

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA



**OBTENCION Y EVALUACION DE PULPAS NO BLANQUEADAS,
POR EL PROCESO AL SULFATO (METODO KRAFT), A
PARTIR DE TRES ESPECIES
GUATEMALTECAS DE PINO.**

TESIS

Presentada a la Junta Directiva de la
Facultad de Ingeniería
por

José Danilo Méndez Soto

Al conferirsele el título de

INGENIERO QUIMICO

Guatemala, Marzo de 1996.

08
T(3738)
C.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los conceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

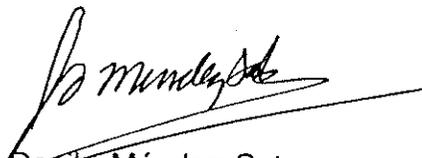
OBTENCION Y EVALUACION DE PULPAS NO BLANQUEADAS,

POR EL PROCESO AL SULFATO (METODO KRAFT),

A PARTIR DE TRES ESPECIES

GUATEMALTECAS DE PINO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química.


José Danilo Méndez Soto



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK
VOCAL PRIMERO	ING. MIGUEL ANGEL SANCHEZ GUERRA
VOCAL SEGUNDO	ING. JACK DOUGLAS IBARRA SOLORZANO
VOCAL TERCERO	ING. JUAN ADOLFO ECHEVERRIA MENDEZ
VOCAL CUARTO	BR. FERNANDO W. DE LEON CONTRERAS
VOCAL QUINTO	BR. PEDRO IGNACIO ESCALANTE PASTOR
SECRETARIO	ING. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ LOPEZ

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK
EXAMINADOR	DR. RODOLFO ESPINOSA SMITH
EXAMINADOR	ING. CESAR ALFONSO GARCIA GUERRA
EXAMINADOR	ING. JOSE MANUEL TAY OROXOM
SECRETARIO	ING. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ LOPEZ



COSTA RICA
EL SALVADOR
GUATEMALA
HONDURAS
NICARAGUA

INSTITUTO CENTROAMERICANO DE
INVESTIGACION Y TECNOLOGIA INDUSTRIAL
(ICAITI)

CENTRAL AMERICAN RESEARCH INSTITUTE FOR INDUSTRY
Avenida La Reforma 4-47, Zona 10 - 01010
GUATEMALA, C. A.

APARTADO POSTAL 1552 - 01901
CABLES: ICAITI
TELEX: 5312-ICAITI-GU
FAX (502) 2 - 317470
TELEFONOS: 310631 Y 340209

AISS-125/95
Guatemala, 10 de mayo de 1995

Doctor Adolfo Gramajo
Director, Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad Universitaria, zona 12

Asunto: Trabajo de tesis.

Estimado Ingeniero Gramajo:

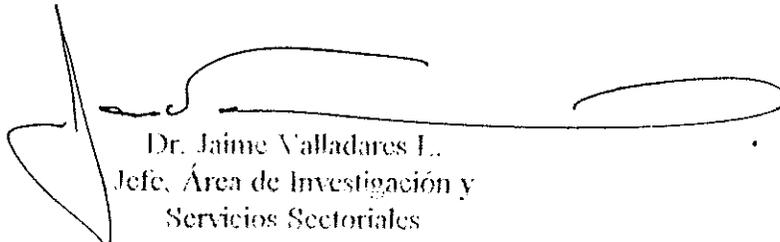
Por este medio le comunico que he asesorado el trabajo de tesis "*Obtención y evaluación de pulpas y papeles sin blanquear por el proceso al sulfato (método kraft) a partir de tres especies guatemaltecas de pino*", desarrollado por el estudiante José Danilo Méndez Soto, para optar al título de Ingeniero Químico.

En mi calidad de Asesor, procedí a supervisar el trabajo de protocolo, la realización práctica y la elaboración del Informe Final de Tesis, que resume lo efectuado por el señor Méndez Soto, llegando a la conclusión de que dicho trabajo es una fuente de información útil e importante para trabajos posteriores relacionados con el campo investigado.

Es por tanto, mi opinión que dicho informe de tesis sea aprobado, procediéndose posteriormente a su impresión y divulgación.

A la espera de que ustedes queden igualmente satisfechos con el presente trabajo, quedo de usted,

Muy atentamente,



Dr. Jaime Valladares L.
Jefe, Área de Investigación y
Servicios Sectoriales

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 23 de mayo de 1995

Ing.
Adolfo Gramajo
Director
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

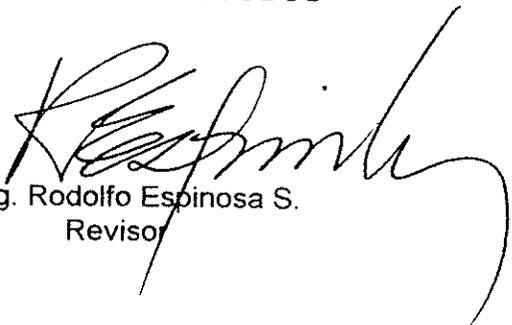
Estimado Ing. Gramajo:

Por medio de la presente me permito hacer de su conocimiento que he revisado el trabajo de Tesis del estudiante JOSE DANILO MENDEZ SOTO; titulado: **OBTENCION Y EVALUACION DE PULPAS NO BLANQUEADAS, POR EL PROCESO AL SULFATO (METODO KRAFT), A PARTIR DE TRES ESPECIES GUATEMALTECAS DE PINO**, de la cual dejo constancia de mi aprobación a la misma, para proceder a la autorización del respectivo trabajo.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Rodolfo Espinosa S.
Revisor





FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Química, Dr. Adolfo Gramajo, después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo de tesis del estudiante José Danilo Méndez Soto; titulado: **OBTENCION Y EVALUACION DE PULPAS NO BLANQUEADAS, POR EL PROCESO AL SULFATO (METODO KRAFT), A PARTIR DE TRES ESPECIES GUATEMALTECAS DE PINO,** procede a la autorización del mismo.


Dr. Adolfo Gramajo
DIRECTOR
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA


Guatemala, 20 de marzo de 1,996.



FACULTAD DE INGENIERIA

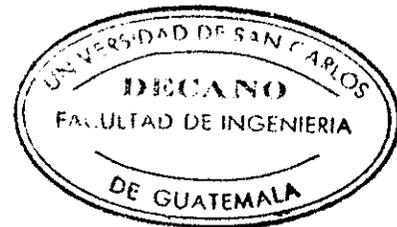
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de Tesis titulado: **OBTENCION Y EVALUACION DE PULPAS NO BLANQUEADAS, POR EL PROCESO AL SULFATO (METODO KRAFT), A PARTIR DE TRES ESPECIES GUATEMALTECAS DE PINO**, del estudiante **José Danilo Méndez Soto**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Julio Ismael González Podszueck
DECANO



Guatemala, 20 de marzo de 1,996.

SEA BENDITO EL NOMBRE DE DIOS, DE SIGLOS EN SIGLOS,
PORQUE SUYOS SON EL PODER Y LA SABIDURIA.

EL MUDA LOS TIEMPOS Y LAS EDADES;
QUITA REYES Y PONE REYES;
DA SABIDURIA A LOS SABIOS Y LA CIENCIA
A LOS ENTENDIDOS.

EL REVELA LO PROFUNDO Y LO ESCONDIDO;
CONOCE LO QUE ESTA EN TINIEBLAS,
Y CON EL MORA LA LUZ.

A TI; OH DIOS DE MIS PADRES,
TE DOY GRACIAS Y TE ALABO,
PORQUE ME HAS BENDITO.

Daniel 2:20-23.

A mis padres: José Romeo Méndez Ruíz
Ismelda Soto de Méndez

A ellos sea este triunfo
Gracias por su ejemplo, consejos, sacrificios, abnegación, paciencia
y su amor.

A mis hermanos: Paulo Edmundo, Geovanny, Francis, Marilú, Julieta, Humberto, Cecilia
y Carina.

Gracias por su cariño y apoyo.

A mis sobrinos.

A mis familiares.

A mis abuelas: Teodora Angelina Ruíz.
y
María Marcolfa Soto Pérez (Q.E.P.D.).
De quien siempre atesoraré en mi corazón su eterno amor.

A mis compañeros y hermanos en Cristo:
Cruzada Estudiantil y Profesional para Cristo
en especial a Arnoldo Cifuentes
Gracias por enseñarme El Camino.

A mi Guatemala: Porque pronto viva La Primavera del Espíritu.

AGRADECIMIENTO ESPECIAL A:

Dr. Jaime Valladares López.

Por su asesoría, interés, orientación, dirección, y apoyo brindados para el logro del presente trabajo de investigación.

Al Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial, ICAITI., por permitirme efectuar el presente trabajo en sus instalaciones.

A Elmer Hiram Pérez, cuyo apoyo hizo posible realizarlo.

A mi hermano Paulo Edmundo Méndez Soto, por su ayuda en cuanto al manejo de softwares, corrección, redacción, presentación e impresión final del texto.

INDICE

	PAGINA.
1.- RESUMEN	1
2.- INTRODUCCION	2
3.- ANTECEDENTES	4
4. JUSTIFICACIONES	11
5.- OBJETIVOS	15
6.- HIPOTESIS	16
7.- RESULTADOS	17
8.- DISCUSION DE RESULTADOS	21
9.- CONCLUSIONES	24
10.- RECOMENDACIONES	26
11.- METODOLOGIA	
11.1.- UNIVERSO DE TRABAJO	27
11.2.- APTITUDES PAPELERAS	27
11.3.- MATERIALES	27
11.4.- LUGAR DEL EXPERIMENTO	29
12.- PROGRAMA	
12.1.- OPERACIONES PREVIAS	30
12.2.- DIGESTION	30
12.3.- LAVADO Y DEPURACION	31
12.4.- RENDIMIENTOS	31
12.5.- REFINACION	31
12.6.- FORMACION DE HOJAS	32
12.7.- ACONDICIONAMIENTO	32
12.8.- PROPIEDADES FISICOMECAICAS	32
13.- BIBLIOGRAFIA	34
14.- ANEXO	
14.1.- DESCRIPCION BOTANICA	36
14.2.- CUADROS ECONOMICOS	37
14.3.- GLOSARIO	38
14.4.- CALCULOS	42

1.-RESUMEN

Guatemala, junto con las otras naciones centroamericanas, depende completamente de la importación de pastas celulósicas y derivados para la fabricación de papeles y cartulinas, que aumentan constantemente de precio y de las que se necesita cada vez más, lo cual ha incidido negativamente en sus débiles economías.

Esto impuso la necesidad de buscar opciones, que resuelvan el problema o lo mitiguen tomando en consideración el deterioro del medio ambiente por destrucción de la cubierta forestal y la contaminación del aire y de las reservas acuíferas.

Como resultado de ello se realizan investigaciones que crean y evalúan nuevos procesos de pulpeo poco contaminantes y también evalúan todas las fuentes probables de fibra celulósica de los recursos naturales de la región.

Las especies de Pino caribaea, oocarpa y tenuifolia, que se evaluaron, son las especies abundantes en el área de influencia de la planta de Celulosas de Guatemala S.A.(CELGUSA) y que probablemente estaban destinadas a ser explotadas, registraron en sus pulpas no blanqueadas, características papeleras adecuadas, en especial las pulpas de P. oocarpa y tenuifolia que presentan buenas características para ser blanqueadas, pero no tienen las mejores propiedades físicomecánicas, en tanto el P. caribaea sí presenta buenas propiedades físicomecánicas y la pulpa obtenida es de grado no blanqueable, lo que sugiere utilizar más químicos de pulpeo para obtener una pulpa adecuada para ser blanqueada.

2.-INTRODUCCION

El papel ha adquirido tal importancia en la vida moderna, que su consumo per cápita, es un fiel indicador del desarrollo económico, social y cultural alcanzado por un país.

Guatemala, al igual que las demás naciones centroamericanas, tiene un común denominador de dependencia externa, en cuanto a pastas celulósicas, papeles y cartones, lo cual ha incidido progresivamente, en forma negativa y con mayor peso, sobre sus deficitarias economías.

