

**ANALISIS QUIMICO Y FIBROSCOPICO DE CINCO ESPECIES DE
MADERAS LATIFOLIADAS DE LA COSTA ATLANTICA DE NICARAGUA.**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades

ANALISIS QUIMICO Y FIBROSCOPICO DE CINCO ESPECIES DE
MADERAS LATIFOLIADAS DE LA COSTA ATLANTICA DE NICARAGUA

CESAR ANTONIO ESTRADA MENDIZABAL

TRABAJO DE INVESTIGACION PRESENTADO PARA OPTAR
AL GRADO ACADEMICO DE:

LICENCIADO EN QUIMICA

GUATEMALA
1979

Vo.Bo:


(f) 

Ing. Elvira de Mejía
Asesor.

Tribunal:

(f) 

Dr. Sergio Aragón

(f) 

Ing. Miguel Ángel Canga-Argüelles.

(f) _____

Fecha de Aprobación:

A Dios

A mis padres:

Marco Antonio Estrada Santiago (En su memoria)
Rosaura Mendizábal de Estrada.

A mi Esposa:

Sandra Bocaletti de Estrada

A mi tía y a mi abuelo:

Marta Mendizábal
Doroteo Jiménez

A mis hermanos:

Jorge, Edgar, Arageme y Roxana

A mis amigos.

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a la Ing. Elvira de Mejía y al Dr. Sergio Aragón la orientación prestada para poder realizar este trabajo. Asimismo, a los ingenieros Carlos Porres y J. Valladares del Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial, ICAITI.

Recibí también gran ayuda de mi esposa Sandra Bocaletti de Estrada, por lo cual le estaré eternamente agradecido.

CONTENIDO

	PAGINA
RESUMEN	
I. INTRODUCCION	1
II. LA MADERA Y SU RELACION CON LA PULPA Y EL PAPEL	3
II.1 Composición macroscópica de la madera	3
II.2 Estructura microscópica de la madera	5
II.3 Algunos aspectos sobre la química de la madera	8
II.4 Principales métodos de pulpeo químico	10
II.5 Importancia de los constituyentes de la madera en la fabricación de la pulpa y el papel	12
III. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	13
III.1 Materiales	13
III.2 Métodos	13
IV. RESULTADOS	16
V. DISCUSION DE RESULTADOS	24
VI. CONCLUSIONES	27
VII. APENDICE	29
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	38

INDICE DE FIGURAS

	PAGINA
Figura 1: Corte transversal de un tronco maderoso	4
Figura 2: Estructura microscópica de una fibra de madera dura	7
Figura 3: Principales componentes de la madera y su forma de separación	11

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Resultados de contenidos de cenizas, pentosanas, lignina y celulosa de las maderas	18
Cuadro 2: Resultados de solubilidades en agua fría, agua caliente, alcohol-benceno y NaOH al 10/o y porcentaje de humedad	19
Cuadro 3: Resultados de las digestiones. Método Kraft	20
Cuadro 4: Dimensiones de las fibras	21
Cuadro 5: Comparación de algunos resultados obtenidos con maderas duras guatemaltecas y nicaragüenses	22
Cuadro 6: Comparación de algunos resultados obtenidos con maderas duras guatemaltecas y nicaragüenses	23

RESUMEN

Dada la creciente demanda mundial de papel, actualmente se investigan nuevas fuentes de materia prima para la producción de pulpa que pueda ser utilizada en la industria papelera. En el presente trabajo, cinco especies de maderas latifoliadas de la Costa Atlántica de Nicaragua fueron caracterizadas para la producción de pulpa. Las especies investigadas fueron las siguientes: *Dialium guianense* (Comenegro), *Apeiba membranacea* (Tapaboti), *Ceiba Pentandra* (Ceiba), *Carapa nicaraguensis* (Cedro Macho) y *Calophyllum brasiliense* (Santa María).

Se evaluaron digestiones por el método Kraft para la producción de pulpa. Asimismo, fueron medidas las dimensiones de las fibras de cada especie.

Debido a su rendimiento total de pulpa (44.95o/o), bajo número Kappa (14.66) y factor Runkel de 0.43, la especie Cedro Macho es especialmente recomendable para la industria de la pulpa y el papel. La especie Ceiba tuvo un factor Runkel de 0.25, pero contó también con un número Kappa relativamente alto (27.49) y un bajo rendimiento total de pulpa (39.51o/o). Los resultados obtenidos para las otras especies muestran un rendimiento total de pulpa aceptable (44.96 - 46.60o/o) pero un factor de Runkel que no fue definitivamente menor que 1 ($P < 0.05$).

I. INTRODUCCION

En nuestros días, el papel y productos relacionados ocupan un lugar importante en la sociedad. Sus usos son múltiples y van desde el embalaje hasta la comunicación del saber humano.

El término papel es usado para describir todo tipo de hojas o láminas de fibras enredadas, generalmente de origen vegetal, aunque pueden ser sintéticas. La diferencia entre papel y cartón estriba en que el primero es más ligero por unidad de área, más delgado y más flexible (1). De acuerdo a sus funciones, el papel puede clasificarse en cultural, que incluye papel para periódicos, revistas, libros, etc., e industrial que abarca el cartón, papel para envoltorios y sacos, cartón de corrugado, etc. (1)

El papel se fabrica a partir de la pulpa que es un conjunto de fibras de celulosa producido mecánica o químicamente a partir de materias primas generalmente vegetales. La pulpa se clasifica de acuerdo al modo de fabricación en (1):

- a) Mecánica
- b) Químico-mecánica y
- c) Química: Los dos métodos químicos más empleados son:
 - 1. Proceso "al sulfato" y
 - 2. Proceso "al sulfito".

Motivados por la creciente demanda mundial de pulpa y papel en los últimos años se han venido efectuando muchos estudios por instituciones como la Organización para la Agricultura y Alimentación (FAO) (1-4). Estos demuestran que el aumento del consumo per cápita mundial de papel, así como el crecimiento poblacional (de actualmente cuatro mil millones a más de seis mil millones en el año 2000 (5) son dos factores preponderantes sobre la utilización de los recursos para pulpa y papel. R.W. Hagemeyer (6) señala además algunas circunstancias adicionales que incidirán en el futuro mundial de la industria del papel. Estas son las siguientes:

- a) Elevación en el costo de los energéticos (petróleo, carbón, gas natural).
- b) La disponibilidad mundial de agua disminuirá y, por consiguiente, el precio de la misma tenderá a subir.
- c) Aumento en el precio de la fibra como consecuencia de su escasez en algunas regiones del mundo. Esta situación se agravará si el control gubernamental interviene en algunos países con un mayor uso de las tierras arables, limitando así las regiones boscosas.

La FAO ha hecho las predicciones más autorizadas sobre el consumo mundial de papel. Estas indican que el uso de papel en el mundo entero se verá más que duplicado, desde un nivel de 123 millones de toneladas métricas (tm) en 1969 hasta 272 millones de tm en 1985. En algunas áreas como Japón y la U.R.S.S. el consumo en 1985 será el triple que el de 1969. (7)

Pronósticos en años sucesivos indican que por el año 2000, el consumo mundial de papel será cuatro o cinco veces mayor que el actual, y que por el año 2020 podría ser mayor en un factor de 10 a 15 (7). Al querer satisfacer esta mayor demanda del futuro, surgen los siguientes interrogantes:

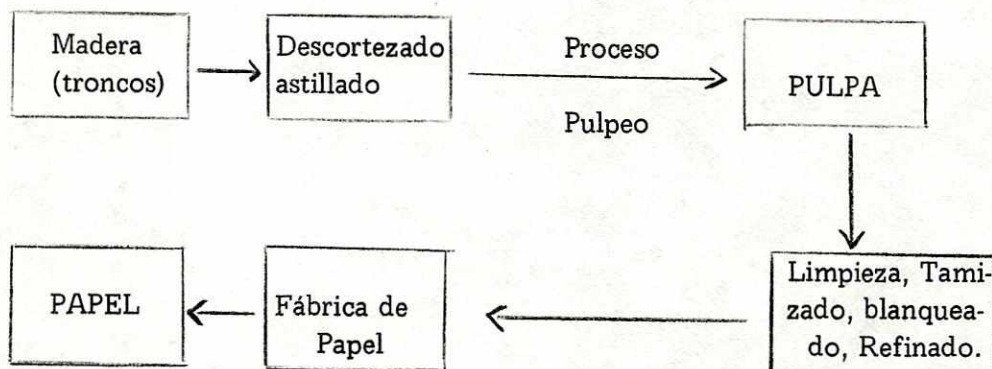
- ¿Habrán suficientes recursos naturales para la producción de pulpa?
- Se podrán desarrollar estos recursos de una manera económica?
- ¿Se podrán encontrar nuevas fuentes de recursos?

En America Central no existe ninguna fábrica de pulpa (1) y Guatemala es el mayor importador de este producto a pesar de tener recursos naturales como bosques tropicales, bagazo de caña y bagazo de té de limón. Además, la FAO ha predicho que para el año 1981 Guatemala estará importando alrededor de 87 mil toneladas de papel y cartón (8).

Todo lo anterior, sumado a que en la región Centroamericana la industria de la pulpa y el papel puede contribuir grandemente al desarrollo y superación de un gran grupo poblacional, incluyendo el sector rural pues es de allí de donde este grupo extrae su materia prima, justifican el presente trabajo que es una mínima contribución a la infraestructura tecnológica del país.

II. LA MADERA Y SU RELACION CON LA PULPA Y EL PAPEL

A continuación se presenta un esquema simplificado y general del diagrama de flujo para la fabricación de papel, en el cual puede observarse el importante papel que juega la madera:



La madera se obtiene de los troncos, ramas y raíces de los árboles, los cuales se reproducen por medio de semillas, es decir son espermatofitas. Las plantas espermatofitas se dividen en:

- a) Gimnospermas, las cuales llevan la semilla en un cono de escamas, y
- b) Angiospermas, con sus semillas protegidas en un ovario, i.e. tienen flor.

Las gimnospermas se agrupan en cuatro órdenes, de los cuales las coníferas son las más importantes. A estas últimas también se les conoce como maderas suaves, aunque este término no tenga un significado exacto respecto a su dureza físicamente hablando (9).

Las angiospermas se dividen en monocotiledóneas y dicotiledóneas. Los árboles de las dicotiledóneas son conocidos como árboles de hoja ancha, maderas duras o maderas latifoliadas.

II.1 Composición macroscópica de la madera.

En el corte transversal de un tronco (fig. 1) se distinguen tres regiones principales, a saber:

1. Médula: que está colocada en el centro del tronco. Esta formada por un tejido suave almacenador de alimentos,
2. madera y
3. corteza.

