

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

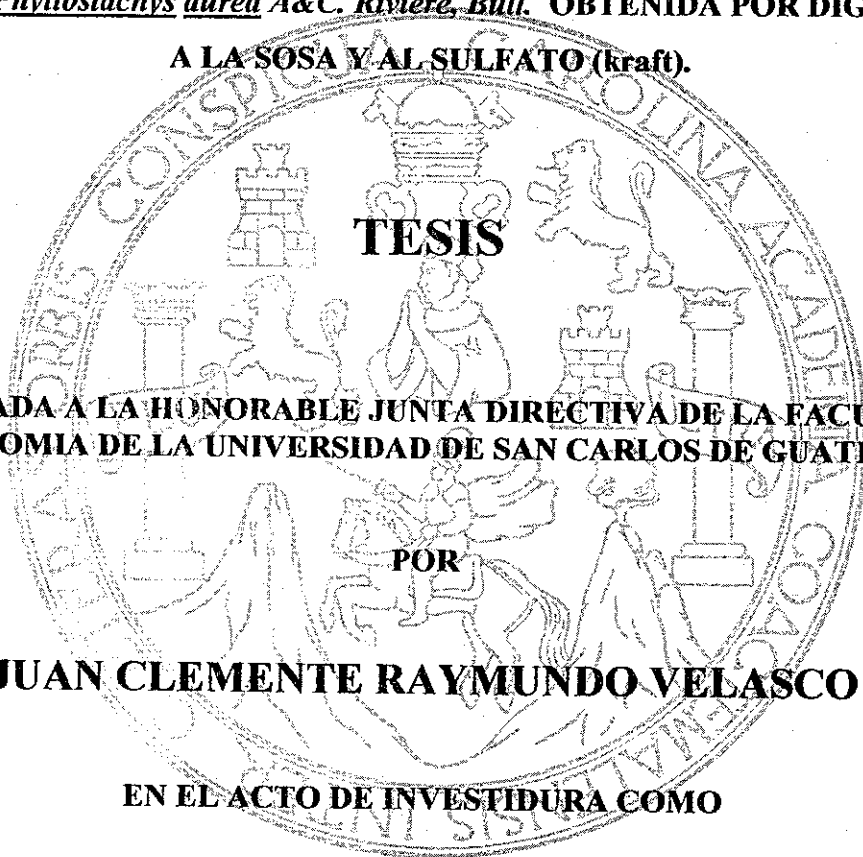
FACULTAD DE AGRONOMIA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

PRODUCCION DE PULPA SIN BLANQUEAR A PARTIR DE *Bambusa vulgaris* Schrad. Ex

***Wendl y Phyllostachys aurea* A&C. Riviere, Bull. OBTENIDA POR DIGESTION**

A LA SOSA Y AL SULFATO (kraft).



TESIS

**PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

POR

JUAN CLEMENTE RAYMUNDO VELASCO

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRONOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA

EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1997.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

DR. JAFETH ERNESTO CABRERA FRANCO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	ING. AGR. JOSE ROLANDO LARA ALECIO
VOCAL PRIMERO:	ING. AGR. JUAN JOSE CASTILLO MONT
VOCAL SEGUNDO:	ING. AGR. WILLIAM ROBERTO ESCOBAR LOPEZ
VOCAL TERCERO:	ING. AGR. ALEJANDRO A. HERNANDEZ FIGUEROA
VOCAL CUARTO:	Br. ESTUARDO ENRIQUE LIRA PRERA
VOCAL QUINTO:	P. AGR. EDGAR DANILO JUAREZ QUIM
SECRETARIO:	ING. AGR. GUILLERMO E. MENDEZ BETETA

Guatemala, noviembre de 1997.

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

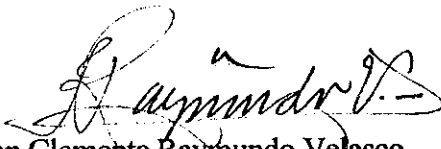
Distinguidos miembros:

De la manera más atenta y de acuerdo a las normas establecidas por la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

PRODUCCION DE PULPA SIN BLANQUEAR A PARTIR DE Bambusa vulgaris Schrad. Ex Wendl y Phyllostachys aurea A&C. Riviere, Bull. OBTENIDA POR DIGESTION A LA SOSA Y AL SULFATO (kraft).

Presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado de Licenciado.

En espera de su aprobación, quedo de ustedes deferentemente,


Juan Clemente Raymundo Velasco

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: Por su eterno amor y misericordia.

MIS PADRES: Pedro Raymundo Guzmán y Petrona Velasco, quienes me han brindado su apoyo en todo momento, este triunfo es recompensa de sus esfuerzos.

MIS SUEGROS: Pedro López y María Guzmán, con aprecio especial.

MI ESPOSA: Irma Adely López Guzmán, por su comprensión y apoyo en la terminación de mi tesis de investigación.

MIS HIJOS: Edison y Pedrito con todo mi amor, que la culminación de la presente meta sea ejemplo para ellos.

MIS HERMANOS: Pedro, Diego, Andrés, Catarina, Magdalena, Juanita, Dany y David.

MI ABUELITA: Catarina Raymundo de Guzmán

MIS TIOS
EN ESPECIAL A: Diego Velasco Brito y Petrona Velasco.

MI AMIGO Y
HERMANO: Ing. Agr. Erick Veras Castillo

A LOS PASTORES: Max Roberto Vásquez y Fausto Cevalra, con aprecio y admiración.

TESIS QUE DEDICO A:

NEBAJ, QUICHE

GUATEMALA, CUNA DE LA CULTURA MAYA QUE FLORECIO EN EL PASADO Y CUYA EVIDENCIA SE HACE PRESENTE EN LA DIVERSAS EXPRESIONES CULTURALES Y CIENTIFICAS DE TODOS LOS GRUPOS ETNICOS DEL PAIS.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, EN ESPECIAL A LA FACULTAD DE AGRONOMIA, CUNA DEL CONOCIMIENTO

INSTITUTO DE INVESTIGACION Y TECNOLOGIA INDUSTRIAL -ICAITI- EN ESPECIAL A LA SECCION DE CELULOSA Y PAPEL, PIONERA EN LA INVESTIGACION EN PRO DE DESARROLLO TECNOLOGICO Y CIENTIFICO

AGRADECIMIENTOS A:

MIS ASESORES DE LA PRESENTE INVESTIGACION:

Dr. JAIME VALLADARES
Ing. Agr. NEGLI GALLARDO
Lic. OLGA LETICIA MENA

Vuestra asesoría ha sido el catalizador para que este trabajo llegara a su término deseado, que Dios os recompense y os guarde en su amor.

LOS ESPOSOS:

RAYMUNDO Y ELENA DE ELLIOT

Su apoyo espiritual y material ha logrado un fruto positivo en mi vida, elevo a Dios Todopoderoso mi gratitud por su bondad y mi oración para que El guarde en su amor a la familia Elliot, el esfuerzo que ellos realizan en diferentes dimensiones tendrá una recompensa allá en los cielos, amén.

A MIS AMIGOS:

Ing. Agr. ERICK VERAS CASTILLO, por su asesoría en la conducción del informe final del presente trabajo.

Pascual Huwart, por su brillante dominio en el manejo de programas computacionales, su aporte permitió la publicación final de este documento.

INDICE

	Pag.
1. INTRODUCCION	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
2.1. Por qué estudiar la planta de bambú, para fines papeleros?	2
2.2. Universo del estudio	5
3. MARCO TEORICO	6
3.1. Marco conceptual	6
3.1.1. Procesos de digestión química	6
3.1.2. Componentes de la materia prima	6
3.1.3. Propiedades dimensionales	8
3.1.4. Propiedades fisico-mecánicas	9
3.1.5. Refinación, número kappa y pulpa química	10
3.2. Marco referencial	10
3.2.1. Aspectos generales	10
3.2.2. Usos del bambú en la fabricación de papel	12
3.2.3. Usos del bambú en la construcción	15
3.3. El bambú como materia prima, para producción de pasta	16
3.3.1. Experiencias en el continente asiático	16
3.3.2. Volúmenes de producción y áreas de cultivo de bambú	17
3.4. Contexto Nacional y Latinoamericano	19
3.4.1. La industria papelera en Guatemala	19
3.4.2. El proyecto CELGUSA	19
3.4.3. Análisis de la industria papelera a nivel nacional, centroamericano y del caribe	21
3.4.4. Consumo de pulpa celulosa mundial y centroamericano	22
3.4.5. Experiencias de países latinoamericanos	23
3.5. Generalidades de la planta de bambú	24
3.5.1. Clasificación.	24
3.5.2. Anatomía y morfología	24
3.5.3. Requerimientos ecológicos	24
3.5.4. Factores climáticos y edáficos	25
3.5.5. Características de propagación	26
3.6. Pulpeo Químico y consideraciones ambientales	28
3.6.1. Pulpeo químico o método químico	28
3.6.2. Condiciones para la producción de pulpa y su conversión en papel	30
3.6.3. Efectos contaminantes del proceso de obtención de pulpas químicas sobre el ambiente	31

	Pag.
4. OBJETIVOS	33
4.1. General	33
4.2. Especificos	33
5. HIPOTESIS	33
6. METODOLOGIA	34
6.1. Diseño estadístico	34
6.1.1. Localización	34
6.1.2. Manejo experimental	34
6.2. Descripción del procedimiento de investigación	37
6.2.1. Preparación de la materia prima	37
6.2.2. Obtención de pulpas	37
6.2.3. Lavado y depuración de pulpa	38
6.3. Evaluación de la pulpa	38
6.3.1. Rendimiento de pulpa	38
6.3.2. Determinación del número kappa	39
6.3.3. Alkali residual	39
6.4. Preparación de hojas	40
6.4.1. Refinación y determinación de grados Schopper Riegler °SR	40
6.4.2. Preparación y formación de hojas	40
6.5. Evaluación de la calidad de papel obtenido	41
6.5.1. Propiedades dimensionales	41
6.5.2. Propiedades de resistencia	41
7. RESULTADOS Y DISCUSION	42
7.1. Rendimiento de pulpa no blanqueada	42
7.2. Análisis del número kappa	43
7.3. Análisis de la calidad de pulpa	44
8. CONCLUSIONES	50
9. RECOMENDACIONES	51
10. BIBLIOGRAFIA	52
APENDICES	

INDICE DE FIGURAS

Pag.

Figura 1.	Presentación de los factores evaluados	35
Figura 2.	Factores evaluados y revoluciones de refinación	35
Figura 3.	Indices de tensión de las pulpas evaluadas	45
Figura 4.	Indices de estallido de las pulpas evaluadas	46
Figura 5.	Indices de rasgado de las pulpas evaluadas	47
Figura 6.	Dobleces de las pulpas evaluadas	48
Figura 7.	Indices de volumen de las pulpas evaluadas	49
Figura 8A.	Flujograma del proceso de pulpeo y análisis de calidad	56
Figura 9A.	Comparación entre bambú y dos especies leñosas	57
Figura 10A.	Propiedades físico-mecánicas <u>Bambusa vulgaris</u> kraft	67
Figura 11A.	Propiedades físico-mecánicas <u>Bambusa vulgaris</u> sosa	68
Figura 12A.	Propiedades físico-mecánicas <u>Phyllostachys aurea</u> kraft	69
Figura 13A.	Propiedades físico-mecánicas <u>Phyllostachys aurea</u> sosa	70

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Comparación de rendimientos de bambú y otras especies	14
Cuadro 2.	Evaluación de especies de bambú en la producción de papel	14
Cuadro 3.	Fabricas de papel en Centroamerica y El Caribe	21
Cuadro 4.	Resultados de rendimientos de las pulpas evaluadas	42
Cuadro 5.	Propiedades físico-mecánicas de las pulpas	44
Cuadro 6A.	Propiedades físico-mecánicas <u>Bambusa vulgaris</u> kraft	58
Cuadro 7A.	Propiedades físico-mecánicas <u>Bambusa vulgaris</u> sosa	59
Cuadro 8A.	Propiedades físico-mecánicas <u>Phyllostachys aurea</u> kraft	60
Cuadro 9A.	Propiedades físico-mecánicas <u>Phyllostachys aurea</u> sosa	61
Cuadro 10A.	Análisis de varianza de rendimientos de las pulpas	62
Cuadro 11A.	Análisis de varianza de índices de tensión	63
Cuadro 12A.	Análisis de varianza de índices de estallido	64
Cuadro 13A.	Análisis de varianza de índices de rasgado	65
Cuadro 14A.	Análisis de varianza de doble plegado	66

PRODUCCION DE PULPA SIN BLANQUEAR A PARTIR DE Bambusa vulgaris Schrad. Ex Wendl y Phyllostachys aurea A&C. Riviere, Bull. OBTENIDA POR DIGESTION A LA SOSA Y AL SULFATO (kraft).