Por otro lado, debido a la situación de inestabilidad económica por la cual están atravesando los países del área, las importaciones de pulpas se han reducido en más del 20% y probablemente esta reducción se acentuará aún más en el futuro.(ref 19,pág 32)

Esto impone la necesidad de buscar alternativas que permitan disponer de materias primas fibrosas más accesibles y baratas, lo cual pone en la mira la posibilidad de disponer y explotar los recursos naturales de la región.

Por otra parte, el deterioro del medio ambiente debido por un lado, a la destrucción de zonas forestales, las cuales desaparecen a razón de 151 000 000ha por año en el mundo (superficie mayor que los territorios de Panamá, Costa Rica y El Salvador juntos), y a nivel nacional de 40 000 a 60 000 ha por año, y ha impulsado la búsqueda de soluciones adecuadas, que tomen en cuenta todos los factores involucrados.

El Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico de la O.E.A. en sus Proyectos Ordinarios de Celulosa y Papel y Especial de Recursos Fibrosos, ha propiciado una serie de investigaciones tendentes a evaluar los diferentes aspectos del problema.(ref 19,pág 3 y ref 13,pág 39).

Básicamente, las investigaciones se han centrado en la evaluación y creación de nuevos procesos de pulpeo, así como en la evaluación de todas las fuentes probables de fibra celulósica, a partir de los recursos naturales de los países latinoamericanos, como lo son los bosques nativos, especies exóticas y de rápido crecimiento, como especies vegetales no maderables y desechos agroindustriales.

Las coníferas en Guatemala, con 17 especies en total, constituyen actualmente cerca del 30 % del área boscosa del país y cubren cerca de 751 334ha, mientras que las latifoliadas con 450 especies y cerca del 70 % del área boscosa nacional alcanza una superficie de 1 753 113 ha.

De estas coníferas, las especies más abundantes y ubicadas en áreas de fácil acceso para su explotación, son las tres especies que se evaluaron en este estudio, las cuales son: El Pino caribaea, el Pino oocarpa, y el Pino tenuifolia, las cuales se encuentran principalmente en áreas accesibles que facilitan su explotación.(ref 1,pág 20-28).

Estas especies fueron evaluadas tanto en sus propiedades maderables, como en su capacidad papelera, mediante el proceso kraft.

3.-ANTECEDENTES

La producción de pulpa celulósica consiste básicamente en separar las fibras de la lignina que las cementa, mediante acción química, mecánica o una combinación de ambas.

Los residuos agrícolas, en general, se tratan mediante procesos químicos. En cambio, la madera puede tratarse mediante una variada gama de procesos, de donde se obtienen pastas celulósicas de las cuales pueden mencionarse las siguientes:

- a.- Pastas mecánicas: Que se subdividen en:
 - Pastas mecánicas
 - Pastas termo-mecánicas
 - Pastas químico-termo-mecánicas
- b.- Pastas semiquímicas
- c.- Pastas químico-mecánicas
- d.- Pastas químicas

Las pastas mecánicas: se obtienen comprimiendo la madera contra una piedra desfibradora en rotación, cuya superficie ha sido convenientemente preparada.

La superficie de la piedra es abrasiva y por lo tanto separa fibras, haces fibrosos y finos de la madera, los cuales constituyen la pasta mecánica. Esta pasta contiene todos los componentes originales de la madera: celulosa, hemicelulosa, lignina, resinas, etc.

Presenta el inconveniente del deterioro sufrido por las fibras, de tal manera que se obtienen pastas de baja resistencia.

Por ello, se utilizan desfibradores de discos, en lugar de las piedras, para lograr obtener fibras más sanas y de mejor resistencia. Además, en estas pastas, la energía consumida es mayor, debido a que se produce un mejor trabajo de fibrilación.

Las pastas termo-mecánicas, también llamadas TMP (en inglés "thermomechanical pulps"), son obtenidas calentando las astillas mediante vapor, a una temperatura superior a 100 °C y luego desfibradas bajo presión en un desfibrador de discos.

El calentamiento de las astillas ablanda la lignina y facilita así, la separación de las fibras. Las fibras de pasta termo-mecánica quedan por lo tanto menos dañadas que las

de las pastas mecánicas de piedra o de discos. Esto provee a las pastas termo-mecánicas una resistencia al rasgado más elevada que las pastas mecánicas convencionales.

Pastas químico-termo-mecánicas: son obtenidas por una variante del proceso termo-mecánico. La aplicación de un tratamiento químico con sulfito antes del desfibrado reblandece la lignina y facilita la separación de las fibras.

La lignina es un polímero hidrofóbico, que no permite el hinchamiento de las fibras en el agua.

La sulfonación de la lignina por tratamiento con sulfito la hace hidrofílica y mejora, por lo tanto, la hidratación y el hinchamiento de las fibras que se hacen flexibles después de la refinación.

La pasta obtenida, llamada CTMP (del inglés "chemithermomechanical pulp"), posee una resistencia superior a la de la pasta termo-mecánica. Por el contrario, la opacidad es más baja, de tal manera que es necesario encontrar un compromiso haciendo un tratamiento químico equilibrado que permita lograr resistencia sin perder excesiva opacidad.

Pastas semiquímicas: son obtenidas en un proceso de dos etapas que requiere un tratamiento químico a presión de las astillas para ablandar las uniones intercelulares por remoción parcial de hemicelulosas y lignina, seguido de un tratamiento mecánico vigoroso para separar las fibras individuales.

El pulpeo químico-mecánico es similar al proceso semiquímico, pero se caracteriza por un tratamiento químico aún más suave, sin aplicar presión como en el otro, a lo cual sigue una acción más enérgica.

Aunque es difícil hacer una clasificación estricta entre ambos procesos, en líneas generales se puede decir que un proceso semiquímico es aquel cuyo rendimiento de transformación de madera en pasta oscila entre el 70 y 80% y que, cuando el rendimiento supera el 80%, se está en presencia de un proceso químico-mecánico.

En contraste con las pastas químicas, que contienen una mínima cantidad de lignina, las pastas semiquímicas contienen más de la mitad de la lignina original. Las pastas químico-mecánicas retienen la lignina original casi inalterada, pero pierden algunos extractivos y hemicelulosas de cadenas más cortas.

En ambos procesos, al tratamiento químico, sigue una etapa de separación del licor agotado y luego un desfibrado.

Los procesos más difundidos en la actualidad son:

Proceso semiquímico:

- Sulfito neutro

Procesos químico-mecánicos:

- Soda fría
- Soda-sulfito
- Sulfito

Pastas químicas:

En 1857, Benjamín Tilghman descubrió en Filadelfia, que era posible ablandar la madera utilizando ácido sulfuroso. No obstante, notó que el ácido sulfuroso producía un "quemado" u oscurecimiento de la madera; más tarde comprobó que la presencia de una base catiónica como el calcio prevenía el oscurecimiento. Esto le valió la patente para el proceso en 1867. La primera producción comercial de pasta al sulfito se llevó a cabo en Suecia en 1874.(ref 15,pág 67)

La comercialización de las pastas al sulfito se desarrolló muy rápidamente y, a partir de 1890 y por décadas, éste fue el proceso más importante a nivel mundial.

En el proceso al sulfito, no se practicaba la recuperación de reactivos, enviándose el efluente de las fábricas, a ríos o lagunas directamente, lo que constituye una importante fuente de contaminación. Este es uno de los motivos por los cuales ya no se instalan plantas por este proceso, a pesar de que las materias primas requeridas como el azufre y piedra caliza son de bajo costo.

El proceso a la Sosa, patentado en 1854, fue el primer método químico utilizado para obtener pasta y el precursor del proceso kraft.

En 1865 se patentó la incineración del licor negro para recuperar la mayor parte de la soda caústica usada, y en 1866 se puso en funcionamiento la primera planta productora de pasta a la sosa.

El descubrimiento del proceso kraft se le atribuye a C. F. Dahl, quien en un esfuerzo para sustituir el carbonato de sodio que era un material caro, intentó agregar sulfato de sodio al horno de recuperación para reponer la pérdida de sodio originadas durante el proceso de pulpeo. El sulfato de sodio se reduce químicamente a sulfuro de sodio en el horno, y de esta forma circunstancial, surgió un nuevo proceso.

Dahl encontró que el sulfuro de sodio aceleraba enormemente la deslignificación y producía una pulpa mucho más resistente. El proceso fue patentado en 1884 y fue usado por primera vez a escala comercial en Suecia en 1885.

Debido a la alta resistencia de los papeles elaborados con dicha pasta, se los llamó Kraft, que en sueco y alemán significa "fuerte".

Luego de esto, muchas fábricas a la sosa fueron transformadas al proceso Kraft, para poder competir con las que utilizaban el proceso al sulfito.

El gran auge del proceso Kraft tuvo lugar en 1930, con el desarrollo del Sistema Tomlinson para el quemado del licor negro, generación de vapor y recuperación de productos químicos en una sola unidad. Y por último en 1950, la introducción del blanqueo con dióxido de cloro permitió obtener pastas Kraft blanqueadas que podían competir con las pastas al sulfito, y fue esto lo que terminó dándole al proceso Kraft, la hegemonía a nivel mundial.(ref 16,pág 171).

Como parte del Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico de la O.E.A. en sus proyectos ordinario de Celulosa y Papel y especial de Recursos Fibrosos, se han propiciado en Guatemala, por medio del ICAITI, investigaciones tendientes a crear un banco de información tecnológica, que servirá en un futuro próximo, para realizar estudios finales, que conduzcan a la ejecución de proyectos concretos.

Así, a partir de 1971, Porres Carlos y Valladares, Jaime realizaron un estudio de prefactibilidad técnico-económica, para producir pulpa y papeles blanqueados a partir de borras de algodón ("mill run"), las cuales son un subproducto de la industria algodonera, el cual fue tratado con NaOH al 4% ; se probaron dos temperaturas de digestión a 130 y 170°C y tres diferentes tiempos a 15, 30 y 45 min, obteniendo, respecto al blanqueo, consumos de cloro total bastante bajos y rendimientos de blanqueo altos.(ref 8,pág 20-28)

Las propiedades físico-mecánicas de las pulpas blanqueadas a 45°SR, disminuyeron dramáticamente, al aumentar la drasticidad del tratamiento de pulpeo, lo que indica que el línter de algodón por su morfología debe tratarse con delicadeza.

En 1972, Valladares, J et al., probaron el kenaf (*Hibiscus cannabinus*) para la fabricación de pulpa y papel, habiéndose analizado las variedades Prokesa 100 (entero, parte leñosa y listón), G-51, G-45, C 20-30 y C 20-32 (solo en su listón); realizándose digestiones Kraft, en las cuales se usó un 20% de NaOH (como Na₂O) como álcali activo y 25%(como Na₂O) de sulfidez, con un hidromódulo 1:6, a una temperatura de 160°C con tiempos de elevación a temperatura de 30 min y un tiempo de digestión a temperatura de 120 min.

Como materia prima, se utilizaron 1 000 g(secos) de tallos de kenaf.(ref 8,pág 29-39)

Se obtuvo un rendimiento de digestión de 59.9% y un número Kappa de 18.3. Se recomendó descartar en ese momento su uso, por no convenir económicamente; aparte de que los suelos cultivables no podrían comprometerse a la producción de fibras por más

tiempo, cuando la demanda mundial por alimentos los requieren con urgencia.(ref 6)

Posteriormente en 1974, Valladares J, et al, evaluaron el bagazo de té de limón y citronela, que genera la industria productora de aceites esenciales en Guatemala; el bagazo generado anualmente como desecho alcanza un promedio de 75,000 toneladas métricas de bagazo/año (1968-71), el cual grava el precio del aceite (por su manejo en las fábricas) y provoca contaminación ambiental.(ref 8,pág 40-58)

Se evaluaron muestras de té de limón Cymbopogon flexuosus y citratius, tomando en cuenta la sugerencia de la Asociación, en el sentido de que el cultivo estaba evolucionando hacia la variedad flexuosus. Se elaboró un diseño factorial, para establecer la influencia sobre la calidad de la pulpa y el papel, de tres variables en dos niveles diferentes:

Porcentaje de NaOH(%), temperatura(°C) y tiempos (min).

Las pulpas obtenidas se evaluaron en su rendimiento de digestión, número Kappa, álcali residual, cloro consumido y propiedades físico-mecánicas.