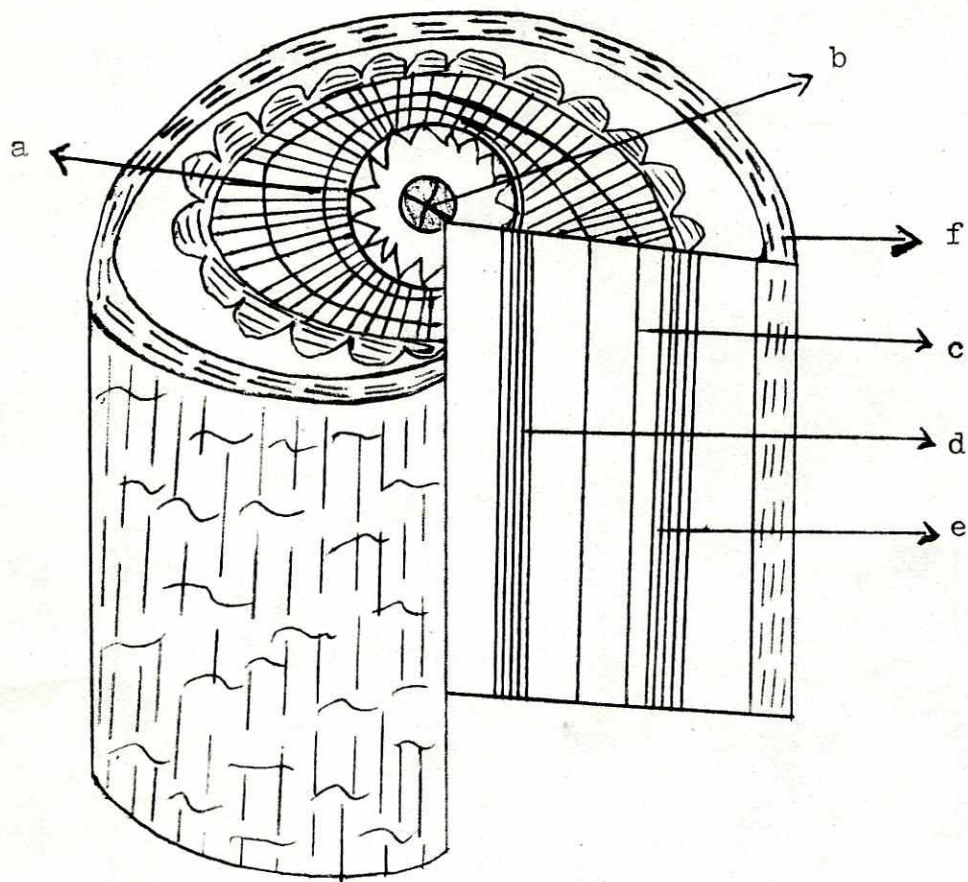


Fig. 1: Corte transversal de un tronco maderoso. (Tomado de Villee, Claude, Biología, 7a. ed.

- a - albura
- b - corazón y médula
- c - radio
- d - xilema primario
- e - floema
- f - corteza

La madera está compuesta, además de otras estructuras, de xilema y de floema. Anualmente el cambium vascular, tejido de división celular activa, forma una nueva capa de madera, los llamados anillos anuales que, en climas templados, donde una estación de crecimiento activo se sigue de una de inactividad, se componen de madera de primavera y madera de verano.

Al efectuar un corte transversal en un tronco, se pueden observar dos regiones distintas en la madera que está contigua a la corteza:

- a) Una zona exterior de color claro: la albura y
- b) Una región de color más oscuro, envuelta por la primera, que constituye el duramen o corazón de la madera.

La albura transporta la savia y almacena alimentos, mientras que el duramen solamente proporciona sostenimiento mecánico (10).

La albura se transforma gradualmente en duramen. En esta transformación, varias sustancias se infiltran en las paredes celulares del duramen e incluso se acumulan dentro de las cavidades de la célula. Entre estas sustancias se encuentran taninos, gomas, resinas, pigmentos, sales de ácidos orgánicos, etc. El depósito de estos materiales es precisamente lo que da sus características al duramen, como lo son su color, dureza, impermeabilidad, durabilidad y densidad (11).

II.2 Estructura microscópica de la madera:

Las maderas duras tienen una estructura más compleja que las maderas suaves. En el tejido maderoso de estas últimas, las funciones de soporte y conducción son realizadas por un mismo elemento a saber, las traqueidas, de paredes delgadas y duras, que constituyen alrededor del 90o/o del tejido mencionado.

Los principales constituyentes en el tejido maderoso de las maderas duras son los siguientes:

- a) Vasos: éstos sirven para propósitos de conducción. Son tubos largos formados por series longitudinales de muchas células, cuyas paredes han desaparecido total o parcialmente.

Las células que componen los vasos tienen una longitud aproximada de 0.3 a 1 mm y su diámetro va de 30 a 500 micras (12).

- b) Traqueidas: también se encuentran presentes en las maderas duras, pero su función es principalmente la de conducción.
- c) Fibras: tejido compuesto por células de paredes gruesas que son responsables del soporte.

Desde el punto de vista tecnológico, los vasos, las traqueidas y las fibras reciben la denominación común de fibras.

- d) Tejido parenquimatoso o de almacenamiento: éste incluye células dispuestas horizontalmente (radios) y verticalmente (parénquima leñoso). Son las únicas células vivas de la madera (12).

Estructura de las fibras de maderas duras:

Las fibras son células elongadas que constan de una pared celular y de un espacio interior, donde previamente había protoplasma denominado lumen.

La estructura de la pared de la célula vegetal generalmente es descrita haciendo referencia a tres capas distintas en la misma, las cuales tienen características propias (13):

- a) Lamela media (M): es el material intercelular. Contiene alrededor de un 75o/o de lignina, la cual se encuentra en estado isotrópico (amorfo). No hay celulosa presente en esta región.

En el proceso de digestión, cuando se produce la pulpa, que consiste principalmente de celulosa, se disuelve la lamela media dejando libres a las células o fibras.

- b) Pared primaria (p): envuelve a la pared secundaria. Tiene aproximadamente un 50o/o de celulosa y 30o/o de lignina (Ver sección II.3).

El crecimiento de esta pared se realiza principalmente en área y muy poco en grosor.

- c) Pared secundaria: ésta crece solamente en grosor. Tiene más celulosa que la primaria y se compone a su vez de tres capas:

- externa (S_1).
- media (S_2): la cual es la capa dominante de la pared celular y consta de celulosa y hemicelulosa principalmente.
- interna (S_3).

Hay que hacer notar que en los distintos métodos de pulpeo (fabricación de pulpa), la pared primaria y la S_1 de la secundaria pueden también ser atacadas. Por otra parte, la lignina, que es el elemento a eliminar en la producción de pulpa, se encuentra básicamente en la lamela media, la pared primaria y parte de S_1 . El resto está constituido por polisacáridos, celulosa y hemicelulosa (fig. 2).

Características de las fibras que influyen en las propiedades de la pulpa y el papel.

La forma de la fibra y la estructura de la pared celular, son las dos características principales que influyen en las propiedades de los productos fabricados a partir de la madera (13). Experimentalmente se ha encontrado que las fibras de pared delgada permiten la formación de papel compacto, con alta resistencia a la tensión y a la explosión. En cambio, las de pared gruesa tienen menos superficie de contacto por lo que las propiedades anteriores, que dependen de la unión entre las fibras, se ven disminuidas.

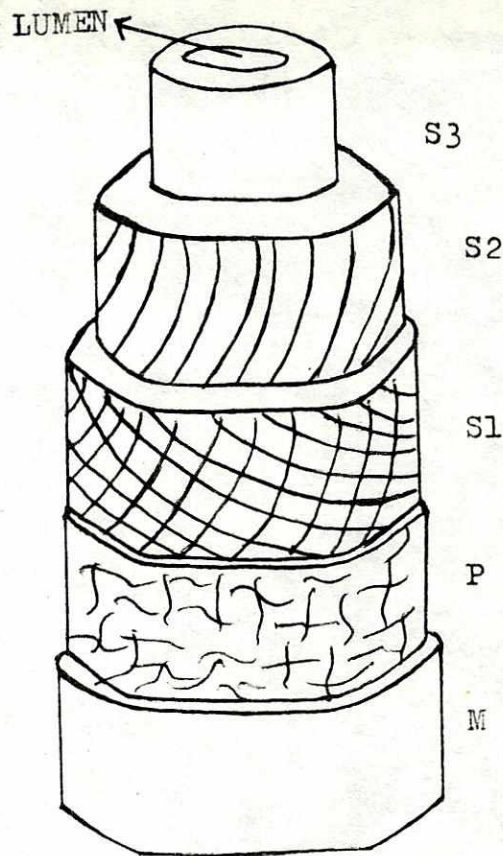
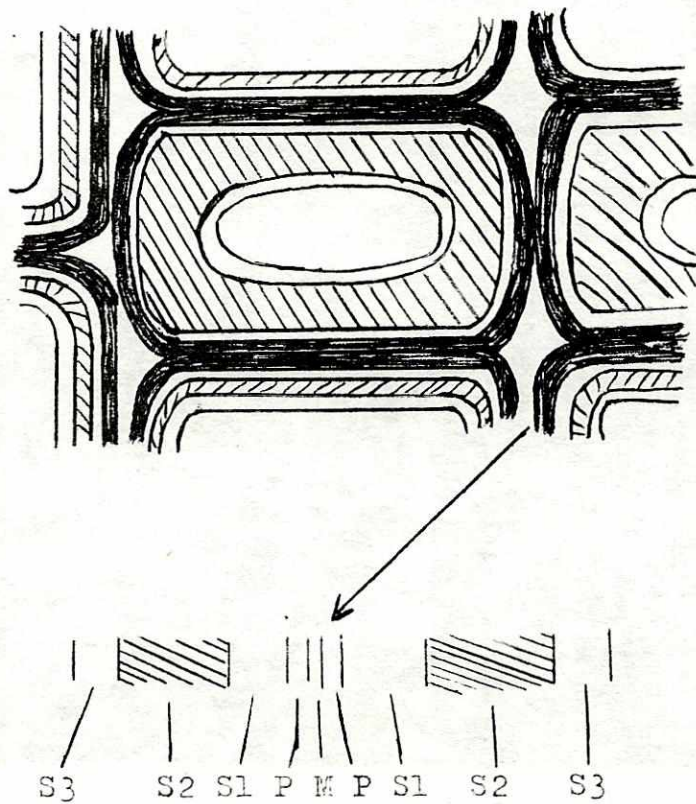


Fig. 2: Estructura Microscópica de una fibra de Madera dura. (Tomado de Lange, "The Morphology of Hardwood Fibers", TAPPI, 42 (9):786)



Han sido definidas varias relaciones que conectan las características dimensionales de las fibras con las propiedades de la pulpa. Un ejemplo de ellas es el factor o coeficiente de Runkel, calculado en base al grosor de la pared de la fibra y al diámetro del lumen, que predice valores de resistencia de las pulpas (12).

