atmosférica. Se suministra agua al ojo del refinador para controlar la consistencia y temperatura de la pulpa a la salida. La pasta producida se recibe por la parte inferior del equipo.

5.7.2 Metodología utilizada para la obtención de pasta mecánica

Es común en la industria, realizar al proceso en dos etapas, es decir, una primer pasada por el molino, con discos de modo de realizar un desfibrado grueso, desintegrando los chips. En la segunda etapa, se produce el desfibrado final y refino, consiguiéndose así en parte preservar las fibras de los cortes propios de la operación mecánica.

En nuestro caso, los chips de ciprés calvo se humectan completamente. Se realiza una primer pasada con una separación entre discos de 0,040", y la misma pasta se vuelve a pasar con una separación menor, de 0,025". En ambos casos, se mide la energía consumida en el desfibrado en forma continua con un medidor de potencia activa trifásica.

Esta pasta, sólo desfibrada, se clasifica en zaranda Valley, generándose dos fracciones: pulpa aceptada y rechazos de la clasificación, que se vuelven a pasar por el molino, con una separación de discos de 0,015" la primer pasada y 0,008" la segunda pasada. Esta fracción se clasifica nuevamente en la zaranda, donde prácticamente se obtiene todo aceptado, y entonces se mezcla con la pulpa aceptada obtenida en la primera clasificación.

Se somete a la pulpa así obtenida, cuya drenabilidad inicial medida como CSF es elevada (CSF =235 ml), a sucesivas pasadas por el molino de discos, con extracción de muestras para monitorear la evolución de la drenabilidad de la misma, hasta obtener una drenabilidad final algo inferior a 100 ml. El esquema que se muestra a continuación ilustra esta secuencia de trabajo (Fig. 5.3).

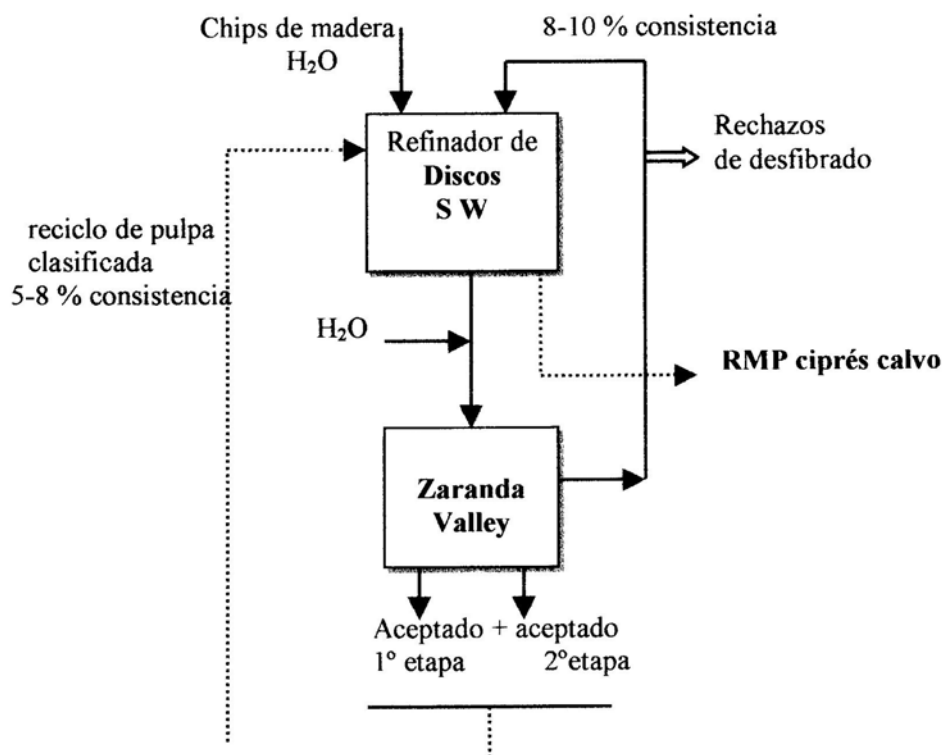


Fig. 5.3: Secuencia de obtención de pasta RMP de ciprés calvo

Los distintos valores de energía específica se miden con un dispositivo adosado al refinador que capta variables eléctricas cada 2-3 segundos para motores trifásicos

(3 Phase Energy Analyzer), marca EL CONTROL modelo VIP 3 y las envía mediante un adaptador RS 232 a una PC, en forma matricial.

Estos datos se procesan con una planilla de cálculo, reduciendo al mínimo los tiempos de funcionamiento en vacío uniendo las diferentes pasadas que reflejan la misma operación. Por cálculo, con la potencia instantánea neta, se obtiene la energía neta y la acumulada consumida durante la experiencia como la integral bajo la curva Potencia activa neta vs. Tiempo. Este mismo programa permite luego mostrar las relaciones anteriores de tiempo, Potencia activa neta y Energía acumulada, en forma gráfica.

5.7.3 Clasificación de las pastas desfibrada y refinada

La clasificación de las pastas se lleva a cabo en un clasificador Bauer McNett, según norma Tappi 233 cm-95, utilizando los tamices 30, 50, 100 y 200 para cada uno de los respectivos compartimentos.

Se clasifican las pulpas, y se evalúa la drenabilidad de las mismas en los puntos inicial e intermedios y final, midiendo Canadian Standar Freeness. Se forman hojas de ensayo, con el objetivo de medir las propiedades ópticas y físicas desarrolladas, para cada punto de drenabilidad obtenida.

CAPITULO 6

RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Análisis Químicos de *Taxodium distichum*

En la Tabla 6.1 se presentan los resultados obtenidos de la caracterización química del ciprés calvo, expresándose como promedio de las determinaciones realizadas.

Tabla 6.1: Resultados de análisis químicos de *Taxodium distichum*

Análisis químicos	
Resultados	
Extractivos totales (A)	3,8 %
Cenizas totales (B)	0,4 %
Lignina Klason	31,8 %
Lignina soluble	0,3 %
Lignina total (C)	32,1 %
Holocelulosa Wise (D)	65,0 %
Celulosa Seifert	38,0 %
<i>Análisis sumativo =</i> (A + B + C + D)	<i>101,3 %</i>

El dato más sobresaliente es el elevado contenido de lignina de la materia prima en estudio.

Con la misma intención de investigar la adaptabilidad de *Taxodium mucronatum* para pulpa y papel, Guha y Gupta (29) llevaron a cabo un análisis químico aproximado, con los siguientes resultados finales (Tabla 6.2):

Tabla 6.2: Resultados de análisis químicos de *Taxodium mucronatum* (29)

Análisis Químicos	
Resultados	
Cenizas	0,41 %
Solubilidad en agua fría	3,07 %
Solubilidad en agua caliente	5,05 %
Solubilidad en NaOH 1%	16,34 %
Solubilidad en alcohol-benceno	2,72 %
Pentosanos	6,13 %
Lignina	33,15 %
Celulosa (Cross and Bevan)	54,50 %

Existen similitudes con el ciprés calvo en lo que se refiere al contenido de cenizas. Con respecto a la determinación de extractivos, en nuestro caso incluye la extracción con alcohol-benceno, alcohol y agua caliente, y comparando el contenido de extractivos para *Taxodium mucronatum*, éste tendría un contenido bastante mayor. De todos modos, la cantidad de material extraíble está muy influenciada por suelo y clima del lugar de crecimiento.

En cuanto al contenido de lignina, si bien el artículo no informa el método de determinación, vemos que esta variedad de *Taxodium* también posee un contenido de lignina mayor que el común de las coníferas, y la cantidad es comparable para las dos especies del mismo género.

Con respecto al contenido de carbohidratos, en nuestro caso determinamos Holocelulosa como la suma de celulosa y hemicelulosas presentes, discriminando posteriormente el contenido de celulosa por el método de Seifert. El método de determinación de celulosa de Cross y Bevan es un método antiguo, que obtiene un resultado de celulosa cruda, sin corrección por cenizas, extractivos y lignina residual, por lo que dicho valor resultaría finalmente menor al informado. De todos modos, la suma de celulosa y pentosanos se acerca al contenido de Holocelulosa del ciprés calvo, cuantificado en este trabajo.

A los fines comparativos, se presentan los resultados de análisis químicos de *Pinus elliottii* y *Pinus taeda* (Tabla 6.3), teniendo en mente que este estudio apunta a investigar la aptitud papelera del *Taxodium distichum*.

Tabla 6.3: Análisis químicos de Pinos en Misiones ^{^(33)}

	<i>Pinus elliottii</i> P. Piray	<i>Pinus taeda</i> P. Piray
Extractivos totales #	6,3 %	5,4 %
Cenizas totales	0,2 %	0,2 %
Lignina total	29,0 %	27,8 %
Holocelulosa Wise	63,6 %	63,2 %
Celulosa Seifert	38,9 %	40,4 %

los extractivos no incluyen la extracción con alcohol.

Comparando los resultados, con respecto a los extractivos podemos decir que si bien estos pinos presentan mayor proporción de material extraíble, están dentro de los valores definidos para la composición típica de una conífera. El valor para ambos pinos es lógicamente mayor ya que estas coníferas son resinosas, a diferencia del *Taxodium distichum*.

Como concluimos con los primeros resultados al inicio de este capítulo, el ciprés calvo presenta un porcentaje algo mayor de lignina en su composición. Este resultado sin ser determinante, está dando ya un indicio, previo a la realización de un pulpado químico, donde el objetivo es justamente la eliminación de la mayor cantidad de lignina posible para alcanzar el punto de liberación de fibra, de que serán necesarias condiciones de mayor tiempo o temperatura de cocción para alcanzar dicho objetivo.

Finalmente, en lo que se refiere a la cantidad de celulosa y holocelulosa, los valores son similares entre las tres especies comparadas.

6.2 Aspectos morfológicos del ciprés calvo

6.2.1 Identificación de género y especie: como árbol y como pulpa.

Siguiendo claves de identificación presentes en la bibliografía, es posible identificar primero el género *Taxodium* (10) y luego la especie (10, 27).

La principal diferencia entre los árboles de *Taxodium distichum* y *Taxodium mucronatum* radica en la pérdida pronta de las hojas del primero, que adquieren una hermosa tonalidad rojiza en el otoño (10).

El rasgo más importante desde el punto de vista identificatorio es justamente esta diferencia en la persistencia de las hojas, que permite clara diferenciación entre ambas especies.

✓ Identificación en pulpa.

Las puntuaciones del área de cruzamiento con parénquima (células radiales) son taxodioides, pequeñas, ovaladas, uniformes en tamaño ($<8\mu\text{m}$), de 1 a 6 por campo (frecuentemente 4 en madera temprana), raramente cupresoides; son más pequeñas que puntuaciones similares en redwood (*Sequoia sempervirens*). Las puntuaciones de fibra son de 1 a 4 hileras verticales (frecuentemente 3 en madera temprana).

La clave de identificación de Hillton (28) lo agrupa con *Sequoia sempervirens*. Pero según la norma Tappi 263 om-93, las puntuaciones de campo de cruzamiento con parénquima de dicha especie son grandes ($>10\mu\text{m}$) a diferencia de los del ciprés ($<8\mu\text{m}$). Además dicha norma menciona que tienen una abertura de puntuaciones de 80° al eje de la fibra (contra $>45^\circ$ de *Sequoia sempervirens*).

Por lo tanto, queda demostrado que, evaluando las características del árbol en cuestión, fácilmente se llega a una identificación correcta en género y especie. En nuestro caso, se aplicó para corroborar el origen ya conocido de la materia prima fibrosa analizada.

La dificultad no se presenta en la identificación de rasgos típicos del *Taxodium distichum*, sino en que el *Taxodium mucronatum* no aparece en las claves de identificación de fibras, ni en los Atlas mencionados

Partiendo de pulpa en cambio, aún sin un conocimiento previo de la especie que la constituye como es en este caso, no existe dificultad de distinguir al ciprés calvo de otras especies como las mencionadas, aún las de características más similares.

6.2.2 Caracteres estéticos

- ✓ **Color:** la albura de *Taxodium distichum* es blanco amarillenta pálida, confundándose gradualmente con el duramen, presentándose de color castaño claro en nuestro ejemplar, si bien puede variar siendo más rojizo.
- ✓ **Olor:** acre o rancio al estado fresco, que luego desaparece. En la bibliografía se menciona que dicho olor no se traslada a los productos alimenticios que se ponen en contacto con esta madera (27).
- ✓ **Veteado:** se observa la disposición de los elementos constitutivos del leño en las superficies longitudinales de una poma o taco de madera bien pulida. Posee un veteado suave a pronunciado.
- ✓ **Brillo:** es la propiedad de algunas maderas de reflejar la luz en las superficies longitudinales. Para el ciprés calvo es suave, y se evidencia sobre todo en el duramen.
- ✓ **Textura:** se refiere al tamaño de los elementos que constituyen el leño, sobre todo los parenquimáticos, siendo en este caso una madera de textura fina y homogénea, ya que no presenta variaciones en toda la superficie longitudinal del leño.
- ✓ **Grano:** es la dirección que toman en el plano longitudinal leñoso, los elementos constitutivos de la madera que están orientados verticalmente. Se observa en los

cortes radiales y tangenciales. Posee un grano derecho y uniforme, aunque otras veces puede ser algo más irregular.

6.2.3 Observación de caracteres macroscópicos

En el ejemplar estudiado se observaron anillos de crecimiento demarcados, estableciendo en 8 años la edad del mismo, el leño de primavera se presenta algo más ancho que el tardío o de verano, este último algo más oscuro, siendo la transición entre ambas zonas más o menos abrupta. Dichos anillos no son perfectamente concéntricos, debido probablemente a cambios en las condiciones climáticas, pero sin llegar a presentar madera de compresión. No se observan canales de resina. Se observa parénquima radial, como hileras finas en la cara transversal.

Además, la bibliografía menciona la presencia de parénquima longitudinal abundante, fácilmente visible a ojo desnudo o con lupa como líneas oscuras a lo largo del grano (27).

6.2.4 Observación de cortes

Los cortes obtenidos a partir de cubos de madera ablandada, son el punto de partida para la realización de las siguientes observaciones:

- ✓ **Corte transversal:** en la siguiente fotografía se muestra material fibroso típico perteneciente al grupo de las coníferas (Fig. 6.1). La transición entre madera temprana y tardía en el anillo de crecimiento se observó abrupta. En la foto sólo se muestra una zona de madera de primavera. Los canales de resina están ausentes. Los radios leñosos se observan más coloreados en la foto, cada 4 ó 5 hileras en sentido transversal.
- ✓ **Corte longitudinal radial:** en este corte, se observan las traqueidas longitudinalmente, y los radios leñosos atravesados, en hileras de 5 mayoritariamente. Se observaron las puntuaciones areoladas de las traqueidas, y en los campos de cruzamiento con los radios leñosos, puntuaciones taxodioides. No se sacaron fotos.

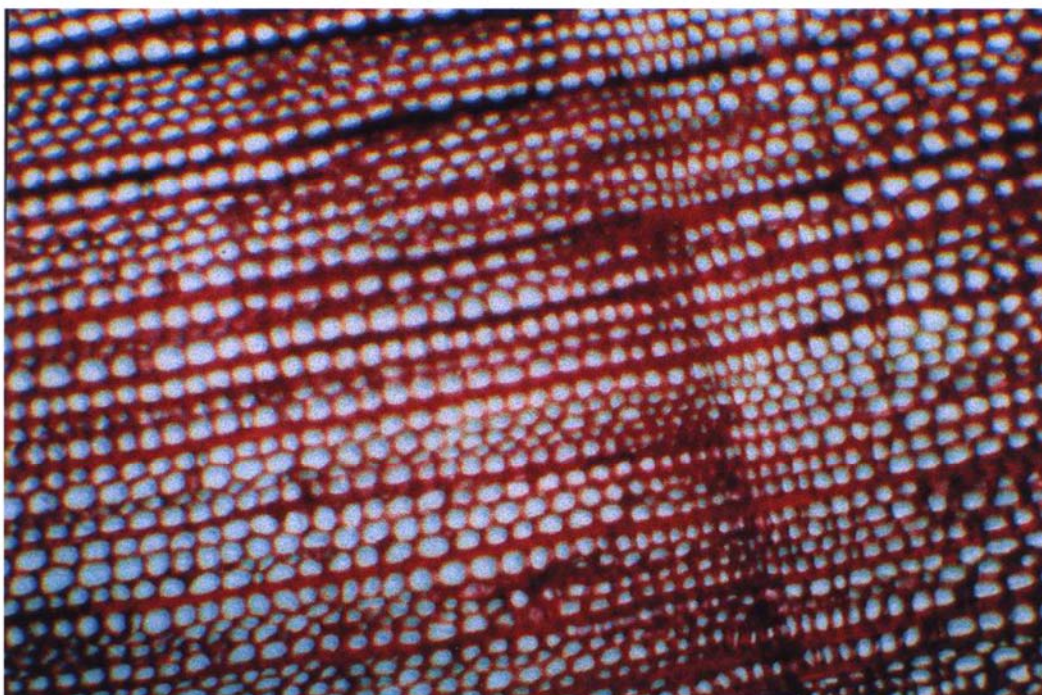


Fig. 6.1: Microfotografía óptica de corte transversal de *Taxodium distichum* (35X)

- ✓ **Corte longitudinal tangencial:** aquí también las traqueidas se observan longitudinalmente, pero por otra cara. En este corte puede identificarse que los radios son uniseriados, y se observan en hileras descendentes. Entre traqueida y traqueida se observa la unión de pares de puntuaciones, abarcando toda la pared en una traqueida de madera temprana. Aquí también puede distinguirse los puntuaciones apareados, con mucha claridad, se ve la forma de borde resaltado de los orificios. También se evidencia la comunicación de una puntuación simple de un radio leñoso con una puntuación areolada de una traqueida. No se sacaron fotos.

6.2.5 Espesor y Diámetro de pared fibrosa

Tanto para determinar espesor de pared como ancho de fibra, se realizaron 190 mediciones a partir de 4 (cuatro) trozos de madera. En la Tabla 6.4 se muestran los resultados obtenidos de las mediciones efectuadas sobre cada trozo de madera.

Tabla 6.4: Espesor de pared del ciprés calvo

Trozo de madera (muestra)	Promedio numérico (μm)
Madera 1	3,88
Madera 2	5,16
Madera 3	4,41
Madera 4	4,02

El promedio global de espesor de pared es de **4,37 μm** . En cambio, sin hacer esta distinción por trozo, es decir promediando el total de las determinaciones realizadas, se alcanza un valor de espesor de pared promedio de **4,47 μm** .

Entre los trozos de madera 1 y 2 existe una variación de aproximadamente el 25%, lo que equivale a decir que las muestras abarcan zonas de madera temprana y tardía respectivamente, y de allí la diferencia. De todos modos, la variación entre ambos promedios es de aproximadamente el 2 %.