Este material con una composición fibrosa muy atractiva (0.88 a 1.76mm, de largo promedio de fibra), dio un rendimiento entre 34% y 47% y un número Kappa entre 11 y 28, con un consumo de álcali entre 8% y 12%, y se determinó que el bagazo de té de limón no es una materia prima adecuada para la fabricación de papeles donde se requieran altas propiedades físico-mecánicas, pero sí para cartón para corrugar y papel obtenido de mezclas con papel de desperdicio de industrias cartoneras.

Luego en 1977, Porres, Ortega, C y Valladares, J realizaron estudios sobre las especies arbóreas latifoliadas más abundantes en el departamento del Petén.(ref 14,ref 8,pág 58-70)

La mayor parte de ellas poseen fibras cortas y algunas con fibras medianamente largas. En este estudio, se evaluaron las propiedades de las pulpas obtenidas a partir de una mezcla de dichas especies, conformada según su frecuencia en el bosque, donde el 60.46% lo constituyen las especies Brosimum sp (Ramón), Dialium guianense (Tamarindillo) y Manilkara zapota (Chicozapote), basándose para ello en el inventario forestal realizado por la FAO.

Los tiempos de refinación disminuyeron al aumentar el álcali activo y sulfidez; mientras que las propiedades físico-mecánicas de dichas pulpas a 45°SR, se compararon favorablemente con los valores citados para pulpas comerciales obtenidas con mezclas de maderas tropicales.

El factor de estallido aumenta al aumentar la sulfidez y disminuye al incrementar el álcali activo.

Para la longitud de ruptura, se notó una paulatina disminución al aumentar tanto la sulfidez como el álcali activo.

Tanto las pulpas blanqueadas como las no blanqueadas, presentaron propiedades semejantes al de las pastas industriales, poniendo de manifiesto que los bosques tropicales centroamericanos, pueden constituir una inmensa fuente de recursos fibrosos productores de pastas y papeles.

Posteriormente en junio de 1981, Andújar A; Ayestas L y Valladares J; presentaron un informe, ante el II Congreso Latinoamericano de Celulosa y Papel, en Torremolinos, Málaga, España, sobre especies arbóreas de rápido crecimiento, y seleccionaron las especies siguientes:

Schizolobium parahybum (autóctona) y Albizia carbonaria (exótica), por ser las más atractivas por su madera y rápido crecimiento.(ref 20,pág 54).

En las digestiones, se obtuvieron rendimientos en pulpa tamizada de alrededor del 55% para la A. carbonaria y entre 46-48% para la S. parahybum. Al analizar los licores de digestión, se registraron altos valores del álcali residual para la especie S. parahybum, lo que indica que los tiempos de digestión para esta especie fueron cortos, si hacemos una correlación con los altos valores del número Kappa.

Para la especie A. carbonaria, se obtuvieron pulpas sin blanquear con las combinaciones álcali activo-sulfidez de 18-14 y 16-25, las cuales presentaron propiedades similares, acusando la pulpa 18-14 un valor del factor de rasgado un poco más alto, y la pulpa 16-25 un valor ligeramente más alto del factor de estallido.

Para la especie S. parahybum, las pulpas sin blanquear 20-25, desarrollaron valores más altos de los factores de rasgado y de dobleces.

En noviembre de 1983, Valladares, J; Anzueto Solares, C y Rolz Asturias, C, presentaron ante el III Congreso Latinoamericano de Celulosa y Papel, en Sao Paulo Brasil, el trabajo sobre desmedulado no convencional del bagazo de caña de azúcar, para su utilización como pulpa celulósica.(ref 9,pág 67)

Se obtuvieron pulpas con propiedades físico-mecánicas no muy diferentes, entre las pulpas pre-desmeduladas y las post-desmeduladas, que favoreció a las últimas en mayores rendimientos en pulpa depurada.

Asímismo, el valor de la mano resultó en las pulpas post-desmeduladas ligeramente más alto que el valor registrado para las pre-desmeduladas; el índice de estallido de las pulpas post-desmeduladas resultó en general algo bajo.

Los valores del índice de tensión resultaron algo bajos con relación a la pulpa de referencia; en lo que se refiere al índice de rasgado, los valores encontrados para las pulpas post-desmeduladas fueron ligeramente inferiores al de la pulpa de referencia y finalmente el valor de doble plegado fue bajo para las post-desmeduladas.

En 1988, se presentó un informe elaborado, por Jaime Valladares, Carlos Rolz y E. Pérez, sobre el uso de residuos fibrosos del cultivo del banano, como fuentes potenciales de celulosa y papel.(ref 9,pág 65)

En este se indica la obtención de fibras por medios biológicos y mecánicos del eje del racimo de la fruta, el falso tallo y los nervios de las hojas de la planta del banano, las cuales fueron transformados en pulpas químicas.

Estas pulpas son de grado blanqueable, y se comparan en sus propiedades, con las pulpas comerciales de fibra larga, sobresaliendo las pulpas obtenidas a partir del falso tallo, las cuales registraron valores similares a las pulpas de algodón.

El rendimiento en fibra con 8% de humedad del conjunto de todos los componentes de la planta verde fue del orden del 5%. En este rendimiento, se consideran las fibras obtenidas a partir del eje del racimo de la fruta, del falso tallo y de los nervios de la hoja.

Esto quiere decir que para obtener una tonelada de fibra seca se necesitan procesar 22 toneladas de material verde, lo cual equivale a 367 plantas, asumiendo que cada planta rinda 60 kg de material verde aproximadamente. Por lo tanto, si se asume un rendimiento en pulpa del 60%, para producir 1 tonelada de pulpa, se necesitarían 36.3 toneladas de material verde, es decir 605 plantas, lo que equivale a 0.34 hectáreas con una densidad de 1,800 plantas/hectárea.

4.-JUSTIFICACIONES

4.1.- Guatemala al igual que los demás países centroamericanos, tiene una dependencia externa total, al importar pulpa celulósica, papeles, cartones y productos afines, lo que agrava progresivamente la balanza comercial, desviando recursos que son necesarios para otras áreas prioritarias de la vida nacional.

En los cuadros A-1 y A-2 del anexo, se presentan las cifras de importaciones y exportaciones de papeles y cartones del Mercado Común Centroamericano, para el período comprendido entre 1980 y 1987. (ref. 17).

Se observa que las importaciones muestran una marcada disminución (11%), entre 1980 y 1981, y se mantiene casi constante el valor de las mismas en los tres años siguientes hasta que, en 1985, se registra una mayor reducción del 27.5% respecto al año anterior, para luego tener un aumento progresivo en los años siguientes, hasta alcanzar en 1987 valores cercanos a los del período 1981-1984.

Sin embargo, este comportamiento del volumen de las importaciones, no se refleja en el gasto anual de divisas cuyo valor permanece casi constante en 222.33 millones de US\$, debido al aumento registrado en el valor unitario de las importaciones.

Las exportaciones resultan irrelevantes al compararlas con el volumen de las importaciones, y se nota que el valor unitario de exportación es el doble del valor unitario importado, debido a que en la región no se encuentran fábricas de pulpa, y las fábricas de papel que se encuentran funcionando son muy pequeñas, y por lo tanto no presentan la ventaja que ofrecen las economías de escala, como se observa en el cuadro A-2.

A partir de 1986, se nota una paulatina recuperación, al punto que 1987, casi se alcanzaron los niveles de 1984, lo que proyecta para el futuro, una tendencia al aumento en las importaciones (la cual es impulsada por el incremento poblacional, programas que tienden a elevar el índice cultural, producción local mínima, y falta de planes de desarrollo en este sector). (ref 20,pág 32).

Esto impulsa a buscar nuevas fuentes de materia prima para la elaboración de papel, y que sean más accesibles y baratas, dentro de la misma región centroamericana.

4.2.- En Guatemala, existe una enorme disponibilidad de recursos naturales aún no explotados en forma racional, pues en su territorio crece una diversidad de flora, compuesta por diecisiete (17) especies de coníferas, cuatrocientos cincuenta (450) especies de árboles de hoja ancha, quinientas veintisiete (527) especies de orquideas (con veinticinco variedades y ochenta y nueve géneros, de las cuales cincuenta y siete especies son endémicas), ciento diez (110) especies de helechos (sesenta y siete

géneros, que pertenecen a nueve familias), quinientas diecinueve (519) especies de musgos (docientos cinco géneros, cincuenta y cinco especies endémicas), cuatro especies de mangle, así como doscientas cincuenta (250) especies de mamíferos, seiscientos sesenta y cuatro (664) especies de aves, trescientas diecinueve (319) especies de reptiles y anfibios, doscientas veinte (220) especies de peces de agua dulce, donde al menos cuarenta y cinco (45) especies de vertebrados son exclusivos del país.

Todo esto en catorce zonas de vida y variedad altitudinal que va desde el nivel del mar hasta 4,000 m snm, lo que da al país, gran importancia para la conservación de ecosistemas forestales tropicales y de diversidad biológica y una inmensa fuente de opciones para el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes (presentes y futuros). (ref. 13,pág. 46-47).

Además, tiene trece clases de suelos; de estos un 70% son apropiados para la producción forestal y el 26% para la generación agrícola intensiva.

Pero este enorme potencial, hoy se está perdiendo, debido principalmente a las razones siguientes:

- Tala inmoderada de bosques para la obtención de leña, para fines energéticos.
- Incendios forestales (un 8% de los bosques).
- Colonización de tierras con vocación forestal, para fines eminentemente agrícolas; avance de la frontera agrícola. (con una utilización del 90% de las regiones boscosas).
- Un aprovechamiento mínimo de cerca del 2%, de las áreas forestales. (ref. 13,pág. 39).

El país se convierte en desierto a pasos agigantados por un aumento constante de la erosión, debido a la deforestación, prácticas inadecuadas de cultivos estacionales en laderas y pendientes pronunciadas, y la susceptibilidad del suelo a la erosión, etc.

Los cultivos para consumo interno, como maíz y frijol, se producen en el altiplano, donde hay una mayor concentración de población, por lo que es allí donde ocurre un proceso acelerado de deterioro por tala y quema que generan pérdida de fertilidad.

Además hay que sumar la contaminación con agroquímicos que si bien incrementa la productividad, contribuye al mencionado deterioro, y se escapa toda posibilidad de aprovechamiento forestal.

Por otra parte, el área boscosa del país ha experimentado un grave deterioro, como lo muestra el siguiente cuadro:

Cubierta Forestal Guatemalteca

Año	Porcentaje del Territorio Nacional
1960	77.0%
1970	47.0%
1980	42.0%
1985	32.7%
1990	23.0%

De lo anterior, el Plan de Acción Forestal para Guatemala, por imágenes del satélite LANDSAT, determinó que de dicho porcentaje un 30 % corresponde a bosques de coníferas; mientras que las latifoliadas se encuentran mayoritariamente en los departamentos del Petén e Izabal, en donde en 1990 fue declarada como reserva la Biosfera Maya, en una extensión de 1.5 millones de hectáreas de bosques de latifoliadas al Norte del Petén, así como 250,000 ha de bosques mixtos en la Sierra de Las Minas.(ref 19)

De estos bosques, desaparecen anualmente de 40,000 a 60,000 ha, de las cuales el 23% de dicha deforestación sucede en formaciones de coníferas y el 77% en formaciones de latifoliadas.(En dicho estimado se consideró que en reforestación y regeneración natural entre 1976 y 1989 se llegó solo a 62,000 ha).(ref 13).

La mayor parte de la desaparición arbórea ocurre en los departamentos del Petén y las Verapaces, debido principalmente a la colonización de nuevas tierras, para destinarlas a sistemas de producción agrícola, que por ser establecidos en tierras de vocación forestal (pues son selva neotropical, con características muy especiales, como lo es estar asentada sobre suelos principalmente de origen Kárstico, que los hace un ecosistema muy frágil) no soportan por más de dos años el nuevo uso al que son destinadas, e impulsan a la búsqueda, en un círculo vicioso, de nuevas tierras, pues se usan además viejas costumbres de tala y quema para sembrar.(ref 13,pág 37)

Entonces la diversidad genética, el valor escénico, y el potencial productivo de bienes maderables, y no maderables puede ser la base sobre la cual los bosques no sólo se conserven, sino que también contribuyan en una forma determinante a erradicar el subdesarrollo de la región.