UNBLEACHED PULP PRODUCTION BASED ON Bambusa vulgaris Schrad. Ex Wendl and Phyllostachys aurea A&C. Riviere, Bull. OBTAINED BY SODIUM HYDROXIDE AND SULFATE (kraft) DIGESTION.

RESUMEN

El consumo de papel aumenta constantemente, esto también se traduce en que la producción de pulpa celulósica crece cada día, mientras esta producción dependa en un buen porcentaje del consumo de especies leñosas como se hecho hasta ahora, las preocupaciones aumentarán significativamente y es lógico pensar, que la industria del papel se interesa ahora por descubrir nuevas alternativas y sustituir el impacto que representa la producción de papel sobre el entorno ecológico. El interés por evaluar dos especies bambú, nace a partir de la curiosidad por conocer la amplitud de las virtudes de esta planta, una vez que se conocen sus amplias cualidades en diferentes líneas, en la construcción, la artesanía, la protección de suelos, para leña, para conducción de agua, etc. Para esta investigación se evaluaron dos especies de bambú Bambusa vulgaris Schrad. Ex Wendl y Phyllostachys aurea A&C. Riviere, Bull, en cuanto a la producción de pulpa celulósica, se utilizó el método químico que es el más avanzado y del cual se tienen amplias experiencias a nivel mundial tanto a nivel de producción comercial como para fines de investigación, los procesos utilizados fueron: proceso kraft ($\text{Na}_2\text{S}+\text{NaOH}$) y proceso sosa (NaOH). Este trabajo se realizó a nivel de laboratorio, con un diseño estadístico trifactorial (especie, procesos de digestión y refinaciones de la pulpa, para evaluar la calidad de pulpa producida) en bloques al azar, con arreglo en parcelas subdivididas, siendo los factores de la parcela grande: especie de bambú; los de la parcela mediana: procesos de digestión y los de la parcela pequeña o unidad experimental: grado de refinación de la pulpa expresados en grados Schopper Riegler °SR. Las variables evaluadas fueron: rendimiento de la pulpa sin blanquear, número kappa (facilidad o dificultad de blanqueo que puede presentar la pulpa) y propiedades dimensionales y fisico-mecánicas para efectos de calidad del papel producido.

Para calificar una especie o fuente de materia prima para producir pulpa, para fines industriales, se toman en cuenta diversos factores, entre los cuales se pueden mencionar: rendimiento en base seca, número kappa, consumo de cloro durante el proceso de blanqueo, propiedades dimensionales, propiedades físico-mecánicas, etc. En esta investigación, se tomaron algunos de los factores mencionados, cuya presentación y análisis se detalla a continuación: rendimiento en base seca de pulpa sin blanquear, 44 por ciento para Bambusa vulgaris Schrad. Ex Wendl y del 42 por ciento para Phyllostachys aurea A&C. Riviere, Bull, estos valores indican que las dos especies evaluadas son fuentes de materia prima que se colocan en los rangos de especies leñosas y maderables consideradas actualmente como importantes fuentes de materia prima para la producción de pulpa, por ejemplo el eucalipto (Eucaliptus sp) reporta en promedio 44 por ciento de rendimiento. Estadísticamente la especie que presentó el mejor rendimiento fue Bambusa vulgaris Schrad. Ex Wendl con 47.48 por ciento frente al proceso sosa, le sigue Phyllostachys aurea A&C. Riviere, Bull proceso sosa con 42.21 por ciento en base seca y en el proceso kraft con 42.60 por ciento.

Para evaluar la facilidad o dificultad de blanqueo de pulpa celulósica, se utiliza el concepto de número kappa, que es una medida adimensional, el cual se obtiene indirectamente mediante el tratamiento de una muestra de pulpa sometida a titulación con KMnO_4 , al realizar los análisis respectivos Bambusa vulgaris Schrad. Ex Wendl frente al proceso kraft, presentó un número kappa de 21 y 34 en el proceso sosa, le sigue Phyllostachys aurea A&C. Riviere, Bull proceso kraft con 32 y 47 proceso sosa. Los valores anteriores indican que la especie que ofrece mejores posibilidades del blanqueo es Bambusa vulgaris Schrad. Ex Wendl con números kappa ubicados en un promedio que se califica como de grado blanqueable, esto sumado a los resultados de rendimiento, califica al bambú como especie de interés para la industria papelera. No obstante el número kappa es solo un parámetro de evaluación para la industria papelera, como se ha indicado anteriormente.

Respecto a la calidad del papel obtenido de las pulpas evaluadas, la especie Bambusa vulgaris Schrad. Ex Wendl en las dos digestiones (kraft y sosa), estadísticamente; presentó los mejores resultados en casi todas las resistencias evaluadas, resultados que fueron superiores a los de Phyllostachys aurea A&C. Riviere, Bull; por ejemplo: en cuanto a la resistencia a la tensión Bambusa vulgaris Schrad. Ex Wendl reportó 7 kPam² y su resistencia al rasgado se ubicó en un promedio de 10 mNm²/g al evaluar la resistencia al doble plegado, esta especie en los dos procesos de digestión, reportó resultados mayores a 400 dobleces frente a una fuerza de un kilo, mientras que Phyllostachys aurea A&C. Riviere, Bull fue siempre inferior en todas las evaluaciones realizadas, excepto en la resistencia al rasgado en el proceso sosa, se le acercó a los valores mínimos de Bambusa vulgaris Schrad. Ex Wendl por lo menos a 10 mNm²/g.

En conclusión, respecto a rendimiento de pulpa celulósica, las dos especies presentan valores calificados como excelentes para fines industriales, respecto a número kappa solo Bambusa vulgaris Schrad. Ex Wendl fue la especie que reportó el mejor valor para fines de blanqueo, en cuanto a la calidad de papel producido Phyllostachys aurea A&C. Riviere, Bull frente a los dos procesos de digestión, presentó resultados muy debajo de los valores mínimos de Bambusa vulgaris Schrad. Ex Wendl, de manera que de las dos especies sólo Bambusa vulgaris Schrad. Ex Wendl posee indicadores óptimas de calidad destinada para fines comerciales, no obstante Phyllostachys aurea A&C. Riviere, Bull; puede considerarse como una alternativa para propósitos no comerciales, ya que brinda un excelente rendimiento en pulpa no blanqueada.

1. INTRODUCCION

El consumo de papel se ha incrementado en los últimos años, como producto del aumento poblacional y del desarrollo cultural especialmente de países en vías de desarrollo. Este fenómeno acelera la demanda de pulpa para la producción de papel y por ende la necesidad de consumir cada vez más mayores cantidades de madera utilizadas para este fin. A nivel mundial y principalmente en los países desarrollados, cobra cada día mayor importancia la búsqueda de nuevas alternativas industriales para la producción de papel, tratando de garantizar la disponibilidad de los recursos necesarios para los seres humanos y que los procesos de producción afecten cada vez menos a la ecología terrestre. Este movimiento radica en la creciente demanda del hombre en este rubro y en la necesidad de sumar esfuerzos para promover el uso razonable de los recursos naturales.

A raíz de estas iniciativas, países como China, India y países asiáticos en general (8), han sido los primeros en lanzar a la industria papelera una nueva fuente de materia prima: el bambú, una especie considerada en el lenguaje común como hierba gigante. Las amplias cualidades de esta planta reportadas por los países asiáticos, han motivado y despertado interés en países sudamericanos como Brasil, Ecuador y Colombia para evaluar su uso en la construcción, la artesanía y últimamente en la industria papelera, así también es considerado como alternativa en la recuperación de áreas deforestadas así como en la protección de suelos y fuentes de agua (8).

Guatemala al igual que otros países latinoamericanos presenta excelentes condiciones climáticas para el desarrollo adecuado de esta planta, esta razón ha motivado la realización de diversos trabajos de investigación sobre el bambú, especialmente sobre las especies existentes y algunos usos que se pueden esperar de esta planta, este trabajo persigue recopilar información sobre el bambú, particularmente en el campo de la industria papelera con el apoyo del Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial ICAITI. En la actualidad se cuenta con un buen número de especies como lo indica McClure (10), las cuales en su mayoría ofrecen grandes ventajas en reforestación, conservación de suelos y agua.

El presente documento, contiene los resultados obtenidos en el trabajo de investigación realizado sobre la utilización de bambú en la industria papelera, los cuales fueron obtenidos evaluando dos especies de bambú: Bambusa vulgaris y Phyllostachys aurea, cuantificando los rendimientos de cada especie y en cada proceso utilizado para la producción de pulpa celulósica sin blanquear: Proceso al sulfato (kraft, NaOH + Na₂S) y proceso sosa (NaOH), sumado a esto la evaluación de la calidad de papel obtenido, atendiendo a sus características dimensionales (gramaje y espesor) y físico-mecánicas, resistencia a: tensión, explosión, rasgado y doble plegado.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Por qué estudiar la planta de bambú, para fines papeleros?

Guatemala, presenta condiciones atractivas para la producción de bambú, en gran escala, que puede destinarse para la producción de pulpa celulósica, factor determinante como alternativa de mejoramiento de nivel de desarrollo del país, un proyecto de esta naturaleza, puede revivir los sueños del proyecto CELGUSA que fracasó, debido a que su diseño se hizo sin planes ambientales, sino solamente pensando en absorber el manto verde de coníferas y latifoliadas del país, y a corto plazo, amenazaba con heredar un ambiente de desertificación y degradación ambiental. La demanda de pulpa celulósica para diversos fines, en el caso de Guatemala, aumentará constantemente y mientras no se planteen otras alternativas de procesamiento y producción de la materia prima en gran escala en el país, continuarán las importaciones, las cuales representan erosiones de divisas nacionales. Guatemala, al igual que muchos países Latinoamericanos, dependen de las importaciones de pulpa, para abastecer la demanda y consumo de papel de diferentes calidades, sin embargo, es importante estudiar las posibilidades de producción nacional, esto representaría muchos beneficios económicos y sociales; se han realizado intentos, en el caso de CELGUSA, pero que la experiencia de este proyecto, obliga a planificar estratégicamente y a largo plazo, sobretodo que las fuentes de materia prima, no arriesguen la reserva biológica del país.

El bambú, es considerado en Guatemala como planta sin mayores utilidades y en el peor de los casos calificado como invasiva del sudoeste asiático, pero que a través del tiempo, ha logrado distribuirse en casi todas las zonas con gran facilidad a las condiciones climáticas, topográficas y edáficas existentes. Tanto en Asia y sudamericano, que inteligentemente descubrieron las virtudes de esta planta, como en el presente, a través del comercio internacional, en un lapso de tiempo tan corto como el presente, han pasado de ser un recurso para muchas decenas de años, a tal grado de calificar a esta planta como una de las mejores alternativas de divisas, además de proveer una inmensa riqueza celulósica, que se puede aprovechar con competitividad en el mercado internacional. El bambú, presenta muchas ventajas, una de ellas es el largo período que requiere para producir semilla, para efectos de un cultivo comercial, que la única alternativa eficaz es la vía asexual, que en algún momento puede ser utilizada para transportar material a larga distancia.