De la misma manera, los datos de las 190 mediciones de diámetro de pared se procesaron con una planilla de cálculo, analizándose según el trozo de madera sobre el que se hicieron las mediciones, llegando a un diámetro promedio de **36,01 μm** , con una variación entre las maderas 1 y 4 de aproximadamente 16,4 %. A continuación, en la Tabla 6.5 se muestran los resultados:

Tabla 6.5: Diámetro de fibra de *Taxodium distichum*

Trozo de madera (muestra)	Promedio numérico (μm)
Madera 1	33,56
Madera 2	33,64
Madera 3	36,70
Madera 4	40,13

El promedio global de las mediciones realizadas, para el diámetro de fibra del ejemplar de ciprés calvo en estudio, corresponde a **35,11 μm** . Este dato es muy similar al informado por Indian Forester (29) sobre *Taxodium mucronatum*, con un diámetro de fibra de 39 μm .

Alrededor del 85 % de las fibras medidas poseen una diferencia menor al 25 % entre sus diámetros mayor y menor, y por lo tanto esto nos permite asemejar la fibra a un modelo cilíndrico, de allí que en la Tabla anterior se observe un solo resultado por trozo de madera. En el Anexo I se detallan las mediciones efectuadas para obtener espesor y diámetro de fibra.

6.2.6 Observación de disociados

La mata fibrosa obtenida como se detalla en el punto 5.2.7, se utiliza como punto de partida para la preparación de suspensiones de los elementos fibrosos. En ellas se observan los elementos constitutivos de la madera, traqueidas y células parenquimáticas radiales, ya liberados de su estructura. Las traqueidas de primavera son fibras esbeltas, con puntas redondeadas y su pared muy perforada (Fig. 6.2).

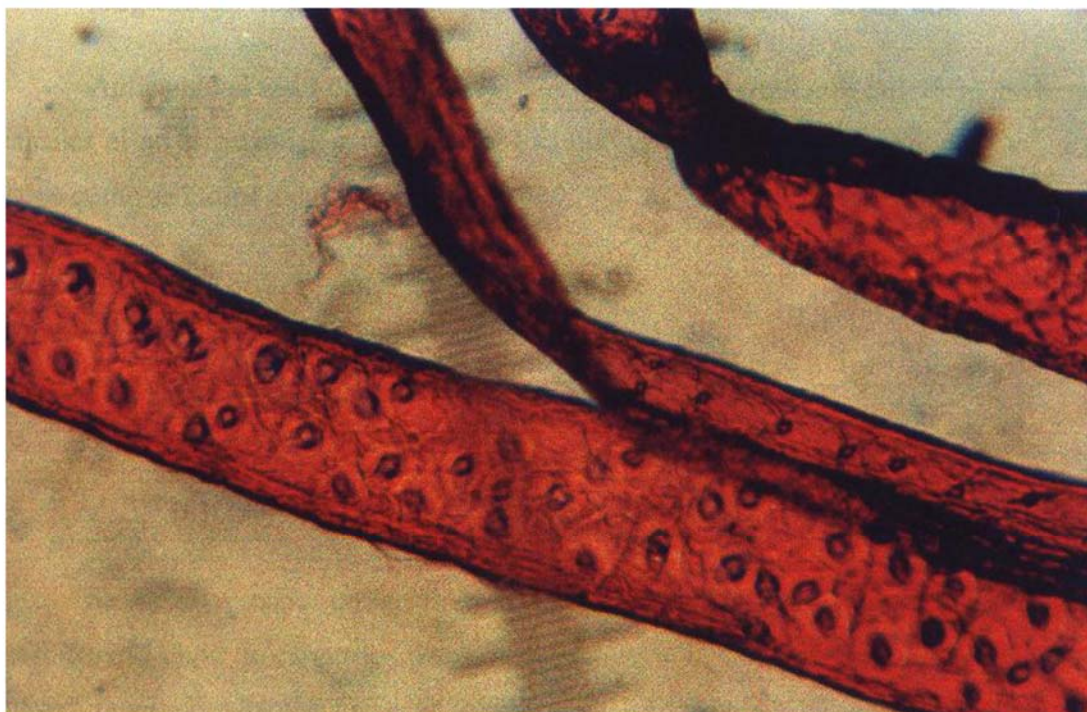


Fig. 6.2: Microfotografía óptica de disociado de *Taxodium distichum* (160X)

Se observaron puntuaciones simples pequeñas, como ranuras inclinadas y areoladas, de mayor tamaño, generalmente de a pares.

6.2.7 Longitud de fibra

Se midieron exactamente 306 fibras, de modo de obtener un resultado que sea representativo, ya que según Isemberg (30), para esa cantidad de determinaciones el error probable porcentual es menor al 5 %. Esta determinación se llevó a cabo con el microscopio óptico del ITC, utilizando un objetivo de 5X y un ocular de 10X, por lo tanto una división de la pantalla graduada equivale a 21,74 μm .

Utilizando una planilla de cálculo se obtiene la longitud promedio ponderada por longitud para el ciprés calvo, en mm, aplicando la siguiente fórmula, según la norma citada en el punto 5.2.8:

$$\text{Long. Fibra prom. ponderada por long.} = \frac{\sum L^2}{\sum L}$$

longitud de fibra promedio ponderada por longitud: 2.981 mm

Aplicando el test t de Student, para un intervalo de confianza del 95 %, podemos calcular el error estándar y expresar la longitud de fibra para este ejemplar de ciprés calvo como se indica a continuación:

- N= 306 N - 1= 305
- Para $\alpha= 0,05$ t= 1,960
- $S_{xm} = S / N^{1/2}$ $S_{xm} = 0,8415 / 306^{1/2}$ $S_{xm} = 0,048$
- 95 % confianza: $2,981 \pm 1,960 \times 0,048$

Intervalo de confianza: [2,981 \pm 0,094] [2,887 ; 3,075]

Se llevó a cabo un análisis estadístico utilizando un software de cálculo estadístico. Luego de cargar los datos se obtienen promedio numérico, límites menor y mayor, rango, desviación estándar, histograma y polígono de frecuencia, entre otros datos de importancia.

En la Fig. 6.3 se muestra el Polígono de frecuencias de la longitud de fibra del ciprés calvo, y en la Tabla 6.6 se resumen algunos de los estadísticos más importantes.

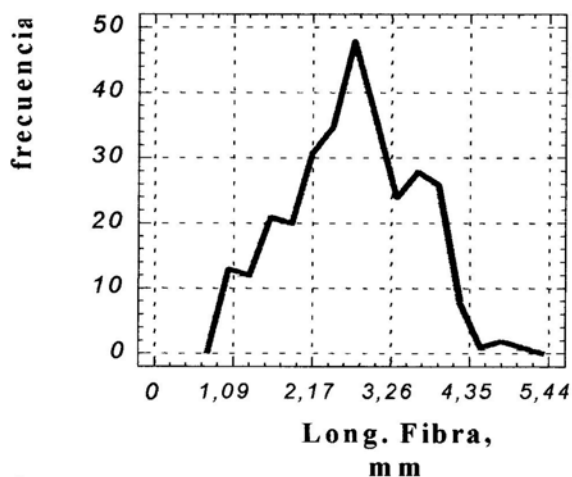


Fig. 6.3: Polígono de frecuencia para longitud de fibra del ciprés calvo

Tabla 6.6: Parámetros estadísticos de medición de longitud de fibra de *Taxodium distichum*

Variable	Resultados
Tamaño de muestra	306
Promedio numérico	2,72 mm
Moda	2,83 mm
Desviación estándar	0,84 mm
Mínimo	0,96 mm
Máximo	5,09 mm
Rango	4,13 mm

Este resultado obtenido para la longitud de fibra del *Tax. distichum* concuerda con el resultado obtenido por Brückman y Brückman (1), en el cual consignan una longitud de fibra de 3,1 mm para esta especie. Sin embargo, no coincide con el dato publicado por Rydholm (31) que asigna al ciprés calvo una longitud de fibra de 6,0 mm, dato desproporcionadamente alto. Cabe aclarar que no se especifica método utilizado en la determinación.

En el artículo de Brückman y Brückman mencionado en el párrafo anterior, también se informa la longitud de fibra del *Taxodium mucronatum*, de 3,2 mm. Por otra parte, en el artículo del Indian Forester (29) para esta misma especie se tabula el dato de 2,93 mm de longitud de fibra promedio.

Se muestra en la Fig. 6.4 muestra el histograma de frecuencias acumuladas para la longitud de fibra del ciprés calvo.

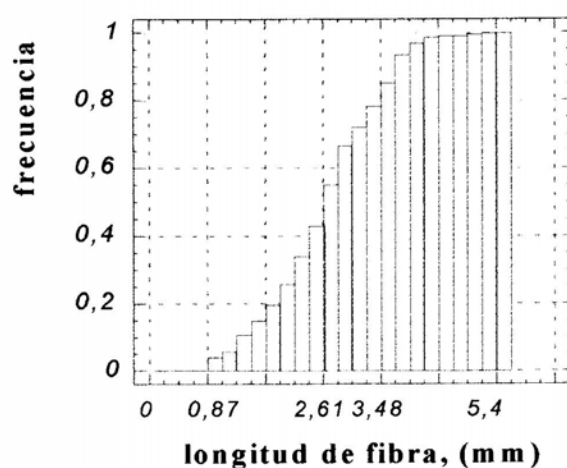


Fig. 6.4: Histograma de Frecuencias acumuladas para longitud de fibra del ciprés calvo

En ella se observa que alrededor del 60 % coincide con el valor obtenido para longitud de fibra promedio ponderada por longitud, un 20 % corresponde a fibras con más de 3,5 mm de longitud, y el 20 % restante son fibras más cortas, que no superan los 1,95 mm.

6.2.8 Cálculo de coeficientes y comparación con especies papeleras

✓ Relación de flexibilidad

Es un índice recomendado por Mark por su amplia aceptación y uso como una característica anatómica básica de maderas para papel, y puede informarse

como se menciona en el punto 5.2.9 a través de:

$$F = (l/D) \quad \text{ó} \quad F\% = (l/D) \times 100 \text{ siendo } l: \text{ lumen y } D: \text{ diámetro de fibra, ambos en micrones}$$

$$\text{Para } Taxodium distichum \quad F = (27,27/36,01)$$

$$F = 0,76$$

Este coeficiente varía entre 0 y 1, y cuanto más se acerca a 1 se considera a la fibra más flexible y conformable, es decir con una mejor aptitud para la formación de la hoja de papel. Por ello, para el ciprés calvo el valor obtenido se considera favorable.

✓ **Coeficiente de Runkel**

Es uno de los 8 coeficientes recomendados por la FAO, usado principalmente para evaluar la adaptabilidad de una especie para pulpar, y se calcula como:

$$R = (2 \times e / l) \quad \text{ó} \quad R\% = (2 \times e / l) \times 100, \text{ siendo } e: \text{ espesor y } l: \text{ lumen, ambos en micrones}$$

$$\text{Para } Taxodium distichum \quad R = (2 \times 4,37 / 27,27)$$

$$R = 0,32$$

Este coeficiente obtenido para el ciprés calvo cae dentro del rango tomado como referencia (R entre 0,25 y 0,50), como indicativo de relativamente buena formación (bueno).

✓ **Fieltrabilidad**

Otro parámetro es la capacidad fieltrante o **Fieltrabilidad**, definida como la relación de longitud de la fibra L a diámetro exterior (o ancho de fibra) D.

$$Fi = L / D$$

$$\text{Para } Taxodium distichum \quad Fi = 2981 / 36,01 \quad \mathbf{Fi = 82,8}$$

Varía entre 0 y 100 %, considerándose como valores aproximados entre 70 y 80, como característica fibrosa que dará papeles de resistencias satisfactorias, sobre todo al rasgado, donde es importante la longitud de fibra.

La evaluación de los coeficientes calculados para *Taxodium distichum* permite concluir que en principio desde el punto de vista morfológico, no se evidencia una imposibilidad en cuanto a la aptitud de esta especie para la obtención de pulpa para papel.

A los fines comparativos, se presentan en la Tabla 6.7 las dimensiones morfológicas y algunos coeficientes del *Taxodium distichum*, comparados con especies de reconocida aptitud papelera.

Tabla 6.7: Dimensiones morfológicas y coeficientes de distintas materias primas fibrosas (38)

Especie	Longitud de fibra (mm)	Diámetro o ancho de fibra (µm)	Espesor de pared (µm)	Fieltrabilidad (L/D)	Flexibilidad (I/D)
<i>Taxodium distichum</i> (Santa Fe)	2,981	36,01	4,37	82,8	0,76
<i>Pinus elliottii</i> (Misiones)	3,318	38,85	3,86	85,4	0,78
<i>Pinus taeda</i> (Misiones)	3,069	36,66	3,88	83,7	0,76
<i>Eucaliptus saligna</i> (Brasil)	0,900	19,77	4,31	45,5	0,56

En la Tabla anterior se puede observar que los parámetros calculados para el ejemplar de ciprés calvo caen dentro del rango de los de las otras coníferas utilizadas en la industria celulósico-papelera para la comparación, y se evidencian diferencias cuando se trata de una madera de fibra corta como el eucalipto.

En general podemos concluir que desde un punto de vista morfológico, las características del *Taxodium distichum* se asemejan bastante a las de *Pinus taeda*.

6.2.9 Densidad de madera

En la Tabla 6.8 se indican los valores obtenidos de densidad básica a partir de cada rodaja de madera y el promedio global.

Tabla 6.8: Densidad básica del ciprés calvo

Trozo de madera (muestra)	Densidad básica (g/cm ³)
1	0,41
2	0,42
3	0,49
<i>promedio global</i>	0,44

Este resultado indica una densidad básica media para el ciprés calvo, que se ubica centralmente en el rango de valores de densidad recomendados como indicativos de una materia prima con matriz vegetal abierta a la impregnación, con valores entre 0,3–0,6. El promedio global obtenido se aproxima bastante al dato de densidad básica de ciprés calvo (0,42) informado por Rydholm (31). Comparando los valores obtenidos para el ejemplar de ciprés calvo con especies de reconocida aptitud papelera, se obtiene la Tabla siguiente (Tabla 6.9):

Tabla 6.9: Densidad básica de distintas especies papeleras (16-18)

Especie	Densidad básica (g/cm ³)
<i>Taxodium distichum</i> (Santa Fe)	0,44
<i>Pinus elliottii</i> (Misiones)	0,44
<i>Pinus taeda</i> (Misiones)	0,39
<i>Eucaliptus dunni</i> (Misiones)	0,47

Evidentemente, desde el punto de vista de la densidad básica de esta materia prima fibrosa, no se evidencia imposibilidad alguna en cuanto a la penetración de líquidos. El resultado obtenido es totalmente comparable con las distintas especies utilizadas para la comparación.

6.3 PULPADO KRAFT

6.3.1 Digestión a factor H = 2000

Debido al desconocimiento de cómo reaccionaría esta materia prima, y que dificultades podrían presentarse, en una primera etapa se eligieron condiciones de pulpado Kraft típicas para una conífera, pero teniendo en cuenta el mayor contenido de lignina del ciprés calvo. Se señalan a continuación las condiciones empleadas:

$\Lambda\Lambda\%$ = 25 % Sulfidez = 25 % Relación L:M = 5:1
 Factor H: 2000 Masa de chips = 1000 g
 Tiempo hasta temp. máx = 30 min Temp máxima = 170°C

A la pulpa obtenida en la primer experiencia de pulpado, la llamaremos **K2000**, cada vez que nos refiramos a ella, de manera de simplificar la nomenclatura. El siguiente gráfico (Fig. 6.5) muestra la evolución de la temperatura con el tiempo de digestión.

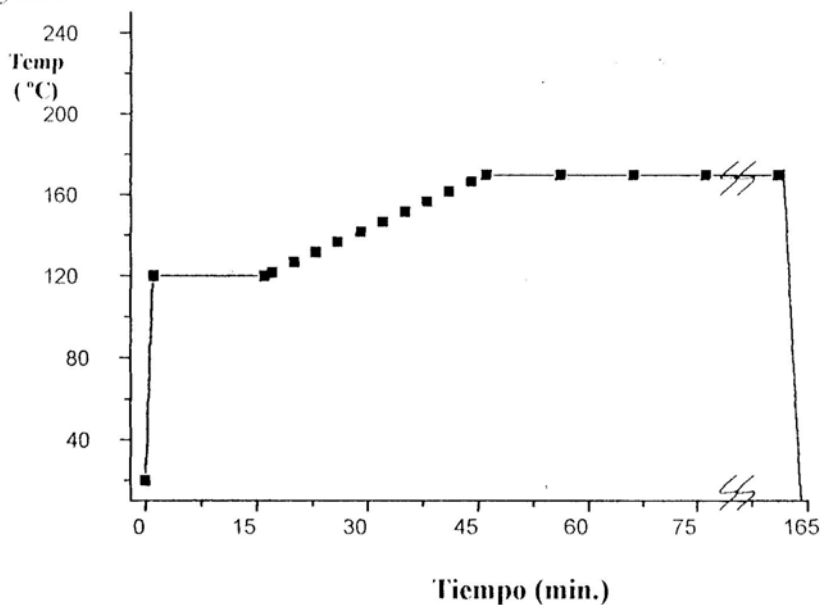


Fig.6.5: Evolución de la Temperatura con el tiempo de digestión durante la primera experiencia de pulpado Kraft de ciprés calvo. (K2000)

Se observa que la temperatura de vaporado se alcanza prácticamente en forma instantánea, siguen los 10 minutos a 120°C, luego la trepada, coincidente con la temperatura teórica, y la constancia a 170°C hasta la finalización del ciclo. Una vez completados los cálculos, se llegó al siguiente rendimiento de digestión:

Rendimiento K2000 = 51,9 %

Si bien el rendimiento de digestión de esta primer corrida fue de casi el 52 %, se alcanzó el punto de liberación de fibra. Como estaba planeado, se clasificó la pulpa en zaranda Valley, y se obtuvo el siguiente resultado:

% de rechazos K2000 8 %

En la Tabla 6.10 se presentan las concentraciones de los licores inicial, intermedio y residual, así como el consumo registrado durante la digestión. Se aprecia cómo va decayendo la concentración del licor de cocción a medida que avanza la digestión, del mismo modo que el consumo se va incrementando, hasta que al finalizar el ciclo térmico se ha consumido el 82 % de los reactivos cargados.

Tabla 6.10: Concentración de licor y consumo de reactivos versus Tiempo de digestión (K2000)

Tiempo de digestión (min)	Conc. del licor (g/l)	Consumo (%)
0	50	---
30	18,6	55,4
90	12,4	70,2
150	7,5	82

El tiempo cero se toma luego del vaporado inicial de 15 min, donde el licor posee su concentración inicial, y cabe notar el marcado consumo de álcali que se produce, ya en la trepada (es decir en los 30 min siguientes). Esto ocurre por reacciones de neutralización de ácidos de la madera y otros formados en reacciones de degradación

y extracción de carbohidratos, principalmente hemicelulosas, con el resultado de una rápida disminución de su contenido en esta primera etapa del proceso de pulpado.

En proporción, en las etapas siguientes el consumo disminuye notablemente, y al finalizar el ciclo de cocción queda suficiente álcali en el medio, lo cual impide el descenso del pH, y se evitan reacciones indeseables de condensación de lignina y reprecipitación sobre las fibras. Sin embargo se acepta que 7,5 g/l podría considerarse desde el punto de vista industrial, una cantidad mas bien alta. En la Fig. 6.6 se muestran la evolución de la concentración de reactivos y el consumo, en función del tiempo de digestión.