4.3.- Para la producción de papel, se necesita establecer como punto primordial de partida, la evaluación de las especies maderables y no maderables, así como subproductos agroindustriales, para crear un banco de información técnica, que sirva de base para futuros estudios que conduzcan a proyectos concretos.

Las especies coníferas, que se estudian en el presente trabajo, como son el Pino caribaea (Pino del Petén), el Pino oocarpa (Pino Colorado) y el Pino tenuifolia (Pino Candelillo), se escogieron porque son de las especies más abundantes y ubicadas en una región accesible que facilitaría su posible explotación mediante un manejo eficiente de sus bosques, y además, porque constituían en un principio la materia prima, destinada a alimentar a la planta industrial de Celulosas de Guatemala, S.A. (CELGUSA), para la producción de pulpa blanqueada de fibra larga.(ref 13,pag 42).

5.-OBJETIVOS

- 5.1.- Obtener pulpas químicas, por el proceso al sulfato o Kraft, utilizando las mismas condiciones, para las tres especies de pino: Pinus caribaea, P. oocarpa y P. tenuifolia.
- 5.2.- Evaluar las pulpas obtenidas de las tres especies de pino, en su rendimiento, número Kappa y propiedades físico-mecánicas.
- 5.3.- Determinar cuál de las especies de pino provee la pulpa con las mejores propiedades para la producción de papel, y comparar dichos resultados con otras pulpas.

6.-HIPOTESIS

Las tres especies nacionales de pino que se evalúan (Pinus caribaea, Pinus oocarpa y Pinus tenuifolia) son fuente potencial de materia prima, utilizada en la producción de celulosa para papel, con propiedades similares a las pulpas comerciales que se emplean actualmente en la región.

7.-RESULTADOS:**CUADRO No. 1: DENSIDAD BASICA (g/cc) PARA LAS DIFERENTES PARTES DEL ARBOL**

ESPECIE	PARTE SUPERIOR	PARTE MEDIA	PARTE INFERIOR	DENSIDAD PROMEDIO
caribaea	0.36	0.36	0.41	0.38
oocarpa	0.48	0.53	0.57	0.53
tenuifolia	0.44	0.45	0.43	0.44

CUADRO No. 2: DENSIDAD SECA (g/cc) PARA LAS DIFERENTES PARTES DEL ARBOL

ESPECIES	PARTE SUPERIOR	PARTE MEDIA	PARTE INFERIOR	DENSIDAD PROMEDIO
caribaea	0.39	0.47	0.57	0.48
oocarpa	0.62	0.69	0.72	0.68
tenuifolia	0.50	0.54	0.52	0.52

CUADRO No. 3 RENDIMIENTO EN PULPA

ESPECIE	TAMIZADO (%)	RECHAZO (%)	TOTAL (%)
caribaea	45.00	0.00	45.00
oocarpa	48.00	0.00	48.00
tenuifolia	38.00	0.00	38.00

CUADRO No. 4 SOLIDOS TOTALES

ESPECIE	AGREGADOS (%)	DISUELTOS (%)	TOTALES (%)
caribaea	62.28	154.23	216.51
oocarpa	62.28	161.62	223.90
tenuifolia	62.28	156.72	219.00

CUADRO No. 5 **ALCALI RESIDUAL, NUMERO KAPPA Y pH:**

ESPECIE	ALCALI RESIDUAL (%)	pH	NUMERO KAPPA
CARIBAEA	1.21	11.74	38.00
OOCARPA	2.23	11.91	22.00
TENUIFOLIA	1.84	11.85	26.00

CUADRO No. 6 **PULPA KRAFT SIN BLANQUEAR, PINO CARIBAEA PROPIEDADES INTERPOLADAS A 45° SR**

PFI (REV)	1520.00
MANO (cm ³ /g)	1.53
INDICE DE ESTALLIDO (Kpam ² /g)	5.96
INDICE DE RASGADO (mNm ² /g)	13.51
INDICE DE TENSION (Nm/g)	58.56
DOBLECES (MIT-1kg)	1495.00

CUADRO No. 7 PULPA KRAFT SIN BLANQUEAR, PINO OOCARPA PROPIEDADES INTERPOLADAS A 45° SR

PFI (REV)	996.00
MANO (cm ³ /g)	1.76
INDICE DE ESTALLIDO (KPam ² /g)	4.76
INDICE DE RASGADO (mNm ² /g)	14.69
INDICE DE TENSION (Nm/g)	46.37
DOBLECES (MIT-1kg)	756.00

CUADRO No. 8 PULPA KRFAT SIN BLANQUEAR PINO TENUIFOLIA PROPIEDADES INTERPOLADAS A 45° SR

PFI (REV)	1071.00
MANO (cm ³ /g)	1.48
INDICE DE ESTALLIDO (KPam ² /g)	5.29
INDICE DE RASGADO (mNm ² /g)	9.32
INDICE DE TENSION (Nm/g)	68.26
DOBLECES (MIT-1kg)	850.00

8.-DISCUSION DE RESULTADOS:

8.1.- Características físicas de la madera:

Al observar la densidad básica de las diferentes partes del árbol, el P. caribaea, tiene en la parte inferior del árbol la densidad básica mayor, al igual que el P. oocarpa; en tanto que el P. tenuifolia, no presenta mayor diferencia entre sus diferentes partes, es decir, que tiene una madera homogénea, entre las diferentes partes del árbol.

Al comparar las densidades básicas, entre las tres especies de pino, el P. oocarpa tiene la densidad básica mayor que las de otras especies (0.53g/cc) y el P. caribaea, la densidad básica menor respecto de las otras especies (0.38g/cc).

Sin embargo, al comparar estos valores con los de las coníferas (especies de madera blanda), las cuales tienen una densidad básica de 0.4-0.52 g/cc, se encuentra que el P. caribaea tiene una densidad básica baja que lo categoriza como de madera moderadamente liviana y el P. oocarpa una densidad básica alta, que lo categoriza como de madera moderadamente pesada.

Por los resultados de densidad seca, las tres especies de pino se clasifican como maderas blandas, pero entre las tres especies trabajadas, el P. oocarpa es el de la madera moderadamente pesada y el P. caribaea el de la madera moderadamente liviana.

8.2.- Resultados de las digestiones:

8.2.1.- Rendimiento y rechazos:

Al analizar el rendimiento obtenido de las digestiones Kraft, en las especies estudiadas, los resultados demuestran que el P. oocarpa dio el rendimiento más alto (48%) y el P. tenuifolia el más bajo (38%).

El porcentaje de rechazos (incocidos) es de cero para las tres especies. El rendimiento obtenido va de acuerdo con lo reportado por la bibliografía (pág 169, ref 15).

8.2.2.- Número Kappa, y álcali residual:

Los valores registrados, para el álcali residual, muestran que la carga de químicos estuvo baja para el P. caribaea, pues tiene el número Kappa más alto (38) y además acusó el residual más bajo, con relación a las otras dos especies que reportaron los valores más bajos en el número Kappa, y los valores de álcali residual ligeramente más altos.

Al analizar el número Kappa, que pondera la lignina residual en las pulpas, se observa que el P. oocarpa se situó en el nivel más bajo y el P. caribaea en el más alto.

De las tres pulpas obtenidas, sólo las de el P. oocarpa y el P. tenuifolia se pueden catalogar como de grado blanqueable.

8.3.- Propiedades físico-mecánicas de las pulpas Kraft no blanqueadas a 45°SR:

8.3.1.- Revoluciones por minuto para 45° SR:

Al observar los cuadros Nos. 12,13 y 14, se determina que el número de revoluciones por minuto para llegar a 45°SR son bajas y muy similares entre las especies P. oocarpa y tenuifolia con los valores de 996 y 1071 respectivamente, mientras el P. caribaea, requirió de un tratamiento más drástico en el molino PFI, de 1520 para llegar al mismo grado de refinado.

8.3.2.- Índice de volumen o mano (cm³/g):

Esta propiedad es similar para las pulpas de las especies P. caribaea y P. tenuifolia (1.53 y 1.48 cm³/g) en tanto que para la pulpa producida con el P. oocarpa se obtuvieron papeles más voluminosos (1.76 cm³/g), que va de acuerdo con los resultados analizados para el valor de densidades básicas, en los cuales también el P. oocarpa, al poseer la densidad básica mayor respecto de las otras dos especies, tiene las fibras celulósicas de paredes más gruesas.

8.3.3.- Índice de estallido (KPam²/g):

Al comparar los valores de la resistencia al estallido expresada como índice de estallido a 45°SR, para las tres pulpas elaboradas, se determina que la pulpa de el P. caribaea posee el mejor valor (5.96) en tanto que el P. oocarpa el menor valor (4.76), que también confirma lo analizado en características físicas de la madera (8.1) en la densidad básica, cuando el P. caribaea por poseer la densidad básica menor, también posee la relación de flexibilidad mayor (paredes más delgadas) que da por resultado hojas más densas y más resistentes, en tanto que el P. oocarpa es el fenómeno opuesto.

8.3.4.- Índice de rasgado (mNm²/g):

Al comparar los valores determinados a 45°SR, se observa que el P. tenuifolia registra el valor menor (9.32), en tanto que las otras dos especies valores semejantes (P. caribaea con 13.51 y P. oocarpa con 14.69).

8.3.5.- Índice de Tensión (Nm/g):

El comportamiento en esta propiedad, aunque es un tanto disperso, para el P. oocarpa tal como se había previsto (ver inciso 8.3.3), demuestra el valor más bajo (46.37Nm/g), en tanto que el P. tenuifolia registró el valor más alto (68.26Nm/g) y el P. caribaea el valor intermedio (58.56 Nm/g) que no concuerda con lo que se había previsto con base en la densidad de las maderas.

8.3.6.- Resistencia a los dobleces (MIT-1Kg):

El número requerido de dobleces hasta la rotura, con una tensión de 1 kg, entre mordazas, es a 45°SR muy marcado, pues el P. caribaea registra la pulpa con el valor más alto (1495), la pulpa del P. tenuifolia, con el valor intermedio (850), y el valor más bajo para el P. oocarpa (756).

Esto está de acuerdo con lo analizado para las maderas de las tres especies cuando se les determinó la densidad básica, en donde el P. oocarpa, al poseer la densidad básica mayor, indica que tiene una relación de flexibilidad menor (fibras de paredes más gruesas) que tienden a producir hojas voluminosas y absorbentes con menor resistencia a la tensión y al estallido aunque con mejor resistencia al rasgado, y el P. caribaea a la inversa, al poseer la densidad básica menor, implica una relación de flexibilidad mayor, que tiende a dar hojas densas y consolidadas, con mejores propiedades de resistencia a la tensión, al estallido y menor resistencia al rasgado.

9.-CONCLUSIONES

- 9.1.- Según las densidades básicas de las maderas estudiadas, el P. caribaea tiene la madera moderadamente liviana, y el P. oocarpa, la madera moderadamente pesada.
- 9.2.- Entre las tres pulpas obtenidas con el proceso Kraft, la del P. oocarpa sobresale con el rendimiento más alto y el más bajo tenor de lignina residual, expresado a través del número Kappa.
- 9.3.- La pulpa obtenida por el proceso Kraft del P. caribaea, demostró por el registro de álcali residual y lignina residual (Número Kappa), que su carga de químicos fue relativamente baja.
- 9.4.- Las pulpas obtenidas del P. oocarpa y del P. tenuifolia, de acuerdo con los valores bajos de Número Kappa, se pueden catalogar como pulpas de grado blanqueable.
- 9.5.- La pulpa del P. caribaea requiere de un tratamiento más drástico en el molino PFI para refinado, en tanto que las especies P. oocarpa y P. tenuifolia necesitan de un tratamiento suave y similar para alcanzar el mismo grado de refinado a 45°SR.
- 9.6.- El índice de volumen a 45° SR es similar para las pulpas de las especies P. caribaea y P. tenuifolia, en tanto que la pulpa del P. oocarpa presenta un índice de volumen mayor.
- 9.7.- El índice de estallido a 45° SR de la pulpa del P. caribaea es el mayor valor registrado, en tanto que el índice de estallido del P. oocarpa, representa el valor más bajo.
- 9.8.- El P. tenuifolia registra el menor valor en el índice de rasgado, en tanto que las otras dos especies presentan valores más altos y semejantes.
- 9.9.- El comportamiento en el índice de tensión es un tanto disperso, y se obtiene el valor más bajo para el P. oocarpa, y el más alto para el P. tenuifolia.
- 9.10.- El valor en el número de dobleces requerido hasta la rotura, es muy marcado en las tres pulpas, así el P. caribaea registra el valor más alto (1495), el P. tenuifolia, el valor intermedio (850), y el P. oocarpa, el valor más bajo (756).
- 9.11.- Los valores de las propiedades físico-mecánicas de las pulpas confirman que el P. caribaea presenta la pulpa con las mejores características de resistencia al estallido, a la tensión y a los dobleces, en tanto que el P. oocarpa presenta los valores más bajos en dichos valores, excepto en el índice de rasgado y en el índice de volumen.