Desde el punto de vista industrial, va más allá del simple hecho de conocer sus características, se pretende descubrir, las posibles potencialidades a futuro, que esta planta puede tener, si su explotación recibe la atención necesaria, como actividad productiva. El bambú se desarrolla con facilidad, como sostiene Armira (1), por ejemplo Bambusa vulgaris se desarrolla en las zonas bajas, la primera se localiza en regiones templadas, tropicales, sus requerimientos de temperatura son en rangos de 20 °C y los 35 °C como temperatura promedio, en altitudes que van de 0 a 1000 msnm. Desarrolla tallos cilíndricos, que alcanzan hasta 10 y 12 metros de altura, con coloración amarillenta con fisuras verduscas y rojizas en algunos casos, es representativa de las especies que desarrollan tallos con diámetros que llegan a medir hasta 35 cm. (8)

La especie Phyllostachys aurea, se distribuye en climas que van desde templados hasta climas fríos, soportan muy bien los descensos fuertes de temperatura, especialmente lugares del altiplano central y occidental, esta especie es abundante en regiones del departamento de Guatemala, como San José Pinula, Palencia y regiones de Quiché. Sobre la Sierra de los Cuchumatanes y partes altas de la Sierra de Chamá, donde las temperaturas

medias, se ubican entre 5 °C y 10 °C, se han encontrado especies del género Phyllostachys. Las altitudes de estas regiones, van desde 1,900 msnm hasta los 2,800 msnm. Phyllostachys aurea es una especie representativa de los bambúes que desarrollan grandes alturas pero con tallos que presentan diámetro totalmente inferiores a los del género Bambusa. Hidalgo (8) sostiene que los bambúes de clima frío, difícilmente pueden desarrollar diámetros mayores de 20 cm. pero que están dotados de una inmensa cantidad de células esclerenquimáticas, que le proporcionan una inmensa flexibilidad y sostén para la planta.

Las dos especies, representan dos ambientes diferentes de desarrollo y crecimiento vegetal, Bambusa vulgaris, se adapta y se distribuye en regiones con suelos de origen volcánico como sostiene Hidalgo (8), con humedad relativa entre el 60 por ciento y el 80 por ciento, mientras que las especies de Phyllostachys prefieren los suelos fértiles bien drenados y mezclados con grava y en muchos casos, pueden adaptarse muy bien a suelos que pueden presentar mezclas de orígenes volcánicos. Existen otras especies cercanas a esta última especie como la Phyllostachys edulis, que crece en suelos donde la humedad es alta, especies de Phyllostachys reticulata y Phyllostachys nigra pueden crecer en suelos más o menos secos (1). A nivel de investigación, se conoce de muchas especies maderables, utilizadas actualmente en el campo industrial, por ejemplo: el eucalipto; Eucalyptus maculata, Eucalyptus pilularis, Eucalyptus tereticornis, etc. Estas especies han sido objeto de estudio, sobre su rendimiento en pulpa, sus propiedades físico-mecánicas y ópticas, han sido calificadas como especies potenciales para pulpas comerciales. De manera que las especies de Eucalyptus, han merecido especial interés, debido a su distribución y adaptación en casi todo el mundo, además porque se ha demostrado, que pueden brindar excelente calidad de pulpa celulósica.

Chinchilla (3) indica que existen más de 600 especies de eucalipto, con sus respectivas variedades e híbridos, pero que el número de especies aptas para la producción de pulpa es muy reducido, razón que ha impulsado diversas investigaciones en este campo. Otras especies que han sido objeto de estudio para fines industriales son: el aliso, el bagazo de caña de azúcar, los rastrojos de gramíneas, como fuentes no convencionales

en vías de investigación. Respecto al bambú, investigaciones realizadas en Brasil y Colombia (8) indican que las experiencias de especies, pertenecientes al género Bambusoide, Bambusa, Sinobambusa y otras; han sido comprobadas como fuentes prometedoras de materia prima. A nivel centroamericano, solo en Costa Rica se han implementado estudios sobre Bambusa guadua, con fines de aprovechamiento comercial. Las condiciones ecológicas y edáficas de los suelos centroamericanos, constituyen un factor positivo, para la adaptación de esta especie, y por ende, la garantía de un suministro permanente de materia prima para fines papeleros, factor justificable para implementar planes de inversión para la generación de divisas, producto de su comercialización, especialmente para fines industriales.

2.2. Universo del estudio

La presente investigación, pretende conocer las virtudes de la planta de bambú, con fines de producción de pulpa celulósica, así como las calidades del papel que pudiera obtenerse de las misma. En este sentido, se utilizaron dos especies (Bambusa vulgaris y Phyllostachys aurea), representativas desde el punto de vista de distribución geográfica y climática, y dos procesos de digestión (kraft y sosa, para evaluar tanto el rendimiento de pulpa sin blanquear, como su calidad en términos de sus propiedades dimensionales (gramaje y espesor) y fisico-mecánicas (resistencia a la tensión, rasgado, estallido y doble plegado).

En países de Latinoamérica y del continente asiático, se conoce y se producen importantes volúmenes de pulpa, a partir de diferentes especies de bambú, en Guatemala crecen y se desarrollan muchas especies de bambú y las mismas se distribuyen en diferentes regiones con condiciones climáticas totalmente diferentes. Esta razón constituye, una importante factor determinante para conocer la importancia de esta planta en el campo papelerero.

3. MARCO TEORICO

3.1. MARCO CONCEPTUAL

3.1.1. Procesos de digestión química

3.1.1.A. Proceso kraft

El proceso de obtención de pulpas al sulfato, es una metodología química que usa como ingrediente principal un licor de digestión, constituido por hidróxido de sodio (NaOH) y sulfuro de sodio (Na₂S), el calentamiento se hace de acuerdo a un esquema previamente establecido; usualmente el tiempo de elevación varía de 60 a 90 minutos, con temperaturas entre 160 °C y 165 °C. (9)

3.1.1.B. Proceso sosa

El proceso de obtención de pulpas a la sosa, es una metodología química que usa como ingrediente principal un licor de digestión, constituido por hidróxido de sodio NaOH (8), el calentamiento se hace de acuerdo a un esquema previamente establecido; usualmente el tiempo de elevación varía de 60 minutos, con temperaturas entre 160 °C y 165 °C.

3.1.2. Componentes de la materia prima

3.1.2.A. La madera

Desde el punto de vista de la industria papelera, la madera es una sustancia compleja y heterogénea, formada principalmente por polímeros de alto peso molecular (celulosas, holocelulosas y ligninas principalmente) y en menor cantidad por sustancias orgánicas e inorgánicas de bajo peso molecular: resinas, látex, depósitos calcáreos, sílice y sales inorgánicas (20).

3.1.2.B. La Celulosa

La celulosa es el principal componente de la pared celular de las plantas, suele estar presente en forma de fibras y madejas, ésta ha sido comparada como largos refuerzos de concreto, en el cual las fibras de celulosa constituyen las varillas de acero y la lignina la matriz que las envuelve, es decir el cemento. Desde el punto de vista de su estructura celular, según White & Handler (20), la celulosa, es un polisacárido de cadena recta formado por unidades de D-glucopiranosas unidas por enlaces (1-4) beta glucosídicos, el número de unidades monosacáridos de la celulosa es variable y difícil de determinar, pero se estima que puede ser alrededor de 10,000 unidades o más en la cadena sin degradar. Hidalgo (8) menciona que la celulosa es sin duda el compuesto orgánico más abundante del medio vegetal, en la degradación se originan moléculas de glucosa, la hidrólisis parcial produce glicosacáridos, componentes activos de la celulosa, White & Handler (20) indican también que la celulosa es insoluble en agua pero que puede disolverse en compuestos amoniacales.

3.1.2.C. La lignina

Luego de la celulosa, se encuentra la lignina que se puede utilizar como fuente de fenoles o como combustible, la cual realiza las funciones de agentes cementantes entre fibras de celulosa, le da rigidez a la planta y se encuentra en la lamela media (región intercelular) donde cumple con la función de unir las células, estructuralmente es un polímero aromático complejo y de composición variable formados por tres monómeros.

Estructuralmente las moléculas de lignina presentan formas tridimensionales, termoplásticas y aromáticas, las células que tienen como función principal el sostén de tejidos vegetales contienen grandes cantidades de lignina como moléculas de refuerzo (8); por otro lado White & Handler (20) indican que las células vegetales contienen grandes cantidades de lignina que a la vez contienen moléculas de celulosa.

3.1.2.D. La hemicelulosa

Las hemicelulosas, son polisacáridos de bajo peso molecular con unidades de galactosa, manosa ácido glucorónico y ácido galacturónico. La fracción de hemicelulosas en procesos alcalinos, tiende a degradarse a simples azúcares, durante el proceso de digestión en su fase inicial, una gran parte del álcali consumido se debe a la disolución de los polisacáridos (hemicelulosa) y la degradación de estos ácidos (20). La hemicelulosa básicamente constituye el agente cementante entre los componentes de la pared celular de las plantas como componente importante compuesto por fragmentos de lignina libre de material fibroso (19).

3.1.2.E. Holocelulosa

Son moléculas o fragmentos de ligninas libres de materiales fibrosos, contiene a la celulosa y la hemicelulosa, generalmente blanquecinos o cremosos (4).

3.1.2.F. Alfa celulosa

Celulosa de alto peso molecular y difícilmente degradable frente a compuestos químicos, experimentalmente resiste concentraciones entre 9.45 y 17.5 por ciento de álcali activo en condiciones ambientales (4,20).

3.1.2.G. Beta celulosa

Es celulosa degradable consistente en su mayor parte por hemicelulosas que permanecen en solución (20).

3.1.3. Propiedades dimensionales

3.1.3.A. Gramaje

El gramaje expresa el peso de pulpa por unidad de área de papel. El peso promedio de seis hojas cilíndricas, se corrige mediante un factor de humedad y se expresa en g/m^2 (19).

3.1.3.B. Espesor y volumen específico

Es la distancia perpendicular entre las dos superficies del papel, es un dato que se utiliza para calcular el índice de volumen. Para esto se usa el micrómetro, se procura tomar varias lecturas en diferentes partes del área de exposición, tomando en cuenta que la distribución de las fibras de la pulpa, puede no estar uniforme (18).

3.1.4. Propiedades físico-mecánicas

3.1.4.A. Resistencia a la tensión

La resistencia a la tensión, es la capacidad de resistencia, hasta el rompimiento provocado por la fuerza que ejerce un dinamómetro en suspensión, el punto de ruptura es registrado como la fuerza de rompimiento de la tira de papel 15 mm. de ancho por 150 mm. de longitud (18).

3.1.4.B. Resistencia al doble plegado

En esta prueba se mide el número de dobleces sucesivos que la tira de papel puede soportar, la muestra se somete a una tensión de 1 kg. el contabilizador de dobleces adaptado a la máquina, expresa la cantidad de dobleces, antes de romperse (19).

3.1.4.C. Resistencia al estallido

Es la presión hidrostática requerida para producir la ruptura de un material, colocado perpendicularmente en un área de exposición de energía, se utiliza el aparato Mullen modelo C (19).

3.1.4.D. Resistencia al rasgado

Trabajo necesario que realiza un péndulo traducido como energía potencial sobre una hoja de papel cuya lectura se verifica en una escala calibradora para determinar la fuerza realizada en función de la distancia, se utiliza el aparato para rasgado Elmendorf (19).

3.1.5. Refinación, número kappa y pulpa química

3.1.5.A. Freeness: Término que indica la facilidad con que una pulpa deja fluir el agua y se mide en Grados Schopper Riegler (°SR) y determina el grado de desgote de una muestra sin refinar, así como el grado de drenabilidad de la pulpa en suspensión (19).