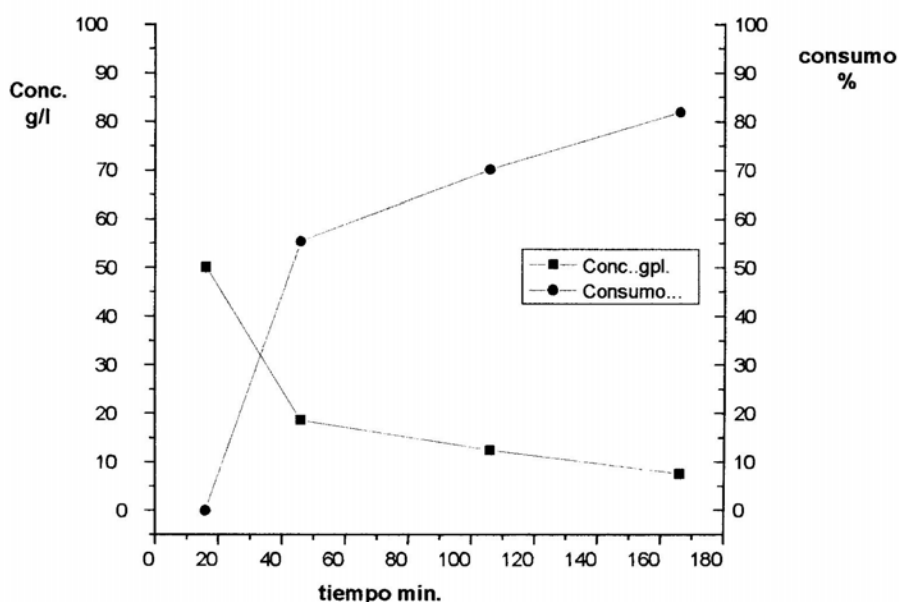


Fig. 6.6: Concentración de licor y Consumo de reactivos versus tiempo de digestión (K2000)

El grado de deslignificación alcanzado en la digestión para la pulpa K2000, se midió determinando el N° Kappa, tanto para la pasta entera como para el aceptado de la clasificación en zaranda Valley, arrojando dicha determinación los resultados que se indican en la Tabla 6.11.

Tabla 6.11: N° Kappa para K2000

	Pasta Entera	Pasta clasificada
<i>N° Kappa promedio</i>	105	98

En la Tabla 6.12 se resumen los resultados de esta primera etapa, para un factor H de 2000, relacionando el N° Kappa obtenido en cada caso con la lignina residual en pulpa, y la cantidad eliminada durante la cocción.

Tabla 6.12: Resultados de digestión Kraft. Pulpa K2000)

Pulpa K2000	
Rendimiento de digestión (Re)	51,9 %
% rechazos Valley	8 %
N° Kappa pasta entera	105
N° Kappa pasta clasificada	98
% lignina Klason / pulpa = N° K x 0,13	13,7 %
% lign. Klason / madera = N° K x 0,13 x Re	7,1 %
% lign. disuelta en la cocción (*) (K2000)	77,7 %
(*) % lignina madera original = 31,8%	

Si bien el rendimiento podría considerarse un valor algo alto para una pasta química, se alcanzó completamente el punto de liberación de fibra. Evidentemente, todavía queda una cantidad relativamente elevada de lignina por eliminar de la pulpa. Por este motivo, se realizó una segunda digestión variando únicamente el factor H de consigna, elevándolo a 3000. Esto se logró extendiendo el tiempo del ciclo de cocción, manteniendo las demás variables (relación de licor, carga de álcali, sulfidez, etc) iguales a las seleccionadas para la primer etapa de digestión.

AA%= 25 % Conc inicial= 80,8 g/l Sulfidez= 24,7 %

Relación L:M= 5: 1 Masa de chips: 1000 g.

Factor H: 3000

Temp. máxima= 170°C

Tiempo hasta temp máx= 30 min

6.3.2 Digestión a factor H = 3000

A la pulpa obtenida en la segunda experiencia de pulpado, la llamaremos **K3000**, cuyo factor H de consigna es 3000. El ciclo térmico de cocción es muy similar al mostrado en la Fig. 6.6 para la primera etapa de digestión, con la diferencia de que en esta segunda etapa el tiempo total es mayor. De acuerdo a las condiciones seleccionadas para realizar la experiencia de pulpado, se indican el rendimiento de digestión y el porcentaje de rechazos Valley.

Rendimiento de digestión K3000 = 49,1 %
--

En forma general podemos decir, según este valor de rendimiento, que en esta cocción Kraft se eliminó algo más de la mitad de la sustancia madera.

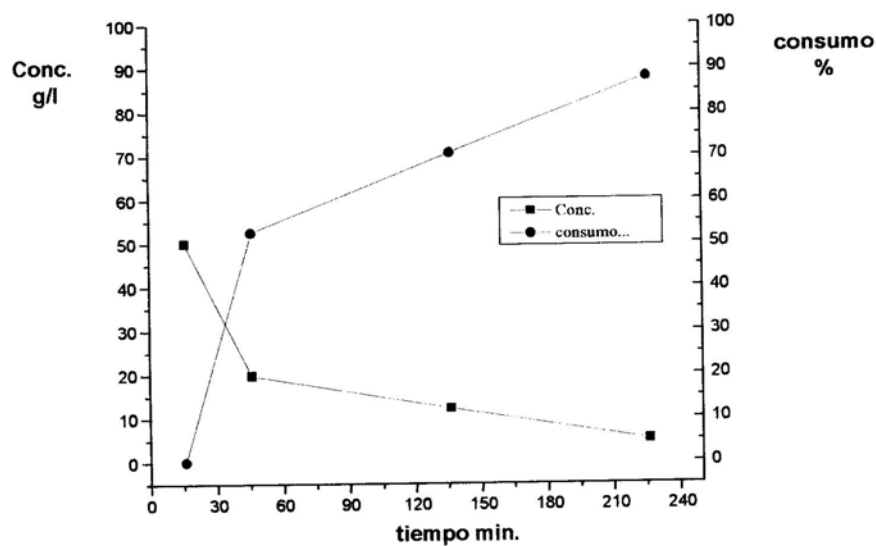
% rechazos Valley K3000= 1,2 %

Concordante con un ciclo de cocción extendido, se obtuvo un porcentaje de rechazos mucho menor que en la primera experiencia de pulpado y podríamos decir que insignificante. De todos modos, para seguir la misma metodología aplicada, se clasificó de la misma forma todo el volumen de pasta, trabajando a partir de ese momento con el aceptado.

La valoración de los licores intermedio y residual, cuyos resultados se presentan en la Tabla 6.13 y se grafican en la Fig. 6.7, siguen la misma evolución general que los licores provenientes de la primera etapa de digestión. Con las condiciones actuales, el consumo de reactivos de cocción fue mayor, llegándose a una concentración de álcali residual de 5 g/l.

Tabla 6.13: Concentración de licor y consumo de reactivos versus tiempo de digestión. (K3000)

Tiempo (min)	Conc. del licor (g/l)	Consumo (%)
0	50	---
30	19,8	52,5
120	12,2	70,7
210	5,0	88



**Fig. 6.7: Concentración de licor y consumo de reactivos versus tiempo de digestión.
Pulpa K3000**

De la misma forma, se evaluó el grado de deslignificación alcanzado en la digestión determinando el N° Kappa, tanto de la pasta entera como de la clasificada por zaranda Valley, con los resultados que se muestran en la Tabla 6.14:

Tabla 6.14: N° Kappa para K3000

	Pasta Entera	Pasta clasificada
N° Kappa promedio K3000	70,6	66,4

Este resultado nos indica que la pasta K3000 posee un contenido de lignina residual más bajo que K2000.

De todos modos, estos valores son altos y no serían pastas de calidad blanqueable, ya que en el caso de pulpas químicas, donde se elimina la mayor parte de la lignina de madera, lo que se intenta con el blanqueo es continuar dicha remoción y destruir prácticamente toda la lignina. Lo más probable es que el consumo de reactivos de blanqueo en estos casos sería excesivo, si bien no se realizaron experiencias en ese campo.

En la Tabla 6.15 se agrupan los resultados de esta etapa de digestión a factor H=3000 calculando a partir del N° Kappa obtenido, el contenido de lignina residual en pulpa.

Tabla 6.15: Resultados de digestión Kraft. Pulpa K3000

Pulpa K3000	
Rendimiento de digestión (Re)	49,1 %
% rechazos Valley	1,2 %
N° Kappa pasta entera	71
N° Kappa pasta clasificada	66
% lignina Klason / pulpa = N° K x 0,13	9,2 %
% lign. Klason / madera = N° K x 0,13 x Re	4,5 %
% lign. disuelta en la cocción^(*) (K3000)	85,8 %
(*) lignina madera original = 31,8 %	

Como puede apreciarse en la Tabla anterior, se ha eliminado el 86 % de la lignina de esta madera, cuyo contenido inicial es algo más alto que el de las maderas de coníferas normales.

Frente a los altos valores de N° Kappa obtenidos en ambas etapas de digestión, se realizó paralelamente la cuantificación de lignina insoluble en pulpa según la norma Tappi T 222 om-88. Con esta determinación se intentó corroborar el valor de lignina residual obtenido por cálculo a partir del N° Kappa. En la Tabla 6.16 pueden apreciarse los resultados alcanzados en dicha determinación, en comparación con los porcentajes logrados a través del N° Kappa. Puede entonces afirmarse sin caer en un error, que se ha llegado prácticamente al mismo resultado por dos caminos diferentes.

Tabla 6.16: Porcentaje de Lignina ácido insoluble (Klason). Pulpas K2000 y K3000

	Muestra 1 K2000	Muestra 2 K2000	Muestra 1 K3000
% lignina Klason	14,6%	14,5%	8,7%
% lignina residual (N° Kappa)	13,65%		9,2%

En el caso de la pulpa K3000, uno de los ensayos no pudo completarse, por ello se obtuvo un solo valor, algo por debajo del resultado obtenido por cálculo a partir del N° Kappa, pero muy cercano de todas maneras. Es decir que esto confirma los valores de lignina residual en cada pasta.

En principio podemos concluir que esta materia prima fibrosa no presentó inconvenientes en cuanto a penetrabilidad de reactivos, para lograr una impregnación adecuada.

Sin embargo, de una primera experiencia con f H= 2000 se pasó a una segunda, con un ciclo mucho más prolongado, y la lignina eliminada en esta instancia no fue sustancial. Por lo tanto, podemos decir que la madera de ciprés calvo no sólo posee un contenido de lignina elevado, sino que ésta parecería ser poco reactiva. Sería interesante conocer la distribución de la misma en la pared fibrosa.

6.4 REFINO EN PFI

6.4.1 Resultados para K2000

En primer lugar, se midió la energía en vacío, y luego se obtuvo una recta de dichos valores por regresión lineal, que se detallan en el Anexo III. Simultáneamente al refinar, se anotan las lecturas con carga, que posibilitan el cálculo posterior de la energía específica de refino, utilizando la ecuación mencionada en el punto 5.4.2. A partir de la ecuación de una recta, por regresión se obtiene la ordenada al origen y la pendiente:

$$y = A + B X \quad \text{donde} \quad \begin{array}{l} A = 0,9364 \\ B = 8,864 \cdot e^{-4} \end{array} \quad R = 0,9897$$

siendo R en coeficiente de ajuste de dicha regresión

Entonces, en vacío se consumen 1,823 kWh/1000 rev PFI. La Tabla 6.17 indica la energía de refino consumida por la pulpa K2000, obtenida en la primera digestión Kraft.

Tabla 6.17: Energía de refino consumida por K2000

Nº rev PFI	Energía específica Consumida, (kWh/t)
6000	1075,0
10000	1474,6
20000	2949,1
25000	3658,1

La evolución del consumo de energía por la pasta K2000 es lógicamente creciente con el aumento en el número de revoluciones del PFI, y gráficamente lo podremos reafirmar más adelante.

En la Tabla 6.18 que se incluye a continuación se registran las revoluciones de PFI, la energía de refino entregada a la pulpa K2000 y el CSF resultante, luego de las correcciones por temperatura y por consistencia.

Tabla 6.18: Drenabilidad de la pulpa K2000

Nº rev PFI	Energía específica Consumida (kWh/t)	CSF Corregido (ml)
0	0	735
6000	1075,0	740
10000	1474,6	700
20000	2949,1	585
25000	3658,1	370

De la Tabla anterior se concluye que para obtener una curva completa de puntos de CSF, fue necesario refinar hasta 25000 revoluciones de PFI, un número realmente excesivo.

6.4.2 Resultados para K3000

Del mismo modo que para la pulpa K2000, se midió la energía en vacío, y se obtuvo una curva de dichos valores por regresión lineal, con el siguiente resultado:

$$y = A + B X \quad \text{donde} \quad A = 0,30405 \quad \text{y} \quad B = 0,0012$$

Entonces, en vacío se consumen 1,594 kWh/1000 rev PFI. Se indican a continuación los consumos de energía de la pasta refinada (Tabla 6.19).

Tabla 6.19: Energía de refino consumida por la pulpa K3000

Nº rev. PFI	Energía específica Consumida (kWh/t)
4000	1004,6
7500	1778,2
10000	1999,0
15000	2897,4
20000	3767,0
25000	4636,5

Si comparamos el consumo en vacío actual con el registrado cuando realizamos la curva de refino para K2000, podemos observar que existe una diferencia de aproximadamente el 20 %.

Comparando las curvas de refino para cada pulpa, se consumió aproximadamente un 20–25 % más en el refino de K3000 contra el de K2000. Recordemos que K2000 tenía un rendimiento de digestión del 52 %, y un % de lignina residual en pulpa del 7 %, mientras que K3000 se obtuvo con un rendimiento de digestión del 49 %, y con un porcentaje de lignina residual en pulpa del 4,5 %.

La lignina residual en pulpa, de estructura hidrófoba y resistente al swelling, reduce la posibilidad de enlaces interfibrilares y la fuerza de los que se produzcan, por lo que disminuye la respuesta al refino. Se puede decir que las pastas más lignificadas responden mal al batido.

Por este motivo, los resultados no parecen concordantes y se hubiera esperado la respuesta inversa para las dos pastas. Cabe aclarar que, si bien entre ambas mediciones el PFI sufrió una serie de reparaciones y puesta a punto, esto tampoco justifica las tendencias mostradas por las pulpas, desde el momento en que la pulpa K3000 fue refinada luego del mantenimiento del molino, que alivió al PFI.

Por lo tanto, los valores de consumo de energía para ambas pulpas se consideran dudosos, pues no puede tenerse la certeza de que los correctos sean los registrados antes, o después del mantenimiento del equipo. La evaluación de propiedades mecánicas de las hojas formadas con estas pulpas batidas, confirmará esta apreciación.

La siguiente Tabla muestra las revoluciones de PFI, la energía entregada a la pulpa K3000 y el CSF resultante, luego de las correcciones por temperatura y por consistencia (Tabla 6.20). Más adelante podremos observar esta evolución gráficamente.

Tabla 6.20: Drenabilidad de la pulpa KB relacionado a la energía de refino consumida

Nº rev PFI	Energía específica Consumida kWh/t	CSF corregido KB
0	0	735
4000	1004,6	740
7500	1778,2	700
10000	1999	650
20000	3767,0	425
25000	4636,5	290

6.4.3 Observaciones microscópicas

En la foto que se muestra a continuación (Fig. 6.8), podemos observar la pulpa Kraft obtenida en la segunda etapa de digestión KB, con un tratamiento intenso en molino PFI (20000 rev).

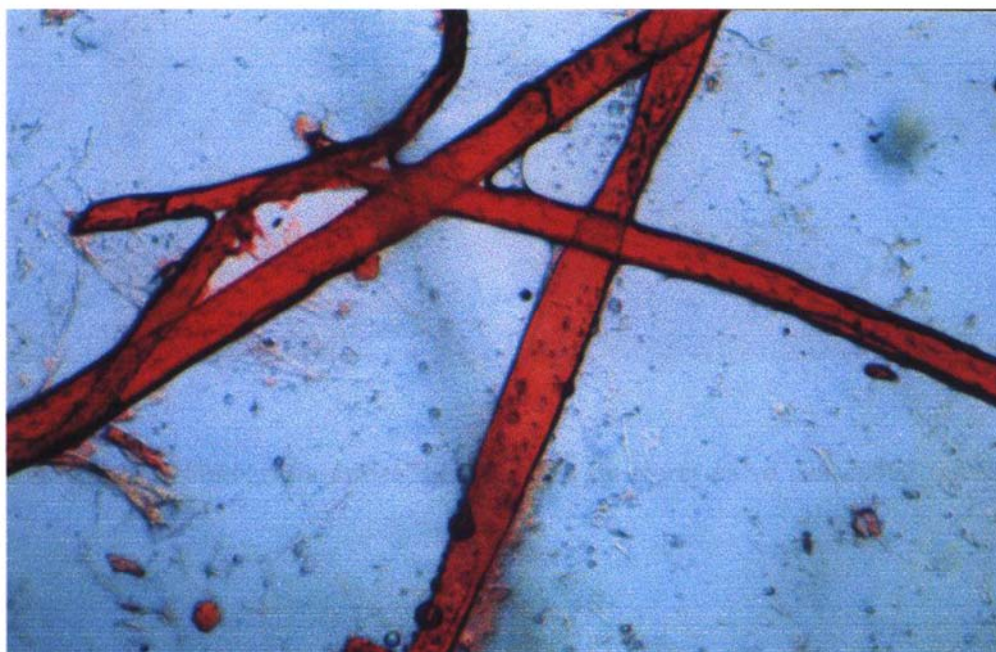


Fig. 6.8: Microfotografía óptica de pulpa KB de ciprés calvo con 20000 rev PFI (54X)

Se observan traqueidas que presentan fibrilación externa, y fibrilas desprendidas. Otras conservan su pared aparentemente intacta, pero existe evidencia de colapso. En otros preparados se encontró fibras rotas, con su pared abierta en forma helicoidal, cintas menores y fibrilas.

Una particularidad de esta madera, que puede resultar muy útil a los fines identificatorios de pulpa de origen desconocido, procesada con esta materia prima fibrosa, es la presencia de una capa externa de la fibra, probablemente correspondiente a pared primaria y S1, que se desprende del resto de la pared fibrosa como una cubierta, manteniendo con ella los pits areolados. La foto en la siguiente página (Fig. 6.9), muestra esta característica.



Fig. 6.9: Microfotografía óptica de pulpa KB de ciprés calvo con 20000 rev PFI (100X)

Estos luego se separan de la pared en la suspensión de pulpa, como muestra la Fig. 6.10 y pueden observarse como pequeños anillos sueltos, que podrían confundirse en un preparado con los anillos del bagazo de caña de azúcar, donde el origen de los mismos es completamente diferente.