II.3 ALGUNOS ASPECTOS SOBRE LA QUIMICA DE LA MADERA

Resulta muy difícil definir químicamente a la madera ya que se trata de un producto heterogéneo complejo, constituido por sustancias principalmente de alto peso molecular, íntimamente relacionadas entre sí. El análisis químico elemental muestra que está compuesta aproximadamente de 50o/o de carbono, 6o/o de hidrógeno y 44o/o de oxígeno (14). Estos resultados varían poco entre las diferentes especies madereras, lo cual podría indicar que se está ante una sustancia química uniforme, pero la realidad es bien distinta. Hace aproximadamente 100 años, el tratamiento sucesivo de madera con ácido nítrico, álcalis, alcohol y éter permitió aislar una sustancia con la fórmula elemental $C_6H_{10}O_5$ idéntica a la del almidón. A este compuesto se le dio el nombre de celulosa, probablemente por ser el principal componente de la pared de la célula vegetal (14). Al aislar la celulosa, se identificó un compuesto o, más precisamente, una familia de compuestos, que es insoluble en ácidos concentrados, al cual se le denominó lignina. Simultáneamente se encontró que en los carbohidratos de la madera había, además de la celulosa, otros polisacáridos que se han agrupado bajo el nombre de hemicelulosas. Únicamente resta por añadir los extractivos de la madera que son sustancias solubles en solventes inertes como agua, éter, alcohol-benceno y acetona, las cuales no se consideran constituyente esenciales de la madera (15).

Los compuestos anteriormente mencionados se encuentran en la madera en los siguientes intervalos aproximados (16):

celulosa	40-50o/o
lignina	15-35o/o
hemicelulosa	20-35o/o
extractivos	3-10o/o

No se ha podido separar cuantitativamente los componentes químicos de la madera. Esto se debe en parte a (16):

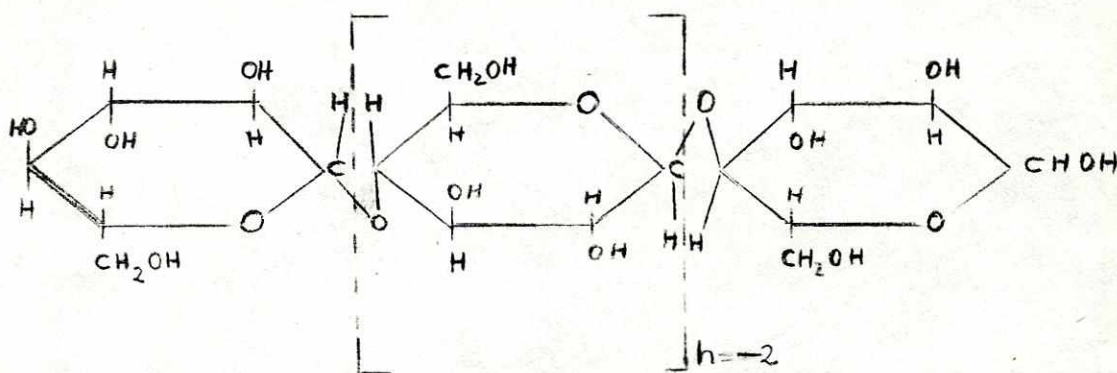
- alto peso molecular de los componentes,
- semejanzas en las funciones de los mismos,
- uniones físicas y químicas (fuerzas de Van der Waals, puentes de hidrógeno y, probablemente, enlaces covalentes),
- la estructura de tipo cristalino de la madera reduce la accesibilidad de algunas sustancias.

Debe mencionarse también que los valores obtenidos en el análisis químico de una madera dependen de muchos factores, entre los cuales tenemos (16):

- las condiciones experimentales de los procedimientos empleados,
- la especie del árbol del cual se obtiene la madera, habitat de la especie,
- factores de herencia en el espécimen particular,
- región del árbol de la cual proviene la madera,
- condiciones e historia del almacenamiento de la muestra,
- forma de preparar la muestra.

Las hemicelulosas son polisacáridos de peso molecular y cristanilidad menores que la celulosa. Los polímeros más frecuentes son los xilanos y los glucomanamos.

La celulosa es el mayor componente de la pared celular vegetal. Es un polímero con un grado de polimerización que oscila entre 7000 y 10000 unidades en su forma menos degradada. Al hidrolizarse, teóricamente deberían obtenerse solo monómeros de D-glucosa.



$h =$ grado de polimerización

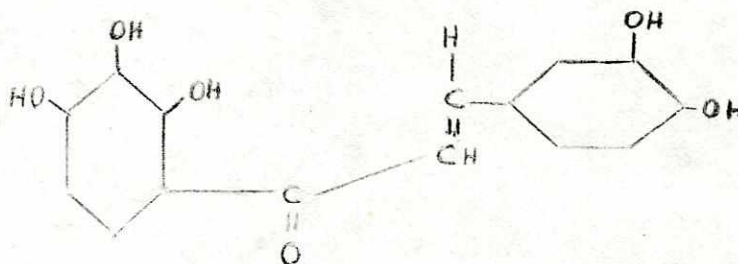
La insolubilidad de la celulosa en el agua y en alcalis diluidos, a pesar de la presencia de cinco átomos de oxígeno por cada seis átomos de carbonos, se debe a la formación de puentes de hidrógeno inter e intramoleculares. Esto explica también sus propiedades físicas, mecánicas y químicas.

Solo queda por mencionar la familia de compuestos conocida como lignina que se encuentra entre las paredes celulares de las fibras. Su función es actuar como elemento de enlace entre las mismas y es la responsable de la rigidez de la madera. Hasta ahora, se ignora si esta forma enlace covalente con la celulosa o con las hemicelulosas.

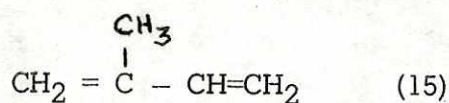
La lignina es un polímero que no tiene unidades fundamentales bien definidas, aunque puede reconocerse como pieza importante el esqueleto de fenilpropano. Su constitución varía con cada especie maderera. Cuando se fabrica la pulpa, la lignina es el elemento a eliminar.

En cuanto a los extractivos, son sustancias que varían con cada especie maderera, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- a) Resinas: Son sustancias hidrofóbicas solubles en solventes neutros no polares. Son abundantes en esta familia los ácidos grasos tales como los ácidos, láurico, mirístico, palmítico, oleico, lignocérico, etc.
- b) Compuestos polifenólicos.
- c) Flavonoides: Son compuestos con estructuras $C_6-C_3-C_6$ como la crinina,



- d) Taninos
- e) Terpenos: formados por unidades de isopreno



En la figura 3 se muestra un esquema de los componentes de la madera y su forma de separación.

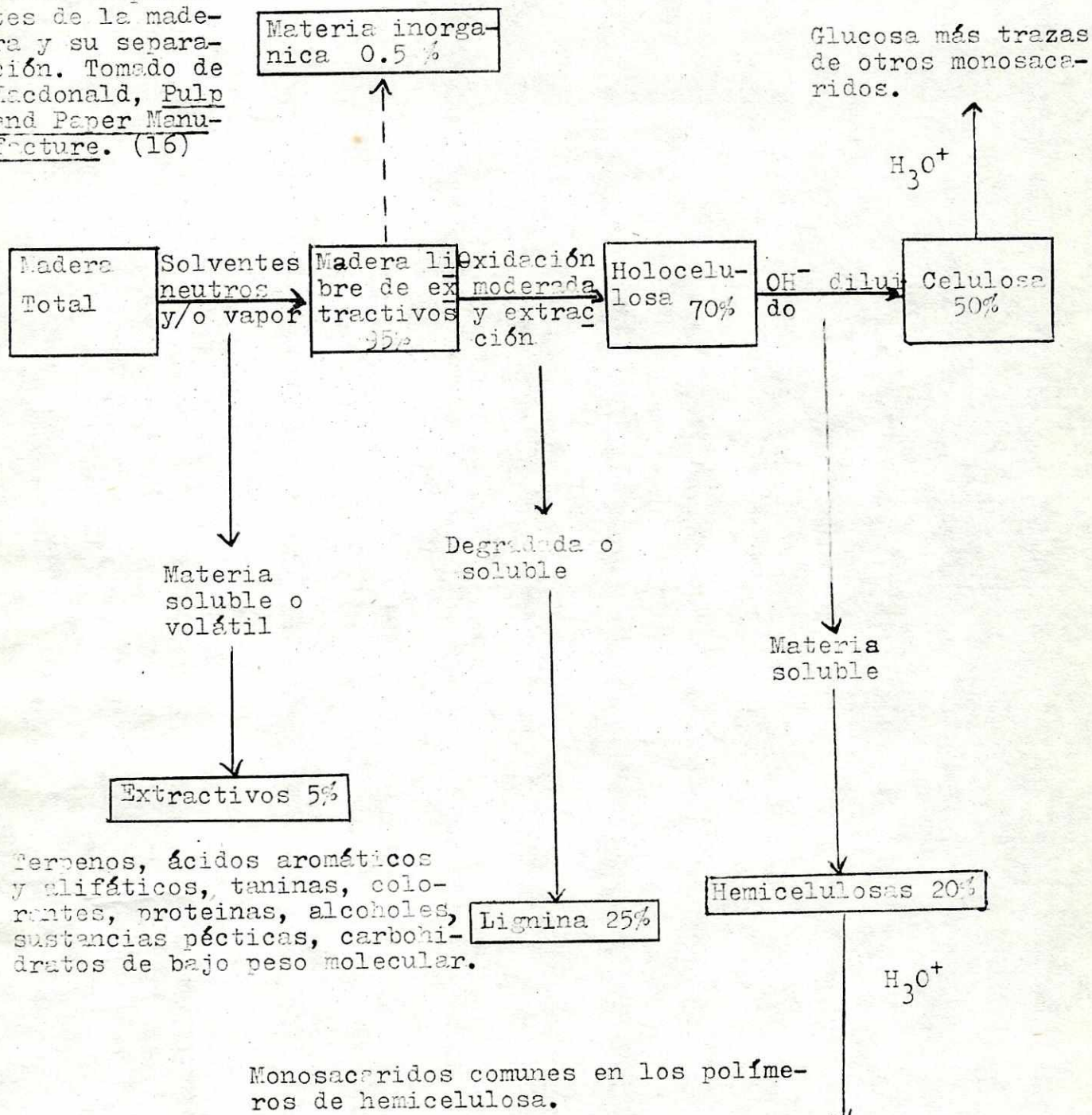
II.4 PRINCIPALES METODOS DE PULPEO QUIMICO

- A. Pulpeo al sulfito: Este proceso fue desarrollado primeramente por Benjamín Tilghman en 1867 (17). La solución reaccionante, o licor de cocción, consiste de dióxido de azufre disuelto en agua (4-9 o/o) y de bisulfito de calcio, magnesio o amonio al 2-3 o/o. La reacción principal ocurre entre el bisulfito y la lignina con la formación de ligninosulfonatos:



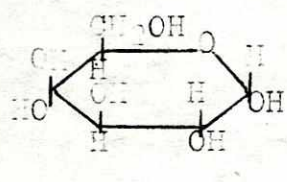
Luego dependiendo del pH y de la temperatura, la lignina se separa en unidades más pequeñas, las cuales se solubilizan en el licor. Obviamente, la holocelulosa sufre algunas reacciones secundarias tales como hidrólisis y sulfonación.