3.1.5.B. Número Kappa: Es el número de centímetros cúbicos de KMnO_4 de concentración 0.1 N, consumida por un gramo de pulpa libre con humedad específica y bajo condiciones estándares. Los resultados son normales en términos de producción industrial de pulpa, si el consumo gira alrededor del 50 por ciento de KMnO_4 . En el proceso de oxidación de la lignina a temperatura ambiente, el número kappa, indirectamente puede reflejar el grado de blanqueo que puede tener una pulpa determinada, debido a que proporciona una cuantificación de la lignina presente entre las fibras y cuya presencia, es evidente debido a la oscuridad u opacidad de la pulpa (3).

3.1.5.C. pH: Potencial de hidrógeno, desde el punto de vista industrial indica la presencia de compuestos básico o ácidos en un extracto (3).

3.1.5.D. Pulpa química: Proceso de separación de las células del tejido vegetal, en la cual la celulosa en forma de fibras es liberada de los compuestos cementantes que constituye la lignina (3).

3.2. MARCO REFERENCIAL

3.2.1. Aspectos generales

Históricamente la fabricación de papel, tenía como materia prima principal los desperdicios de la industria textil, lo que daba como resultado una pasta fibrosa, con la cual se obtenía un producto de alta calidad, actualmente esa fuente de materia prima, ha sido sustituida por la utilización de recursos maderables, para satisfacer la inmensa

demanda de papel en los países industrializados y subdesarrollados (8). La constante degradación de los recursos maderables fue cobrando preocupación en el ambiente de la industria papelera, de manera, que en muchos países, se iniciaron experimentos para la incorporación de otras alternativas de materia prima, tomando como base, la experiencia ya existente en los países asiáticos, pioneros de la utilización de fuentes de materia prima no maderables. De esta cuenta, para 1969, según estimaciones de la FAO un 95 por ciento de la pasta procedía de la madera y el resto procedente de materiales de paja, bambú, bagazo de caña, trapos, algodón, etc. La mayoría de las fibras no leñosas, para la fabricación de papel, en países del Sudoeste asiático, especialmente China e India, provienen de bambú, con suministros internos que giran alrededor del 60 por ciento de fibras. En América Latina un tercio del suministro interno de fibras es de origen no leñoso, la utilización de especies frondosas de fibra corta, especies de hoja ancha o caducifolios, han sido la principal fuente de producción de pasta celulósica, sobre todo de especies como: Haya Fagus spp., el abedul Betula spp. el liquidámbar Liquidambar styraciflua y el eucalipto Eucalyptus spp (13).

Las preocupaciones que tienen los países industrializados, para el suministro de materia prima para procesado de pulpa, constituyen las razones, por las cuales, constantemente se realizan experimentos, orientados a la búsqueda de nuevas alternativas, que puedan brindar fuentes prometedoras de materia prima de celulosa y luego su posterior conversión en papel. Se conoce ampliamente de muchas especies maderables, que han sido objeto de estudios profundos, para conocer sus virtudes en el campo papelerero, sin embargo, la constante búsqueda del hombre, en pro de satisfacer la demanda de papel en el mundo, lo ha llevado exitosamente a descubrir nuevas fuentes novedosas de materia prima, en el caso de las especies herbáceas, como los cereales y otras gramíneas, que han brindado importantes ventajas al hombre para otros fines de los comúnmente conocidos.

Por ejemplo en Chile, Hidalgo (8) menciona que los rastrojos de cereales principalmente trigo y arroz, han sido aprovechados de manera convincente para la producción de pulpa celulósica, a esto se suman las expectativas que se generan en torno al uso de bambúes para fines papeleros. Otras experiencias en otras latitudes, se orientan

a lo mismo, es decir, cada vez más, se encuentran nuevas alternativas de sustituir las reservas forestales, por la utilización de especies, que puedan ofrecer la materia prima adecuada, en corto tiempo en comparación con las latifoliadas y coníferas y con menores incidencias negativas sobre el entorno ecológico (14). Guatemala, no escapa de esta preocupación y se tienen mayores razones, cuando se aborda la realidad nacional y se concluye que es imperativo implementar alternativas novedosas e innovadoras para salir del subdesarrollo. Si se toma en cuenta las potencialidades que se tienen en el país y el futuro del mercado papelerero, Guatemala tiene una amplia gama de posibilidades de superar la situación actual y una de estas posibilidades es la producción de celulosa y papel.

3.2.2. Usos del bambú en la fabricación de papel.

3.2.2.A. Historia

La historia relata la forma como el hombre ha estado estrechamente relacionado con el uso, explotación, cultivo y aprovechamiento de diversas especies vegetales, que de alguna manera han contribuido en el desarrollo y evolución de los seres humanos sobre el planeta. Entre muchas especies vegetales, se tiene el bambú, cuyo uso y aprovechamiento ha sido evidente en países asiáticos como China, Taiwan, Japón, la India y otros. Los antecedentes en el campo de la industria papelera, revelan que la invención del papel se debe a los chinos y el hecho de haber sido los primeros en emplear el bambú para la fabricación de plumas utilizados en la escritura antigua. Investigaciones que se han realizado en Brasil y Colombia dan cuenta sobre las amplias cualidades que ofrecen las especies de bambú en la producción de papel, se le considera en Brasil como la principal fuente de materia prima para estos fines.

Hidalgo (8) indica que, los chinos utilizaban tablillas de bambú para escribir mensajes y de allí el nombre del primer libro escrito, conocido como "Anales del Libro de bambú". Sin embargo, la idea de utilizarlo en la fabricación de pulpa y su posterior conversión en papel, surgió en la India en 1910 y en 1925 tuvo su aplicación comercial una vez que se estudiaron las condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de especies y variedades de esta planta.

3.2.2.B. Ventajas de la utilización de bambú sobre otras especies, en la producción de pulpa.

a) El rápido crecimiento del bambú, la facilidad para cultivarlo y transportarlo y las ventajas que hoy existen sobre reservas en América Latina, hacen que esta planta, constituya la fuente más prometedora de materia prima para la producción de papel y la solución más apropiada a la crisis mundial de papel que se avecina, producto de la demanda de este producto en el comercio mundial (4).

b) El bambú es la planta de más rápido crecimiento que existe actualmente en la industria del papel; el sazonomiento es el máximo grado de desarrollo y madurez de la planta y lo adquiere entre los 3 y 6 años de edad. Para la fabricación de papel, puede ser utilizado, según la especie, a partir de los 4 años, en cambio las Pinophytas y las Latifoliadas, requieren de 15 a 30 años para que puedan ser utilizados en la producción de papel.

c) El bambú es una planta perenne y por ello, una vez que sus tallos se cortan, otros nuevos brotan antes de un año. En cambio las especies maderables, requieren de renovación continua y completa para poder disponer de material destinado para propósitos específicos (1).

d) En cuanto al rendimiento o producción de pulpa y papel, es mayor que el de la madera, esto se comprueba cuando Hidalgo (8), cita los resultados obtenidos en experimentos realizados en Camaden, Alabama; EE.UU., con el pino Loblolly *Pinus sp* y la especie del bambú *Phyllostachys bambusoide*, cuyos rendimientos evaluados por Acre/base seca, reportaron lo siguiente: De la especie de pino, se obtuvo un rendimiento promedio de 15,870 libras, y el de bambú fue de 27,749 libras, incluyendo las ramas, pero no las hojas.

e) El bambú es mucho más apropiado que el pino para la producción de ciertos papeles como el de uso facial y papeles finos para escribir; estas particularidades se deben a que las fibras del bambú tienen una relación "Largo -ancho" mayor que la del pino.

f) Las fibras de bambú, contienen altas cantidades de alfa-celulosa que es requisito previo para la confección de rayón con alta resistencia y de gran blancura, por otro lado se reporta que la pasta de bambú, es apta para papeles de impresión y escritura, debido a que es una pasta de fibra larga.

Cuadro 1. Comparación de rendimientos de bambú y otras especies, en porcentaje

ESPECIE	RENDIMIENTO EN PULPA	AÑOS DE CRECIMIENTO	CAPACIDAD DE REGENERACION
<u>Pinus sp.</u>	40	25	0 por ciento
<u>Phyllostachys bambusoide</u>	58	3	100 por ciento
<u>Eucalyptus sp.</u>	47	12	80 por ciento
<u>Alnus sp.</u>	54	10	90 por ciento
<u>Saccharum. officinarum</u> (bagazo de caña)	48-50	1	100 por ciento

Fuente: Experimento de rendimientos, Colombia, 1980 (8).

Cuadro 2. Evaluación de especies de bambú, en la producción de pulpa

ESPECIE	RENDIMIENTO EN BASE SECA, en porcentaje	No. KAPPA	ALCALI RESIDUAL
<u>Bambusa guadua</u> material 1	60	48	8.9
<u>Bambusa guadua</u> material 5	61	51	8.6
<u>Bambusa guadua</u> var. castilla	63	40	8.8
<u>Bambusa arundinacea</u>	62.5	48	9.7
<u>Bambusa vulgaris</u> var. striata	50	47	7.9

Resultados importantes, sobre experiencias que se han logrado con varias especies de bambú, evaluadas en Colombia, se evaluó la producción total de pulpa al sulfato a partir de bambú, en condiciones de operación de: 14 por ciento álcali residual, 20 por ciento sulfidez, 165°C. de temperatura y durante 30 minutos de cocción, realizadas en Colombia, 1980 (6).

3.2.2.C. Dimensiones de las fibras del bambú

En muchos estudios realizados en Colombia y Brasil, se reporta que existen variaciones en las características anatómicas del bambú, especialmente en cuanto a las dimensiones y disposiciones de las fibras, los factores que pueden incidir en este comportamiento son: la localización geográfica, la madurez o edad de las

especies y la posición de tallo. En general, la longitud de las fibras tiende a aumentar en relación con la altura del tallo. Las investigaciones realizadas con especies de bambú (8), indican que las fibras son más largas en la porción basal, en la parte intermedia y la longitud de fibra comienza a decrecer cuando se aproxima al extremo apical del tallo.

3.2.2.D. Período de crecimiento y uso industrial

Las tallos de bambú destinados a producción de pasta celulosa, pueden tener entre 3 y 4 años para tener una disposición de fibras adecuadas para la producción de pasta celulósica.

3.2.3. Usos del bambú en la construcción

En cuanto a los usos de bambú en la construcción, actualmente su empleo ha sido investigado y considerado como una excelente alternativa, algunos países han alcanzado cierto nivel increíble de desarrollo. Según Valiente (17), algunas de las especies utilizadas en la construcción son: Chusquea spp. llamada Chusquea surro, Carrizo que crece en América Central y Sudamérica. Bambusa aculata, se desarrolla en México y Panamá. Bambusa guadua, ó Guadua angustifolia se encuentra en Colombia, Ecuador y Perú, según Valiente (17) éste último es el más sobresaliente de todos los nativos de Latinoamérica, no sólo por sus características físicas sino también por la diversidad de aplicaciones que tiene en la construcción.

Además, en muchos países asiáticos como Japón y Taiwan, se utilizan comúnmente dispositivos y accesorios fabricados de bambú para conducciones de agua y acueductos, en Costa Rica se tienen experiencias interesantes sobre el aprovechamiento comercial utilizando Bambusa guadua. En Colombia, se promueven estructuras de viviendas de emergencia hechas de especies de bambú, predominantes en el país y los resultados reportados indican que la utilización del bambú en la construcción de viviendas campestres puede ser una alternativa principal para estos fines en países en vías de desarrollo. Las propiedades anatómicas y morfológicas de la planta permiten un adecuado aprovechamiento de las condiciones naturales y una alta capacidad de propagación asexual (8). Las conclusiones de una investigación realizada por Rodas C. (16) sobre las utilidades

del bambú, indican en términos generales que las especies de bambú realmente poseen ventajas y utilidades multifacéticas en la construcción, en la artesanía, la industria papelera y otros aspectos no menos importantes.