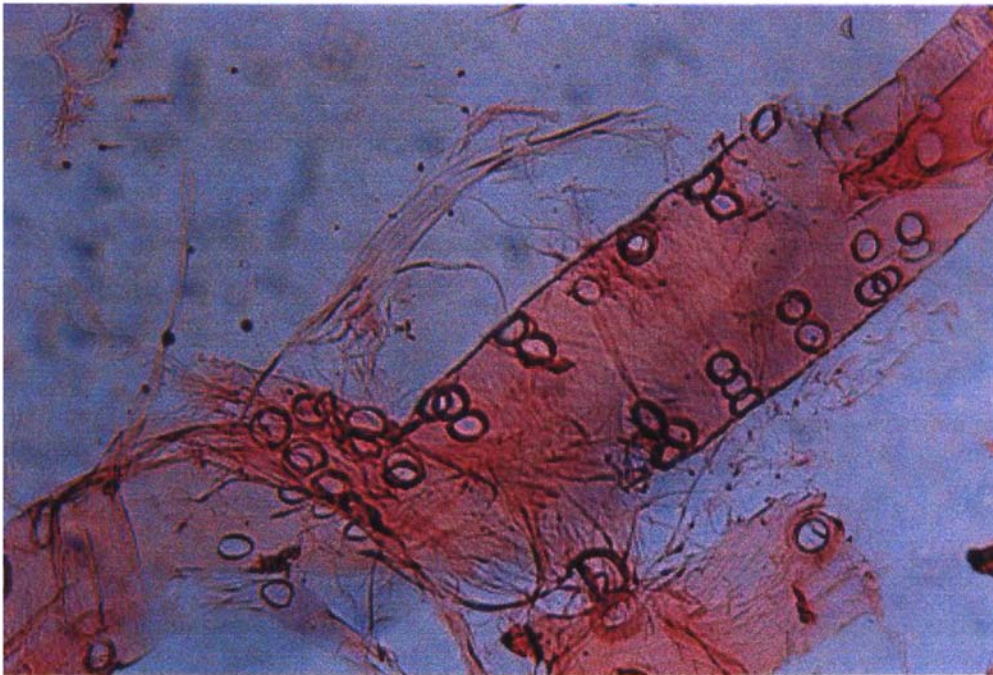


Fig. 6.10: Microfotografía óptica de pulpa KB de ciprés calvo con 20000 rev PFI (200X)

6.5 EVOLUCIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS. DISCUSIÓN

Para evaluar la calidad potencial de una pulpa papelera, es necesario disponer de visión completa de la combinación de propiedades de la pulpa en cuestión, variando la cantidad de refino aplicada, ya que éste cambia muchas de las propiedades simples de la fibra.

En las figuras siguientes, se muestran los resultados de la evaluación de las dos pulpas definitivas, que se denominan:

- K2000: pulpa obtenida en la primera experiencia de pulpado. – N° Kappa: 98-
rendimiento de digestión: 52 %.
- K3000: pulpa obtenida en la segunda experiencia de pulpado. – N° Kappa: 66-
rendimiento de digestión: 49 %.

Esos valores de N° Kappa indican que la pulpa K2000, es una pulpa que caería dentro del rango de las pulpas semiquímicas, mientras que K3000 correspondería a una pulpa química pero de muy alto rendimiento.

En las Tablas 6.21 y 6.22 en la página 81, se listan los resultados de propiedades físicas de las pulpas K2000 y K3000, mientras que en el Anexo IV puede encontrarse un ejemplo de las mediciones realizadas para llegar a dicho valor final.

Tabla 6.21: Propiedades de la pulpa Kraft K2000

Muestra	Rev. PFI	Energía (kWh/t)	CSF (ml)	Densidad (kg/m ³)	I.Tracción (kNm/kg)	I.Desgarro (Nm ² /kg)	CMT (N)	RCT (kN/m)
K2000	0	0	735	385	30,4	18,5	--	172
K2000-6	6000	1075	740	587	46,9	14,9	174	134
K2000-10	10000	1475	730	629	54,2	12,8	235	188
K2000-20	20000	2950	585	662	62,9	11,8	278	284
K2000-25	25000	3658	370	704	66,8	8,9	294	237

Tabla 6.21: Propiedades de la pulpa Kraft K3000

Muestra	Rev PFI	Energía (kWh/t)	CSF (ml)	Densidad (kg/m ³)	I.Tracción (kNm/kg)	I.Desgarro (Nm ² /kg)	CMT (N)	RCT (kN/m)
K30000	0	0	735	350	29,6	22,2	--	181
K3000-4	4000	1005	740	651	52,6	15,4	201	231
K3000-7,5	7500	1778,2	700	674	62,8	13,9	256	257
K3000-10	10000	2178	665	690	60,4	13,8	253	248
K3000-15	15000	3110	550	698	61,9	11,9	--	--
K3000-20	20000	4151	435	708	66,4	11,8	273	261
K3000-25	25000	5070	300	728	68,5	11,8	273	251

A los fines comparativos, se incorpora a las diferentes gráficas los datos correspondientes a la evaluación de una pulpa Kraft comercial de pino sin blanquear (Kraft com), utilizada en otro trabajo de investigación desarrollado en el ITC (39).

En el mismo, la pasta provista en planchas secas (dry lap) por Papel Misionero S. A. para el estudio mencionado, se desintegró durante 45 min al 1 % de consistencia en un pulper Black Clawson de 150 l de capacidad, siendo su N° Kappa= 35,2.

Cabe destacar que esta pulpa utilizada como referencia, seleccionada por ser el caso disponible más cercano en rendimiento a las de este estudio, tiene un contenido de lignina apenas mayor a la mitad de la pulpa a evaluar más digerida (K3000), y este hecho afectará sustancialmente la comparación.

Para caracterizar la pulpa, se realizó una curva de refino en molino PFI, entre 0 y 12000 revoluciones, en condiciones estándar. En la Tabla 6.23 se transcriben los resultados de drenabilidad y demanda de energía para cada punto y las propiedades mecánicas de las pulpas resultantes. Si bien los valores de consumo de energía de refino, determinados en todos los casos, no coinciden en valor absoluto con los industriales, tienen validez cuando se los utiliza, como en este caso, a nivel relativo.

Tabla 6.23: Refino de pulpa Kraft comercial de pino (Kraft com) sin blanquear. N° Kappa: 35,2

Rev PFI	Energía específica (kWh/t)	CSF (ml)	Densidad (kg/m ³)	I. Tracción (kNm/kg)	I. Desgarro (Nm ² /kg)
0	0	730	518	20,8	17,6
1000	186	685	584	36,2	21,4
3000	687	665	635	50,3	15,3
6000	1347	515	677	71,6	12,7
9000	2020	390	699	81,3	12,3
12000	2679	245	729	79,8	11,6

↳ CSF vs. Revoluciones PFI

El CSF es una de las formas más usuales de caracterizar la drenabilidad (capacidad de drenaje de una pulpa), y se expresa en ml con valores decrecientes, al avanzar el refino.

Tanto para pulpas mecánicas como para las de bajo rendimiento, el CSF es un indicador indirecto del comportamiento de las propiedades, como consecuencia del avance del tratamiento mecánico de refino. Si bien la generación de finos durante el refino (finos secundarios) se reduce desde alrededor del 30 % en pulpas mecánicas, hasta menos del 5 % en una pulpa química, su efecto sobre la drenabilidad de éstas últimas es desproporcionadamente mayor, según lo expresan Noé citando a Giertz (40), Atack apoyado en estudios clásicos (41), y Laivin y Scallan (42) coinciden, especulando que debe influir la “naturaleza” de estos finos y no su cantidad.

Otros autores muy prestigiosos se expresan aún más, así textualmente, y siempre refiriéndose a pulpas químicas, dice Clark (43) “... desde que freeness es predominantemente un índice de porcentaje de finos...”, y Page (44) “La cuantificación de finos puede hacerse por ... o por freeness”. Por eso se puede considerar aproximadamente a la Fig. 6.11 como la evolución de la formación de finos con el tiempo de batido.

Basándonos en las consideraciones precedentes, estimamos entonces para nuestro trabajo que la pendiente de la curva representaría la velocidad de generación de finos. A un mismo nivel de drenabilidad, intermedio en la evolución presentada en esta gráfica, la pulpa K3000 necesita más del doble de tiempo de batido para desarrollar la misma proporción de finos que la pulpa Kraft comercial, y la pulpa K2000 necesita a su vez más tiempo que K3000. En cuanto a la pulpa K2000, la pendiente durante la mitad inicial del proceso en PFI es prácticamente nula, indicando según las referencias antes citadas que en tal período es casi nula la generación de finos.

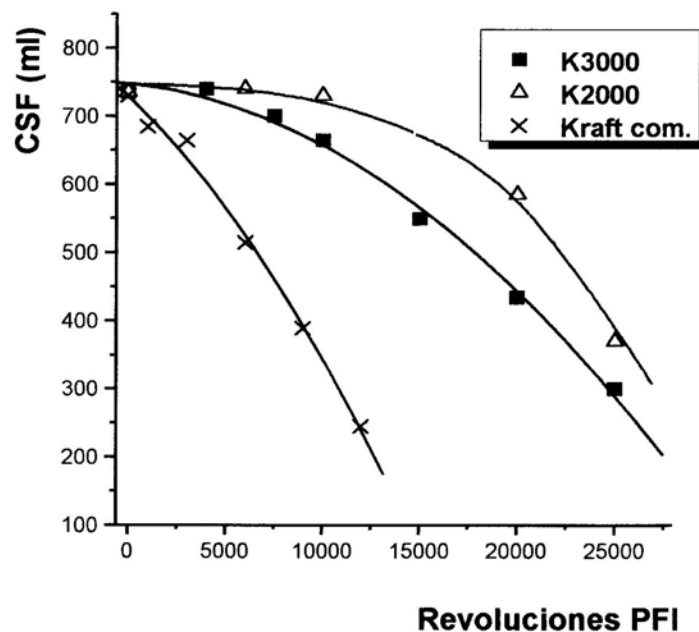


Fig. 6.11: Canadian Standard freeness vs. Revoluciones de PFI

↳ **Energía vs. Revoluciones PFI**

Esta gráfica representa la evolución de la energía de refino consumida por las pulpas, con el tiempo de batido (Fig. 6.12). Se obtienen rectas, lo que significa potencia constante, definida por su pendiente, que corresponde a la relación: energía de refino/tiempo de refino.

La pulpa K3000 muestra idéntica evolución que la pulpa de pino de referencia, pero si bien incorpora esa energía en pos de flexibilizar la fibra, como veremos más adelante, esto no se traduce en resistencias mayores. En comparación, la pulpa K2000 parece necesitar menor potencia que K3000, llegando a un 40 % menos a 20000 revoluciones. Es decir que K2000 consume menos energía en todo el rango de trabajo, con comparativamente menores propiedades de resistencia, como veremos en las figuras siguientes. Pero recordemos que los valores de consumo de energía de ambas pulpas se consideraban dudosos.

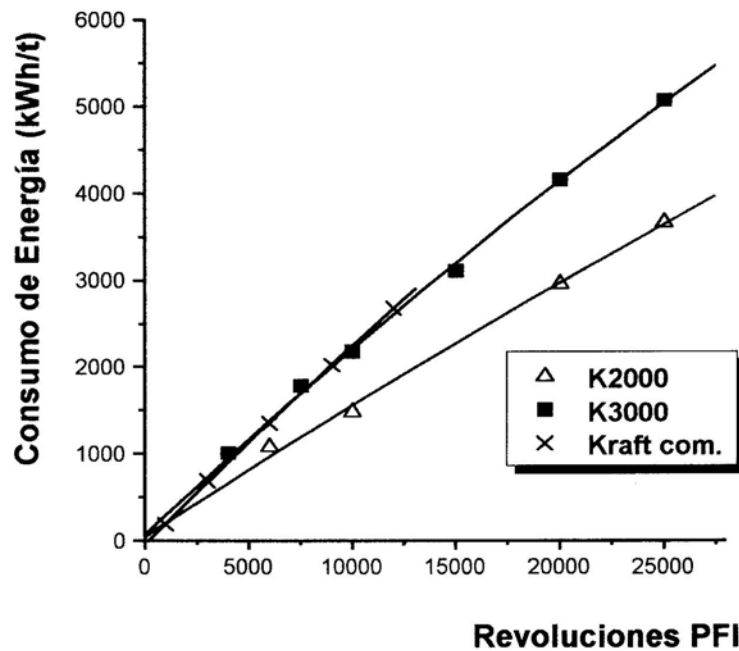


Fig. 6.12: Consumo de energía vs. Revoluciones de PFI

↳ Índice de Tracción vs. Consumo de Energía específica

Por la importancia de esta propiedad papelera, y para enriquecer la discusión de los resultados obtenidos, se revisarán previamente postulados teóricos desarrollados por Page (44), a través de la conocida ecuación que relaciona la resistencia a la tracción con parámetros estructurales del proceso de refino, en la que se han eliminado algunos factores constantes, agrupándolos en el coeficiente k:

$$\frac{l}{T} = \frac{9}{8.Z} + k \frac{A}{SBS \cdot RBA \cdot L/4}$$

Donde:

T: longitud de rotura

Z: resistencia intrínseca de la fibra

A: área transversal media de fibra

SBS o b: "Specific Bonding Strength" (factor de intensidad de energía de bonding)

RBA: "Relative Bonding Area" (factor de extensión de energía de bonding)

L: longitud media de fibra

Si se considera que el producto SBS x RBA mide la energía cohesiva interfibra (bonding), se deduce que los parámetros que controlan y promueven la resistencia a la tracción son la longitud de fibra, la resistencia intrínseca y la energía de enlace (bonding).

El PFI es considerado un equipo de refino que produce mínimo corte de fibras (45). Por otra parte, Alexander y Marton (46) comprobaron que las pulpas químicas kraft sometidas a refino de intensidad normal, aumentan su resistencia intrínseca por aumento de su módulo de Young. Este comportamiento fue ratificado experimentalmente en un trabajo propio (47).

En conclusión, para nuestro caso el desarrollo de resistencia a la tracción depende principalmente de bonding, mientras no se intensifique en exceso el proceso del refino. En la Fig. 6.13 se grafica la evolución de dicha resistencia en función de la energía de refino entregada a las pulpas.

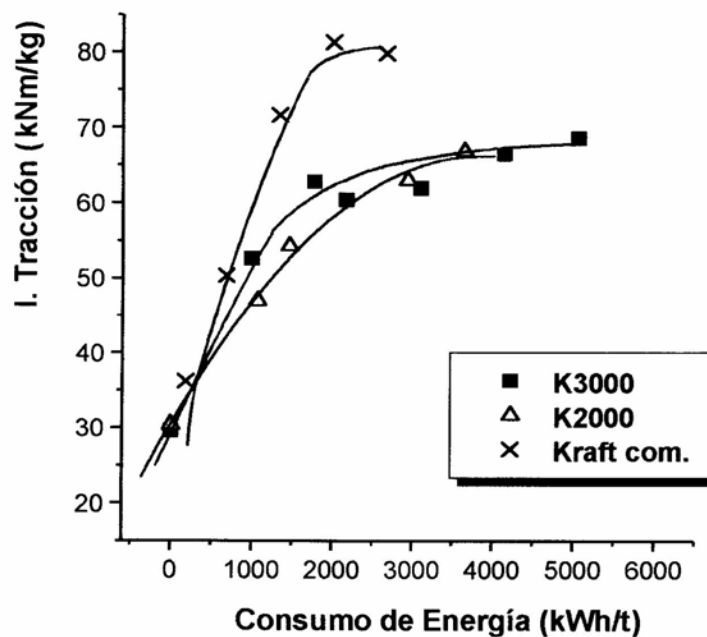


Fig. 6.13: Índice de Tracción vs. Consumo de energía específica

Se observa que tanto KL como KB poseen curvas con similar pendiente, de tipo asintótica decreciente progresiva, y si comparamos con la evolución de la pulpa utilizada como referencia, se advierte que ésta última desarrolla niveles más altos de resistencia a la tracción (de alrededor de un 23 % superior en el máximo), y posee mayor pendiente, lo que indica mayor rendimiento energético.

La pulpa KB posee la particularidad de mostrar un quiebre pronunciado en la mitad de la evolución, es decir posee mayor pendiente inicial, que supera a KL, pero esto se reduce hacia el final, donde no se evidencia diferencia apreciable, y la pendiente de la pulpa KB es igual o menor que la de KL. Esto también puede expresarse en términos de rendimiento energético relativo, donde sólo inicialmente KB supera a KL según indica su pendiente.

☞ Índice de Tracción vs. Revoluciones de PFI

La gráfica que se muestra en esta página indica el desarrollo de la resistencia a la tracción, en función del tiempo de refino (Fig. 6.14).

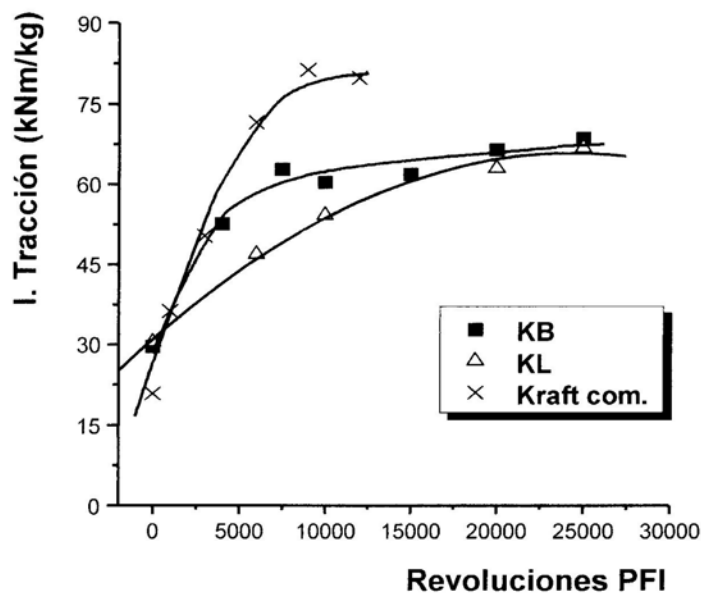


Fig. 6.14: Índice de Tracción vs. Revoluciones de PFI

Según se discutió en párrafos anteriores, la parte ascendente de las curvas muestra el desarrollo de bonding, mientras que el extremo asintótico correspondería a la zona de reducción de resistencia intrínseca de la fibra, combinada probablemente con algún corte. Cabe aclarar que esta es una etapa de refinado no utilizada comercialmente, porque para ese punto el desgarrado habrá caído a niveles desaconsejables.

Como se concluyó en la evaluación de la Fig. 6.12, la potencia es constante y por lo tanto estas curvas son homólogas a las de Índice de Tracción vs. Consumo de energía específica.

El quiebre de pendiente de K3000 indica mayor velocidad de desarrollo de resistencia inicial que la pulpa K2000, y luego se reduce hasta el final de la evolución, donde ambas pulpas muestran moderado desarrollo de resistencias. La pulpa comercial de referencia posee una velocidad de desarrollo de resistencia marcadamente superior, alcanzando su máximo, mayor que la tracción desarrollada por las pulpas K2000 y K3000, en tiempo de batido mucho menor. El menor contenido de lignina residual relativo de la misma, justificaría tal comportamiento.

↳ Índice de Tracción vs. Densidad

La Fig. 6.15 muestra el desarrollo de resistencia a la tracción en función de la densidad de la hoja. Para su análisis, se remite a la relación antes deducida en la evaluación de la Fig. 6.13 entre dicha resistencia y bonding, y se considera además la relación existente entre densidad de la hoja y otros parámetros estructurales de la hoja.