Fig. 3: Principales Componentes de la madera y su separación. Tomado de Macdonald, Pulp and Paper Manufacture. (16)

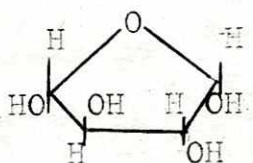


Terpenos, ácidos aromáticos y alifáticos, taninas, colorantes, proteínas, alcoholes, sustancias pécticas, carbohidratos de bajo peso molecular.

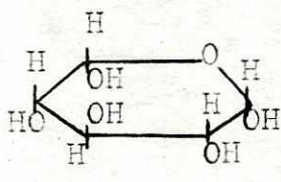
Monosacáridos comunes en los polímeros de hemicelulosa.



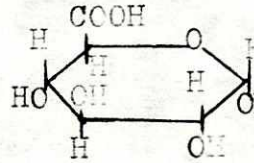
D-Galactosa



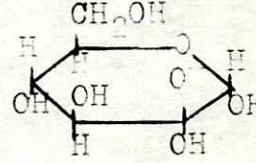
L-arabinosa



D-xilosa



ácido D-glucurónico



D-manosa

- B. Pulpeo al sulfato (Proceso Kraft): El licor de cocción consta de hidróxido y de sulfuro de sodio en solución. La presencia del ion sulfuro facilita el rompimiento del enlace fenoleter de la lignina con lo que se acelera la velocidad de delignificación, con menos ataque a la celulosa (18).

Fujii y Hannah (19) han descrito recientemente un nuevo método de pulpeo que usa oxígeno y bicarbonato, el cual tiene la ventaja de tener un potencial de contaminación muy bajo ya que no opera con cloro ni con azufre.

II.5 IMPORTANCIA DE LOS CONSTITUYENTES DE LA MADERA EN LA FABRICACION DE PULPA Y PAPEL

Para que sea posible obtener una pulpa adecuada, la especie maderera debe reunir algunas cualidades que hacen que la pulpa sea idónea para fabricar papel o sus derivados. Es así que el contenido de celulosa es de gran importancia por ser el principal componente de las fibras de pulpa. Por otra parte, la lignina constituye el elemento a eliminar por disolución selectiva durante el proceso de pulpeo por lo que también es necesario hacer una determinación de su porcentaje en las maderas.

Se ha comprobado que las hemicelulosas, entre las cuales se encuentran las pentosanas con unidades estructurales de xilosa y arabinosa, contribuyen a las propiedades mecánicas de las pulpas blanqueadas es decir, exentas de lignina. Asimismo, los extractivos, aunque presentes en pequeñas cantidades, influyen en la obtención de pulpa y en algunas de sus propiedades tales como: reducción en la cantidad obtenida de pulpa, aumento en el consumo de reactivos, impedimento en la eliminación de la lignina, color y facilidad de blanqueado (15).

En América Central, la mayor parte de trabajos realizados en especies madereras así como su posible utilización para fabricar papel se han realizado en el Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial ICAITI (21-23). En ellos se han estudiado maderas duras provenientes de El Petén.

El objetivo del presente trabajo fue determinar las propiedades químicas y fibroscópicas de cinco especies de maderas de la Costa Atlántica de Nicaragua para investigar su potencialidad como materia prima en la industria de la pulpa y el papel. Además, se hicieron y evaluaron digestiones para producir pulpa, por el proceso Kraft, de las cinco especies en estudio.

III. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

De lo anotado en las secciones anteriores, fácilmente puede deducirse que una especie maderera debe ser sometida a diversos análisis previos para determinar su posible utilidad en la fabricación de pulpa y papel. Se vio como la celulosa y la lignina son los compuestos principales a determinar pues el primero es el componente en mayor porcentaje del papel y el segundo, el que debe ser eliminado en cualquier proceso de pulpeo, para dejar así libre a la celulosa. Por otra parte, las pentosanas, polisacáridos formados por unidades estructurales de cinco átomos de carbono, que se agrupan dentro de la hemicelulosa, y los extractivos también son importantes en las propiedades de la pulpa y el papel, por lo que también debe reunirse información acerca de su presencia en la madera por medio de ciertos análisis que serán detallados más adelante.

A todo lo anterior debe agregarse lo importante que es, para las propiedades del papel, la medición de las dimensiones de las fibras de cada especie y la evaluación de la producción de pulpa mediante digestiones por el método Kraft.

Para los análisis de maderas realizados, la Asociación Técnica de la Industria de la Pulpa y el Papel (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI) tiene métodos estandarizados y actualizados que son mundialmente aceptados (24). Todos los análisis que se hicieron en este trabajo se realizaron de acuerdo a dichos métodos, con excepción de la determinación de celulosa.

III.1 MATERIALES

Las muestras a ser analizadas, provenientes de la Costa Atlántica de Nicaragua, fueron proporcionadas por el Instituto de Fomento Nacional INFONAC del mismo país. Se cortaron 3 árboles de cada especie, de cada uno de los cuales se tomaron 3 cortes de la parte alta, media y baja respectivamente.

Las especies analizadas fueron las siguientes:

NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO
Comenegro	<i>Dialium guianense</i>
Tapaboti	<i>Apeiba membranacea</i>
Ceiba	<i>Ceiba Pentandra</i>
Cedro Macho	<i>Carapa nicaragüensis</i>
Santa María	<i>Calophyllum brasiliense</i>

III.2 METODOS

Todos los análisis se hicieron en duplicado, excepto el de solubilidad en alcohol-benceno que se hizo en cuadruplicado.

Para realizar las pruebas químicas, la madera de los tres cortes de cada árbol fue descortezada y luego reducida de tamaño en un astillador. A continuación, se formó una mezcla representativa la cual fue molida y tamizada de forma que quedara retenida en el tamiz de 60 mallas ("mesh"), con lo cual se logran partículas de 0.25 a 0.40 mm de diámetro. Las muestras obtenidas fueron almacenadas en bolsas de polietileno.

Los análisis que se efectuaron en las maderas se mencionan a continuación (Ver apéndice para su descripción detallada):

a) Análisis Químicos:

1. Solubilidad en solución de alcohol-benceno (2/1, V/V).
2. Solubilidad en agua fría y solubilidad en agua caliente.
3. Solubilidad en NaOH al 10/o
4. Contenido de lignina
5. Contenido de pentosanas
6. Contenido de celulosa
7. Cenizas
8. Humedad

b) Análisis fibroscópico.

Medición de las dimensiones de las fibras:

1. Longitud de fibra
2. Diámetro de fibra
3. Diámetro de lumen y
4. Grosor de pared celular (pared de fibra).

c) Digestiones método Kraft:

1. Rendimiento total, tamizado y de rechazo,
2. Número Kappa
3. Alkali residual
4. Sólidos totales en licores residuales (licores negros).

Con respecto a los análisis químicos, las tres primeras pruebas mencionadas anteriormente, nos dan un índice de qué tan extensa es la presencia de extractivos en la madera.

La determinación de lignina se hizo a partir de madera libre de extractivos, mediante hidrólisis de los polisacáridos de la holocelulosa con ácido sulfúrico. El residuo que queda después del tratamiento se define como lignina de Klason. Por otra parte, no se ha logrado desarrollar un método que permita la separación precisa de la lignina de los otros componentes de la madera. Además, durante su aislamiento sufre cambios que la hacen diferente de la protolignina originalmente presente en la madera. Es por esto que se dice que la lignina queda definida por el método de separación (25).

El contenido de cenizas de la madera se define como el residuo que queda después de calcinarla a $575 \pm 25^{\circ}\text{C}$ durante 3 horas o más, si es necesario, para quemar todo el carbón. Es una medida de las sales minerales en la madera.

Por último, en cuanto a análisis químicos se refiere, por medio del empleo de un agente oxidante, hipoclorito de sodio, se determinó la cantidad de celulosa presente en cada madera (26).

El método estadístico usado para la asignación de las incertidumbres en los datos experimentales fue la distribución t de student, a un nivel de confiabilidad $P/0.05$.

IV. RESULTADOS

Los resultados se presentan en tres secciones a saber:

a) **Análisis Químicos:**

Los contenidos de celulosa, lignina y pentosanas de las maderas se presentan en el cuadro 1.

Puede observarse que el mayor contenido de celulosa corresponde a la especie Comenegro con un 54.08o/o de esta sustancia. En contraste, la especie Ceiba tiene un contenido significativamente menor (48.39o/o).

La madera de Ceiba tuvo el menor contenido de lignina (27.14o/o), mientras que Tapaboti contó con el mayor porcentaje de dicha sustancia (32.18o/o).

Por otra parte el contenido de pentosanas varió desde 15.74o/o para Santa María hasta 18.20o/o para Tapaboti.

Los contenidos de cenizas y de humedad pueden apreciarse en el cuadro 2.

En lo que se refiere a porcentaje de cenizas, el valor más alto fue de 3.48o/o para la especie Ceiba, y el menor, de 0.67o/o para Santa María.

El porcentaje de humedad varió desde 9.84o/o para Comenegro hasta 7.79o/o para la Ceiba.

En el cuadro 3 se presentan las solubilidades en alcohol benceno, en agua fría, en agua caliente y en NaOH al 1o/o.

La especie que presentó una mayor solubilidad en agua fue la Ceiba con 7.63o/o para agua fría y 9.78o/o para agua caliente. Por su parte, Santa María tuvo las solubilidades en agua más bajas, a saber, 0.63 y 1.13o/o respectivamente, para agua fría y caliente.

La solubilidad en alcohol-benceno varió desde 1.87o/o para Tapaboti, hasta 4.01o/o para Ceiba.

Santa María tuvo la menor solubilidad en NaOH al 1o/o con un 10.34o/o, mientras que Ceiba tuvo la mayor de todas con 19.77o/o.

b) **Digestiones para producción de pulpa**

En el cuadro 4 se presentan los resultados obtenidos de los procesos de digestión.

Puede observarse que el rendimiento total de pulpa varió desde 39.51o/o para la especie Ceiba hasta 46.06o/o para Comenegro. Por su parte el rendimiento de pulpa tamizada es mayor también para Comenegro (46.32o/o), mientras que la Ceiba tuvo el menor rendimiento tamizado con 39.39o/o. Asimismo, el mayor rechazo de pulpa lo tuvo Cedro Macho con 0.32o/o en tanto que Tapaboti contó con un rechazo de 0.09o/o que fue el menor de todos.

El número Keppa varió desde 36.62 para Tapaboti hasta 14.66 para Cedro Macho.