9.12.- Se determinó que los resultados concuerdan con el concepto de Relación de flexibilidad, pues el P. oocarpa, por su densidad básica mayor, indica una relación de flexibilidad menor, que da como resultado una pulpa más voluminosa con baja resistencia a la tensión, al estallido, a los dobleces y con mejor resistencia al rasgado.

9.13.- El P. caribaea, al poseer la densidad básica menor, indica una relación de flexibilidad mayor, que da hojas más consolidadas, con mejor resistencia a la tensión, al estallido, a los dobleces y menor resistencia al rasgado.

10.-RECOMENDACIONES

10.1.- Realizar pruebas de blanqueo con las pulpas por nuevos métodos no contaminantes como oxígeno y peróxidos, y evaluar sus propiedades físico-mecánicas y ópticas de los papeles obtenidos para conocer sus aptitudes papeleras.

10.2.- Aumentar el tiempo de cocción durante la temperatura constante, debido al alto valor de álcali residual reportado en las pulpas, y aumentar ligeramente la carga de químicos para la digestión de las muestras de Pino caribaea.

11.-METODOLOGIA

11.1.- Universo de trabajo:

Se seleccionaron como objeto del trabajo, pulpas celulósicas Kraft, obtenidas a partir de tres especies de pino:

Nombre Común	Género	Especie
Pino del Petén	Pinus	caribaea
Pino Colorado	Pinus	oocarpa
Pino Candellillo	Pinus	tenuifolia

Las condiciones para la obtención de la pulpa fueron las mismas para las tres especies de pino, mediante el proceso de pulpeo Kraft, con las mismas condiciones de álcali activo, sulfidez e hidromódulo. Esto se hizo con el propósito de obtener pulpas que puedan ser comparadas con otras ya estudiadas, en los siguientes parámetros:

Características físicas de las maderas:

- Porcentaje de corteza
- Densidad básica
- Densidad seca
- Humedad de la madera

11.2.- Aptitudes papeleras de la madera:

- Alkali residual y sólidos totales en licores de digestión.
- Rendimiento de pulpa
- Porcentaje de rechazos
- Número Kappa
- Humedad del papel
- Propiedades físico-mecánicas del papel, a distintos grados de refinación.
- Comparación de las calidades de los papeles obtenidos, con otras materias primas ya analizadas en el ICAITI.

11.3.- Materiales:

11.3.1.- Reactivos y soluciones:

- Solución de hidróxido de sodio (como Na_2O , a una concentración de 28.32g/100 g de solución).

- Solución de sulfuro de sodio (como Na_2O , a una concentración de 7.37 g/100 g de solución).
- Acido clorhídrico
- Permanganato de potasio
- Acido sulfúrico
- Tiosulfato de sodio
- Yoduro de potasio
- Cristalería y equipo de laboratorio
- Astillas de madera (Pino caribaea, Pino oocarpa y Pino tenuifolia) como materia prima.(ref 7)

11.3.2.- Equipo:

- Motosierra
- Máquina astilladora de la madera
- Máquina clasificadora de astillas
- Digestor rotatorio (2rpm) de 15 litros de capacidad, calentado resistencias eléctricas reguladas por un reóstato.
- Licuadora de velocidad variable, industrial.
- Tamizador vibratorio plano con ranuras de 0.0254mm marca Allis Chalmers, serie No. 115429 para tamizado de pulpa.
- Centrifugadora de sólidos, para eliminación de agua, de velocidad variable marca Thomas-Broadment & Sons, Ltd.
- Desintegrador de pulpa TAPPI
- Molino PFI-MILL HAMHERN holandés No. 221 para refinación de pulpas.
- Máquina formadora de hojas normalizadas TAPPI, marca ESSEX.

11.3.2.1.- En laboratorio para análisis físico-químico:

- 2 estufas con agitación magnética. Usos varios.
- Cronómetro
- Homo Thelco
- Licuadora
- Balanza analítica Sauter 0-2,000 g
- Centrifuga y accesorios
- Potenciómetro marca KERNCO, modelo 617

11.3.2.2.- En laboratorio de pruebas físico-mecánicas:

- Aparato acondicionador de atmósfera tipo CARRIER, manteniendo la temperatura a 23°C y una humedad relativa al 50% en el laboratorio según normas TAPPI.
- Máquina ensayadora de doble plegado MIT, marca TINIUS OLSEN.
- Aparato MULLEN TESTER, marca B.F. PERKINS, modelo No. 71-C-617.

- Máquina ensayadora de rasgado ELMENDOR TEARING TESTER, modelo No. 60-400.
- Micrómetro de banco eléctrico modelo 549 de la TESTING MACHINES INC.
- Dinamómetro de tracción SCHOPPER de la TESTING MACHINES INC.
- Psicrómetro para control de temperaturas de bulbo húmedo y seco.
- Higrotermógrafos que registran las condiciones ambientales del cuarto de ensayos.
- Balanza analítica marca SAUTER 0-2,000 g.
- Balanza analítica marca SAUTER 0-200 g, modelo 414.
- Guillotina para eles, TESTING MACHINES INC.
- Aparato medidor del grado de desgote Shopper Riegler, marca FRANK-MERKABLAT.
- Recipientes de plástico.
- Sacos de lona.
- Discos de acero inoxidable para secado de hojas al aire.
- Aros de metal, para soporte de discos de acero.

11.4.- LUGAR PARA EL DESARROLLO EXPERIMENTAL:

Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI).

A través de La División de Investigación Aplicada y de la Sección de Madera, Celulosa y Papel, en:

El Laboratorio de Pulpeo
El Laboratorio de Análisis Físico-Químico
El Laboratorio de Propiedades Físico-Mecánicas

Con el patrocinio de la Organización de los Estados Americanos (O.E.A.) en su Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, a través de sus Proyectos Ordinarios de Celulosa y Papel y Especial de Recursos fibrosos.

Director del Proyecto en el ICAITI:

Dr. Ing. Jaime Valladares L.

12.-PROGRAMA

12.1.- Operaciones previas:

La selección de las muestras se realizó en Cobán, Alta Verapaz.

Para efectuar las determinaciones de las densidades básicas y secas se toman secciones transversales a tres alturas diferentes del fuste de cada árbol; seguidamente, las trozas fueron descortezadas, cuarteadas y astilladas. Las astillas fueron clasificadas con el propósito de eliminar los finos y disponer de esta forma de un material homogéneo.

Las astillas seleccionadas se secaron y luego almacenaron en bolsas de polietileno, y posteriormente se les determinó el contenido de humedad, para poder calcular el peso de las astillas en base seca.

12.2.- Digestión:

La obtención de pulpas se realizó mediante un tratamiento químico llamado digestión; el proceso, utilizado aquí, es el proceso denominado Kraft o al sulfato, consistente en tratar las astillas de madera, con dos productos químicos: sulfuro de sodio (Na_2S) e hidróxido de sodio (NaOH); con este proceso se busca disolver parcialmente la lignina y otras porciones en la madera con objeto de obtener una masa constituida mayoritariamente por fibras celulósicas, denominada pulpa cruda.

12.2.1.- Condiciones de digestión:

Las condiciones del proceso, para las tres especies, son las siguientes:

- Peso de madera (base seca)..... 1 500 g
- Alkali activo (como Na_2O)..... 17 %
- Sulfidez (como Na_2O)..... 25 %
- Temperatura de digestión..... 170°C
- Tiempo de elevación hasta
la temperatura de digestión..... 60 min
- Tiempo de digestión a temperatura
constante..... 120 min
- Ciclo de cocción..... 180 min
- Hidromódulo..... 1/ 3.5

12.2.2.- Procedimiento de digestión:

La mezcla de astillas de madera y reactivos se cargan juntos en el digestor; se cierra herméticamente, y se acciona el sistema de agitación y el calentamiento

(resistencias controladas por reóstatos). Las condiciones de tiempo y temperatura se controlan durante todo el ciclo de cocción a intervalos de 10 min. Finalizada la cocción, el digestor se enfría a temperatura ambiente y la pulpa se recoge en sacos de lona. Se toman muestras del licor de digestión para determinar posteriormente la cantidad de álcali residual y sólidos totales.

12.3.- Procedimiento de lavado y depuración de pulpas:

La pulpa cruda, obtenida en la etapa de digestión, se lava con agua, para eliminar la materia orgánica soluble y el álcali residual. Los haces fibrosos de pulpa se desintegran luego mecánicamente; para esto, se utiliza una licuadora industrial, con agitador sin filo, accionado en tres minutos a velocidad baja.

Una vez desintegrada la pulpa, se procede al depurado de ésta, por medio de un tamiz vibratorio plano, con aberturas de 0.0254 mm. La porción retenida por el tamiz se denomina rechazo, el cual se pesa para calcular posteriormente, el rendimiento total de la cocción. La pulpa aceptada se recoge por la parte inferior del tamiz, en sacos de lona.

12.4.- Rendimiento de digestión y número Kappa:

A la pulpa aceptada, se le elimina el exceso de agua, utilizando una centrifugadora de sólidos, y se obtiene un producto con una consistencia entre 30 y 35% . Se almacena la pulpa en sacos de plástico, se determina su peso, contenido de humedad y finalmente el rendimiento.

Se procede luego a la determinación del número Kappa (TAPPI, T 236 os 76); éste es un índice del contenido de lignina residual en la pulpa.

12.5.- Refinación y determinación del desgote:

En la refinación de las pulpas, se modifica la estructura de la fibra, se producen los siguientes efectos físicos sobre las mismas:

- Formación de fibrillas
- Acortamiento de la fibra y formación de finos
- Aumento de la flexibilidad

El objeto de la refinación es mejorar el área de enlace entre las fibras, para producir, en general, papeles de mejores propiedades físico-mecánicas.

El refinador es un molino PFI, que consta de dos elementos refinadores: una carcasa en donde se coloca la muestra (30 g base seca) a un 10% de consistencia y un rotor que ejerce una presión de 3.4 kg/cm², sobre las paredes de la carcasa. Por cada pulpa, se hacen tres refinaciones, cada una a distinto número de revoluciones del rotor.

Para cada refinación, se determina el grado de desgote o "freeness", siguiendo el método TAPPI T 227 os-58. El grado de desgote expresa la facilidad con que una pulpa deja fluir agua y se mide en grados Schopper Riegler ($^{\circ}$ SR.) o Canadian Standard Freeness ($^{\circ}$ CSF).

También se determina el grado de desgote de una muestra sin refinar, para obtener una amplitud de refinación entre 15 y 65° SR., para poder posteriormente interpolar las propiedades a 45° SR y utilizar estos valores con fines de comparación de resultados.

12.6.- Preparación y formación de hojas:

Con cada pulpa refinada y sin refinar, se preparan 12 hojas en el equipo y máquina formadora de hojas (TAPPI T 205-os-71).

Cada pulpa se lleva a una consistencia aproximada de 0.12% con la finalidad de obtener papeles con un gramaje de 60 g/m^2 . Las hojas son posteriormente prensadas 4.13 Kg/cm^2 en la máquina prensadora, y paralelamente sufren un presecado.

12.7.- Acondicionamiento de las hojas:

Siguiendo las normas TAPPI T 402 os-70, las hojas se dejan equilibrar con la humedad de un ambiente con atmósfera controlada ($50 \pm 2\%$ humedad relativa, y $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$).

Las hojas se dejan acondicionar por lo menos durante doce horas en dispositivos especiales (coronas y discos).

Transcurrido el período de acondicionamiento, se pesan las hojas y se seleccionan, de cada grupo las seis mejores en formación y peso similar. Estas se utilizan para evaluar posteriormente las propiedades físico-mecánicas.