Según ha mostrado Steadman (48), la densidad de la fracción fibrosa, por ejemplo R100 o R200 de la clasificación Bauer McNett, puede usarse para evaluar la flexibilidad en húmedo de las fibras de una pulpa, la que a su vez es un factor controlante del área relativa de unión interfibra –RBA–.

En este caso se ha determinado la densidad de las pulpas enteras, y entonces sus finos establecerán la diferencia entre dichas propiedades, aunque influirá favorablemente la poca cantidad de finos que en general tienen las pulpas químicas.

Ambas pulpas del ciprés calvo presentan curvas similares, de pendiente progresivamente mayor. La ganancia inicial de resistencia es poca para un elevado aumento de densidad de la hoja. Este aumento, en principio, podría deberse a dos fuentes: a) generación de finos, b) conformabilidad de la fibra por colapso y/o delaminación (fibrilación interna). La respuesta probable es ésta última, y puede deducirse de la porción inicial de la curva CSF vs. Rev. PFI (Fig. 6.11), donde se nota una caída muy lenta inicial de drenabilidad que indica escasa generación de finos, en particular para la pulpa K2000 más lignificada.

Al avanzar el refino, se logra una ganancia creciente de resistencia, aunque la pendiente no alcanza el nivel de la de la pulpa de referencia.

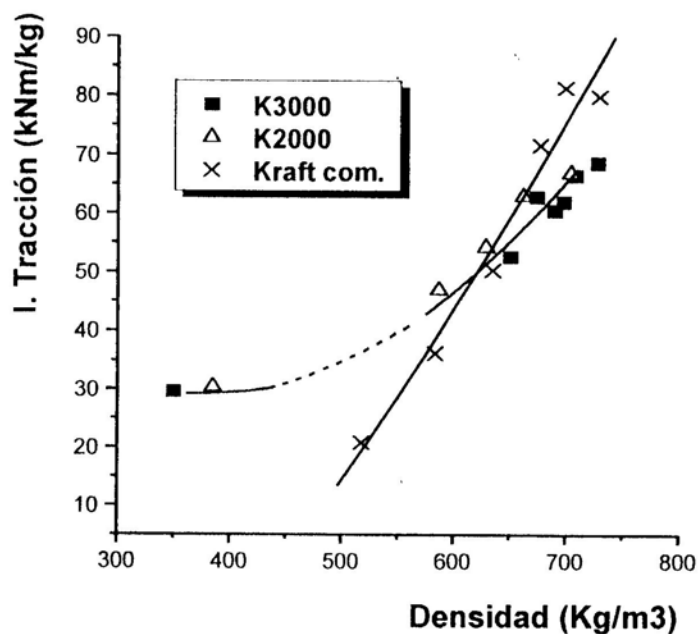


Fig. 6.15: Índice de Tracción vs. Densidad

La pulpa Kraft comercial presenta una evolución rectilínea, es decir que va ganando bonding en la misma medida que las fibras se tornan más conformables. Como se observó en la Fig. 6.13, el máximo en tracción alcanzado por la pulpa Kraft comercial, es mayor a las resistencias alcanzadas por las pulpas K2000 y K3000.

En el rango de 635 kg/m^3 , todas las pastas poseen similares propiedades de tracción, pero esto ocurre con requerimientos crecientes de energía, o revoluciones del PFI, como se demuestra en la Tabla 6.24.

Tabla 6.24: Comparación de consumos de energía para K2000, K3000 y Kraft com.

	Densidad (kg/m^3)	I. Tracción (kNm/kg)	Rev PFI	Energía consumida (kWh/t)
Kraft com.	635	50,3	3000	687
K3000	651	52,6	4000	1004
K2000	629	54,2	10000	1475

A partir de 675 kg/m^3 , la pulpa de referencia presenta alrededor de un 15 % más de resistencia a la tracción.

↳ Índice de Tracción vs. Índice de desgarró

El uso de par o pares de propiedades para comparar pulpas se utiliza para mejorar la evaluación tradicional de pulpas. En este sentido, el par resistencia al desgarró vs resistencia a la tracción se utiliza frecuentemente, y se muestra en la Fig. 6.16. La resistencia al desgarró de un papel se mide por la energía de rotura, y depende de la longitud y resistencia intrínseca de las fibras que lo forman, y del grado de unión entre fibras. Con poco refino, influye el grado de unión entre fibras y la longitud de las mismas, mientras que al avanzar el refino el mecanismo de falla es la ruptura de las fibras.

La evolución de la pulpa de referencia muestra el desarrollo típico para pulpa de fibra larga, con un crecimiento inicial por aumento de bonding, alcanzando un máximo en el desgarró, y luego es la resistencia propia de la fibra la que determina esta propiedad. Se considera que la energía de desgarró que expresa el índice de desgarró, baja a partir de cierto bonding crítico, porque entonces se produce corte de fibras antes que el mecanismo de arranque, que requiere mayor energía y que está indicado por la

parte creciente de la curva de desgarro en función del avance del refino, etapa ésta que se advierte solamente para la pulpa de pino de referencia.

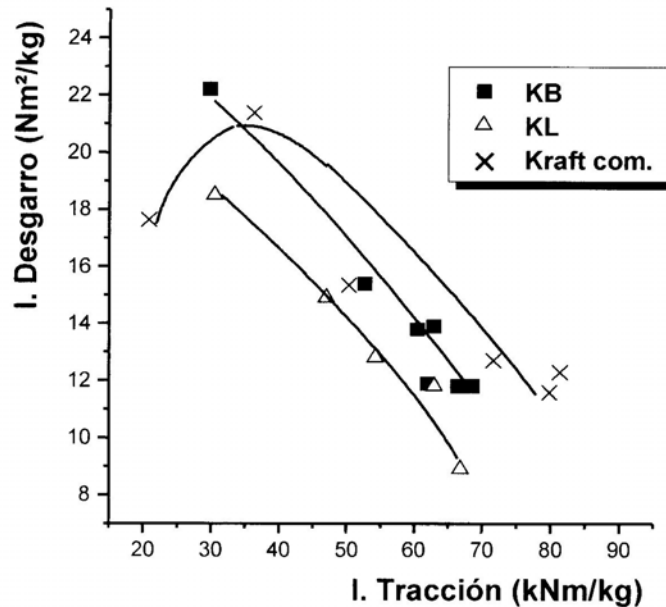


Fig. 6.16: Índice de desgarro vs Índice de tracción

En las pulpas KL y KB este máximo está ausente, probablemente por ser pocos los puntos iniciales, y refleja el escaso bonding inicial. Es decir que la evolución del desgarro que se muestra en la Fig. 6.16 se produce por corte de las fibras debido a su longitud. Las pulpas KB y KL se mantienen con similar caída, siendo los valores de desgarro para KL de entre un 17–20 % inferiores a los de KB durante toda la evolución.

↳ CSF vs. Índice de Tracción

La Fig. 6.17 muestra la drenabilidad en función de la resistencia a la tracción. Por las razones señaladas en el análisis precedente, estas propiedades pueden asimilarse, por lo menos a nivel relativo, al desarrollo de finos y grado de enlace entre fibras, respectivamente.

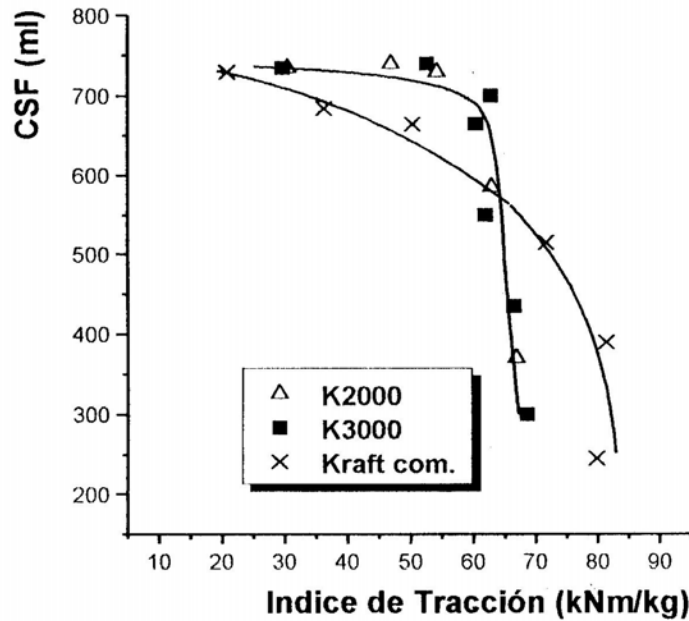


Fig. 6.17: Canadian Standard freeness vs Indice de Tracción

Las dos pulpas de ciprés calvo evidencian similar comportamiento, con curvas que se superponen. La pendiente inicial es muy baja y luego se torna muy alta, con una clara inflexión en el centro, lo que indicaría un cambio en el mecanismo controlante.

En la primera parte del refino, el bonding aumentaría sin generación de finos, ya que el pequeño descenso de CSF indicaría una generación de finos despreciable. El aumento de resistencia debería asignarse entonces a una rápida mejora inicial de bonding especialmente por colapso y/o delaminación, lo cual es consistente con la variación observada en densidad en la Fig. 6.15. De todos modos, para confirmar si se produce y en qué medida la delaminación de la fibra, sería necesaria una determinación específica tal como el valor de retención de agua (WRV).

En la parte final, el mecanismo se invierte, pues se observa un marcado descenso de freeness con poca ganancia de resistencia; esto implicaría una importante generación de finos que no contribuyen al grado de enlace, ya que la resistencia no mejora, efecto atribuible entonces a baja resistencia específica de enlace (SBS).

Por otra parte, la pulpa Kraft comercial muestra una curva con pendiente decreciente progresiva, generando inicialmente más finos que las pulpas K2000 y K3000, y alcanzando valores de resistencia mayores, como se concluyó anteriormente.

↳ **CSF vs. Densidad**

Por las relaciones establecidas anteriormente, la Fig. 6.18 muestra el rol de los finos en la densificación de la hoja de papel.

Tanto K2000 como K3000 muestran curvas quebradas, con una etapa inicial donde aumenta la densidad sin generación de finos, es decir por mejora exclusiva de la conformabilidad de la fibra del ciprés calvo. Finalmente el proceso se invierte, la producción de finos aumenta entonces fuertemente. Si se considera la Fig. 6.14, se observa que el desarrollo de resistencia a la tracción es rápido al inicio del refino, y se frena bruscamente para K3000. Puede inferirse entonces que la ganancia de bonding inicial deriva del aumento preferente de conformabilidad, y que en la parte final predomina la generación de finos con poca capacidad de enlace debido a su lignificación.

La pulpa de pino de referencia presenta una evolución más gradual y equilibrada. Su pendiente decreciente progresiva también indica predominio inicial de conformabilidad, y de finos hacia al final, en lo que se equipara con las pulpas de ciprés calvo, pero con mayor SBS.

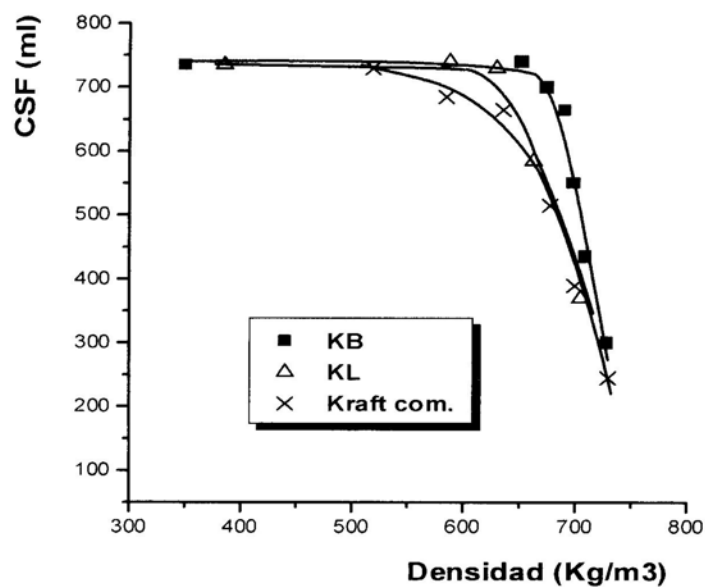


Fig. 6.18: Canadian Standar freeness vs. densidad

↳ CSF vs. Consumo de Energía específica

La Fig. 6.19 muestra la evolución de la drenabilidad, que se equipara con la generación de finos, en función al consumo de energía específica de refino.

Ambas pulpas de ciprés calvo presentan curvas cercanas inicialmente, con pendiente creciente. En la primera etapa del refino, la generación de finos demanda más energía, mientras que hacia el final del tratamiento mecánico, dicho efecto parece requerir menos energía.

La pulpa de pino presenta un comportamiento más uniforme, con un gasto menor de energía para alcanzar valores extremos similares de drenabilidad, consistente con una fibra más flexible, debido a su mayor deslignificación.

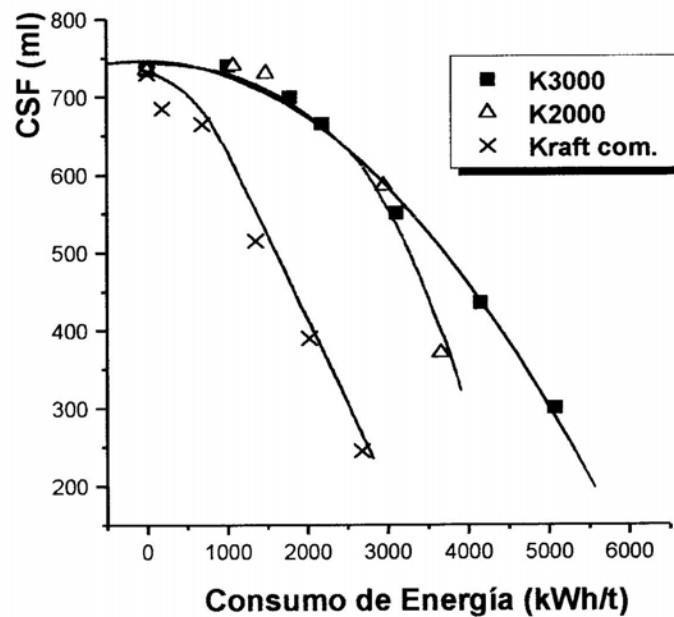


Fig. 6.19: Canadian Standar freeness vs. Consumo de energía

↳ RCT y CMT

A modo de comparación, las Tablas 6.25 y 6.26 muestran requerimientos mínimos de RCT para distintas calidades para papeles liner, y de CMT para papel onda, respectivamente en función del gramaje de la hoja, según diferente bibliografía (51, 53).

Tabla 6.25: Características técnicas de papeles liner

Calidad	Gramaje, (g/m ²)	RCT, (kN/m)	I. desgarro, (Nm ² /K)
Kraft liner	125	1.0	14
	150	1.2	14
Otras	140	0.9 – 1.1	11.4 – 8.6

Tabla 6.26: Características técnicas de papel onda

Calidad o fuente	Gramaje, (g/m ²)	CMT, (N)	RCT, (kN/m)	I. desgarro, (Nm ² /K)
Norma sudafricana n° 431/61	120	258	--	6 - 7
Especificación técnica	120 – 130	200	1.2 – 1.5	--
Pasta semiqca.	125	335	--	--
Semiqca.	120 – 130	120 – 250 #	--	--

valor de CMT₆₀

Suponiendo una reducción de aproximadamente el 15 % en el valor de CMT_{60} , con respecto al medido inmediatamente de formada la onda, o CMT_0 (51), para la pasta semiquímica de la última Tabla, le correspondería un valor de CMT_0 de alrededor de 140 – 285 N. En la Tabla 6.27 se presentan los resultados obtenidos para las pulpas Kraft de ciprés calvo.

Tabla 6.27: Resultados de los ensayos de CMT y RCT para las pulpas K2000 y K3000.

Pasta	Gramaje, (g/m ²)	CMT, (N)	RCT, (kN/m)
K2000	125 – 130	180 – 295	0.9 – 1.9
K3000	125 – 130	200 – 275	1.2 – 1.7

Los valores obtenidos de RCT y CMT para las pulpas Kraft de ciprés calvo, cumplirían los requisitos técnicos mínimos no sólo para papel onda sino también para liner, y en ese caso en la categoría de mayor exigencia. Por lo tanto, si bien las resistencias ensayadas en las pulpas de ciprés calvo, no son destacables cuando se comparan con las de la pulpa de pino utilizada como referencia, las mismas servirían como empaste para este tipo de papeles.

6.6 PULPADO MECANICO

6.6.1 Energía mecánica consumida

La Energía mecánica consumida es una de las variables gravitantes para una pasta RMP. El gráfico mostrado a continuación, presenta la Potencia activa neta (es decir, descontada la de vacío) absorbida durante la etapa de desfibrado, de chips a rechazos en la primera parte, y de los rechazos a pulpa en la zona final unidas en una curva continua (Fig. 6.20).

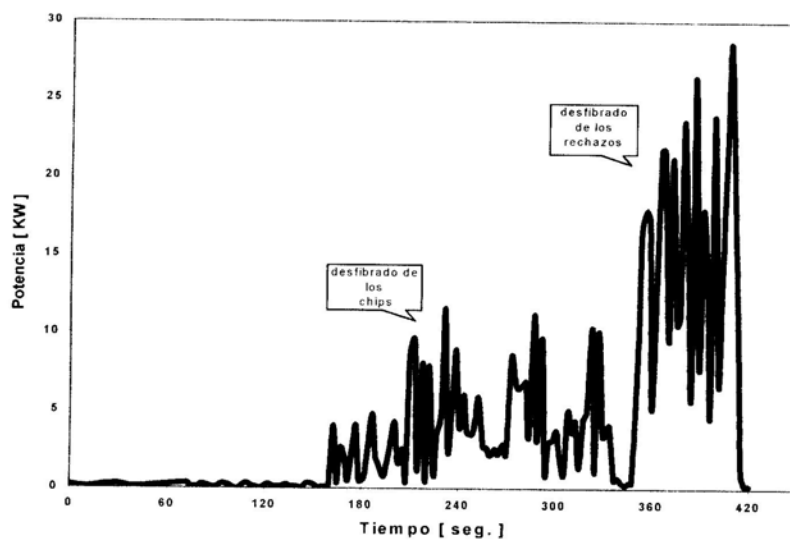


Fig. 6.20: Potencia activa neta vs tiempo para pulpa mecánica clasificada de ciprés calvo (CSF= 230)

La pulpa totalmente clasificada se refinó en el molino por tres ciclos consecutivos, con extracción de aproximadamente 120-150 g de muestra luego de cada reciclo con el objetivo de evaluar la drenabilidad de la pulpa. El segundo gráfico muestra la evolución de Potencia activa neta absorbida por la pulpa en los reciclos, también como una curva continua (Fig. 6.21).