3.3. El bambú como materia prima, para producción de pasta

3.3.1. Experiencias en el Continente Asiático

La experiencia de los países Asiáticos, puede considerarse como la pionera en el mundo de la explotación de fuentes de materia prima no leñosas, especialmente si se considera el volumen de producción de pulpa. La importancia de esta planta, ha sido tal, que existen plantaciones significativas en términos de área de producción, por ejemplo: India, reporta para 1990 alrededor de 3,000,000 de ha., en Japón existen unas 160,000 ha., en Taiwan 48,000 ha., en Birmania se calcula que existen unas 9,000,000 ha., que estaría en capacidad de sostener una cosecha anual de 45,000,000 de TM. de pasta celulósica (8).

Según estimaciones de la Industria papelera, en Asia unas 35 fábricas de reconocido prestigio utilizan especies de bambú como materia prima principal, fábricas ubicadas en la India, China, Birmania, Filipinas, Japón, Pakistán, República Khemer y Tailandia. Una fábrica típica es la West Coast Paper Mills, en Dandeli, Mysore India, produce en promedio unas 35,000 toneladas de pulpa al año y sus productos son: papeles de impresión, escritura y empaquetado de bambú. La otra fábrica de nombre Gwalior Rayon Silk M&Co. India fabrica anualmente 50,000 a 60,000 toneladas de pasta soluble a partir de bambú. Debido a sus adaptaciones a distintos climas tropicales, las especies de bambú como fuente de materia prima fibrosa, se distribuyen exitosamente en grandes extensiones del continente asiático (8).

Taiwan es otro país asiático que posee reservas de bambú, cuya producción es destinada al mercado papelerero, igualmente Japón comercializa pulpa celulósica producido, a partir de bambú. De acuerdo a las experiencias de la producción celulósica en el continente Asiático, los rendimientos de la producción de pulpa, a

partir de Bambú oscilan en 45 por ciento en promedio sobre la base de la fibra seca. Las fibras de bambú, contienen altas cantidades de alfa-celulosa que es requisito previo para la confección de rayón con alta resistencia y de gran blancura, por otro lado se reporta que la pasta de bambú, es apta para papeles de impresión y escritura, debido a que es una pasta de fibra larga. Los suministros internos de materia prima de Taiwan en fibra celulósica, proviene del bambú, el cual cubre alrededor del 60 por ciento de la demanda interna.

Es importante señalar que las especies de bambú, no solo han llamado la atención en el campo industrial sino también en otros ámbitos de mucho interés, Hidalgo (8), señala que en Colombia y en los países asiáticos donde predomina el cultivo del bambú, se fabrican dispositivos y accesorios hechos de bambú: conexiones de tubería para conducción de agua, tubería para acueductos pesados, construcción de puentes peatonales, utilizando bambú para las estructuras principales en la construcción de casas, etc. De manera que esta planta posee inmensas cualidades beneficiosas para el hombre. A continuación se presenta información relevante sobre la producción de pulpa a partir de bambú, así como las áreas de explotación de esta materia prima en países de Asia, de acuerdo a un Reporte de la Agencia Internacional de Energía Atómica, Viena 1970 (10)

3.3.2. Volúmenes de producción y áreas de cultivo de bambú.

3.3.2.A. India. Los recursos forestales maderables y las fibras provenientes del bambú y otros materiales como el bagazo de caña, constituyen los materiales básicos para la industria papelera de la India. La mayor cantidad de recursos forestales provienen de Las Hymalayas con especies forestales sobre todo coníferas como Cedrus deodara, Pinus roxburghii y Pinus longifolia, conocido como pino azul que constituye un total de 308 millones de TM, respecto al cultivo de bambú, dos especies son las mas abundantes en este país asiático: Dendrocalamus strictus y Bambusa arundinacea, que hacen un total de 3.000,000 ha. y un promedio de 1.56 millones de TM de pulpa reportada como producción anual.

3.3.2.B. Indonesia. Este país tiene un total de 190,400 ha., del cual unos 121,700 ha. son forestales. De bambú, aproximadamente 14,000 ha. corresponden a cultivos naturales, existe una planta que produce pulpa celulósica, que utiliza como materia prima especies de bambú. Además se utilizan otras fuentes de materia prima como el bagazo de caña, del cual se obtienen importantes cantidades de fibras, sumado también las fuentes provenientes de restos de cereales y desechos maderables.

3.3.2.C. Japón. Este país posee unos 25,053 millones de ha. con una producción estimada en 1,891 millones de TM, del cual unos 953 millones son especies de coníferas y 938 millones provienen de especies latifoliadas. La producción de pulpa a partir de bambú ocupa un tercer lugar en importancia como fuente de suministro de materia prima.

3.3.2.D. Corea. Un total de 6.7 millones de ha. son potencialmente reportadas como centros de producción para un total de 60.5 millones de metros cúbicos de pulpa. En cuanto a bambú, solamente 4,000 ha. corresponden a cultivos de bambú, que constituye una importante fuente de materia prima. Especialmente se procesan pulpas de fibras cortas.

3.3.2.E. Pakistán. De este país se reporte un total de 3,614 millones de ha. de recursos forestales con una producción de 146 millones de metros cúbicos de celulosa. Respecto a la producción de pulpa a partir de bambú, se calculan en unos 3.8 millones de metros cúbicos de pulpa por año.

3.3.2.F. República de China (Taiwan). Taiwan tiene unas 395 mil ha. de coníferas con una producción de unos 226 millones de metros cúbicos de pulpa, de este total, unos 114 mil metros cúbicos, corresponden a la producción proveniente de bambú, como materia prima que representa unas 250,000 ha. de cultivos de bambú.

3.3.2.G. Tailandia y Vietnam. Estos dos países, según el reporte internacional de la Agencia de Energía Atómica, tiene amplias reservas forestales y además tiene reservas de áreas de bambú. El primero posee alrededor de 850,000 ha. de bambú con una estimación productiva de unos 7 millones de TM métricas de pulpa, mientras que Vietnam posee unas 60,000 ha. de bambú con una producción estimada de 1.2 millones de TM de pulpa, además en Vietnam, se han desarrollado técnicas de aprovechamiento de fuentes alternativas de materia prima, como el bagazo de la caña, rastrojos de cereales, etc. (8).

3.4. Contexto Nacional y Latinoamericano

3.4.1. La industria papelera en Guatemala

La importación de Guatemala, en términos de pulpa blanqueada, para 1985 fue alrededor de 6,000 TM, de celulosa, sin tomar en cuenta las materias primas producidas en el país, producto de reciclajes en las diversas fábricas de papel como la Industria Papelera Centroamericana IPCA S.A., las cuales se calcula que representan sólo un 10 por ciento del total de las importaciones. En cuanto a la reserva forestal, estimaciones de la FAO (4) indican que para 1981 existían en Guatemala 2.4 millones de ha. de bosques latifoliadas de tipo productivo y 612,000 ha. de bosques productivos de coníferas, pero durante el período 1981-1990 se ha producido una deforestación que se calcula alrededor de 125,000 ha./año, los efectos de este fenómeno han disminuido sensiblemente el inventario forestal, más aún con la puesta en marcha de CELGUSA para fines de producción de pulpa, sin programas definidos y serios de reforestación y que representaba un componente rico de factores de contaminación ambiental, con efectos desastrosos (6).

3.4.2. El proyecto CELGUSA

La proyección de la planta CELGUSA estaba basada en: 100,000 TM anuales de pulpa no blanqueada y 20,175 metros cúbicos de madera, si la demanda nacional estaba basada en 6,000 TM, aún quedaba un margen de 22,000 TM para ser comercializado al exterior, esto significaría un ingreso alrededor de US\$ 65 millones en

divisas al país, producto de la venta de pulpa celulósica blanqueada y madera aserrada, más el ahorro en sustituciones de importaciones de pulpa, que representaría alrededor de US\$ 2,4 millones, esto totaliza alrededor de US\$ 67.4 millones de ingresos brutos; considerando que la importación de productos químicos para el blanqueo de la pulpa, giraba en torno a US\$ 7.0 millones, se concluye que los ingresos netos previstos en términos de divisas era próximamente de US\$ 60.4 millones. Sin embargo, la contrapartida representaría la explotación de 7,000 ha. de bosques de coníferas y latifoliadas, debido a la demanda de la planta que debía abastecer alrededor de 600,000 metros cúbicos de madera más un 46 por ciento que se estimaba como pérdida durante el proceso de transformación, haciendo un total de 876,000 metros cúbicos (6, 19). Por otro lado, el proceso de pulpeo representaba una exagerada contaminación a las aguas del Río Motagua, producto de efluentes líquidos de químicos, como residuos de NaOH y Na₂S, sólidos en suspensión fibras no degradadas, productos lignificados y productos clorados del blanqueo, etc. Totalmente una fábrica de producción de celulosa, sin medidas de mitigación de las fuentes de contaminación, que pudieran hacer menos peligroso el proceso, con una tecnología desactualizada y sin fuentes seguras de materia prima.

Actualmente, los procesos a base del pulpeo Kraft, se hacen mediante estrictas medidas de seguridad, no sólo para el personal de planta, sino también de la contaminación del ambiente, mediante dispositivos de tratamientos de aguas residuales y servidas, así como la suspensión y precipitación de sólidos y fibras lignificadas. En conclusión, el proyecto CELGUSA fue concebido para generar utilidades al país, además de la generación de empleo, comercializar un producto poco común para la realidad nacional y por ende; colocarse en el campo de la industria papelera, como productora de materia prima para un sector importante del comercio internacional. Pero la realidad socioeconómica de Guatemala, así como sus condiciones de su entorno ecológico y la carencia de medidas de mitigación de los efectos nocivos del proceso de pulpeo, colocaron al proyecto de CELGUSA en un plano inconcebible, no sólo para expertos en la materia, sino para la propia sociedad guatemalteca, al grado de condenar el funcionamiento de la fábrica, en un país, cuyos recursos naturales, cada día se deterioran progresivamente.

3.4.3. Análisis de la industria papelera a nivel nacional, centroamericano y del caribe.

En Centroamérica y en El Caribe, se reportan las siguientes empresa, tipo y volumen de producción y las clases de materia prima que utilizan.

Cuadro 3. Fábricas más importantes en el área centroamericana y El Caribe.

PAIS	EMPRESA CENTROAMERICANA	PRODUCCION INDUSTRIAL	TM/AÑO	MATERIAS PRIMAS
1. Guatemala	- Industria Centroamericana IPCA S.A. - Arimany Cía. Ltd. - Celulosas del Pacífico	Cartón forrado, mani-la, papel bond, mimeó grafo, tissue, emba laje y kraft liviano	30,000 6,000 3,000	Pulpa celulósica, reciclado y residuos
2. El Salvador	- Kimberly Clark de Centroamérica S.A. - Cartotecnia de C.A. S.A. - Fábrica de Cartón Hispalia - Papelera y Cartonera Salvadoreña	Tissue Cultural y comercial Cartón embalaje Cartón gris cartulina	6,500 5,000 1,050 1,050	Pulpa celulósica, reciclado y residuos
3. Costa Rica	-Scott Paper Co.	Tissue	7,000	Pulpa y residuo
4. Panamá	-Industria Panameña de papel -Molino Panameño del papel -Industria Papelera Nacional	Cartón y tappa Tissue Tissue	16,000 7,200 4,050	Pulpa celulósica, reciclado y residuos
5. Jamaica	-West Indies Pulp and paper	Cartón y tissue	16,600	Pulpa y residuo
6. República Dominicana	-Industria Nacional de papel -Cartones Haima Spa.	Embalaje, Kraft, tissue	17,000 15,000	Pulpa importada Pulpa importada

FUENTE: Informe de la Industria papelera Centroamericana, ICAITI, 1980 reportado por Rodas Camas (16).