12.8.- Determinación de las propiedades físico-mecánicas:

Las principales propiedades medidas en las pulpas, pueden dividirse en dimensionales y de resistencia. Se evalúan las propiedades de las hojas seleccionadas y se procede a calcular los índices correspondientes.

12.8.1.- Propiedades dimensionales:

a) Gramaje en base seca: el peso de cada una de las seis hojas se promedia y el gramaje se calcula de acuerdo con la fórmula correspondiente.

b) **Espesor y volumen específico:** el espesor se define como la distancia perpendicular entre las dos superficies del papel, que se mide con un micrómetro, y toman tres lecturas en cada una de las hojas, en diferentes partes de las mismas.

12.8.2.- Propiedades de resistencia:

Las siguientes pruebas se realizaron en distintas secciones de cada hoja, que se cortaron según lo indica el método TAPPI T 220 m-60.

a) **Resistencia al estallido o explosión:** en cada sección correspondiente de una hoja, se hacen doce ensayos, mediante la aplicación de una presión hidrostática, que produce la ruptura de un material, por aplicación perpendicular a la superficie, a una razón creciente y controlada por medio de un medidor Mullen.

b) **Resistencia al doble plegado:** se miden el número de dobleces sucesivos que el papel resiste antes de romperse; la muestra se somete bajo la tensión constante de 1 kg, a esfuerzos de flexión hasta romperse, mediante una máquina ensayadora de doble plegado M.I.T. Tinius Olsen.

c) **Resistencia al rasgado:** se mide el trabajo total necesario para completar el rasgado del papel, iniciado por medio de una cuchilla adaptada a la máquina Elmendorf Tearing Tester modelo No. 60-400.

d) **Resistencia a la tensión:** se mide la fuerza de tensión última que soporta una tira de papel, antes de romperse; a esta fuerza se le denomina resistencia límite de carga de ruptura. Se mide por un dinamómetro, que registra las lecturas en kilogramo-fuerza, marca Schopper de la Testing Machines Inc.

12.8.3.- Evaluación de resultados:

Al finalizar las pruebas físico-mecánicas, se procede a tabular los datos experimentales, promediar los valores de cada propiedad y calcular los índices correspondientes.

Los índices obtenidos para cada propiedad se grafican contra el grado de refinación y obtienen curvas de comportamiento por cada propiedad. Por interpolación, se calculan los valores para 45°SR, que es el grado de desgote normalmente usado, como base estándar, para comparar los resultados obtenidos con los de pulpas comerciales.

13.-BIBLIOGRAFIA

- 1.- AGUILAR G, J. Ignacio; Pinos de Guatemala. Guatemala: s.p.i 1961.
- 2.- ARCHILA, Carlos. Blanqueo y evaluación de pulpas Kraft, elaboradas a partir de una mezcla de ocho maderas tropicales nicaraguenses. (Tesis: Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala). Guatemala: 1984.
- 3.- ASOCIACION DE INVESTIGACION TECNICA DE LA INDUSTRIA PAPELERA ESPAÑOLA. Textos Conferencias. VI Congreso latinoamericano de Celulosa y Papel. Torremolinos(Málaga), España. España: s.p.i. 1992.
- 4.- CACERES, Lilia R. de. Métodos de análisis empleados en la industria papelera. Colombia: s.p.i. 1978.
- 5.- FAO. Uso potencial de la tierra, parte VII. Istmo centroamericano. Italia: s.p.i. 1968.
- 6.- FOOD AND AGRICULTURE Organización of the United Nations. Pulping and papermaking properties of fast -growing plantation wood species. Italia: s.p.i. 1975.
- 7.- GUHA, S.R. et al. Chemical, semichemical and mechanical pulps from Eucalyptus grandis. Indian: s.p.i. 1967.
- 8.- ICAITI. Informe de las actividades realizadas desde enero de 1969 a diciembre de 1981 dentro del Proyecto Multinacional de Celulosa y Papel (OEA). Guatemala: s.p.i. 1982.
- 9.- ICAITI. Proyectos de tecnología papelera y árboles de rápido crecimiento(OEA) del periodo diciembre 1981 a diciembre de 1989. Guatemala: s.p.i. 1989.
- 10.- LIBBY C, Earl. Pulp and paper, science and technology. s.l.i. s.p.i. s.f.
- 11.- MELO, R. Evaluación de recursos forestales latinoamericanos para producción de pulpas celulósicas. Metodología. Ciencia Interamericana, Vol 22, Nos. 3-4. s.l.i. s.p.i. 1982.
- 12.- PETROFF, G. et al. Papermaking characteristics of some tropical species for reforestation. Centre Techique for Tropical. Report No. 19, No. 29. No. 31. s.l.i. s.p.i. 1968.

- 13.- PLAN DE ACCION FORESTAL PARA GUATEMALA, Gobierno de Guatemala. Documento base y perfiles de proyectos. Guatemala. s.p.i. 1991.
- 14.- PORRES, C. et al. Producción de pulpa con 17 especies de maderas tropicales del Petén, empleando el proceso Kraft o al sulfato. Informe técnico 79-122. ICAITI. Guatemala. s.p.i. 1979.
- 15.- REPETTI, Ricardo. Introducción a la tecnología de fabricación de pastas celulósicas. ATIPCA. Argentina. s.p.i. 1992.
- 16.- SENAI-IPT. Celulose e papel. Vol I. Tecnología de fabricacao de pasta celulósica. Brasil. s.p.i. 1981.
- 17.- SIECA. Anuario estadístico centroamericano de comercio exterior. s.l.i. s.p.i. 1984 - 1988.
- 18.- TAPPI. Standars and suggested methods. U.S.A. s.p.i. s.f.
- 19.- UNCED. Informe Nacional sobre la situación ambiental de la república de Guatemala, en la Conferencia Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Río Janeiro, Brasil 92. Brasil. s.p.i. 1992.
- 20.- VALLADARES, J. et al. Ciencia interamericana. Vol 22, Nos. 3-4. OEA. ICAITI. U.S.A. s.p.i. 1982.

14.-ANEXO

14.1.- Descripción botánica:

El Pino caribaea:

Se encuentra a una elevación menor de los 500 m snm, en áreas donde la precipitación pluvial es de más de 2 000 mm o sea en la cuenca del lago de Izabal (norte de Izabal, este de Alta Verapaz y Poptún, Petén).

Es un árbol de tronco cilíndrico de 12 a 20 m de altura por 45 a 80 cm de diámetro; su corteza es color castaño rojiza, áspera y escamosa en árboles jóvenes; su ramaje es verticilado muy liviano de horizontal a ascendente; copa cónica, acuminada en árboles jóvenes, con fascículos de 2 a 4 agujas de 12 a 30 cm de largo, con conos agrupados de 2 a 3, deciduos de 6 a 14 cm de largo. Su madera es color amarillento y con abundante resina.

El Pino oocarpa:

Se encuentra a una altitud entre 500 a 2 000 m snm, y un régimen de lluvias de 1 000 a 2 000 mm, en los departamentos de Baja Verapaz, Guatemala, Chiquimula, Jalapa, Santa Rosa y El Progreso (área de influencia a CELGUSA) y en el altiplano.

Es un árbol de 14 a 25 m de altura, diámetro de 50 a 85 cm; corteza hendida que forma placas longitudinales; ramas livianas encorvadas ascendentes y horizontales.

En ejemplares adultos, las ramas inferiores se tornan colgantes; fascículos con 5 agujas de 12 a 28 cm de largo; conos numerosos persistentes, de mayor diámetro que de longitud, de 4 a 10 cm de largo; su madera es blanco-amarillenta en ejemplares jóvenes y hasta rojiza en adultos, debido a abundante resina. Debido a su alto contenido de trementina, se le ha explotado irracionalmente.

El Pino tenuifolia:

Se encuentra arriba de los 1 500 m snm, en los departamentos de Guatemala, Chiquimula, Alta y Baja Verapaz (ref. 1, pág. 20-28).

Es un árbol de tronco recto, cilíndrico, de 20 a 35 m. de altura y un diámetro de hasta 1.20 m; corteza ordinariamente moreno-rojiza en bosques densos; en árboles aislados siempre gris-blanquecina; en árboles adultos es hendida formando gruesas placas longitudinales; su ramaje es primero fino verticilado y más tarde desarrollado y espacioso; ascendente en su juventud, horizontal y colgante más tarde; copa más o menos densa; fascículos de 5 agujas de 15 a 30 cm de largo; conos solitarios, ligeramente encorvados de 6 a 12 cm de largo; madera casi blanca.

14.2.- Datos Económicos:

TABLA A-1
IMPORTACIONES CENTROAMERICANAS DE PAPEL Y CARTON

AÑO	1982	1983	1984	1985	1986	1987
IMPORTACIONES TOTALES EN TONELADAS	325,677	334,551	343,435	243,833	317,935	347,376
VALOR DE IMP. EN MILES DE US \$	170,998	174,386	189,394	142,006	185,093	227,542
VALOR UNITARIO US \$/TON.	525.1	521.3	551.5	582.4	582.2	655.0

TABLA A-2
EXPORTACIONES CENTROAMERICANAS DE PAPEL Y CARTON

AÑO	1982	1983	1984	1985	1986	1987
EXPORTACIONES TOTALES EN TONELADAS	12,149	15,536	11,954	7,591	27,368	37,502
VALOR DE EXP. EN MILES DE US \$	14,483	17,800	14, 185	9,012	29,488	37,317
VALOR UNITARIO US \$/TON.	1,192.1	1,145.7	1,186.6	1,187.2	1,077.5	995.1

14.3.- Glosario:

ALCALI ACTIVO: es la suma de la cantidad de hidróxido de sodio y sulfuro de sodio ($\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$) expresados como equivalentes de óxido de sodio (Na_2O).

ALCALI RESIDUAL: es la concentración de álcali, en el licor negro, remanente de la digestión, determinado por titulación con ácido y expresada como g/l de Na_2O .

CELULOSA: componente principal de la madera, se encuentra en ella en una proporción variable según la especie, y es el compuesto orgánico más abundante en la naturaleza. Es un hidrato de carbono, blanco y de estructura fibrosa, muy estable, insoluble en agua, y en los disolventes orgánicos neutros. Su forma más pura es el algodón, que contiene más del 90%. Es un polímero, cuya unidad fundamental es la glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), y sus propiedades quedan determinados en gran parte por el grado de polimerización (número de unidades fundamentales).

CONIFERAS: árbol dicotiledóneo de hojas fasciculadas, fruto cónico, ramas de contorno cónico, cuya madera está formada, fundamentalmente, por células alargadas (fibras) conocidas como traqueidas areoladas, que sirven como tejido de sostén y sistema vascular; dicha madera generalmente se considera suave.

FIBRA: es la fracción sólida orgánica insoluble en agua, que está constituida principalmente por celulosa y tiene una longitud variable que depende del tipo de madera; así las de coníferas son fibras largas (2.7-3.6 μm), y las de latifoliadas de fibras cortas (0.7-2.0 μm).

GRADO DE REFINO: es el número de revoluciones dadas en el molino PFI para obtener cierto grado Schopper Riegler.

GRADO SCHOPPER RIEGLER O GRADO DE DESGOTE: representa el número de ml de agua que una torta de pulpa deja filtrar cuando se utiliza una base de una consistencia de 2 gr de pulpa en 1000 ml de agua; usa la escala de 1-100 de forma que 1 °SR equivale a 10ml.

GRAMAJE: es el peso del papel expresado en gramos por metro cuadrado.

GROSOR DEL PAPEL: es la distancia perpendicular entre las caras de una hoja.

HEMICELULOSA: es un polisacárido, con cadenas ramificadas, y es soluble en NaOH al 17.5 % ; no precipita por acidificación. Se encuentra unida a la lignina y celulosa. Cuando está libre de lignina, se hincha más que la celulosa por absorción de agua, tiene un fuerte poder adhesivo, que favorece la adhesión de las fibras en el papel. Su unidad

monómera principal es la xilosa, aunque en las coníferas están presentes cantidades apreciables de mannososa.

HIDROMODULO: es la relación proporcional entre la cantidad de licor y la cantidad de madera seca.