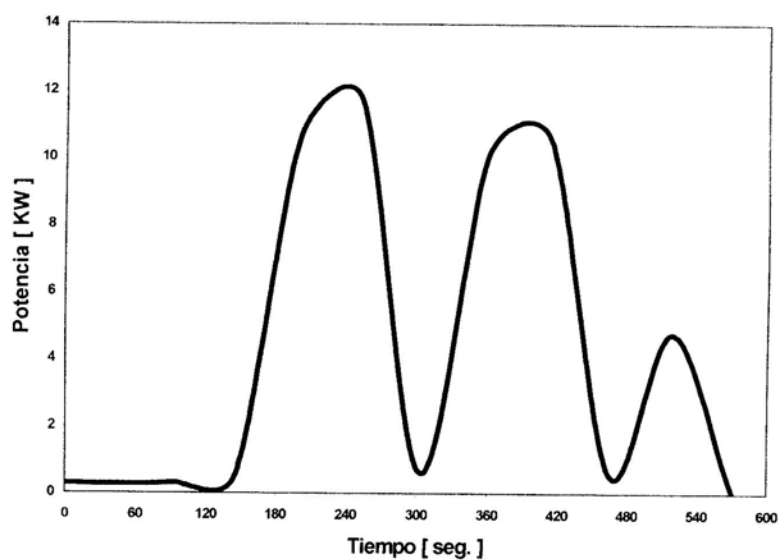


Fig. 6.21: Potencia activa neta vs tiempo para RMP de ciprés calvo

Las Fig. 6.22 y Fig. 6.23 presentan la evolución de la Energía acumulada en la etapa de desfibrado de chips y rechazos, y de reciclaje de toda la pulpa aceptada respectivamente.

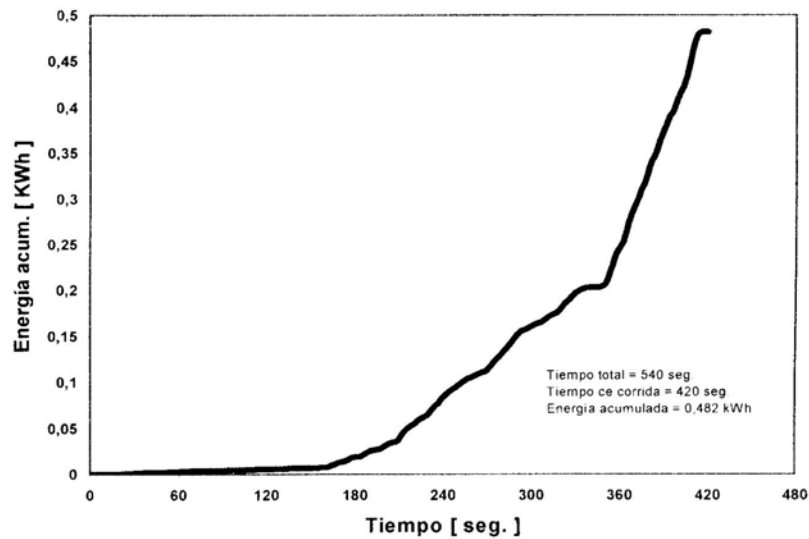


Fig. 6.22: Energía mecánica acumulada vs. Tiempo para pulpa mecánica clasificada de ciprés calvo

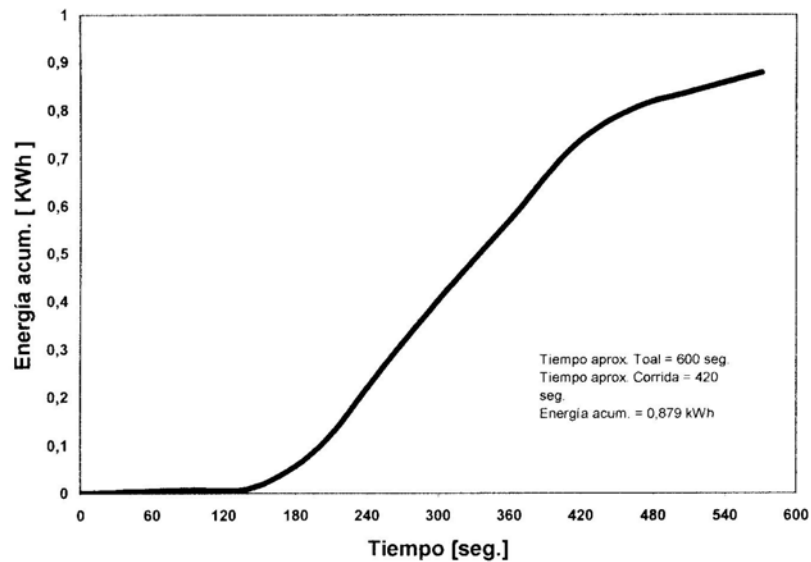


Fig. 6.23: Energía mecánica acumulada vs. Tiempo para RMP de ciprés calvo

A modo de comparación, la Tabla 6.28 presenta valores de consumo de energía de pasta mecánica de refinador y drenabilidad para distintas materias primas fibrosas.

Tabla 6.28: Consumo de energía específica para pasta RMP de distintas MPF (# 31, *19)

Especie de madera	CSF (ml)	Consumo de energía específica (kWh/t)
<i>Pinus radiata</i> *	100	2200
Spruce*	100	1800
Spruce (abeto)#	140	2000
Spruce-fir#	95	1500

El consumo de Energía mecánica específica para la RMP de ciprés calvo con una drenabilidad de CSF= 90 ml corresponde a 1110 kWh/t, valor perfectamente admisible para este tipo de proceso, como puede comprobarse de la comparación con los datos resumidos en la Tabla anterior. Los cálculos previos realizados para evaluar el consumo de energía se presentan en el Anexo V.

6.6.2 Control de calidad de pasta RMP de ciprés calvo

En el siguiente cuadro se tabulan los porcentajes en peso para las distintas fracciones de Bauer McNett, obtenidos como se especifica en el punto 5.6.3, para la pasta aceptada y los tres puntos de recicló, respectivamente (Tabla 6.29). La nomenclatura utilizada corresponde a:

- ↳ M0: pasta aceptada total, como la suma de los aceptados de primera y segunda etapa
- ↳ M1, 2 y 3: correspondientes a los recicló en el molino de M0, con caída de la drenabilidad.

Tabla 6.29: Fracciones de Bauer McNett para pasta desfibrada y refinada de ciprés calvo, expresadas en %P.

Muestra	CSF (ml)	Fracción R 30	Fracción 30/50	Fracción 50/100	Fracción 100/200	Fracción P 200
M 0	235	19,8	42,7	24,8	9,8	3
M 1	190	8,7	35,7	25,9	9,1	20,6
M 2	130	6,3	30,3	26,2	10,6	26,6
M 3	90	3,6	30,3	28,8	12,0	25,3

Debe recordarse que la fracción P 200 se obtiene por diferencia entre la pulpa cargada a la entrada para clasificar, y los pesos obtenidos en las otras cuatro fracciones. A modo de comparación, se incluyen en la Tabla 6.30 las fracciones de Bauer McNett de RMP de especies papeleras.

Tabla 6.30: Fracciones de Bauer McNett para distintas materias primas fibrosas #31)

Propiedad	Especie	Spruce	Spruce-fir
CSF, (ml)		140	95
Fracción, (%)			
28		24	27
48		23	19
100		14	13
200		10	7
P200		29	34

Si comparamos estas fracciones con las obtenidas para la pasta mecánica del ciprés calvo de drenabilidad similar, podemos concluir que si bien en general los porcentajes en peso se asemejan con las anteriores, la caída de drenabilidad o lo que es lo mismo la generación de finos, en nuestro caso se obtiene a costa de una drástica reducción en la fracción de mayor longitud de fibra. Tal es así, que mientras para las especies de la Tabla 6.30, las dos primeras fracciones representan casi el 50 % en peso de las pulpas, para la RMP de ciprés calvo significan el 35 %. De todos modos, si se toma en cuenta las fracciones R 100, que suman un total de alrededor del 60 %, todas las pulpas son comparables.

6.6.3 Observaciones microscópicas

La Fig. 6.24 muestra una microfotografía con bajo aumento de la pasta mecánica de ciprés calvo, ya clasificada, pero previa a los reciclos por el molino. Como corresponde a un proceso mecánico, donde la estructura de la madera se desintegra aplicando energía mecánica, en la foto mencionada se observan fibras liberadas, haces fibrosos cuando esto no ocurrió del todo, trozos cortos, cintas y fibrilas, y finos.

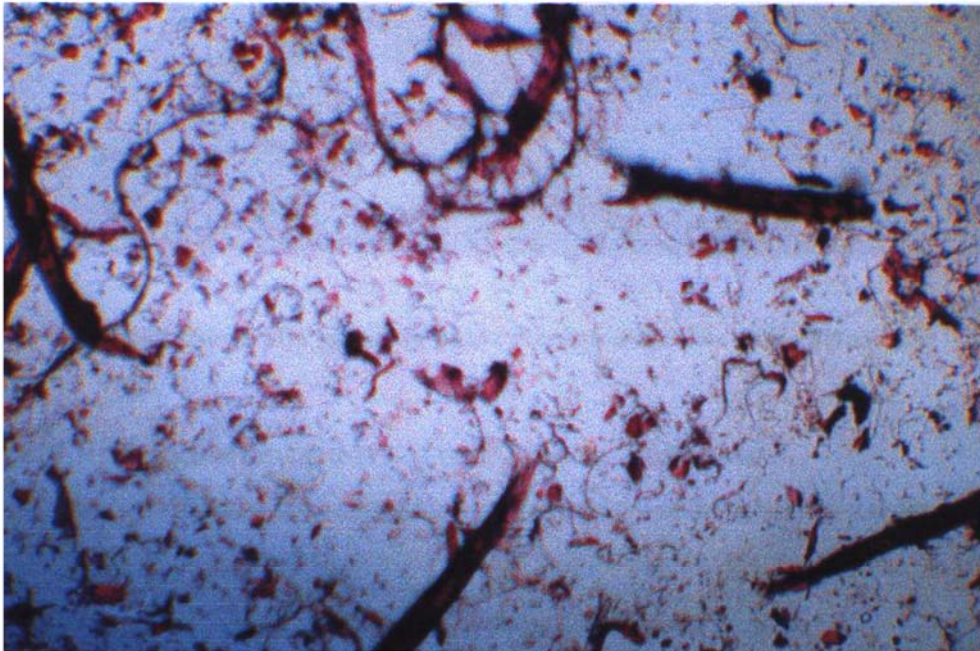


Fig. 6.24: Microfotografía óptica de pulpa mecánica M0 de ciprés calvo (35X)

Mientras que en la foto siguiente (Fig. 6.25) se observa con mayor detalle un trozo de fibra desenrollada o desenredada por su pared celular, correspondiente al primer reciclo de la pulpa por el refinador. La fibra que la cruza en el centro del campo posee su extremo izquierdo deshilachado en sus componentes fibrilares. Se observan también finos fibrilares y fibrilas sueltas.

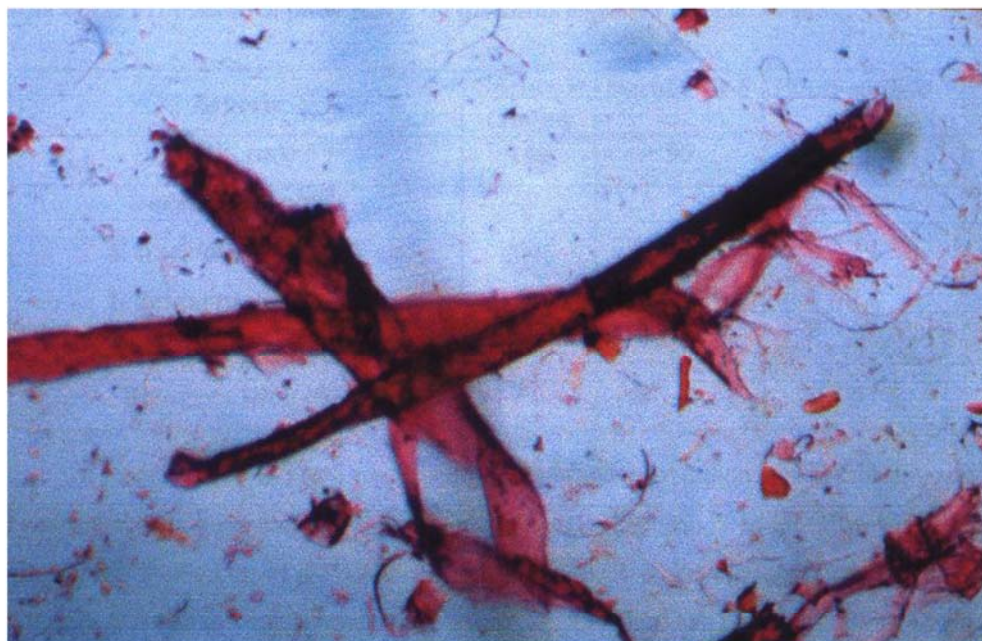


Fig. 6.25: Microfotografía óptica de pulpa mecánica M1 de ciprés calvo (54X)

6.6.4 Propiedades ópticas y mecánicas. Discusión

En la Tabla 6.26 se muestran los resultados de propiedades ópticas y físicas de la pasta RMP de ciprés calvo, en función de la drenabilidad de la misma.

Tabla 6.26: Propiedades de RMP de ciprés calvo.

RMP ciprés calvo			
CSF	190	130	90
Densidad, (kg/m³)	400	349	370
I. tracción, (kNm/kg)	9,2	9,9	10,3
I. desgarro, (Nm²/kg)	2,7	2,3	2,02
Coefficiente de Scattering, (m²/kg)	44,7	50	
ISO Brightness, (%)	41,9	49	43,08

La Tabla 6.27 muestra valores de algunas propiedades de pulpas obtenidas por el mismo tipo de proceso que la evaluada, de distintas especies papeleras.

Tabla 6.32: Propiedades para RMP de distintas especies papeleras (#31, *19)

Especie	Spruce # (abeto)	Spruce-fir #	<i>Pinus radiata</i> * (pino)
CSF, (ml)	140	95	100
Densidad, (kg/m³)	--	--	375
I. tracción, (kNm/kg)	34	36	39
I. desgarro, (Nm²/kg)	7,8	6,4	8,8
Coefficiente de Scattering, (m²/kg)	--	--	47,7
Blancura ISO, (%)	--	--	57

A pesar de que la pasta mecánica de ciprés calvo obtenida mostró un consumo de energía acorde a los contemplados para este tipo de proceso, y se lograron valores de drenabilidad y fracciones de Bauer McNett similares a los de otras pastas, no se evidencia la misma correspondencia cuando se estudian las propiedades mecánicas ensayadas, que resultan muy inferiores a las de pulpas de coníferas de climas frío y templado. No así las propiedades ópticas, donde los valores obtenidos son aceptables y similares a los de Pino radiata.

Estos ensayos no agotan las pruebas preliminares posibles para obtener por ejemplo pulpas de ultra alto rendimiento (UHY), ni deberían descartarse rastros en el rango de las mecánicas presurizadas (PZGW o TMP), pues probablemente la composición y/o distribución de sus componentes químicos masivos, especialmente la lignina, serían los responsables de los bajos valores de resistencia alcanzados (bajo desarrollo de bonding).

CAPITULO 7

CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados del presente trabajo de tesis, en el que se realiza la evaluación preliminar de la aptitud celulósico-papelera del ciprés calvo, se extraen las siguientes conclusiones:

Esta madera posee composición química similar a la de las coníferas, pero con un mayor contenido de lignina (32%).

Tanto su longitud de fibra, densidad básica, diámetro y espesor de pared, así como la evaluación de parámetros como coeficientes de flexibilidad y Runkel, muestran a esta madera como apropiada desde el punto de vista morfológico y comparable con materias primas fibrosas comerciales.

Los datos reunidos de la bibliografía confirman el crecimiento próspero de esta especie exótica, con un incremento anual en volumen de entre 15-20m³/ha, con la posibilidad de aprovechamiento de suelos inundables, no productivos en la zona costera y de islas del Paraná medio.

Para alcanzar el punto de liberación de fibra en las dos etapas de pulpado Kraft experimentadas, fueron necesarios largos tiempos de digestión. No se presentaron inconvenientes de penetración de reactivos ni de impregnación de las astillas.

Las propiedades físicas de las pulpas Kraft obtenidas, aunque no son destacables, en comparación con las de una pulpa comercial de pino de menor grado de lignificación (N°Kappa: 35,2), se consideran aceptables, y quizás dichas pulpas serían adecuadas como empastes para papeles onda y liner.

Si bien no se comprueba específicamente en este estudio, el comportamiento en el proceso de pulpado como así también durante el refinado, permite suponer que la lignina de esta materia prima es químicamente poco reactiva.

Los tanteos en el rango mecánico, mostraron consumos de Energía mecánica específica comparables con pulpas similares a nivel piloto, lo mismo que los valores de drenabilidad y fracciones de Bauer McNett, pero no se evidencia la misma correspondencia cuando se estudian las propiedades físicas ensayadas, donde si bien las propiedades ópticas no están muy alejadas de las de otras materias primas comerciales, las mecánicas resultan muy inferiores a las de coníferas de climas frío y templado.

Finalmente, no se descarta la profundización en ciertas áreas de estudio, como puede ser la distribución en la pared celular de lignina, su composición química específica, como así también la obtención de pulpa por otro tipo de procesos.