El cuadro anterior, refleja el grado de desarrollo industrial que los países centroamericanos tienen, en términos de capacidad de producción, para abastecer la demanda que cada año crece, sobre todo en los países que giran en torno a un ambiente de democracia incipiente, factor decisivo para el desarrollo humano, el cual tiene una relación directa con la demanda y consumo de papel de diversos tipos. Ninguna de las fábricas y empresas de producción de papel, posee algún centro de producción de pulpa celulósica, ya sea para la comercialización y para su conversión en papel. En el caso de Guatemala, la fabricación de papel está a cargo de la Industria Papelera Centroamericana S.A. IPCA. El proceso en Guatemala, sólo implica algunas fases del procesado de papel, específicamente la construcción de bobinas de papel, pliegos de cartón y cartulina, a partir de la adquisición de la materia prima y también de los desechos de papel y cartón (5).

3.4.4. Consumo de pulpa celulosa mundial y Centroamericano

En una investigación realizada por Valladares & Porres (18) se menciona que para el año 1974 los países centroamericanos, importaron alrededor de US\$ 1,000,000 en productos de madera y más de US\$ 163,000,000 en la importación de pulpa celulósica, además de acuerdo a estimaciones del Fondo de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (4), el consumo mundial para 1970 fue de 123 millones de TM, cifra que según las estimaciones, fue duplicada para 1985, de manera que para el año 2,000 Estados Unidos, estará consumiendo alrededor de tres veces su nivel actual de consumo y el mundo posiblemente, estará consumiendo en promedio 4.5 veces el consumo de 1974. Respecto a Centroamérica, se estima que en 1974 se reportó un consumo promedio de 400,000 TM, equivalente a un 0.33 por ciento del consumo mundial, para 1985 fue alrededor de 650,000 TM y para el año 2,000 el consumo de Centroamérica de pasta celulósica para la producción de papel, será alrededor de 1 millón de TM (6).

3.4.5. Experiencias de países Latinoamericanos

En América Latina, los países más avanzados en la producción papelera son Brasil, Colombia y Argentina; utilizan comúnmente especies de bambú para la producción de pulpa y su posterior conversión en papel.

Las investigaciones que se han realizado en Brasil y Colombia dan cuenta sobre las amplias cualidades que ofrecen las especies de bambú en la producción de papel, llegando a ser considerado especialmente en Brasil, como la principal fuente de materia prima para estos fines. Hidalgo (8) indica que Brasil es el país mayor productor de materia celulósica en la región Suramericana y que la mayor parte de sus exportaciones de pulpa, provienen de especies latifoliadas de la región Amazónica, sin embargo, la producción de pulpa a partir de bambú, representa un 32 por ciento de su volumen total de producción, hasta 1985. Por otro lado, la importancia que cobra la utilización de esta planta (bambú) es cada vez más significativa, de modo, que en muchos países asiáticos, se comercializan accesorios de conducción de agua, provenientes de bambú, y la razón estriba en su consistencia celular, abundante en estructuras de esclerénquimatosas, que son células que desarrollan un alto grado de sostén a la pared celular y que le proporcionan rigidez a las plantas.

En Colombia (17) se han realizado diversos estudios sobre la utilización de especies de bambú en la producción de pastas celulósicas para la fabricación de papel; en Colombia y Brasil, los resultados que reporta el autor, coloca en evidencia las grandes alternativas que se han logrado utilizando especies de bambú como materia prima principal, tanto en la industria papelera, como en otros usos, especialmente la construcción de viviendas y el aprovechamiento de dispositivos y accesorios para conducción de agua, principalmente en países asiáticos.

3.5. Generalidades de la planta de bambú.

3.5.1. Clasificación.

Según Hidalgo (8), el bambú generalmente se ha considerado como especie perteneciente a grupos cercanos a las especies forestales, sin embargo, es sorprendente indicar que no es un árbol, sino más bien una hierba gigante, la cual botánicamente se clasifica dentro de la familia de las gramíneas, agrupada en la tribu de las Poaceae. Debido a las características del tallo que presenta conformación leñosa, se clasifica como liliopsida, división magnoliophyta. Armira (1), indica que en Guatemala, predominan varias especies de los géneros: Bambusa, Dendrocalamus, Phyllostachys, Arundinacea y Sinobambusa. Las especies de bambú en Guatemala, se distribuyen de acuerdo a las condiciones climáticas y edáficas a las cuales se adaptan.

3.5.2. Anatomía y morfología.

El bambú está constituido por un sistema de ejes vegetales segmentados que forman alternamente nudos y entrenudos, que varían en su morfología según corresponda al rizoma, al tallo ó a las ramas. Por lo tanto, los entrenudos como los nudos varían también de una especie a otra, particularmente en los tallos, facilitándose por este medio su clasificación. Armira citando a McClure (1), indica que esta clasificación está en función de las características que presenta la planta, específicamente las características morfológicas y anatómicas.

3.5.3. Requerimientos ecológicos.

En el cultivo de especies de bambú, como en cualquier otra planta, existe una serie de factores de orden ecológico, tal como lo indica Hidalgo (8) y son necesarios para facilitar el establecimiento de cualquier planta, ya sea con fines industriales, ornamentales u otros; estos factores pueden clasificarse en: climáticos, edáficos y aún selváticos, especialmente en lo que respecta a la vegetación alta y baja que generalmente circunda las especies nativas en bosques naturales, especialmente en regiones tropicales y sub-tropicales.

3.5.4. Factores climáticos y edáficos

Dentro de los factores climáticos más importantes que definen el comportamiento del desarrollo y crecimiento de las especies de bambú, se tienen los siguientes:

3.5.4.A. Precipitación. Hidalgo (8), indica que los parámetros respecto a la precipitación requerida anualmente, está en función de la especie de bambú y las condiciones de temperatura, las cuales definen su adaptación. Sin embargo se pueden mencionar que los niveles y rangos de precipitación pueden variar entre 1,270 mm. a 4,050 mm. anualmente.

3.5.4.B. Temperatura. Hidalgo (8) y Armira (1), coinciden en señalar que la mayoría de los bambúes se desarrollan en temperaturas que varían entre los 9 °C y los 36 °C, aunque hay especies de bambú que soportan bajas temperaturas como el caso de las especies del género *Arundinaria* que abarca muchas especies nativas de la India, que se desarrollan a grandes alturas aproximadamente hasta los 3,050 msnm. Por otro lado se puede citar el caso de la *Bambusa guadua*, especie típica de Colombia, ésta planta no puede desarrollarse normalmente si las condiciones de temperatura son inferiores a 0 °C.

3.5.4.C. Humedad relativa. La humedad relativa es uno de los factores determinantes en la distribución de las especies, para este caso, el bambú se adapta muy bien a valores mayores a 80 por ciento de humedad relativa(1,8).

3.5.4.D. Tipos de suelos. La mayor parte de los bambúes se encuentran en suelos areno-limosos y arcillo-limosos conformados de aluviones de los ríos o frecuentemente de substratos. Los colores de suelos en que más se encuentran son: amarillo, amarillo castaño, amarillo rojizo claro. El subsuelo varía de rojo claro a gris azulado (8). Por su parte Armira (1) reporta que usualmente el bambú prefiere suelos bien drenados, algunas especies prefieren suelos anegados o húmedos y pedregosos, como la *Bambusa guadua*.

no obstante no se han conocido especies que se desarrollen en suelos salinos, las especies de Phyllostachys prefieren los suelos fértiles bien drenados y mezclados con grava, que son los más apropiados. Pero el bambú de la Phyllostachys edulis, crece en suelos donde la humedad es alta, las especies de Phyllostachys reticulata y Phyllostachys nigra pueden crecer en suelos más o menos secos. Respecto a la pendiente de los suelos; Ueda, citado por Hidalgo (8), indica que el bambú crece bien en pendientes empinadas, pero no gustan de terrenos con fuerte exposición a los rayos solares, generalmente zonas orientadas hacia el Norte son los preferidos, en zonas frías los terrenos preferidos son los orientados hacia el occidente.

3.5.5. Características de propagación.

Las plantas de bambú desarrollan tallos modificados llamados rizomas, los cuales tienen la capacidad de generar tejidos nuevos y por ende nuevas plantas, aunque también tienen la capacidad de propagación sexual, produciendo semillas, en los siguientes párrafos se presenta mayor información sobre sus formas de reproducción.

3.5.5.A. Propagación sexual o por semilla: Hidalgo (8), señala que se tiene varios estudios sobre el comportamiento reproductivo del tipo sexual de las especies conocidas de bambú, los cuales reportan que las posibilidades de establecimiento de plantaciones de bambú por semilla son muy limitadas, debido al desarrollo de un período de floración exageradamente prolongado en términos de tiempo, comparado con otras especies vegetales. Produce una semilla genéticamente de baja calidad y una baja viabilidad de las mismas. Los ciclos de floración son distintos, por ejemplo: la Dendrocalamus strictus tiene un ciclo de 32-40 años, la Melocanna bambusoides de 45 años, la Bambusa sp. y Phyllostachys sp. de 60 años. Después de la floración las cañas de bambú en pie, perecen cuando esto sucede, es habitual cortar todas las cañas para limpiar el macizo, para fines de conservar y proteger los nuevos brotes que surgen del rizoma subterráneo.

3.5.5.B. Propagación asexual: Es la forma más recomendable para reproducir especies de bambú. Morfológicamente las plantas de bambú, desarrollan tallos con capacidad para generar nuevos tejidos y la formación de estructuras para nuevos órganos y finalmente nuevas plantas, existen tres formas conocidas, por medio de las cuales la diversidad de especies pueden reproducirse asexualmente: Paquimorfos correspondiente al simpodial y cespitoso, leptomorfo rizomas monopodiales, además se indica que existen otros tipos de menor distribución comúnmente denominados intermedios, y se les conoce como rizomas de tipo anfipodial (1).

3.5.5.B.i. Tallos paquimorfos: También llamados simpodial o cespitoso, son especies tropicales, que se caracterizan por desarrollar tallos de esta naturaleza. Se identifican por sus rizomas cortos y gruesos, con entrenudos asimétricos, más anchos que largos, sólidos y con raíces en su parte inferior, los rizomas se desarrollan periféricamente formando brotes aglutinados llamados macolla. Especies pertenecientes a los géneros: *Bambusa*, *Gigantocloa* y *Dendrocalamus*, desarrollan este tipo de estructuras reproductivas (1).

3.5.5.B.ii. Tallos leptomorfos: Denominados monopodial, las especies que desarrollan estas estructuras reproductivas, se agrupan en zonas templadas y sus características radican en la formación de rizomas cilíndricos, presentando entrenudos simétricos largos, no muy sólidos. Los rizomas se desarrollan produciendo ramificaciones laterales en forma monopodial, recorriendo grandes distancias, a este grupo pertenecen las especies del género *Phyllostachys*, *Arundinaria*, *Sinobambusa*, y otras especies (1,8).

3.5.5.B.iii. Tallos anfipodiales: Denominado intermedio, las pocas especies que pertenecen a este grupo tiene rizomas con ramificaciones combinadas de los dos grupos citados anteriormente, es decir tallos leptomorfos con características mezcladas de los paquimorfos, a este grupo pertenecen las especies del género *Chusquea* (1,8).

En la propagación asexual, se emplean por lo general aquellas partes que presentan yemas o estructuras meristemáticas, cuando el rizoma hace contacto con el suelo, es estimulado para producir una nueva planta, cuya formación inicia con el desarrollo de nuevas raíces y finalmente la producción de un nuevo rizoma. Hidalgo (8) menciona que la mayoría de las especies del tipo paquimorfo dan mejores resultados en la propagación asexual que los del grupo leptomorfo. Las especies de Bambusa vulgaris, pueden propagarse por la mayoría de los métodos de propagación asexual, conocidos actualmente. En general los métodos artificiales, más usados en la propagación asexual incluyen según Hartman (12), división de mata, empleo de rizomas, culmos completos, acodos terrestres y aéreos (7).