INDICES DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS:

- 1.1.- Índice de tensión (Nm/g)
- 1.2.- Índice de estallido (Kpam₂/g)

- 1.3.- Índice de rasgado (mNm₂/g)
- 1.4.- Índice de volumen (cm₃/g)

Se obtiene de dividir las propiedades fisico-mecánicas por el gramaje, expresado en unidades S.I.

KRAFT: proceso para la obtención de pulpa, que consiste en hacer reaccionar a una temperatura elevada, astillas de madera, con un licor constituido por los reactivos de cocción: hidroxido de sodio y sulfuro de sodio.

KAPPA: Es el número que indica la lignina residual en una pulpa, que se mide como el volumen de una solución de permanganato de potasio (KMnO₄) 0.1 N, consumida por un gramo de pulpa seca, bajo las condiciones especificadas por el método T 226 cm-85.

LATIFOLIADAS: árboles de hojas anchas, abundantes, cuya madera se considera dura. Esta madera, al contrario de las coníferas, presenta dos tipos de tejido: uno de sostén y otro para circulación de la savia, de formas muy diversas y paredes delgadas. Las paredes del tejido de sostén son muy gruesas en relación con las de los vasos. Presentan además salpicándola abundantemente células de parénquima. Son de fibras cortas (0.7-2.0µm de largo y un ancho de 15-50µm).

LIGNINA: es después de la celulosa el componente más abundante en la madera, constituye cerca del 16 al 31 % de la misma que, varía de una especie a otra. constituye la mayor parte de la laminilla media que rodea y cementa entre sí a las fibras, vasos y traqueidas.

Analíticamente se define como el residuo insoluble que queda cuando se trata la madera finamente dividida con ácido sulfúrico al 72%, luego de extraer de ellas todas las materias solubles.

Químicamente es un compuesto polímero muy complejo que no puede dividirse en sus partes monómeras sin alterar sus unidades estructurales, que no son todas de idéntica estructura, ni están ligadas entre sí todas de la misma manera.

En la lignina de las coníferas, predominan los núcleos de guayacilo, en tanto que en las latifoliadas el núcleo predominante es el siringilo. Por dicha razón, la lignina de las latifoliadas posee un mayor contenido de grupos metóxilos ($-\text{CH}_3$) que las coníferas, que hace a las ligninas de latifoliadas más reactivas, que hace que las maderas latifoliadas sean deslignificadas en condiciones menos enérgicas.

LICOR NEGRO: es el líquido residual proveniente de la digestión de las maderas, el cual contiene todas las sustancias producidas y sustraídas de la digestión, como solubles orgánicos, lignina en forma de carboxilatos y fenolatos.

RELACION DE FLEXIBILIDAD: es la relación del diámetro de lumen al diámetro de las fibras de celulosa, que determina en buena parte la densidad de la madera, así como la resistencia de las pastas con ella producida.

RESISTENCIA A TENSION: es la resistencia límite de una probeta sometida a una fuerza creciente de tracción en cada extremo, que provoca la ruptura en la tira de papel, y se registra como fuerza de tensión máxima.

La resistencia a la tensión es útil para la elaboración de papeles de impresión, envoltura de cables, bolsas, papel de baño, etc.

RESISTENCIA AL DOBLE PLEGADO: es el número de doble pliegues requerido por una tira de papel de 15 mm de ancho, cuando es sometida a un esfuerzo constante de 9.81 N, antes de romperse. El doble pliegue es la deformación de 180° provocada por la subida y bajada de una lámina.

Es útil esta propiedad para estimar la capacidad de un papel para resistir el doblado, en especial en los papeles moneda, billetes de bancos, mapas, cubiertas de cuadernos, etc.

RESISTENCIA AL ESTALLIDO: es la presión hidrostática en Kpa que se requiere para provocar la ruptura del material cuando la presión es incrementada a una velocidad constante. Es una propiedad útil para estimar el deterioro frecuente en los papeles de embalaje (cartones, cajas, etc).

RESISTENCIAS AL RASGADO: es la fuerza perpendicular al plano del papel requerida para rasgar hojas de papel a lo largo de una distancia dada. Es útil para hacer bolsas, etc.

SULFIDEZ: es el porcentaje de sulfuro de sodio (Na_2S) en el total de álcali activo ($\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$), relacionados como equivalente de óxido de sodio (Na_2O).

TIEMPO DE ELEVACION: es el tiempo empleado para elevar la temperatura desde la temperatura ambiente, hasta la temperatura constante de digestión, para una muestra

de madera en su licor de digestión. Este tiempo debe ser gradual para evitar una subida brusca.

TIEMPO DE DIGESTION: es el tiempo durante el cual a una temperatura constante (170° C) se lleva a cabo la mayor parte de la deslignificación de las astillas de madera. Este tiempo está directamente relacionado con la temperatura, de modo que un ligero aumento en la temperatura provocará una disminución del tiempo, y una disminución de la temperatura provocará un aumento del tiempo.

TIEMPO DE REFINACION: es el número de revoluciones al que debe someterse una pasta en un molino PFI, para alcanzar un grado de refinación deseado.

14.4.- Cálculos:

14.4.1.- Preparación del licor de digestión

a) reactivos:

sol.de hidróxido de sodio (como Na_2O)=28.32g/100gsol.sol.de sulfuro de sodio (como Na_2O)= 7.37g/100gsol.

b) Procedimiento:

$$n = 100m/(100-H)$$

$$AA= A+S$$

$$S = 100s/(A+s)$$

donde:

m=peso madera seca.

n = peso madera húmeda.

H = Porcentaje humedad en madera.

a = peso agua en madera =n-m

AA= concentración álcali activo.

A = concentración en peso de NaOH(como Na_2O) sobre peso madera seca.s = concentración en peso de Na_2S (como Na_2O) sobre peso madera seca.

S = sulfidez o relación porcentual entre sulfuro y álcali activo.

Peso sol. alcalina a usar= $N= ma/(\text{peso sol. NaOH})$ Peso de agua en sol alcalina= $b=N-(mA/100)$ Peso sol. sulfuro de sodio= $M=mxs/(\text{peso sol. Na}_2\text{S})$ Peso de agua en sol. sulfuro de sodio= $c=M-(mxs/100)$ Nota: Tanto el hidróxido de sodio como el sulfuro de sodio, se expresan para cálculos como Na_2O Hidromódulo= $hd=\text{peso licor total/peso madera} =L/m$ L= peso total del licor= hxm peso de agua necesaria para preparar el licor= $d=L-a-b-c$ 14.4.2.- Análisis de licor residual:

$$a) \% \text{ de álcali residual} = \frac{(VA \times NA - VI \times NI)}{2} \times 0.031 / Z$$

donde:

NA= normalidad de sol. HCl

VA= volumen consumido de HCl

NI = normalidad de sol. yodo

VI = vol. consumido de sol. yodo.

meq $\text{Na}_2\text{O} = 0.031$

Z = (vol aforo)x(hidromódulo)x100/(ml licorx ml alícuota)

14.4.3.- Rendimiento:

Rendimiento total= $RT = RA + R$
 donde:

$RA =$ peso pulpa tamizada(seca)x100/m

$R =$ peso rechazo(seco) x100/m

14.4.4.- Número Kappa:

Numero Kappa= $K = (Pxf)/W$
 $\log K = \log(p/W) + 0.00093x(P-50)$

Donde:

$P = (\beta - \alpha) \times N / 0.1$

$f = 10^{(0.00093x(P-50))}$

$P =$ ml de $KMnO_4$ 0.1 N consumidos por muestra

$\beta =$ ml tiosulfato de sodio consumidos en la prueba en blanco (titulación sin muestra)

$\alpha =$ ml de tiosulfato de sodio consumidos por muestra

$N =$ Normalidad del tiosulfato de sodio

$f =$ factor de corrección a 50% de consumo del $KMnO_4$ (depende de P)

$W =$ Peso pulpa (base seca) en muestra titulada

14.4.5.- Propiedades físico-mecánicas:

a) $\text{Gramaje}(g/m^2) = Sx(1 - A/100)/0.1973$

donde:

$S =$ peso promedio(gr) de las hojas acondicionadas

$A =$ Porcentaje humedad de las hojas acondicionadas

Constante=0.1973= Area de c/u de las hojas

b) $\text{Grosor de las hojas}(\mu m) = (LM) \times 24.4$

donde:

$LM =$ Lectura del micrómetro en milésimas de pulgada

Constante= 25.4 (para transformar de milésimas de pulgada a micrómetros(μm))

c) $\text{Indice de volumen}(cm^3/g) = \text{grosor}/\text{gramaje}$

$= 25.4 \times T / \text{gramaje}$

donde:

- T = Lectura del micrómetro en milésimas de pulgada
 constante= 25.4(para transformar de milésimas de plg. a micrómetros (μm))
- d) Índice de estallido(KPam^2)=(presión)x(6.8948)/gramaje
 donde:
 constante= 6.8948 (para transformar de lbf/plg² a KPa
 Presión= Lectura del manómetro del Mullen Tester en (lbf/plg²)
- e) Índice de rasgado(gf)=100x9.80665xRR\gramaje
 donde:
 RR = resistencia al rasgado (en gf)
 constante= 9.80665 (para transformar gf a mN)
- f) Índice de tensión(Nm/g)=653.78xRT/gramaje
 donde:
 RT = resistencia a la tensión =fuerza o carga (Kgf)
 constante para transf. de Kgf a N/m= 653.78
 653.78=gravedad/ancho tira papel=9.80665/0.015

**CUADRO No. 9 DATOS DE REFINACION
PINO CARIBAEA
PROPIEDADES FISICOMECANICAS
DE LA PULPA KRAFT SIN BLANQUEAR**

PFI (Rev)	DESGOTE SR	GRAMAJE g/m ²	GROSOR µm	RESISTENCIA AL ESTALLIDO		RESISTENCIA AL RASGADO		RESISTENCIA A LA TENSION		DOBLICES MIT-1kg
				kPa	lb/plg ²	g	mN	kg	N/m	
0	13	58.11	144	149	21.60	113.00	1108	1.76	1151	49
1200	33	58.20	90	334	48.40	87.67	860	3.91	2556	1125
1550	47	58.63	90	352	51.00	79.67	781	5.39	3524	1525
1750	67	59.24	90	381	55.20	77.00	755	6.19	4047	2146

CUADRO No. 10 INDICES DE REFINACION

PFI (Rev)	DESGOTE SR	GRAMAJE g/m ²	MANO cm ³ /g	INDICE DE ESTALLIDO kPam ² /g	INDICE DE RASGADO mNm ² /g	INDICE DE TENSION Nm/g	DOBLICES MIT-1kg
0	13	58.11	2.47	2.56	19.07	19.80	49
1200	33	58.20	1.55	5.73	14.77	43.93	1125
1550	47	58.63	1.53	6.00	13.32	60.10	1525
1750	67	59.24	1.53	6.42	12.75	68.31	2146

**CUADRO No. 11 DATOS DE REFINACION
PINO OOCARPA
PROPIEDADES FISICOMECHANICAS
DE LA PULPA KRAFT SIN BLANQUEAR**

PFI (Rev)	DESCOTE SR	GRAMAJE g/m ²	GROSOR um	RESISTENCIA AL ESTALLIDO		RESISTENCIA AL RASGADO		RESISTENCIA A LA TENSION		DOBLRES MIT-1kg
				kPa	lb/plg ²	g	mN	kg	N/m	
0	12	57.69	183.13	48	7	78.67	771	0.896	586	2
725	26	58.57	108.97	261	37.8	96.33	945	3.18	2079	382
1000	46	58.66	103.12	279	40.5	86.67	850	4.16	2720	767
1250	66	58.29	98.30	305	44.2	82.67	811	4.29	2805	1178

CUADRO No. 12 INDICES DE REFINACION

PFI (Rev)	DESCOTE SR	GRAMAJE g/m ²	MANO cm ³ /g	INDICE DE ESTALLIDO kPa·m ² /g	INDICE DE RASGADO mN·m ² /g	INDICE DE TENSION N/m/g	DOBLRES MIT-1kg
0	12	57.69	3.17	0.84	13.37	10.15	2
725	26	58.57	1.86	4.45	16.13	35.50	382
1000	46	58.66	1.76	4.76	14.49	46.37	767
1250	66	58.29	1.69	5.23	13.91	48.12	1178