Por lo que se refiere a álcali residual, Comenegro tuvo el mayor de todos con 2.02o/o y Ceiba, el menor con 0.65o/o.

Los valores encontrados para sólidos residuales totales oscilan entre 142.81g/litro para Comenegro y 152.45g/litro para Ceiba.

c) Análisis dimensional de las fibras

Los análisis dimensionales de las fibras se presentan en el cuadro 5 en donde se observa que la longitud de las fibras varia desde 1.09 mm para Santa María hasta 1.95 mm para Ceiba. Asimismo, Ceiba tuvo el mayor diámetro de fibra con 35.82 micras y Santa María, el menor con 8.68 micras.

El grosor de la pared de la fibra (pared celular) varió entre 3.59 micras para la Ceiba hasta 8.74 micras para Comenegro. El diámetro del lumen tomó valores desde 28.65 micras para Ceiba hasta 6.84 micras para Tapaboti.

Tapaboti tuvo el mayor factor Runkel con 2.16, mientras que la especie Ceiba tuvo el menor con 0.25.

CUADRO 1
RESULTADOS DEL CONTENIDO DE PENTOSANAS,
LIGNINA Y CELULOSA DE LAS MADERAS

Especie Analysis	COMENEGRO	TAPABOTI	CEIBA	CEDRO MACHO	STA. MARIA
Pentosa- nas (o/o)	\$ a 1578 ± .01	b 18.20 ± .07	c 17.44 ± .11	d 16.50 ± .08	a 15.74 ± .08
Lignina (o/o)	a 29.61 ± 1.00	b 32.18 ± 1.00	c 27.14 ± .80	c 27.7 ± .50	b 31.94 ± .20
Celulosa (o/o)	a 54.03 ± 1.20	a 53.32 ± 1.20	b 48.39 ± 1.14	a 53.62 ± .95	c 50.66 ± .53

& = $\bar{X} \pm ES$

\$ = Números con diferentes letras superescritas son estadísticamente distintos ($P < 0.05$)

CUADRO 2
RESULTADOS DEL CONTENIDO DE CENIZAS Y
HUMEDAD DE LAS MADERAS

Especie Análisis	COMENEGRO	TAPABOTI	CEIBA	CEDRO MACHO	STA. MARIA
Humedad (o/o)	§ a 9.34 ± .01	a 9.01 ± .20	b 7.79 ± .41	c 9.83 ± .12	a 9.19 ± .18
Cenizas (o/o)	a 1.50 ± .01	b 2.02 ± .01	c 3.48 ± .05	d 0.96 ± .02	e 0.67 ± .02

& = $\bar{X} \pm ES$

§ = Números con diferentes letras superescritas son estadísticamente distintos ($P < 0.05$).

CUADRO 3

RESULTADOS DE SOLUBILIDADES EN AGUA CALIENTE,
ALCOHOL-BENCENO (EtOH- ϕ) y NaOH AL 1o/o.

<div style="display: inline-block; transform: rotate(-45deg);">Especie</div> Análisis	COMENEGRO	TAPABOTI	CEIBA	CEDRO MACHO	STA. MARIA
Solubilidad en agua fría (o/o)	\$ a 2.32 \pm .18	b 1.59 \pm .02	c 7.63 \pm .14	b 1.63 \pm .11	d 0.63 \pm .01
Solubilidad en agua caliente (o/o)	a 4.49 \pm .32	b 3.60 \pm .18	c 9.78 \pm .40	d 4.00 \pm .02	e 1.13 \pm .17
Solubilidad en EtOH- ϕ (o/o)	a 3.23 \pm .05	b 1.87 \pm .02	c 4.01 \pm .15	d 2.14 \pm .06	e 2.85 \pm .07
Solubilidad en NaOH al 1o/o (o/o)	a 13.49 \pm .48	b 12.77 \pm .02	c 19.77 \pm .21	b 12.73 \pm .23	d 10.34 \pm .22

& = $\bar{X} \pm ES$

\$ = Números con diferente letra superescritas con estadísticamente distintas ($P < 0.05$)

CUADRO 4
RESULTADOS DE LAS DIGESTIONES UTILIZANDO EL
METODO KRAFT

Especie		COMENEGRO	TAPABOTI	CEIBA	CEDRO MACHO	STA. MARIA
Análisis						
REN D I M I E N T O	Total (o/o)	\$ a 46.60 ± .51	b 44.96 ± 1.52	c 39.52 ± 1.52	b 44.95 ± .36	b 44.96 ± .40
	Tamizado (o/o)	a 46.32 ± .37	b 44.87 ± .32	c 39.39 ± 1.48	b 44.63 ± .16	b 44.86 ± .39
	Rechazo (o/o)	a 0.27 ± .14	a 0.09 ± .08	a 0.12 ± .04	a 0.32 ± .20	a 0.10 ± .01
Alcalí Residual (o/o)		a 2.02 ± .37	a 1.78 ± .05	b 0.65 ± .25	a 1.65 ± .54	a 1.46 ± .06
Número Kappa		a 18.44 ± .86	b 36.62 ± .76	c 27.49 ± 1.22	d 14.66 ± .31	a 17.56 ± .34
Sólidos totales g/litro		a 142.81 ± 1.18	b 148.18 ± 2.51	c 152.45 ± 1.26	b 149.72 ± .48	b 148.76 ± 1.97

& = $\bar{X} \pm ES$

\$ = Números con diferentes letras superescritas son estadísticamente distintos ($P < 0.05$)

CUADRO 5
DIMENSIONES DE LAS FIBRAS

Especie	COMENEGRO	TAPABOTI	CEIBA	CEDRO MACHO	STA. MARIA
Análisis					
Longitud de la fibra (mm)	\$ a 1.56 ± .01	b 1.42 ± .01	c 1.95 ± .01	d 1.60 ± .01	e 1.09 ± .01
Diametro de la fibra (micras)	a 33.59 ± 4.53	b 21.59 ± 4.00	a 35.82 ± 2.27	b 24.47 ± 1.16	c 8.68 ± 2.78
Grosor de la pared de la fibra (micr)	a 8.74 ± 3.28	a 7.38 ± 2.80	a 3.59 ± 2.43	a 3.69 ± 1.18	a 4.24 ± 1.03
Diametro del lumen (micras)	a 16.12 ± 2.02	b 6.84 ± 1.61	c 28.65 ± 2.59	a 17.10 ± 1.20	b 8.55 ± 0.72
Factor Runkel	a 1.08 ± 1.00	a 2.16 ± 1.33	a 0.25 ± 0.19	a 0.43 ± 0.17	a 0.99 ± 0.32

& = $\bar{X} \pm ES$

\$ = Números con diferentes letras superescritas son estadísticamente distintos ($P < 0.05$).

CUADRO 6

COMPARACION DE ALGUNOS RESULTADOS OBTENIDOS CON
MADERAS DURAS GUATEMALTECAS Y NICARAGUENTESES (21-23)

	GUATEMALA			NICARAGUA		
	mínimo	prom.	máximo	mínimo	prom.	máximo
Celulosa o/o	40.88	50.59	60.33	48.39	51.24	54.08
Lignina o/o	17.68	25.15	32.61	27.14	29.66	32.18
Pentosanas o/o	12.58	16.36	20.14	15.74	16.96	18.20
Solub. en Alco-benc o/o	1.98	6.11	10.23	1.87	2.94	4.01
Solub. en o/o H ₂ O Caliente	0.57	5.68	10.78	1.13	5.46	9.78
Rendimiento total-pulpa	42.69	47.99	53.28	39.51	43.06	46.60
Número Kappa	17.4	43.36	69.31	14.66	25.64	36.62
Grosor pa- red/fibra (micras)	1.53	5.41	9.29	3.59	6.17	8.74
Factor Runkel	0.21	0.71	1.21	0.25	1.21	2.16

DISCUSION DE RESULTADOS

Al realizar una comparación global entre los resultados obtenidos en este trabajo y los obtenidos en estudios similares realizados por el Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial ICAITI (21-23) en maderas duras centroamericanas, se encuentra que los contenidos de celulosa, lignina, pentosanas y cenizas no difieren marcadamente (cuadro 6). Asimismo, las dimensiones de las fibras son similares a las especies previamente estudiadas. Esto puede deberse, además del hecho de que todas las maderas estudiadas pertenecen a un mismo tipo a saber, maderas duras o latifoliadas, a la similitud de los métodos empleados y posiblemente al habitat de dichas especies.

En lo concerniente a la evaluación de las digestiones, la especie Ceiba presentó el menor rendimiento total de pulpa (39.51o/o), lo cual la hace poco apta para su uso en la industria de la pulpa y el papel, y la especie Cedro Macho presentó el número Kappa más bajo (14.66o/o), indicando que la pulpa producida de esta madera es fácilmente blanqueable. Asimismo, Tapaboti tuvo la menor solubilidad en alcohol-benceno (1.87).

En cuanto al contenido de humedad de la madera, es un resultado muy variable que depende mucho de la humedad del ambiente y de las condiciones de almacenamiento de la muestra. En este estudio, las muestras fueron almacenadas en bolsas cerradas de polietileno.

Para la evaluación de la producción de pulpa de las maderas en estudio, se usó el método Kraft y no el del sulfito, ya que la presencia de extractivos fenólicos y de tilosas, en las maderas duras o latifoliadas, impiden una buena penetración del sulfito reduciendo consecuentemente la delignificación. Además pueden producirse materiales difíciles de remover que afectan las propiedades de la pulpa. En los procesos alcalinos, particularmente en el Kraft, estas dificultades pueden minimizarse o, incluso, eliminarse por completo (20).

Un parámetro importante a determinar en las especies estudiadas fue el contenido de celulosa. Entre las propiedades de la celulosa que la hacen idónea para la fabricación de papel se pueden mencionar las siguientes (16)

- Ser abundante, renovable y fácilmente obtenible, lo que la convierte en un material de bajo costo,
- encontrarse en forma de fibras lo que le da alta resistencia a la tensión,
- Tener gran afinidad por el agua, hecho que facilita la separación de las fibras en el proceso de pulpeo, así como su unión cuando es secada una suspensión acuosa de las mismas. Esto último es la base de la fabricación del papel,
- ser de color blanco cuando está pura,
- ser insoluble en agua y en solventes orgánicos neutros. Además resiste a los reactivos que disuelven a la lignina durante la producción de pulpa (hidróxido, sulfuro y bisulfito de sodio, cloro, etc.).

La especie Comenegro tuvo el mayor contenido de celulosa (54.08o/o) y Ceiba, el menor (48.39o/o). Puesto que la celulosa es el mayor componente de la pulpa, puede esperarse que dichas especies tengan el mayor y el menor rendimiento total de pulpa,

respectivamente. Lo anterior se vio confirmado en este trabajo ya que Comenegro tuvo el mayor rendimiento total de pulpa con un 46.60o/o y Ceiba, el menor con un 39.51o/o.