3.6. Pulpeo Químico y consideraciones ambientales

3.6.1. Pulpeo químico o método químico:

Las pulpas celulósicas se pueden producir mediante procesos químicos y mecánicos, siendo el proceso químico el más utilizado hasta hoy por las grandes plantas productoras de pulpa; motivado por el peligro de daños secundarios que pueden ocasionar los residuales químicos al ambiente, hoy en día se realizan grandes esfuerzos por descubrir nuevos métodos y procesos que reduzcan este efecto negativo. El primer paso en la producción de pulpas químicas, se conoce como digestión y consiste en colocar la materia prima en un reactor de digestión, con ingredientes químicos apropiados bajo condiciones controladas de temperatura, tiempo y concentración del licor (reactivo químico). La pulpa celulósica es el producto a obtener. Los licores químicos, actúan sobre los componentes de la lignina, rompiendo los enlaces fibrosos, unidos y cementados por la lignina, por efectos de hidrolización, temperaturas fuertes y a una presión hidrostática controlados, la materia prima sufre una descomposición en su estructura original y libera las fibras unidas en forma de cadenas dispersas. El control de las condiciones se realiza para garantizar que la cocción del material, se produzca sin deteriorar la composición original de las fibras (13).

3.6.1.A. Proceso al sulfato Kraft (NaOH y Na₂S)

Por la experiencia que se tiene en el empleo del proceso Kraft en el ambiente de la industria papelera, se hace necesario, utilizarlo como punto de referencia y comparación, para la evaluación de nuevas fuentes de materias primas. Este proceso permite la obtención de pulpas sin blanquear y blanqueadas. Existe una oposición generalizada sobre la continuidad de la utilización de este proceso, debido a su fuerte incidencia sobre el ambiente, en términos de impacto ambiental, sin embargo, se debe reconocer que ha sido el proceso pionero en el campo industrial y el único método considerado como parámetro de referencia para la evaluación de fuentes de materia prima (12). Las oposiciones que se enfrentan sobre el empleo de este proceso, pueden ser reducidas si se consideran las innovaciones que se manejan actualmente, sobre la conservación del entorno ecológico, especialmente mecanismos de contingencia y mitigación, para reducir los efectos nocivos de este proceso, puesto que no debe considerarse su eliminación total en el escenario industrial papelerero, cuando ha sido la base del descubrimiento de importantes adelantos tecnológicos. Además, a nivel centroamericano y sudamericano, el proceso Kraft, es el método más utilizado para la producción de pulpa, con la variante de alternativas de control y mitigación de los efectos colaterales, que representa su utilización (14).

3.6.1.B. Proceso a la sosa (NaOH)

El proceso a la SOSA como comúnmente se le conoce, utiliza como componente químico sólo el hidróxido de sodio (NaOH), en otras experiencias ha brindado importantes resultados, debido a que utiliza concentraciones bajas expresadas en por ciento de álcali activo, promedio reducido de tiempo de cocción en relación al proceso Kraft y obviamente, puede representar alguna alternativa de ahorro en cuanto al costo de producción de una unidad de pulpa celulósica. De manera que el empleo de este proceso, tiene fines de comparación con los resultados del anterior proceso, para efectos de interpretar cuales procesos pueden representar ventajas en el pulpeo químico, se ha demostrado como indica Chinchilla (3) que los procesos de

digestión, tienen una relación directa con calidad de la pulpa obtenida, evaluada desde el punto de vista de sus propiedades fisicomecánicas.

3.6.2. Condiciones para la producción de pulpa y su conversión en papel

3.6.2.A. Características de la materia prima

La madera o materia prima en sí, es variable la cual influye sobre la condición del proceso de digestión y la calidad de pulpa a obtener. Depende también de la especie de materia prima, edad del árbol, procedencia, composición química, cantidad de corteza remanente y estado de la madera. Es posible evitar características indeseables de la madera antes de preparar la materia prima para la pulpa, por medio de la selección de la madera, el descortezado y eliminación de la madera dañada por microorganismos o cualquier otro factor que pueda causar bajo rendimiento y mala calidad de la pulpa.

3.6.2.B. Dimensiones de las astillas para fines de investigación.

En los procesos químicos de obtención de pulpa a partir de la madera, en cuanto a la dimensión de las astillas se debe considerar:

- a. La penetración, que depende de la dimensión de las astillas, características morfológicas de la madera y de su densidad. Los factores más importantes que influyen en el proceso de penetración son: el grado de purga del aire, presión hidrostática, relación y temperatura del licor.
- b. La difusión depende de la temperatura y la concentración del licor (10).

3.6.2.C. Humedad en el material fibroso

El contenido de humedad del material fibroso alimentado al astillador tiene marcado efecto sobre el astillado.

3.6.2.D. Relación de madera y licor de digestión

A fin de obtener una buena disolución de lignina de las astillas deben estar completamente sumergidas en el licor que contienen los productos químicos y estar saturados de él, Cáceres y Rodríguez (2), indican que la relación de licor madera, es la que afina la concentración inicial de digestión, que a la vez está ligada a la velocidad de reacción química, 4:1, 5:1 que brindan mejores resultados. Además se afirma (2) que la relación licor/madera es una variable de poca importancia ya que sólo se considera en la recuperación del licor y cuando se trate de obtener pulpas de alta calidad. En todo se debe tener en cuenta que la madera debe quedar bien sumergida para permitir una buena impregnación.

3.6.3. Efectos contaminantes del proceso de obtención de pulpas químicas sobre el ambiente

Cualquier adelanto tecnológico - industrial debería perseguir el mejoramiento de la calidad de vida del hombre sobre el planeta, proporcionándole bienes y servicios, sin embargo no todos los adelantos son benévolos, y aquellos que sí lo son, de todas maneras acarrearán daños y efectos nocivos a la naturaleza mediante procesos contaminantes. La producción de pulpa para su conversión en papel produce serios efectos negativos al ambiente, tanto la contaminación atmosférica producida por la descarga de gases, como contaminación del agua producida por la descarga de las aguas de elaboración y acarreo de pulpas. Una fábrica de pulpas no blanqueadas, produce menos contaminación que una industria que produce pastas blanqueadas, los siguientes factores, son los principales contaminantes, que pueden influir negativamente sobre el ambiente (5,6,4).

3.6.3.A. Emisión de gases

Todo proceso de elaboración de pastas químicas crean gases de algún tipo y a menos que los sistemas de elaboración tengan un diseño cerrado, el volumen de esas emisiones de gases será inferior al punto de peligro y son disipados por el viento, sin embargo el olor de las fábricas de pasta y en especial fábricas al sulfato no es agradable debido al tipo de gases que producen si estos se liberan a la atmósfera. Las fábricas

de pasta al sulfato, producen mercaptanos que tienen olores repelentes, las fábricas de pastas al sulfito producen dióxido de carbono y azufre que son gases dañinos a las membranas celulares y puede destruir la vegetación si se encuentra en grandes concentraciones. Ante el inminente peligro sobre el ambiente, se pueden tomar mecanismos que permitan reducir los efectos nocivos sobre la naturaleza, mediante el diseño y producción de dispositivos de estrechamiento y equipo de cierre para evitar la fuga incontrolada de gases a la atmósfera.

3.6.3.B. Efluentes líquidos

La producción de pulpa requiere agua para lavar la pasta y puede transportar diversos materiales en suspensión o disolución que tienen efectos nocivos para los ríos, lagos o el mar en el cual se descarga.

3.6.3.C. Fibras en suspensión

En la producción de pastas se trata de aprovechar toda la fibra útil, pero una proporción de fibras muy finas y materiales de pequeñas dimensiones no pueden retenerse pese al reciclado del agua blanda en cual pueden quedar en suspensión. Este tipo de efluentes produce la decoloración de las corrientes claras, pero su efecto más grave es la descomposición o putrefacción de las fibras, este proceso químico utiliza oxígeno disuelto en agua, arrebatada por lo tanto el oxígeno, del cual han de vivir los peces. En altas concentraciones la putrefacción de los materiales vegetales producen un olor repelente.

3.6.3.D. Cuerpos sólidos en suspensión:

Además de la fibra, la fábrica puede descargar otros sólidos tales como arcilla y las cargas de desechos. Estos sólidos no se disuelven ni se descomponen al ser descargados tan sólo pueden reducirse mediante sedimentación, se hunden en el fondo de los estanques de sedimentación, si son transportados por el agua, se sedimentan en el fondo de los ríos y lagos, con lo cual reducen la superficie.

4. OBJETIVOS

4.1. General:

Producir pulpa celulósica sin blanquear, a partir de dos especies de Bambú (Bambusa vulgaris Schrad. Ex Wendl y Phyllostachys aurea A&C. Riviere, Bull), utilizando dos procesos de digestión (kraft y sosa) y análisis de la calidad del papel obtenido.

4.2. Específicos:

1. Evaluar el rendimiento de pulpa obtenida, para la producción de papel, de las especies Bambusa vulgaris Schrad. Ex Wendl y Phyllostachys aurea A&C. Riviere, Bull; utilizando dos procesos de digestión.

2. Evaluar la calidad del papel obtenido de las pulpas de cada especie y en cada proceso de digestión, por medio de sus propiedades dimensionales (gramaje y espesor o volumen) y fisico-mecánicas: resistencias a: la tensión, estallido, rasgado y al doble plegado.

5. HIPOTESIS

5.1. Bambusa vulgaris Schrad. Ex Wendl y Phyllostachys aurea A&C. Riviere, Bull, son especies de bambú, que son importantes fuentes de materia prima para la producción de pulpa celulósica, con rendimientos que las ubican junto a las especies maderables consideradas actualmente como las de mejor rendimiento en pulpa para la producción de papel.

5.2. Las dos especies, ofrecen buena calidad de pulpa, evaluadas en términos de sus propiedades dimensionales (espesor y gramaje) y fisico-mecánicas (resistencias a: la tensión, estallido, rasgado y doble peglado)

6. METODOLOGIA

6.1. Diseño estadístico

6.1.1. Localización

La investigación se realizó en las instalaciones del Instituto de Investigación y Tecnología Industrial - ICAITI- en la ciudad de Guatemala Avenida Reforma y 7 av. zona 10, bajo la supervisión del Dr. Jaime Valladares (ICAIT), Lic. Leticia Mena Marinelli e Ing. Agr. Negli Gallardo (Catedráticos de la Facultad de Agronomía, USAC). Los materiales utilizados como materia prima fueron obtenidos en los siguientes lugares:

1. Phyllostachys aurea A&C. Riviere, Bull.: San José Pinula, departamento de Guatemala.
2. Bambusa vulgaris Schrad. Ex Wendl: Finca Bulbuxyá, San Miguel Panan, Suchitepéquez, propiedad de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

6.1.2. Manejo Experimental

6.1.2.A. Diseño experimental

Para la evaluación del rendimiento de pulpa sin blanquear, se utilizó un diseño bifactorial al completo azar, siendo los factores: Factor a: especie de bambú y factor b: procesos de digestión, con 5 repeticiones. Para el análisis de la calidad de papel y por la existencia de TRES factores a evaluar (especies de bambú, método químico de producción de pulpa y grado de refinación de la pulpa °SR), se utilizó el diseño trifactorial con arreglo en Parcelas Subdivididas, en bloques al azar. Este arreglo es muy importante cuando se estudian tres factores y los niveles de algún factor con mayor precisión.

- a. Se utilizó una parcela grande (especie de bambú), una mediana (proceso de digestión) y una parcela o unidad experimental pequeña (grado de refinación de la pulpa).

b. La parcela pequeña, se distribuyó en bloques al azar.