BIBLIOGRAFIA

1. Brückman, J. J. y Brückman, H. H.; "Contribución al conocimiento de algunas Taxodiáceas cultivables en el Delta del Paraná", Delta del Paraná 2(2):42, Campana, Bs. As., (1961).
 2. Bascialli, M. E. Y Laudi, S. C.; "Comportamiento de *Taxodium distichum* en dos tipos de suelos, arenosos y arcillosos, no anegadizos, de la provincia de Buenos Aires, República Argentina", Revista de la Asociación Forestal Argentina XLV(1): pág. 51-55, Bs. As., (1991).
 3. Brückman, J. J. y Brückman, H. H.; "El crecimiento del *Taxodium distichum* en la zona entrerriana del Delta del Paraná", Revista Forestal Argentina II (3): pág. 92-97, (1958).
 4. Wilhite L. P. and Toliver J. R., "Softwoods of North America", United States department of Agriculture, Forest Service, pág. 563-572.
 5. Pujato J., Marlats R. M. Y Gimenez S., "Crecimiento de *Taxodium distichum* en Misiones", E.E.A. INTA, Misiones, Escuela Superior de Bosques de la Universidad Nacional de La Plata, Bs. As., (1980).
 6. Cozzo, D., "Descripción de primeros resultados de la plantación de *Taxodium distichum* en suelos anegadizos de la provincia de Corrientes", Primeras Jornadas Técnicas sobre bosques implantados en el noroeste argentino, Eldorado, pág. 175-180, 10 al 14 de mayo de 1982.
 7. Almirón J., Pizzichini J. y Suárez D., "Alternativa de explotación del género *Taxodium* en el Delta del Paraná", V Congreso Forestal Argentino Tomo 8, Santa Rosa, La Pampa, Argentina, pág. 1.6 a 1.8, octubre de 1983.
 8. Böttges M., "Regeneración natural de *Taxodium distichum* en un establecimiento del predelta de Entre Ríos", Establecimiento Las Animas, Papel Prensa S. A.,(1991).
 9. "Libro del Arbol" Tomo III. Esencias Forestales no Autóctonas Cultivadas en la Argentina de Aplicaciones Ornamental y/o Industrial. Celulosa Argentina S.A. (1977).
 10. Dimitri M., "Las plantas cultivadas en la República Argentina (Taxodiáceas)", Tomo I V.I., pág. 87-89. Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Nación, Bs. As., (1961).
 11. Cornell C. "Diversificación Forestal en el Delta del Paraná", Almanaque del Ministerio de Agricultura de la Nación, Bs. As., pág. 367-373, (1937).
 12. Bascialli M. E. y Tuozzo M., "La particular tipología de múltiples raíces ancladoras generadas espontáneamente en *Taxodium distichum*", Revista de la Asociación Forestal Argentina 45 (1), pág. 51-55, (1991).
-

13. Cozzo D., “Informaciones silviculturales y dasométricas de las principales especies utilizadas en forestaciones en Argentina y América Latina”, Tecnología en la Forestación en Argentina y América latina, Editorial Hemisferio Sur, Bs. As., pág. 531-534, (1976).
14. Cozzo D., “Resultados iniciales de la plantación de *Taxodium distichum* en terrenos anegadizos de la provincia de Corrientes”, Cuarto Congreso Forestal Argentino, Goya, Corrientes, (1980).
15. Ordano C., Cipolatti M., Pilli J., Gastaldi C. y Zambón Y., “Recuperación de la capacidad forestal productiva en bosques naturales degradados”, Informe del Departamento de Ecología vegetal y Experimentación forestal de la Dirección de Ecología y protección de la Fauna, Santa Fe, (1980).
16. Gonzalez, R., Pereyra, O., Suirez, T., “Propiedades físicas y mecánicas de la madera de Pino elliottii reforestado en la provincia de Misiones, Argentina”, yvyretá, País de Arboles, año 3:(3), pág. 5-19, (1992).
17. Gonzalez, R., Pereyra, O., Suirez, T., “Propiedades físicas y mecánicas de la madera de pino taeda reforestado en la provincia de Misiones, Argentina”, yvyretá, País de Arboles, año 4:(4), pág. 4-8, (1993).
18. Gonzalez, R., Pereyra, O., Suirez, T., “*Eucaliptus dumi*: estudio de las propiedades físicas y mecánicas de madera de árboles jóvenes reforestados en la provincia de Misiones”, yvyretá, País de Arboles, (8), pág. 46-50, (1997).
19. Walker, J. C. F., “Primary Wood Processing, Principles and Practice”, School of Forestry. University of Canterbury. Christchurch, New Zealand.
20. Browning, B. L., “Methods of Wood Chemistry”. Interscience Publishers, (1967).
21. Fengel, D., “Wood. Chemistry, Ultrastructure, Reactions”. New York., (1984).
22. Maximino, M. G., Apuntes de la materia “Química” de la Maestría en Ciencias de la Madera, Celulosa y papel de la Fac. de Ciencias Exactas, Qcas. y Naturales de la UNAM.
23. Hartman, R., Doctoral Dissertation, Appleton, Wisc., The Institute of Paper Chemistry, (1984).
24. Ebeling, K. Proceeding of the International Symposium on Fundamental Concepts of Refining, IPC, Appleton, USA, (1980).
25. Page, D. H., “The beating of chemical pulps – the action and the effects”, Transactions of the Ninth Fundamental Research Symposium, Mechanical Engineering Publications Ltd., London, Vol. 1, pág. 183-227, (1989).
26. Parham R. and Gray R., “The Practical Identification of Wood Pulp Fibers”, Tappi Press, Tabla 3.3, pág. 25 y 26, (1990).

27. Gartland M., Informe para la Cátedra de Dendrología, Fac. de Ciencias Forestales, UNAM.
28. Hillton, N. R., "Microscopía de la Madera", Subgerencia de Investigaciones, Celulosa Argentina S. A., Argentina, (1973).
29. Guha S. R. D. and Gupta R. K., "Wrapping, printing and writing paper from *Taxodium mucronatum*", Cellulose and Paper Branch, Forest Research Institute, Dehra Dun, pág. 300-304, (1967).
30. Isemberg, I. H., "Pulp and Paper Microscopy", 3° ed., The Institute of Paper Chemistry, Appleton, Wisconsin (1967).
31. Rydholm S., "Pulping Processes", Interscience Publishers, New York, London, Sydney, (1965).
32. Côté W. A., "Papermaking fibers – A Photomicrographic Atlas", Syracuse University Press, (1980).
33. Núñez C. y Felissia F., "Análisis químicos corregidos de especies papeleras del norte de la Mesopotamia", 24° Congreso ATIPCA, Tomo 1, pág. 57, Bs. As., (1988).
34. Apuntes del curso "Introducción a la Tecnología celulósico-papelera", del Instituto de Tecnología Celulósica, Fac. Ing. Qca. de la UNL, (1982).
35. García Hortal J. y Colom Pastor J., "El proceso al sulfato", Vol. 1, 2° edición, UPC, (1992).
36. Smook, G. A., "Manual para técnicos de pulpa y papel", Tappi Press, (1991).
37. Tortorelli, L., "Maderas y Bosques argentinos", editorial ACME, (1956).
38. Area, Ma. C., apuntes del curso "Materiales fibrosos" de la Maestría en Ciencias de la madera, celulosa y papel, FCI:QYN, UNAM, (1999).
39. Maximino, M., Adell, A. Y Pratta, N. "Efecto del repulpado químico con hidróxido de sodio de fibras recicladas", 32° Congreso Técnico ATIPCA, Bs. As., Argentina, (1997).
40. Noé, P., "Le raffinage des pates chimiques", ATIP 38(1), 19 (1984).
41. Atack, D., "Advances in beating and refining, In Fibre-water Interactions in papermaking". Transactions of 6th Fundamental Research Symposium Oxford, pág. 261-295, (1977).
42. Laivins, G. V., and Scallan, A. M., "The influence of Drying and Beating on the Swelling of fines", JPPS 22(5): 178 (1996).
43. Clark, J. d'A., Pulp Technology and treatment for paper, 2nd edn., Miller-Freeman Publications, San Francisco, (1985).

44. Page, D. H., "A theory for the Tensile Strength of paper", *Tappi* 52 (4) pág. 674-681, (1969).
45. Watson, A. J., and Phillips, F. H.,
46. Alexander, S. D., Marton, R., and McGovern, S. D., "Effect of beating and Wet Pressing on fiber and sheet Properties, I. Individual fiber properties", *Appita* 18(3), pág. 84-104, (1964).
47. Lossada, A. A., Formento, J. C., Pino, A. L., "Acciones de refinado selectivas sobre pulpas químicas en molino PFI, Parte II: Efectos de fuerzas de cizallamiento axial", 32º Congreso Técnico ATIPCA, Bs. As., Argentina, (1997).
48. Steadman, R., and Luner, P., "The effect of wet fibre Flexibility of sheet apparent Density", *Trans. BPBIF Symposium*, Vol. 1, pág. 311-337, (1959).
49. Scott, W., "Properties of Paper: An Introduction", *Tappi Press*, pág 109-113, (1989).
50. Travers, R., "Improving the reliability of the ring crush test", *Appita* 30 (3), pág. 235-240, (1976).
51. Astals, F., "Cartón ondulado", *Apuntes de Manipulaciones del papel*, pág. 1-39.
52. Scott, W., "Properties of paper: An Introduction", *Tappi Press*, pág. 148, (1989).
53. Soldi, F., "El papel onda y la calidad del corrugado", 19º Congreso Técnico ATIPCA, Bs. As., Argentina, (1983).

ANEXO I: CARACTERIZACION DEL CIPRES CALVO

A. Análisis químicos

- **Extractivos**

	1	2	3
p. muestra húm.	2.7336	3.1280	3.1144
sequedad	0.9151	0.9151	0.9151
p. muestra seca	2.5015	2.8624	2.8500
filtro	66.0177	59.4451	49.2541
filtro + mat. Extraído	68.4242	62.1962	51.9864
mat. Extraído	2.4065	2.7511	2.7323
% extractivos	3.80	3.89	4.13

- **Cenizas totales**

	1	2
Crisol	17.6851	17.0085
Crisol + muestra	18.6863	18.0004
Muestra	1.012	0.9919
Crisol + cenizas	17.6887	17.0121
Cenizas	0.0036	0.0036
% cenizas	0.36	0.36

- **Lignina K2000ason**

	1	2
m. húm.	1.1549	1.1493
sequedad	0.8897	0.8897
m. seca	1.0275	1.0225
filtro	66.0190	64.2870
filtro + lignina	66.3565	64.6293
lignina	0.3375	0.3423
% lignina cruda	32.85	33.48
factor de corrección por cenizas	0.9966	0.9991
factor de corrección por extractivos	0.9606	0.9606
% lignina corregida	31.45	32.13

- **Holocelulosa Wise**

	1	2
p.m. húm.	3,8215	3,8137
sequedad	0,8897	0,8897
p.m. seca	3,4000	3,3930
dosaje clorito	5,2 ml	5,2 ml
n° tratam.	5	5
Filtro	66,0138	59,4384
Filtro + Holo húm.	68,6860	62,0718
Holo húm.	2,6722	2,6334
Sequedad	0,8993	0,8969
Holo seca	2,4031	2,3619
% Holo	70,7 %	69,6 %
factor corrección por cenizas	0,9857	0,9875
factor corrección por lignina residual	0,9640	0,9886
factor corrección por extractivos	0,9606	0,9606
% Holo corregida	64,5	65,3

- **Celulosa Seifert**

	1	2
p.m. húm.	1,1145	1,1245
sequedad	0,8966	0,8966
p.m. seca	0,9993	1,0082
filtro	62,8700	40,7940
filtro + cel.S.	63,2607	41,1972
cel. Seifert	0,3907	0,4032
% cel. Seifert	39,1	40,0

B. Mediciones Morfológicas

- **Claves para la identificación de género y especie de *Taxodium distichum***

Pertenece a la familia de las Taxodiáceas, Dimitri (10) presenta en su libro una clave de identificación de los géneros, que se incluye a continuación:

A. Hojas de 8-15 cm de largo, dispuestas en verticilos en los ápices de las ramitas.....**Sciadopitys**

AA. Hojas menores de 8 cm de largo, insertas en espiral a lo largo de las ramitas, siguiendo o no la dirección de las mismas.

B. Hojas de 2-5 cm de largo, falcadas, provistas den su cara inferior de dos bandas estomáticas blanquecinas. Conos con las escamas netamente imbricadas.....**Cunninghamia**

BB. Hojas nunca mayores de 2 cm de largo, ni falcadas. Conos con las escamas gruesas y leñosas, valvadas u oscuramente imbricadas.

C. Conos con las escamas provistas en su borde superior de 4-5 dientes. Flores masculinas reunidas en la extremidad de las ramitas. Hojas punzantes, aciculares, recurvadas**Cryptomeria**

CC. conos con las escamas desprovistas de dientes en su borde superior. Flores masculinas solitarias o reunidas en amplias panojas. Hojas rectas o al menos no punzantes.

D. Flores masculinas dispuestas en amplias panojas colgantes. Conos subsésiles, dispuestos a lo largo de las ramitas del año anterior. Hojas gráciles, caedizas.....**Taxodium**

DD. Flores masculinas solitarias. Conos dispuestos en los ápices de las ramitas. Hojas coriáceas, persistentes.

E. Hojas dimorfas, las de las últimas ramitas dispuestas en dos planos divergentes. Escamas de los conos en número de 15-20. Yemas de invierno escamosas.....**Sequoia**

EE. Hojas homeomorfas, dispuestas en espiral y siguiendo la dirección de las ramitas. Escamas de los conos en número de 25-40. Yemas de invierno desnudas.....**Sequoiadendron**

Una vez identificado el género *Taxodium*, siguiendo la clave presente en el mismo libro anteriormente mencionado, se puede lograr la identificación de especies:

A. Hojas dispuestas en dos planos divergentes.

B. Hojas persistentes o semipersistentes. Conos de 12-15 mm de largo.....*T. mucronatum*

BB. Hojas caedizas en el otoño. Conos de unos 25 mm de diámetro, subglobosos.....*T. distichum*

AA. Hojas no dispuestas en dos planos, sino más o menos adosadas a las ramitas.....*T. ascendens*

Otra clave para identificar las dos especies que se encuentran en nuestro país, es la elaborada por la Cátedra de Dendrología de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNAM (27):

1 a.- Arbol manifiestamente caducifolio, raíces con neumatóforos, floración algo proterante, durante la primavera.....*T. distichum*

1 b – Arbol perennifolio (con hojas que duran aproximadamente dos años) y parcialmente caducas en regiones más frías que las de su lugar de origen, follaje semipersistente, raíces sin neumatóforos; floración durante otoño–invierno (mayo–julio).....*T. mucronatum*

• Determinación de longitud de fibra

Nº fibra	Long. mm	Nº fibra	Long. mm	Nº fibra	Long. mm	Nº fibra	Long. mm	Nº fibra	Long. mm	Nº fibra	Long. mm
1	2.2175	51	3.065	101	3.565	151	3.609	201	1.7175	251	3.131
2	1.850	52	3.500	102	2.391	152	2.435	202	2.044	252	2.413
3	1.522	53	1.457	103	3.8045	153	2.7175	203	2.1035	253	3.826
4	1.391	54	3.935	104	1.022	154	3.826	204	2.870	254	2.109
5	3.631	55	3.826	105	2.652	155	1.870	205	2.935	255	2.544
6	2.522	56	3.8915	106	2.783	156	2.087	206	2.152	256	4.152
7	1.196	57	2.913	107	4.522	157	2.544	207	2.239	257	3.261
8	2.500	58	1.739	108	2.304	158	2.2175	208	2.674	258	3.652
9	2.2175	59	3.478	109	3.261	159	3.022	209	2.957	259	3.044
10	2.065	60	3.587	110	1.7175	160	3.609	210	3.2175	260	1.913
11	2.022	61	2.935	111	2.261	161	1.152	211	2.674	261	3.109
12	3.2175	62	3.478	112	3.087	162	1.652	212	2.761	262	1.565
13	4.022	63	2.783	113	2.044	163	3.7175	213	3.522	263	2.239
14	2.978	64	1.478	114	2.413	164	2.196	214	1.391	264	3.131
15	3.913	65	2.435	115	2.8045	165	2.109	215	3.8045	265	0.957
16	3.131	66	2.783	116	3.544	166	2.022	216	2.478	266	2.435
17	1.978	67	3.3045	117	2.348	167	4.065	217	2.848	267	2.065
18	3.435	68	1.870	118	3.8915	168	2.935	218	3.696	268	4.000
19	3.587	69	2.544	119	2.435	169	1.435	219	3.044	269	3.000
20	3.739	70	2.783	120	3.826	170	3.022	220	4.913	270	2.826
21	2.522	71	2.652	121	1.522	171	4.087	221	3.087	271	2.935
22	3.957	72	2.391	122	2.913	172	2.8045	222	2.826	272	2.652
23	3.848	73	1.348	123	2.870	173	2.261	223	1.609	273	4.261
24	2.609	74	1.652	124	3.783	174	3.826	224	3.587	274	1.087
25	2.435	75	2.826	125	3.370	175	1.891	225	1.913	275	3.087
26	2.457	76	2.761	126	3.7175	176	1.000	226	1.391	276	2.565
27	2.435	77	1.761	127	1.848	177	2.978	227	2.870	277	2.478
28	2.587	78	2.761	128	3.478	178	2.696	228	3.544	278	3.391
29	2.913	79	3.609	129	3.370	179	3.109	229	3.3045	279	3.522
30	3.087	80	1.957	130	2.6305	180	2.2175	230	1.6305	280	2.761
31	1.087	81	1.239	131	3.044	181	2.739	231	2.935	281	3.783
32	3.044	82	3.478	132	3.370	182	2.1305	232	2.6305	282	2.174
33	3.935	83	3.8045	133	2.674	183	2.522	233	3.848	283	2.413
34	3.044	84	1.0435	134	1.087	184	2.891	234	3.544	284	3.8915
35	1.0435	85	3.370	135	2.370	185	1.804	235	3.022	285	2.826
36	3.370	86	1.022	136	3.326	186	3.500	236	3.239	286	4.087
37	4.174	87	3.739	137	2.261	187	2.891	237	2.913	287	1.195
38	3.544	88	3.631	138	2.370	188	1.739	238	1.848	288	2.826
39	2.457	89	2.578	139	2.522	189	3.3262	239	3.022	289	4.044
40	2.022	90	2.826	140	1.478	190	2.500	240	1.522	290	3.957
41	3.761	91	2.826	141	1.870	191	3.957	241	2.935	291	5.087
42	2.261	92	2.348	142	2.304	192	3.370	242	2.196	292	3.761
43	1.196	93	3.109	143	2.000	193	3.283	243	4.8045	293	2.696
44	2.326	94	1.457	144	2.6305	194	2.457	244	4.218	294	1.283
45	2.174	95	1.652	145	2.022	195	1.000	245	2.891	295	2.891
46	2.239	96	1.609	146	3.413	196	3.609	246	2.696	296	2.826
47	2.891	97	1.565	147	1.022	197	3.652	247	2.696	297	2.239
48	1.848	98	2.6305	148	2.739	198	1.087	248	4.218	298	2.848
49	2.891	99	2.696	149	3.065	199	2.065	249	3.783	299	2.304
50	3.391	100	3.870	150	2.696	200	1.478	250	3.739	300	2.413

$$\Sigma L = 832,08$$

$$\Sigma L^2 = 2480,36$$

longitud de fibra promedio ponderada por longitud = $\Sigma L^2 / \Sigma L$

Long. de fibra prom. pond. por long. = 2,981 mm

- Cálculo de Espesores de pared y Diámetro de fibra

Cálculo de Espesores de pared y Diámetro de fibra							
Mad. 1		Mad. 2		Mad. 3		Mad. 4	
Doble Espesor (div.)	Espesor (μ)	Doble Espesor (div.)	Espesor (μ)	Doble Espesor (div.)	Espesor (μ)	Doble Espesor (div.)	Espesor (μ)
4	3,16	5	3,95	4	3,16	5	3,95
4	3,16	6	4,74	5	3,95	4	3,16
4	3,16	6	4,74	5	3,95	4	3,16
5	3,95	5	3,95	6	4,74	6	4,74
6	4,74	5	3,95	6	4,74	7	5,53
5	3,95	5	3,95	6	4,74	5	3,95
6	4,74	6	4,74	4	3,16	5	3,95
5	3,95	7	5,53	6	4,74	5	3,95
5	3,95	8	6,32	4	3,16	5	3,95
5	3,95	7	5,53	5	3,95	5	3,95
5	3,95	7	5,53	4	3,16		
5	3,95	6	4,74	5	3,95		
5	3,95	8	6,32	6	4,74		
7	5,53	8	6,32	5	3,95		
6	4,74	6	4,74	5	3,95		
5	3,95	6	4,74	5	3,95		
5	3,95	7	5,53	5	3,95		
5	3,95	6	4,74	4	3,16		
4	3,16	8	6,32	5	3,95		
4	3,16	6	4,74	6	4,74		
4	3,16	7	5,53	5	3,95		
5	3,95	5	3,95	6	4,74		
5	3,95	6	4,74	5	3,95		
5	3,95	6	4,74	5	3,95		
5	3,95	8	6,32	5	3,95		
5	3,95	7	5,53	6	4,74		
4	3,16	7	5,53	5	3,95		
4	3,16	7	5,53	5	3,95		
6	4,74	6	4,74	7	5,53		
5	3,95	5	3,95	6	4,74		
4	3,16	7	5,53	7	5,53		
5	3,95	6	4,74	7	5,53		
5	3,95	6	4,74	7	5,53		
5	3,95	6	4,74	6	4,74		
5	3,95	8	6,32	6	4,74		
7	5,53	8	6,32	6	4,74		
6	4,74	8	6,32	7	5,53		
5	3,95	7	5,53	6	4,74		
4	3,16	6	4,74	6	4,74		
3	2,37	7	5,53	6	4,74		
5	3,95	6	4,74	5	3,95		
6	4,74	7	5,53	6	4,74		
4	3,16	5	3,95	7	5,53		
4	3,16	7	5,53	6	4,74		
5	3,95	6	4,74	5	3,95		
5	3,95	6	4,74	5	3,95		
5	3,95	5	3,95	5	3,95		
5	3,95	5	3,95	6	4,74		