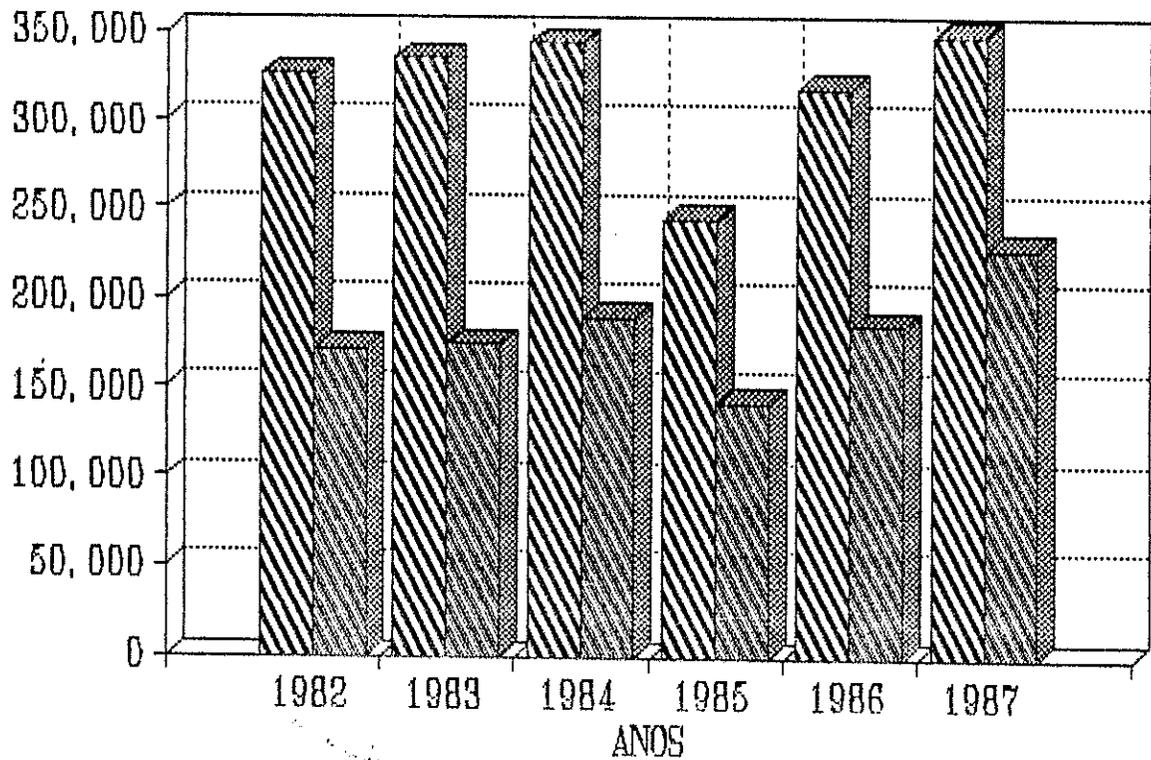
**CUADRO No. 13 DATOS DE REFINACION
PINO TENUIFOLIA
PROPIEDADES FISICOMECAICAS
DE LA PULPA KRAFT SIN BLANQUEAR**

PFI (Rev)	DESGOTE SR	GRAMAJE g/m ²	GROSOR um	RESISTENCIA AL ESTALLIDO		RESISTENCIA AL RASGADO		RESISTENCIA A LA TENSION		DOBLECES MIT-1kg
				kPa	lb/plg ²	g	mN	kg	N/m	
0	15	59.24	161.29	174.65	25.33	80.83	792.70	2.47	1615	42
850	32	61.06	91.02	295.31	42.83	60.00	588.40	5.88	3844	570
1050	43	57.56	85.30	298.78	43.33	54.72	536.64	6.01	3929	800
1280	62	58.40	84.03	298.75	43.33	53.89	528.47	6.02	3936	1254

CUADRO No. 14 INDICES DE REFINACION

PFI (Rev)	DESGOTE SR	GRAMAJE g/m ²	MANO cm ³ /g	INDICE DE ESTALLIDO kPa·m ² /g	INDICE DE RASGADO mNm ² /g	INDICE DE TENSION Nm/g	DOBLECES MIT-1kg
0	15	59.24	2.72	2.95	13.38	27.26	42
850	32	61.06	1.49	4.84	9.64	62.96	570
1050	43	57.56	1.48	5.19	9.32	68.26	800
1280	62	58.40	1.44	5.12	9.05	67.40	1254

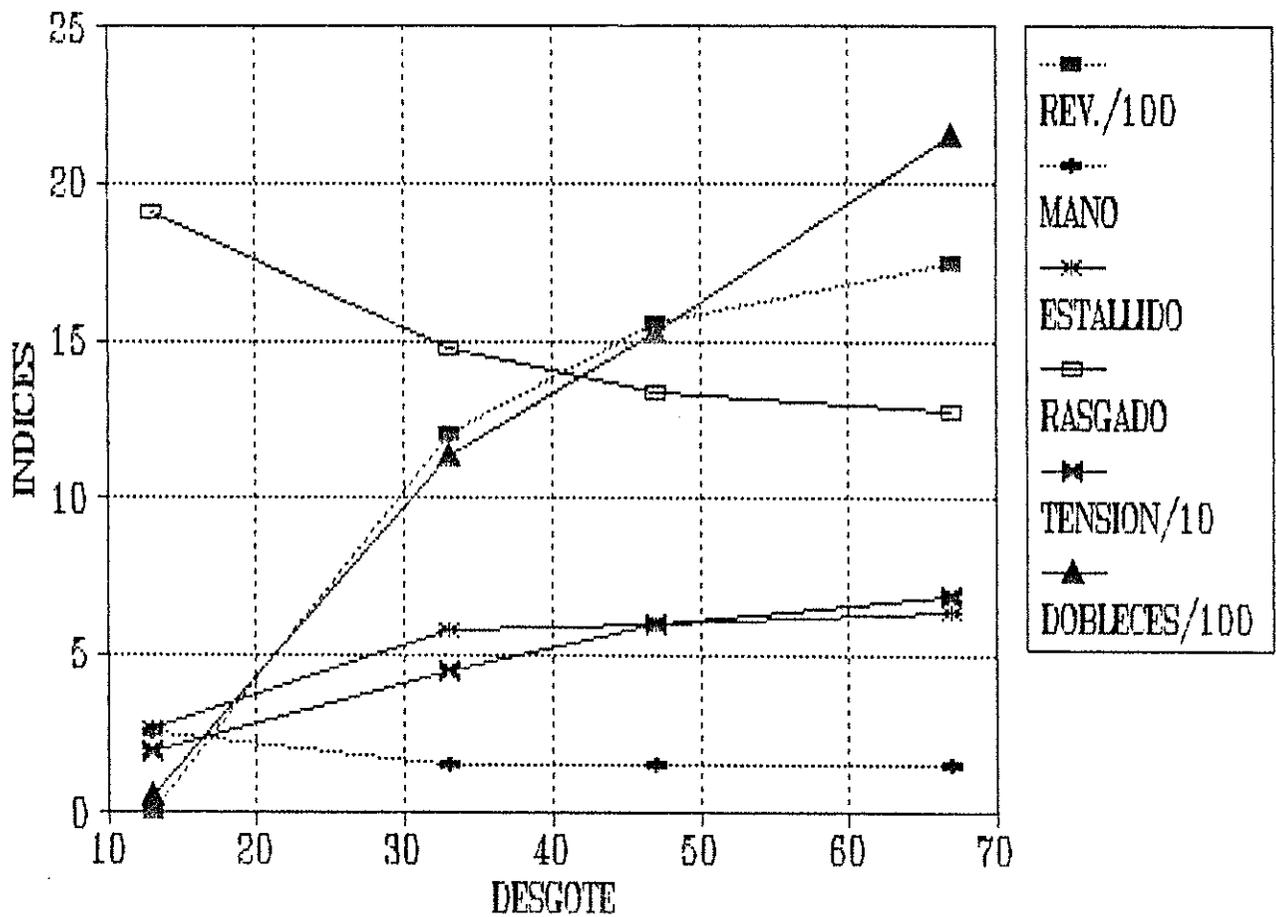
IMPORTACIONES CENTROAMERICANAS DE PAPEL Y CARTON



IMP. TOTALES EN TON IMP. EN MILES US\$

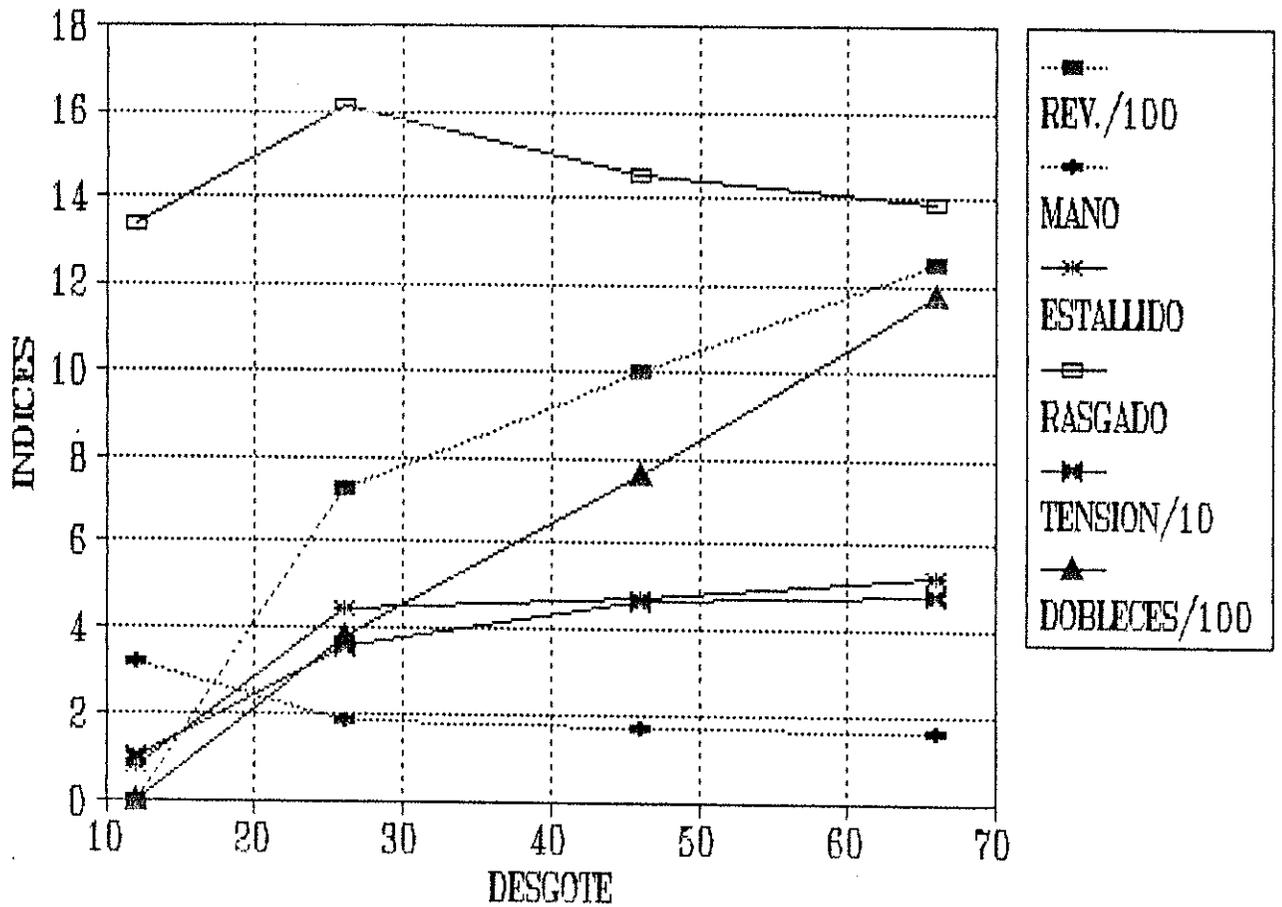
INDICES DE REFINACION

PULPA KRAFT SIN BLANQUEAR PINO CARIBAEA



INDICES DE REFINACION

PULPA KRAFT SIN BLANQUEAR PINO OOCARPA



INDICES DE REFINACION

PULPA KRAFT SIN BLANQUEAR P. TENUIFOLIA