La lignina constituye el elemento a eliminar, por disolución selectiva, durante el proceso de pulpeo. La especie Ceiba posee el menor contenido de lignina (27.41o/o) y, sin embargo, uno de los valores más elevados de número Kappa (27.49). Siendo que el número Kappa es una medida del grado de delignificación que ha sufrido una madera durante el proceso de digestión, se podría sospechar que la eliminación de lignina en la especie Ceiba se dificulta debido probablemente a que algunas estructuras no fibrosas de la madera consumen, en una forma más selectiva, los reactivos utilizados para la delignificación (en el presente caso NaOH y Na₂S).

En el caso de las pulpas exentas de lignina, por un proceso de blanqueo, se ha comprobado que las hemicelulosas contribuyen a las propiedades mecánicas de tensión y explosión del papel (16). Las pentosanas son parte integrante de la hemicelulosa (27) por lo que el contenido de las mismas en la madera podría ser un indicio de dichas propiedades. Es decir, podría esperarse que la especie Tapaboti, que tuvo el mayor contenido de pentosanas (18.20o/o), produjera papel blanqueado con aceptables propiedades de tensión y explosión. Haría falta, no obstante, trabajo experimental posterior para poder comprobar este último hecho.

El porcentaje de cenizas, el cual es una medida del contenido de sales minerales en la madera, es mayor para la especie Ceiba, la cual a su vez presenta la mayor solubilidad en agua fría y caliente (7.63 y 9.78o/o respectivamente). Además, la especie Santa María tuvo el menor contenido de cenizas (0.67o/o) y a su vez el menor contenido de sustancias solubles en agua fría y caliente (0.63 y 1.13o/o). Lo anterior posiblemente se justifique por la mayor solubilidad en agua de las sales minerales (25) en comparación con la holocelulosa, lignina y extractivos orgánicos. Sin embargo esto no se cumplió para todas las especies estudiadas. Ahora bien, resta por saber qué tipo y cantidad de sales de dichas maderas se disolvieron, ya que podrían tener un alto contenido de sales poco solubles por lo que su presencia contribuiría poco a la solubilidad total en agua.

Puede observarse asimismo, que los resultados de las solubilidades en agua fría fueron proporcionales a los de agua caliente, habiendo sido estos últimos mayores que los primeros. Esto se debe posiblemente a que mayor temperatura puede haber una mayor solubilidad de los compuestos presentes, así como también a la hidrólisis de grupos aceto, los cuales pueden aumentar la acidez del medio, provocando reacciones de hidrólisis en la holocelulosa (25).

Una medida de la presencia de los extractivos en la madera la constituyen, por definición, las solubilidades en alcohol-benceno y en agua fría y caliente (15). Según esto, las especies Ceiba y Comenegro probablemente tendrían la mayor cantidad de extractivos por contar con los mayores valores de dichas solubilidades. Santa María, por su parte, posiblemente tendría el menor porcentaje de extractivos por tener las menores solubilidades en alcohol-benceno y en agua.

Los compuestos que son solubles en solventes orgánicos incluyen resinas, ácidos grasos y sus ésteres y jabones, materia no saponificable, colorantes, etc., mientras que entre los solubles en agua se encuentran sales inorgánicas, azúcares, polisacáridos y algunos compuestos fenólicos. Dado que hay compuestos en la madera que son solubles tanto en agua como en

solventes orgánicos, las solubilidades en agua y en alcohol-benceno no son mutuamente excluyentes.

Los extractivos hacen sentir su presencia en la obtención de la pulpa y en algunas de sus propiedades. Algunos de los efectos observados son los siguientes (15):

- Reducción en la cantidad obtenida de pulpa: la mayor parte de extractivos se disuelven en el licor de cocción químico. Mientras mayor sea la cantidad de extractivos en una madera, menor será su producción de pulpa. Lo anterior se confirmó, en el presente trabajo, para la especie Ceiba.
- Aumento en el consumo de reactivos: cuando se obtiene pulpa por el proceso alcalino, el hidróxido de sodio reacciona con la lignina, hemicelulosa, ácidos orgánicos y con los extractivos, por lo que quedará lignina sin degradar, haciendo falta, por consiguiente, una mayor cantidad de NaOH (15). Sin embargo, esto no pudo ser confirmado con las especies investigadas en el presente estudio.
- Algunos extractivos pueden reaccionar con la lignina e impedir que la misma sea eliminada en la elaboración de pulpa. Se sabe asimismo que estos extractivos pueden causar corrosión en la maquinaria usada (15). En este estudio, se comprobó lo primero con la especie Ceiba que tuvo el menor contenido de lignina, uno de los mayores contenidos de extractivos y uno de los mayores números Kappa el cual indica alto porcentaje de lignina residual.
- Por otra parte, los extractivos tienen participación en algunas propiedades de la pulpa como color, facilidad de blanqueado y humedad (15). Los aspectos de color y humedad de las muestras no fueron tratados en el presente trabajo. En cuanto a la facilidad de blanqueado, representada por el número Kappa, se encontró que la especie con mayor contenido de extractivos, Ceiba, produce también la pulpa más difícil de blanquear.

Con NaOH al 10/o se extraen de la madera carbohidratos de bajo peso molecular que consisten principalmente de hemicelulosa y celulosa degradada. Sin embargo, no se encontró ninguna relación para las especies estudiadas en este trabajo, entre el contenido de celulosa o el contenido de pentosanas y la solubilidad en NaOH al 10/o.

Puede notarse también que mientras aumenta el rendimiento total de pulpa de las especies estudiadas, disminuye el contenido de sólidos totales residuales en el licor de digestión (licor negro). Quizás esto sea debido a que mientras menor sea el rendimiento, mayor será la cantidad de materia disuelta, la cual quedará como sólido después de llevar a sequedad el licor.

Si el factor de Runkel, que toma en cuenta el grosor de la pared celular y el diámetro del lumen, tiene valores entre 0 y 1 entonces las pulpas tienen valores de resistencia adecuados, lo cual no sucede para valores superiores a 1 (12). En el presente estudio, dentro de los límites de error experimental, solamente las especies Ceiba Y Cedro Macho tuvieron valores del factor de Runkel menor que uno. Las otras especies dieron valores para dicho factor que podrían ser mayores, menores o iguales que uno.

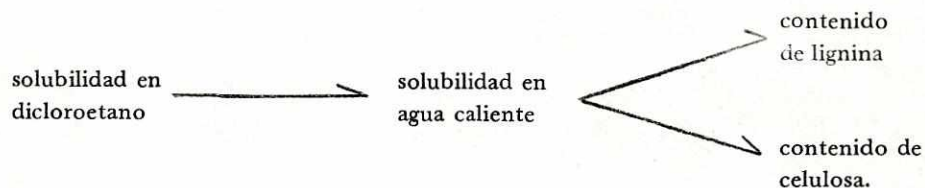
CONCLUSIONES

1. Las especies estudiadas no presentaron diferencias sustanciales en cuanto a composición química, dimensiones de las fibras y producción de pulpa en comparación con otras especies centroamericanas de maderas ya investigadas. Resultados notables fueron los siguientes: rendimiento total de pulpa de la especie Ceiba (39.51o/o), número Kappa de Cedro Macho (14.66) y solubilidad en alcohol-benceno de Tapaboti (1.87). Dichos resultados cayeron fuera de los intervalos encontrados para los mismos en trabajos anteriores sobre maderas duras de Centroamérica.
2. Según el factor Runkel, calculado en base a las dimensiones de las fibras, podrían esperarse pulpas con buena resistencia de las especies Ceiba y Cedro Macho. Para las otras especies no puede afirmarse con seguridad que el factor de Runkel sea menor que uno, debido a la incertidumbre experimental, por lo que no pueden hacerse predicciones del todo fundamentadas.
3. Según el factor Runkel, calculado en base a las dimensiones de las fibras, podrían esperarse pulpas con buena resistencia de las especies Ceiba y Cedro Macho. Para las otras especies no puede afirmarse con seguridad que el factor de Runkel sea menor que uno, debido a la incertidumbre experimental, por lo que no pueden hacerse predicciones del todo fundamentadas.
3. De las cinco especies madereras estudiadas, la madera Cedro Macho es recomendable para la industria de la pulpa y el papel ya que presenta tres aspectos favorables de gran importancia, a saber:
 - rendimiento aceptable de pulpa (44.95o/o).
 - Número Kappa bajo (14.66) es decir, la pulpa producida a partir de esta madera es fácilmente blanqueable.
 - Factor Runkel de 0.43 por lo que puede esperarse obtener una pulpa con buenas propiedades mecánicas y de tensión.
4. La especie Ceiba no es muy recomendable para la industria de la pulpa y el papel por contar con gran contenido de extractivos, bajo rendimiento total de pulp (39.51o/o) y alto número Kappa (27.49). No obstante, tuvo el menor factor de Runkel de todas las especies investigadas (0.25).
5. En lo que respecta a las otras especies, Comenegro, Tapaboti, y Santa María, tuvieron resultados variables que no permiten sacar muchas conclusiones sobre su uso para producir pulpa y papel ya que si bien tuvieron un rendimiento total de pulpa aceptable (de 44.96 a 46.60o/o), su factor de Runkel no fue definitivamente menor que uno. Además, el número Kappa de Tapaboti tuvo un valor algo elevado, a saber, 36.62; sin embargo por su contenido de pentosanas, podría esperarse una pulpa blanqueada con buenas propiedades de tensión y de explosión. Es pues en este punto donde se necesita más trabajo experimental para determinar propiedades como:
 - factibilidad de blanqueo

— propiedades físicas de la pulpa blanqueada y sin blanquear,

las cuales serán mejores índices para dictaminar sobre su utilidad en la industria papelera.

6. Es de hacer notar la necesidad de un estudio económico que investigue los diferentes usos y su rentabilidad de las maderas analizadas en este trabajo. De esta forma se sabrá si es la industria papelera el campo industrial más apropiado para explotar dichas especies madereras.
7. Por último una sugerencia: para los análisis de contenido de lignina y de celulosa debe usarse madera libre de extractivos, por lo que es recomendable usar dicloroetano en lugar de alcohol-benceno para determinar los extractivos solubles en un solvente orgánico inerte, ya que las sustancias solubles en el primero no se disuelven en agua (24). Es decir, podría tomarse una muestra y hacerle las siguientes determinaciones en serie:



VII. APENDICE. DESCRIPCION DETALLADA DE LOS METODOS EXPERIMENTALES

1. SOLUBILIDAD EN ALCOHOL-BENCENO

Se usa una mezcla en relación 2:1 (v/v) de alcohol-benceno. La muestra a extraer (10g) se coloca en un crisol de filtración el cual se pone dentro de un soxhlet. Se extrae con 125 ml de solvente durante 4-8 horas. Al final se evapora el solvente del balón del equipo de extracción, sin llevar a sequedad, y se introduce el mismo a un horno para eliminar todo el solvente. Al cabo de 2-3 horas se saca del horno, se enfría en una desecadora y se pesa. La diferencia de peso entre la tarea inicial y el balón conteniendo la materia soluble, juntamente con la muestra pesada (en base seca) inicialmente, nos permite calcular el porcentaje de materia soluble en alcohol-benceno.

$$\text{Cálculos: } S = \frac{a - b}{a} \quad (100)$$

donde S es la solubilidad en alcohol-benceno

a = muestra seca original

b = peso materia soluble

Hay extractivos volátiles que se pierden durante el secado del balón que contiene la materia disuelta. Estas sustancias no aparecen como solubles en alcohol-benceno en el trabajo. Por otro lado, la extracción no debe durar más de 8 horas ya que de lo contrario empiezan a disolverse otras sustancias de solubilidad dudosa.