4	3,16	8	6,32	5	3,95		
8	6,32	7	5,53	5	3,95		
5	3,95	5	3,95	7	5,53		
5	3,95	7	5,53	5	3,95		
5	3,95	8	6,32	5	3,95		
5	3,95	8	6,32	5	3,95		
4	3,16	6	4,74	6	4,74		
4	3,16	7	5,53	7	5,53		
5	3,95	8	6,32	5	3,95		
4	3,16	7	5,53	7	5,53		
5	3,95	7	5,53	6	4,74		
5	3,95	6	4,74	7	5,53		
Prom. Colum	3,88		5,16	Prom, Colum,=	4,41	Prom, Colum,=	4,02
Prom. Global	4,37						

Mediciones de diámetro de fibra											
D1	D2	Prom.	D1	D2	Prom.	D1	D2	Prom.	D1	D2	Prom.
21	22	33,97	18	15	26,07	25	20	35,55	25	22	37,13
19	25	34,76	19	23	33,18	25	18	33,97	16	25	32,39
27	22	38,71	22	17	30,81	24	23	37,13	22	21	33,97
25	19	34,76	17	20	29,23	20	18	30,02	27	28	43,45
20	25	35,55	19	22	32,39	20	17	29,23	25	17	33,18
23	23	36,34	15	25	31,6	20	20	31,6	22	17	30,81
19	25	34,76	22	16	30,02	20	20	31,6	20	20	31,6
32	20	41,08	18	19	29,23	25	23	37,92	25	22	37,13
17	25	33,18	15	24	30,81	12	17	22,91	22	26	37,92
32	23	43,45	30	17	37,13	19	20	30,81	25	22	37,13
18	28	36,34	25	20	35,55	20	17	29,23	20	17	29,23
17	23	31,6	25	23	37,92	20	22	33,18	21	24	35,55
14	22	28,44	30	21	40,29	25	19	34,76	15	20	27,65
25	22	37,13	18	22	31,6	23	20	33,97	25	30	43,45
15	20	27,65	20	20	31,6	30	21	40,29	22	15	29,23
25	23	37,92	22	25	37,13	16	21	29,23	17	20	29,23
20	23	33,97	20	17	29,23	15	21	28,44	35	32	52,93
25	22	37,13	22	25	37,13	19	22	32,39	25	21	36,34
28	17	35,55	21	26	37,13	20	22	33,18	31	18	38,71
18	25	33,97	28	25	41,87	20	22	33,18	25	25	39,5
22	19	32,39	27	23	39,5	20	20	31,6	27	27	42,66
27	20	37,13	15	22	29,23	14	25	30,81	26	29	43,45
19	28	37,13	20	24	34,76	20	20	31,6	21	25	36,34
24	20	34,76	22	23	35,55	20	22	33,18	22	26	37,92
20	25	35,55	25	15	31,6	20	20	31,6	30	28	45,82
20	23	33,97	17	20	29,23	27	20	37,13	28	25	41,87
17	17	26,86	27	25	41,08	22	15	29,23	29	27	44,24
22	22	34,76	15	21	28,44	25	25	39,5	30	27	45,03
18	25	33,97	20	20	31,6	25	25	39,5	25	25	39,5
32	20	41,08	20	24	34,76	20	21	32,39	21	25	36,34
18	30	37,92	20	22	33,18	27	20	37,13	25	18	33,97
27	22	38,71	15	24	30,81	23	24	37,13	22	33	43,45
12	23	27,65	20	17	29,23	29	15	34,76	27	20	37,13
20	20	31,6	25	25	39,5	18	27	35,55	22	30	41,08

ANEXO II

Pulpado Kraft

- **Preparación y Titulación de licores Kraft**

En primer lugar, es necesario calcular las masas de Alkali activo (AA), NaOH y SNa_2 para un total de 3000 g de madera (3 cargas de chips al digestor), de acuerdo a las condiciones seleccionadas para el ciclo de cocción.

$$M_{AA} = P_{\text{mad.}} \times AA/100 \quad M_{\text{SNa}_2} = P_{\text{mad.}} \times AA/100 \times S/100 \quad M_{\text{NaOH}} = M_{AA} - M_{\text{SNa}_2}$$

donde

- M_{AA} = masa en g de álcali activo
- P_{mad} = peso de chips de madera en g
- AA = álcali activo en %
- S = sulfidez en %
- M_{NaOH} = masa en g de NaOH

Reemplazando se obtiene:

$$M_{AA} = 750 \text{ g} \quad M_{\text{SNa}_2} = 187.5 \text{ g} \quad M_{\text{NaOH}} = 562.5 \text{ g}$$

Como las drogas utilizadas en la preparación de las soluciones son de grado técnico, se afecta la masa por la pureza, resultando en cada caso:

$$M_{\text{SNa}_2} = 187,5 \text{ g}/0,45 = 417 \text{ g}$$

$$M_{\text{NaOH}} = 562,5 \text{ g}/0,90 = 625 \text{ g}$$

Se pesa entonces la cantidad calculada para cada droga, se disuelven en agua a temperatura ambiente, y luego de una completa disolución, se titulan ambas. Por lo tanto, de la titulación de SNa_2 : $V_1 = 6 \text{ ml}$ $V_2 = 12,5 \text{ ml}$

$$AE = 6 \text{ ml} \times 1 \text{ N} \times 0.9976 \times 4 = 23.94$$

$$AA = 12.5 \text{ ml} \times 1 \text{ N} \times 0.9976 \times 4 = 49.88$$

El factor 4 aparece para transformar los equivalentes en g/l de hidróxido de sodio. Si restamos al álcali activo el álcali efectivo, la diferencia es la mitad del sulfuro de sodio presente

$$\frac{1}{2} \text{SNa}_2 = 25,94 \text{ g/l} \quad \text{SNa}_2 = 51,9 \text{ g/l}$$

De esta solución se toma un volumen para preparar el licor blanco, según:

$$\text{Vol. SNa}_2 \text{ a tomar} = 187,5 \text{ g} / 51,9 \text{ g/l} = 3,6 \text{ l}$$

$$\text{De la titulación del hidróxido de sodio: } V_2 = 25,6 \text{ ml}$$

$$AA = 25,6 \text{ ml} \times 1 \text{ N} \times 0,9976 \times 4 = 102,15 \text{ g/l}$$

$$\text{Vol. NaOH a tomar} = 565,5 \text{ g} / 102,15 \text{ g/l} = 5,5 \text{ l}$$

Se mezclan estos volúmenes, se deja descansar y se procede a su titulación final para conocer su concentración exacta antes de la corrida, con ácido clorhídrico 0,5 N.

$$AE = 35,5 \text{ ml} \times 0,5 \text{ N} \times 0,9979 \times 4 = 70,85$$

$$AA = 40,6 \text{ ml} \times 0,5 \text{ N} \times 0,9979 \times 4 = 81,03$$

$$AA = 81,03 \text{ g/l}$$

$$\text{Sulfidez \%} = \frac{(AA - AE) \times 2 \times 100}{AA}$$

$$S = 25,8 \%$$

• Cálculo de factor H y Tiempo a Temperatura máxima

Tiempo (min)	Temp. Teórica (°C)	Temp. Leída (°C)	K(t)	$\frac{(K_n + K_{n+1})\Delta t}{2 \times 60}$	$\Sigma f H_i$
0	120	96,0			
1	121,7	90,8			
2	123,3	122,4	11,6		
3	125	134,1	37,3	0,41	0,41
4	126,7	132,6	32,2	0,58	0,99
5	128,3	129,3	23,3	0,46	1,45
6	130	129,5	23,7	0,39	1,84
7	131,7	131,6	29,2	0,44	2,28
8	133,3	132,7	32,6	0,51	2,80
9	135	134,3	38,1	0,59	3,39
10	136,7	135,8	44,0	0,68	4,07
11	138,3	138,1	54,9	0,82	4,90
12	140	139,1	60,4	0,96	5,86
13	141,7	139,5	62,7	1,02	6,88
14	143,3	142,7	84,7	1,23	8,11
15	145	144,9	103,8	1,57	9,68
16	146,7	146,9	124,8	1,90	11,59
17	148,3	148,7	147,0	2,26	13,85
18	150	149,4	156,6	2,53	16,38
19	151,7	150,2	168,3	2,71	19,09
20	153,3	152,7	210,5	3,16	22,25
21	155	155,6	271,9	4,02	26,27
22	156,7	158,3	344,1	5,13	31,40
23	158,3	156,8	302,0	5,38	36,78
24	160	159,8	391,6	5,78	42,56
25	161,7	161,0	434,1	6,88	49,44
26	163,3	162,9	510,4	7,87	57,32
27	165	164,2	569,6	9,00	66,32
28	166,7	167,8	769,7	11,16	77,48
29	168,3	170,6	969,4	14,49	91,97
30	170	170,3	945,9	15,96	107,9

Donde $K(t) = e^{(43,20 - 16113/T)}$ $fH = \int k(t) dt$

Tiempo a Temp. = $\frac{fH - \sum fH_i}{K_{(170)}}$ = $[H_s]$

En el caso de la segunda experiencia de pulpado:

Tiempo a Temp. = $\frac{3000 - 107,9}{K_{(170)}}$

- **Cálculo de la sequedad de chips de madera**

Muestra	1	2
P vaso vacío	160,6 g	121,0 g
P vaso + chips húm.	180,0 g	143,4 g
P chips húm.	19,4 g	22,4 g
P vaso + chips secos	177,7 g	140,9 g
P chips secos	17,1 g	19,9 g
Sequedad	0,88	0,89
Sequedad promedio	0,885	

- **Cálculo de rendimiento de digestión para la primera experiencia de pulpado**

Masa inicial chips secos	1000 g
P bolsa húm. + pulpa húm.	2222,6 g
P bolsa húm.	367,5 g
Pulpa húm.	1855,1 g
Sequedad	0,28
Pulpa seca = pulpa húm. x seq.	519,4 g
Rend. = pulpa seca / madera	
Rendimiento (K2000)	51,9 %

- **Resultados de la clasificación en zaranda Valley**

Pasta húm.	89,4 g
Sequedad de pasta	0,28
Pasta seca	25,03 g
Peso vaso	176,6 g
p. vaso + rechazos	178,6 g
peso de rechazos	2,0 g
% de rechazos (1ª etapa de digestión)	8 %

- **Cálculo de número Kappa**

En este caso, para la pasta entera de la primera experiencia de pulpado, K2000.

	1	2
p. m. Húm.	0,6034	0,6076
sequedad	0,9003	0,9003
w	0,5432	0,5470
b	47,5	47,5
a	19,7	19,8
p	56,6	56,4
f (tabla)	1,014	1,014
Nº Kappa	105,7	104,6
Nº Kappa promedio K2000	105	

- **Determinación de lignina Klason en pulpa**

	Muestra 1 1º corrida	Muestra 2 1º corrida	Muestra 1 2º corrida
m. húmeda	2,1942	2,0772	2,0199
sequedad	0,8925	0,8925	0,8910
m. seca	1,9583	1,8539	1,7997
p. vaso	50,2020	49,7205	47,4548
p. vaso + lignina K.	50,4880	49,9901	47,6122
lignina K.	0,2860	0,2696	0,1574
% lignina K.	14,6 %	14,5 %	8,7 %

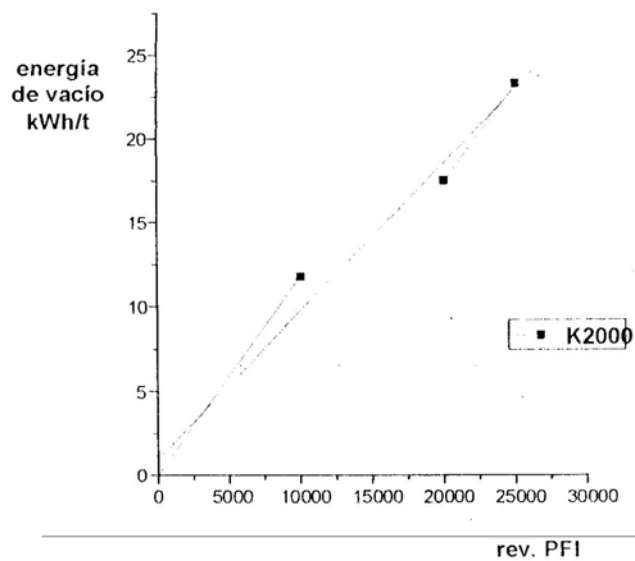
ANEXO III

REFINO EN PFI DE PULPAS KRAFT

- Energía en vacío y con carga. Cálculo por regresión lineal para la pasta obtenida en la primera etapa de digestión (K2000)

Nº rev. PFI	Lectura en vacío	Por regresión lineal	Energía en vacío (kWh/t)	Lectura con carga
0	0	0	0	0
6000	--	10,94	10,94	20,25
10000	11,75	18,23	18,23	31,00
20000	17,50	36,46	34,46	62,00
25000	23,25	45,57	45,57	77,25

- Regresión lineal para la energía de vacío de PFI



- **Determinación de CSF corregido por temperatura y consistencia.**

Primera experiencia de pulpado (K2000)

Nº rev. PFI	CSF Medido, (ml)	Temp. de ensayo (°C)	Consistencia (g)	CSF Corregido, (ml)
0	735	16,0	3,0	735
	735			
6000	730	19,0	3,10	740
	730			
10000	720	11,5	3,08	730
	740			
20000	560	11,5	3,02	585
	540			
25000	320	11,5	3,21	370
	320			

Segunda experiencia de pulpado (K3000)

Nº rev. PFI	CSF Medido, (ml)	Temperatura de ensayo (°C)	Consistencia (g)	CSF corregido (ml)
0	735	13	3,18	735
	730			
4000	710	18	3,38	740
	720			
7500	665	18	3,52	700
	670			
10000	620	19	3,46	650
	620			
20000	395	19	3,36	425
25000	260	19	3,39	290
	260			

ANEXO IV

ENSAYO DE PROPIEDADES FISICAS

• Propiedades pulpa kraft: K3000

MUESTRA : K3000							
	Gramaje g/m ²		Densidad g/cm ³		Tracción kNm/kg		Desgarro Nm ² /kg
			0,906		2,95		53,5
			0,942		2,75		50,0
			0,919		1,85		54,0
			0,971		3,05		63,0
			0,906		3,50		
			0,911		3,20		
			0,915		3,25		
			0,955		2,15		
			0,893		3,70		
			0,943				
		X	0,9261	X=	2,93	X=	55,125
n	5	n	5				5
g	6,94	V	0,185				
G	64,86	D=	0,350	IT	29,6	ID	26,67

• Propiedades pasta mecánica: M I

	Gramaje g/m ²		Densidad u-g/m ³		Tracción kNm/kg		Desgarro Nm ² /kg		Scattering Ro Roo		Brightness ISO
			2,052		1,50		14,0		54,25 54,20		41,60
			2,064		1,55		13,0		54,30 54,30		41,75
			2,078		1,45		13,0		54,15 54,20		41,50
			2,046		1,50		12,0		54,10 54,30		41,70
			2,028		1,50		12,0		54,20 54,20		41,50
			2,016		1,40				54,20 54,35		41,70
			2,045		1,55				54,10 54,10		41,70
			2,021		1,50						
			2,077		1,50						
			2,035		1,50				6 6		
		X	2,0462	X	1,50	X	12,8		0,632 0,633		
n	5	n	7				9				
g	13,65	V	0,292								
G=	127,57	D=	0,436	IT	7,7	ID	1,75	S=	53,59	Iso B	41,64

ANEXO V

PULPADO MECANICO

- **Cálculo de Energía mecánica consumida**

Los valores de Energía específica obtenidos se refieren a la unidad de masa. Como se procesó 1,5 kg de chips de madera en la primera etapa, de la Fig. 6.17 la Energía mecánica consumida es aproximadamente:

$$480 \text{ kWh}/1,5 \text{ kg} = 320 \text{ kWh/t}$$

En la segunda etapa, teniendo en cuenta pérdidas, rendimiento de la operación por desecho de rechazos, y extracción de muestras intermedias en los reciclos de la pulpa aceptada, la masa aproximada es de 1,1 kg, por lo que la Energía mecánica específica consumida es, según la Fig. 6.18:

$$870 \text{ kWh}/1,1 \text{ kg} = 791 \text{ kWh/t}$$

Por lo tanto, el consumo total equivale a 1110 kWh/t para la pasta RMP de ciprés calvo.

- **Drenabilidad de la pasta mecánica**

muestra	CSF Medido, (ml)	Temp. de ensayo (°C)	Consistencia (g)	CSF Corregido, (ml)
M0	275	26,0	2,80	236
M1	275 194	25,0	3,30	192
M2	200 150	26,0	3,00	130
M3	94 100	25,0	3,09	89

- **Clasificación en Bauer McNett .**

Las fracciones se expresan en %, siempre referido a 10,00 g secos de pasta, y utilizando los mismos tamices en cada compartimento del equipo.

M 0:

Fracción	Papel húm.	Papel seco	Pap.+pasta	Pasta	%
R 30	0.8175	0.7632	2.7435	1.9803	19.8
30/50	0.7972	0.7443	5.0117	4.2674	42.7
50/100	0.7851	0.7330	3.2141	2.4811	24.8
100/200	0.8432	0.7872	1.7342	0.9770	9.8
P200	-	-	-	-	2.9

M 1:

Fracción	Papel húm.	Papel seco	Pap.+pasta	Pasta	%
R 30	0.8086	0.7524	1.6241	0.8717	8.7
30/50	0.7811	0.7268	4.2987	3.5719	35.7
50/100	0.8390	0.7807	3.3714	2.5907	25.9
100/200	0.7949	0.7397	1.6458	0.9061	9.1
P200	-	-	-	-	20.6

M 2:

Fracción	Papel húm.	Papel seco	Pap.+pasta	Pasta	%
R 30	0.7981	0.7426	1.3768	0.6342	6.3
30/50	0.7985	0.7430	3.7758	3.0328	30.3
50/100	0.8562	0.7967	3.4159	2.6192	26.2
100/200	0.8112	0.7548	1.8186	1.0638	10.6
P200	-	-	-	-	26.6

M 3:

Fracción	Papel húm.	Papel seco	Pap.+pasta	Pasta	%
R 30	0.8036	0.7496	1.1055	0.3559	3.6
30/50	0.8415	0.7850	3.8171	3.0321	30.3
50/100	0.8560	0.7985	3.6788	2.8803	28.8
100/200	0.8273	0.7717	1.9746	1.2029	12.0
P200	-	-	-	-	25.3