2. SOLUBILIDAD EN AGUA

La solubilidad en agua se determina por extracción con agua fría a $T = 23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y con agua caliente a $T = 100^{\circ}\text{C}$.

La solubilidad en agua fría se determina como sigue (24): la muestra (2g de madera base seca) es tratada con agua destilada (300 ml) a $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 48 horas, con agitación frecuente. Luego se filtra en un crisol de filtración tarado y se seca en un horno a 100°C ; se enfría en una desecadora y se pesa. La pérdida de peso de la madera inicial en base seca sirve para calcular el porcentaje de materia soluble en agua fría.

La solubilidad en agua caliente se obtiene calentando otros 2g de madera con 100 ml de agua destilada en un baño de María a 100°C durante 3 horas, al cabo de las cuales se filtra la madera, se seca en un horno y se procede como en el caso anterior para determinar el porcentaje de materia soluble en agua caliente.

$$\text{Cálculos: } S = \frac{100 a}{b}$$

donde S = solubilidad en agua

b = peso muestra original

a = peso muestra después de la extracción.

Si se aumenta el tiempo de la extracción con agua caliente, aumentará la cantidad de materia disuelta. Esto se debe a que la acidez del agua aumenta por la presencia de ácido acético producido por la hidrólisis de grupos acetilo. De esta forma, la extracción con agua caliente se estaría convirtiendo en una extracción con ácido diluido (26).

3. SOLUBILIDAD DE LA MADERA EN HIDROXIDO DE SODIO AL 10/o

- a) Se pesan dos muestras de $2 \pm .1$ g de madera y se colocan cada una de ellas en un vaso de precipitar de 200 ml. Simultáneamente, se pesan dos muestras para determinación de humedad (1-2 g)'
- b) Se añaden a cada muestra 100 ± 1 ml de NaOH 10/o. Se agita con una varilla de vidrio.
- c) Se cubre el recipiente con un vidrio de reloj y se coloca en el baño de agua a ebullición por 60 minutos.
- d) Se agita durante 5 segundos a los 10, 15 y 25 minutos después de haber colocado las muestras en el baño de agua.
- e) Al final de los 60 minutos, se transfiere el contenido de cada vaso a crisoles de filtración previamente tarados. Se lava con agua caliente, con ácido acético al 10o/o y, por último, con agua caliente.
- f) Se secan los crisoles en un horno a 100°C hasta llevar a peso constante, se enfría en una desecadora y se pesa.

Cálculos:

$$S = \frac{A - B}{A} (100)$$

donde A = muestra seca antes de la extracción

A = peso muestra después de la extracción.

4. DETERMINACION DEL CONTENIDO DE LIGNINA (24)

Los métodos más usados para determinar la lignina son aquellos basados en la hidrólisis y disolución de los polisacáridos (holocelulosa) por un ácido fuerte, dejando un residuo que, después de lavarlo y secarlo, es pesado como lignina. Los extractivos deben ser eliminados antes de hacer la determinación.

A la muestra extraída con alcohol-benceno se le hace una extracción con agua caliente de la siguiente forma:

- se extrae con 1000 ml de agua a la temperatura de ebullición, durante una hora.
- se seca la madera al aire.

Procedimiento:

- a) Se pesan dos muestra de 1±.1g y se ponen en vasos de precipitados de 100 ml.
- b) Se añade al recipiente 15.0 ml de ácido sulfúrico 72o/o. Se hace lentamente y macerando con un agitador de vidrio. Después que la muestra se ha dispersado, se cubre el recipiente con un vidrio de reloj y se deja en el baño a $20 + 1$ °C por 2 horas. se agita con frecuencia.
- c) Al cabo de las 2 horas, se transfiere el material a un Erlenmeyer de 1000 ml con 300-400 ml de agua destilada. Se lava y diluye a 575 ml (se logra de esta forma ácido sulfúrico al 3o/o). Se calienta a ebullición por 4 horas manteniendo constante el volumen de agua a 575 ml.
- d) Se deja que la lignina se sedimente y se decanta el sobrenadante a un crisol de filtración previamente tarado. Luego se transfiere la lignina cuantitativamente al crisol. Es conveniente depositar una capa de asbesto en el fondo del crisol y secarlo al horno. De esta forma se evita la obstrucción de los poros del filtro.
- e) Se lava con agua caliente. Por último se seca en un horno a 100°C durante 24 horas aproximadamente, se enfría en una desecadora y se pesa.

Cálculos:

$$L = \frac{a}{b} (100)$$

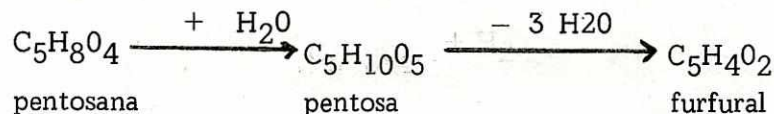
donde L = porcentaje de lignina

a = peso residuo

a = peso muestra original.

5. DETERMINACION DE PENTOSANAS (24)

Un método simple y rápido para determinarlas, sin hacer rereferencia a la cantidad de monosacáridos presentes, se basa en la formación de furfural (2-furaldehído) cuando las pentosanas son destiladas con HCl. La reacción que ocurre es



La producción de furfural no es cuantitativa. Además la hidrólisis de pentosanas no se realiza en un 100o/o (26).

Los ácidos urónicos también dan furfural en la relación 0.35 moles de furfural por cada mol de ácido urónico, por lo que debe hacerse una corrección para eliminar la contribución del furfural por los ácidos urónicos. Por su parte, las hexosas y las hexosanas

producen hidroximetilfurfural (5-hidroxi-metil-2-furaldehído) pero en una cantidad baja: 0.01 mol para cada mol de azúcar, en los tiempos corrientes de destilación.

El furfural del destilado puede ser cuantificado por métodos gravimétricos, volumétricos o espectrofotométricos. En el presente trabajo se empleó el método gravimétrico, en el cual el furfural es precipitado con floroglucinol.

Procedimiento:

- a) Se colocan 1.52 g de muestra en un balón de destilación junto con unas cuantas perlas de ebullición. Se añaden 100 ml de HCl 12o/o. Se arma el aparato de destilación.
- b) Se calienta suavemente al principio y luego regular el calentamiento a una velocidad de 30 ml de destilado/10 minutos. Se coloca un embudo con papel filtro sobre la probeta receptora de destilado. Cuidado de colar la cola del refrigerante tan cerca como sea posible el embudo.
- c) Cuando hayan sido colectados 30 ml de destilado, se añaden otros 30 ml de HCl al 12o/o por medio de la ampolla de separación unida al balón, de tal forma que se laven las partículas de madera adheridas a las paredes del recipiente. Se continúa de esta forma la destilación hasta haber colectado 360 ml de destilado.
- d) Al destilado se le agregan 40 ml de solución filtrada de floroglucinol, despacio y agitando (dicha solución debe haber sido preparada con una semana de anticipación). El destilado se tornará de color negro verdusco. Se deja reposar por 16 horas, al cabo de las cuales el precipitado negro amorfo de floroglúcido de furfural habrá sedimentado. Se prueba el líquido sobrenadante con papel de acetato de anilina, si una gota del líquido da un color rosado, entonces la precipitación del furfural es incompleta, por lo que habrá que añadir más floroglucinol y dejar en reposo nuevamente por 16 horas.
- e) Se colecta el floroglúcido de furfural en un filtro de vidrio (crisol) con una delgada capa de asbesto.
- f) Se lava con exactamente 150±ml de agua fría, de forma que la misma no sea eliminada por completo del crisol, sino hasta que se haya completado el lavado.
- g) Se seca al horno por 2.5 horas a 105 3°C. Se enfría en una desecadora y se pesa.

Cálculos:

$$P = \frac{(a + 0.0052)}{m} f \cdot (100)$$

donde

$$a = \text{peso de floroglúcido de furfural}$$

$$f = \begin{cases} 0.895 & \text{si "a" es menor que 0.03 g} \\ 0.887 & \text{si "a" está entre 0.03 y 0.3 g} \\ 0.882 & \text{si "a" es mayor que 0.3 g} \end{cases}$$

$$m = \text{peso en base seca de la muestra original.}$$

6. **DETERMINACION DE CELULOSA:** Método del hipoclorito alcalino de Norman & Jenkins (26). Las soluciones de hipoclorito oxidan y remueven la lignina de la madera.

Procedimiento:

La madera (previamente extraída con alcohol-benceno) es tratada con sulfito de sodio al 30/o (100 ml), la mezcla se ebulle y se filtra. Se transfiere el material a un vaso de precipitados con 100 ml de agua y 5 ml de hipoclorito de sodio al 150/o, dejándose reposar por 10 minutos. Se filtra el residuo y se pone en un vaso de precipitados con 50 ml de agua y 50 ml de sulfito de sodio al 60/o. La mezcla se ebulle por 20 minutos. El residuo es filtrado y lavado y se repite el tratamiento con hipoclorito y sulfito de sodio, luego se suspende el material en 50 ml de agua y 5ml de hipoclorito al 30/o junto con 2 ml de ácido sulfúrico al 200/o. Se deja en reposo por 10 minutos, se filtra, se añaden 50 ml de agua y sulfito de sodio, tal como se hiciera anteriormente. Se desarrolla un color púrpura intenso (Reacción de Mañle). Los tratamientos con hipoclorito y sulfito de sodio se continúan hasta que aparezca la coloración violeta por la adición del sulfito de sodio. Finalmente, el residuo es lavado abundantemente con agua y secado a $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$.

7. **CENIZAS EN LA MADERA.**

- a) Se colocan 5 gramos de muestra en el crisol y se queman. Se usa llama suave. Si la muestra no cabe por completo en el crisol, se quema por partes. Se continúa calentando hasta que ya no se produzca llama por la combustión de la madera.
- b) Se coloca el crisol en la mufla a $575 \pm 25^{\circ}\text{C}$ por 3 horas o más si fuera necesario. El final de la calcinación queda indicado por la ausencia de partículas negras.
- c) Se saca el crisol de la mufla, se deja que enfríe un poco y luego se coloca en la desecadora. Se pesa el crisol.

Cálculos:

$$C = \frac{100c}{m}$$

donde C es el porcentaje de cenizas

m = peso de la muestra original

c = peso de las cenizas

8. **HUMEDAD EN LA MADERA**

- a) Se pone una cápsula de humedad en el horno a $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante cuatro horas aproximadamente. Se enfría en una desecadora y se pesa.
- b) Se pesan 2-3 g de muestra en el crisol.
- c) Se pone nuevamente el crisol en el horno durante unas 24 horas, al cabo de las cuales se enfría y se pesa.

Cálculos:
$$H = \frac{1000 s}{m}$$

donde

H = porcentaje de humedad

s = pérdida de peso de la muestra

m = muestra original.

9. DIGESTIONES POR EL PROCESO KFRAFT PARA PRODUCCION DE PULPA

- Se dirigieron 200 g de madera en base seca.
- Se usaron 5 partes de líquido (agua) por una parte de madera. Es decir, se emplearon 1000 de agua.
- La digestión se verificó a una temperatura de 165°C. El tiempo de digestión fue de 100 minutos.
- Se uso 18o/o de álcali activo y 25o/o de sulfidez para realizar la digestión. Lo anterior significa que se agregó una cantidad de soda, expresada como Na₂O, igual al 18o/o de la madera que se había de digerir. El 25o/o del álcali activo correspondió a sulfuro de sodio agregado. La diferencia entre estos dos valores es la cantidad de hidróxido de sodio que se añadió. El sulfuro y el hidróxido de sodio se expresan como Na₂S.
- Para completar las cinco partes de líquido (agua) por cada una de sólido (madera base seca), se agregó una cantidad determinada de agua, tomando en cuenta que ya se había agregado parte de la misma en forma de humedad de la madera (la cual fue previamente establecida) y en las soluciones que contienen el NaOH y el Na₂S.
- Las muestras a dirigir, se colocaron en un digestor múltiple sumergido en un baño de aceite. Se calentó con un sistema de mecheros y se realizó la cocción bajo las condiciones enunciadas anteriormente.
- Al cabo de la digestión, se sacaron las muestras del digestor. En este punto se filtraron unos 100 ml de licor negro (solución remanente al final del proceso) que fueron utilizados para realizar los análisis de sólidos residuales y álcali residual.
- Se lavó la pulpa producida, se desintegró y luego se tamizó. La fracción retenida en el tamiz constituyó el rendimiento rechazado, el cual debe ser secado en un horno a 100°C y pesado.
- Para evaluar el rendimiento tamizado, se dispersó la pulpa de cada muestra en 20 litros de agua. Se preparon hojas se de papel tomando un litro de dicha suspensión. El rendimiento tamizado X se calculó así:

$$X = \frac{20 (m) (100)}{W}$$

donde

m = masa de la hoja seca de papel

W = masa de la madera (base seca) usada en la digestión.

20 = número de litros de agua en que se realizó la dispersión.

El rendimiento total es la suma del rendimiento de rechazó más el tamizado.

10. NUMERO KAPPA.

El número Kappa es una medida del grado de delignificación de la pulpa y de la facilidad de blanqueo que tiene la misma (24).

Procedimiento:

- Se pesaron unos 2 g de pulpa en forma de papel, la cual se desintegró por unos dos minutos en una licuadora. El papel usado para este análisis fue el producido cuando se midió el rendimiento tamizado.
- Se agregaron 800 ml de agua, 100 ml de H_2SO_4 4N, 100 ml de $KMnO_4$ 0.1N, en un recipiente de 2 litros.
- Se puso la mezcla en agitación (agitador magnético) a $25 \pm 1^\circ C$ durante 10 minutos, al cabo de los cuales se agregan 20 ml de KI 1 N, titulándose luego con una solución 0.2 N de tiosulfato de sodio $Na_2S_2O_3$.
- Se realizó también una determinación "blanco", siguiendo el mismo procedimiento pero sin agregar la pulpa.
- El número Kappa (K) se calculó por medio de la siguiente fórmula:

$$K = \frac{(p) (f)}{w}$$

$$p = (b-a)N/0.1$$

$$f = 10^{.00093 (p-50)}$$

donde

b = ml de tiosulfato de sodio consumidos en el "blanco".

a = ml de tiosulfato de sodio consumidos por la muestra.

N = normalidad del tiosulfato de sodio

w = gramos de muestra seca de pulpa.

11. ANALISIS LICORES RESIDUALES (LICORES NEGROS).

- Se tomaron 25 ml de licor negro y se agregaron a un balón de 500 ml.
- Se añadieron unos 100 ml de agua y 50 ml de cloruro de bario BaCl_2 al 10o/o, lentamente para no formar espuma que impidiera luego la aforación.
- Se aforo despacio hasta 500 ml con agua destilada.
- Se centrifugo por 15 minutos.
- Se tomaron dos alícuotas de 25 ml de sobrenadante, a cada una de las cuales se añadieron 100 ml de agua destilada. Se titulo con HCl 0.1 N. Debido al color del licor negro, el punto final fue difícil de detectar. Se uso fenolftaleína como indicador.
- Fueron tomadas, además, dos alícuotas del sobrenadante. Se agregaron 200 ml de agua y se titulo con I_2 0.1 N, usando almidón como indicador.
- El porcentaje de álcali residual se calculo así:

$$Y = 12.40 (N_1 V_1 - \frac{2.5 N_2 V_2}{2})$$

donde

N_1 = normalidad del HCl

V_1 = ml gastados de HCl

N_2 = Normalidad del yodo

V_2 = ml gastados de yodo

Y = porcentaje de álcali residual.

12. SOLIDOS RESIDUALES EN LOS LICORES NEGROS

- Se tomaron 10 ml del licor negro y se virtieron en un vaso de precipitados de 50 ml previamente tarado. Se puso en el horno a 100°C por 24 horas.
- Se puso en una desecadora y se pesó.

Cálculos:

$$s = \frac{t' - t}{.010}$$

donde

s = sólidos residuales

t' = tara del (beaker) vaso de precipitados más peso de los sólidos.

t = tara del vaso de precipitados

0.010 litros = volumen tomado de licor negro.

13. ANALISIS FIBROSCOPICO.

- Se preparó una suspensión diluída de pulpa en agua.
- Se agregó una gota de la suspensión anterior sobre un porta-objetos. Se evaporó el agua en una estufa.
- A continuación, se añadió una gota del colorante Wilson Stein y se fijó con un cubre-objetos.
- Se midieron las fibras en un fibroscopio de pantalla. El usado en el presente trabajo tenía un ocular fijo de 17X y objetivos de 10X y 30X.
- Para medir la longitud de las fibras se usó el objetivo 10X. Para las mediciones del diámetro y pared de las fibras así como del diámetro del lumen, se utilizó el objetivo 30X.
- Cálculo del factor de Runkel:

$$R = 2w/L$$

donde

w = grosor de la pared celular (micras)

L = diámetro del lumen (micras).

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. FAO, (1977), *The Development Potential of the Pulp and Paper Sector in the Greater Caribbean Basin*, Vol. I, Working paper 18, Rome.
2. Behrend, Gerd, (1968), *Maderas Nicaragüenses. Características y usos potenciales*, FAO, Publicación del Banco Central de Nicaragua.
3. Sargent K, (1968), *Reseña de los objetivos del Programa PNUD/FAO de desarrollo de la Industria de la pulpa y el papel*, FAO, Roma.
4. Erfurth, T., Rusche, H. (1976), *The Marketing of Tropical Wood*, FAO, Rome.
5. Jann, Edwin, (1979), *Cellulose for the world's expanding need for fibers*, TAPPI, 62(2):31.
6. Hagemeyer, R.W., (1979), *Paper Prospectus 1990-2000: Perturbations and Permutations*, TAPPI, 62(2):21.
7. Atchison, J.E. Collins, T.T. (1975), *Potential World Pulp Supply form Nonwood Plant Fibers, Mixed Tropical Hardwoods, Tropical Plantations Woods*, Fiber Conserv. Utiliz., Proc. Pulp and Paper Seminar, Chicago, Freeman, San Fco.
8. FAO, (1977), *The Development Potential of the Pulp and Paper Sector in the Greater Caribbean Basin*, Vol. II, *A regional Analysis of Fibre Resources and Future Markets for Pulp and paper*, Working Paper 18, Rome.
9. Browning, B.L., (1961), *The Chemistry of Wood*, Interscience Publishers, New York, Chap. I.
10. Kirk, Raymond E., Othmer, Donald F., (1961), *Enciclopedia de Tecnología Química*, 1a. ed. en español, UTEHA, México, Vol. X.
11. Weier, Thomas E., (1970), *Botany*, Rourth Ed., John Wiley & Sons Inc., Chap. 8.
12. Acosta Cruz, María (1964), *Análisis Químico y estudio de algunas de las características Anatómicas de 23 especies de maderas*, (Tesis de la Universidad Veracruzana), México D.F.
13. Lange, P.W. (1959), *The Morphology of Hardwood Fibers*, TAPPI, 42(9):786.
14. Wenzl, Hermann F.J., (1970), *The Chemical Technology of Wood*, Academic Press, New York-London, p. 93.
15. Hillis, W.E., (1962), *Wood Extractives and their Significance to the Pulp and Paper Industry*, Academic Press, New York, p.373-393.
16. Macdonald, Ronald G., Franklin, J.N., (1969), *Pulp and Paper Manufacture*, Vol. II, McGraw-Hill, p. 33-46.

17. Britt, K.W. (1970), *Handbook of Pulp and Paper Technology*, Second Ed., Van Nostrand Reinhold Company, p. 159.
18. Pearl, Irwin, (1969), *Annual Review of Lignin Chemistry*, TAPPI, 52(4):575-597.
19. Fujii, John S., Hannah, Mark A., (1978), *Oxigen Pulping of Hardwoods*, TAPPI, 61(8):37-40.
20. Higgins, H.G., (1969), *The Long and the Short of Papermaking*, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Reprinted from "The Australian Timber J." 35(1).
21. García G., V.L., (1974), *Caracterización de seis especies de maderas latifoliadas de El Petén*, (Tesis), Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
22. Mena de Enriquez, O.L., (1976), *Análisis Físico, Químico y Morfológico de seis especies de maderas latifoliadas de El Petén*, (Tesis), Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
23. Gonzales R., M.A., (1977), *Caracterización química y física de seis especies de maderas latifoliadas de El Petén*, (Tesis), Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
24. Technical Association of the Pulp and Paper Industry, *TAPPI Standards and Suggested Methods*, New York 17, N.Y.
25. Browning, B.L., (1967), *Methods of Wood Chemistry*, Vol. I, Interscience Publishers, New York.
26. Browning, B.L., (1967), *Methods of Wood Chemistry*, Vol. II, Interscience Publishers, New York, p. 405-785.
27. Fassbender, Hans, (1978), *Química de Suelos*, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, San José Costa Rica, Cap. 2.