A = con niveles de a1, a2, a3, a4, $i = 1 \dots a$

B = b1, b2 $j = 1 \dots b$

C = c1, c2, c3 $k = 1 \dots c$

Figura 1. Esquema de presentación de los factores evaluados

<u>Bambusa vulgaris</u> (a1)								<u>Phyllostachys aurea</u> (a2)							
Proceso kraft (a1)				Proceso sosa (b2)				Proceso kraft (a1)				Proceso sosa (b2)			
c4	c2	c3	c1	c2	c4	c3	c1	c4	c1	c2	c3	c3	c2	c4	c1

Se evaluaron: Especie de bambú = parcela grande,
 Procesos de digestión = parcela mediana
 Refinaciones de pulpa en °SR = unidades experimentales

Figura 2. Factores evaluados y revoluciones de refinación

A. ESPECIE DE BAMBU	B. PROCESO DE DIGESTION	C. REFINACIONES
<u>Bambusa vulgaris</u>	Proceso kraft	0 revoluciones
<u>Phyllostachys aurea</u>	Proceso sosa	2500 revoluciones
		3000 revoluciones
		4500 revoluciones

6.1.2.B. Ventajas de diseño:

- Facilita el manejo experimental
- El error experimental en la parcela pequeña y mediana es mínimo, por lo que es recomendable colocar en ella el factor más importante a investigar.
- Permite manejar la distribución en el campo cuando no se tienen espacios uniformes.

6.1.2.C. Desventajas del diseño:

- a. Análisis estadístico complicado
- b. Se pierde precisión en la estimación de efectos promedios de los tratamientos asignados a las parcelas grandes, suele frecuentemente aumentar la precisión en la estimación de los efectos de los tratamientos asignados a las parcelas pequeñas debido a que el error en la parcela grande es mayor que en la parcela pequeña.

6.1.2.D. Modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = M + A_i + R_j + E_{ij} + B_k + C_l + AB(ik) + AC(il) + BC(jk) + E_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijk}	=	Variable respuesta de la ijk -ésima unidad experimental
M	=	Efecto de la media general
A_i	=	Efecto del factor de la parcela grande (especie de bambú)
R_j	=	Efecto de las repeticiones de la parcela grande
E_{ij}	=	Efecto del error experimental asociada a la parcela grande
B_k	=	Efecto del factor B procesos de digestión
C_l	=	Efecto del factor C refinaciones de la pulpa
$AB(ik)$	=	Efecto debido a la interacción del j -ésimo nivel del factor A con los k -ésimo factores del nivel B
$AC(il)$	=	Efecto debido a la interacción del j -ésimo nivel del factor A con los k -ésimo factores del nivel C
$BC(kl)$	=	Efecto debido a la interacción del j -ésimo nivel del factor B con los k -ésimo factores del nivel C
E_{ijk}	=	Error experimental asociado a la parcela pequeña

6.1.2.E. Tratamientos

t_1	=	Testigo (tratamiento absoluto)
t_2	=	2500 rpm de refinación a la pulpa sin blanquear
t_3	=	3500 rpm de refinación a la pulpa sin blanquear
t_3	=	4500 rpm de refinación a la pulpa sin blanquear

6.1.2.F. Variables respuesta

2. Propiedades dimensionales: gramaje y espesor;
3. Propiedades físico-mecánicas de la pulpa no blanqueada: resistencias a: tensión, rasgado, explosión y dobleces)
4. Número de kappa de cada pulpa en cada proceso de digestión

6.2. Descripción del procedimiento de investigación

6.2.1. Preparación de la materia prima

Las dos especies evaluadas en esta investigación fueron seleccionadas y proporcionadas por la Facultad de Agronomía, provenientes de: Phyllostachys aurea San José Pinula, departamento de Guatemala, Bambusa vulgaris: Finca Bulbuxyá, San Miguel Panan, Suchitepéquez, propiedad de la Facultad de Agronomía, con una edad promedio de 5 años para las dos especies. Se utilizó el astillador para preparar astillas y su clasificado se realizó con la máquina clasificadora, para fines de investigación (8) las astillas utilizadas para la obtención de pulpas son aquellas que pasan un tamiz con aberturas circulares de 15 mm. de diámetro y que son retenidas por otro tamiz con abertura de 8 mm. de diámetro.

6.2.2. Obtención de pulpas:

La obtención de pulpas se realiza mediante un tratamiento químico denominado digestión; El proceso al sulfato, consiste en obtener pulpas, mediante el tratamiento químico de la materia prima denominado digestión, utilizando reactivos químicos basados en NaOH y Na₂S, con este proceso se pretende disolver la lignina, que entrelaza las fibras de celulosa, de manera que luego de la deslignificación, las fibras de celulosa quedan sueltas. En el proceso sosa, las astillas se someten a un proceso de digestión, frente a NaOH como único reactivo.

Las condiciones preestablecidas para estos procesos, fueron:

- Peso de la madera en base seca: 1,000 g.
- Alkali activo como Na₂O 14 por ciento.
- Sulfidez como Na₂O: 28 por ciento.
- Temperatura de digestión: 165 °C.
- Tiempo de elevación a 165 °C: 60 min.
- Tiempo de digestión: 120 min.
- Ciclo de cocción: 180 min.
- Relación licor/madera (hidrómulos): 5/1
- Presión: 7.5-8.0 Kpa.

La mezcla de astillas de madera y reactivos, se cargan en el digestor, se cierra éste y se acciona el sistema de agitación y calentamiento, las condiciones de tiempo y temperatura se controlan durante 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 la cantidad de álcali residual y los sólidos totales.

6.2.3. Lavado y depuración de pulpa

La pulpa semielaborada obtenida en la primera etapa de digestión se lava con agua con el objeto de eliminar la materia orgánica soluble y el álcali residual. Las fibras sueltas de pulpa, se desintegran mecánicamente, utilizando la licuadora durante 3 minutos a velocidad baja. Una vez desintegrada la pulpa se procede al depurado, removiendo los materiales indeseables (nudos, no cocidos, etc.). Por medio de un tamiz vibratorio plano con aberturas de 0.0254mm. se retienen porciones denominadas rechazo, los cuales se cuantifican para efectos de evaluar el rendimiento. La pulpa aceptada se recoge en sacos de lona.

6.3. Evaluación de la pulpa

6.3.1. Rendimiento de pulpa

A la pulpa aceptada se le elimina el exceso de agua utilizando una centrifugadora de sólidos, se obtiene un producto con una consistencia entre 30 y 35 por ciento. 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 que refleja el índice de contenido de lignina residual en la pulpa.

$$RT = RA + R,$$

donde: RT = Rendimiento total en base seca expresado en por ciento

RA = Rendimiento de pulpa en base seca, en por ciento

R = Rechazos expresados en g. y en por ciento en base seca

6.3.2. Determinación del Número Kappa.

Es el número de ml. de KMnO_4 , de concentración 0.1 N, consumido por un gramo de pulpa libre con humedad específica y bajo condiciones estándares. Los resultados son normales en términos de producción industrial de pulpa, si el consumo gira alrededor del 50 por ciento de KMnO_4 . Básicamente en el proceso de oxidación de la lignina a temperatura ambiente, el número kappa, es un factor que indirectamente puede reflejar el grado de blanqueo que puede ofrecer una pulpa determinada, debido a que proporciona una cuantificación de la concentración de lignina presente entre las fibras y cuya presencia, es evidente debido a la oscuridad u opacidad de la pulpa, cuantitativamente se determina así:

$$K = (p * f) / w$$

$$P = (b - a) * N / 0.1$$

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

donde: p = ml de KMnO_4 , 0.1 N consumidos por la muestra
 b = ml de tiosulfato de sodio consumidos sin muestra
 a = ml de tiosulfato consumidos con muestra
 N = Normalidad de tiosulfato de sodio
 f = Factor de corrección a 50 por ciento de consumo de KMnO_4
 w = gramos de pulpa en base seca, como muestra titulada

6.3.3. Alkali residual

Los valores de álcali residual indican el consumo de productos químicos durante el proceso de digestión y que tiene relación con el grado de deslignificación de la pulpa.

$$\%Ar = \{(ml. HCl * N^1) - (ml. I * N^2) / 2\} * 0.031 * Z$$

N^1 = Normalidad de la solución de HCl

N^2 = Normalidad de la solución de yodo

0.031 = meq. de Na_2O

$$Z = \frac{\text{Vol. del aforo} * \text{Hidrómetro} * 100}{(\text{ml. de licor} * \text{ml. de alicuota})}$$

6.4. Preparación de hojas

6.4.1. Refinación y determinación de grados Schopper Riegler °SR

El proceso de refinación tiende a modificar la estructura física de las fibras, produciendo los siguientes efectos:

- propiciar una mejor estructura de colocación de fibras
- Reducción del área de entrelazamiento de fibras
- Inducir mejor disposición de fibras
- formación de estructuras finas de tejidos fibrosos
- Aumentar la probabilidad de uniones entre fibras

La refinación de la pulpa, tiene por objeto mejorar la disposición de las fibras para mejorar sus propiedades físico-mecánicas. El refinador es un molino eléctrico PFI provisto de una carcasa, la cual ejerce acción sobre la muestra de pulpa de 30 g. en bases seca con un 10 por ciento de consistencia, la presión que el rotor del molino, ejerce sobre la muestra es de 3.4 kg/cm². Se hacen tres refinaciones, con distintas revoluciones, por cada refinación, se determina el grado de desgote o "Freeness". El grado de desgote expresa la facilidad con que una pulpa deja fluir el agua y se mide en grados Schopper Riegler °SR (dimensionales de Canadian Standard Freeness). Se hace una medición de desgote con pulpa sin refinar y luego tres con muestras a distintas revoluciones en un rango de 15 a 60 °SR, para luego interpolar a 45 °SR.

6.4.2. Preparación y formación de hojas

Luego de la refinación se preparan 10 hojas, en el equipo y máquina formadora de hojas. Se someten a un presecado en la máquina prensadora a más o menos 4.13 kg/cm². Se acondicionan en un ambiente aclimatado con condiciones de humedad relativa y temperatura controladas (23 °C +/- 2 °C y 50% +/- 3% de HR). Las hojas se colocan en las coronas y se llevan al cuarto de aclimatación, para ser usadas en las pruebas

dimensionales y fisicomecánicas, previo a la determinación de humedad, mediante una muestra secada en el horno.

6.5. Evaluación de la calidad de papel obtenido

6.5.1. Propiedades dimensionales

El peso promedio de seis hojas se corrige mediante un factor de humedad y se expresa en g/m^2 se multiplica este valor por factor de humedad, respecto al espesor la medición se hizo con un micrómetro, tomando varias lecturas en diferentes partes del papel, con el dato de gramaje se corrige el cálculo del índice de volumen.

6.5.2. Propiedades de resistencia

La resistencia a la tensión que soporta una tira de papel antes de romperse. Esta resistencia límite se denomina carga de ruptura. Se evalúan diez tiras de papel (15 mm. de ancho por 150 mm. de longitud). Para la resistencia al doble plegado se mide el número de dobleces sucesivos que la tira de papel puede soportar, la muestra se somete a una presión de 1 kg. a esfuerzos de flexión hasta que se rompa, se hacen diez lecturas; para la resistencia al estallido, se mide la presión hidrostática requerida para producir la ruptura de un material, cuando esta se aplica perpendicularmente a la superficie, a una razón creciente y controlada. En cada sección o corte correspondiente a esta prueba se hacen tres ensayos. La resistencia al rasgado se mide en una escala calibradora para determinar la fuerza realizada en función de la distancia.

7. RESULTADOS Y DISCUSION

7.1. Rendimiento de pulpa no blanqueada

La especie Bambusa vulgaris en la digestión sosa, reportó un rendimiento de 47.60 por ciento, mientras que frente a kraft reportó 41.26 por ciento, respecto a Phyllostachys aurea, digestión kraft reportó 42.19 por ciento en rendimiento y 42.87 por ciento en la digestión sosa. Estadísticamente Bambusa vulgaris frente a digestión sosa presentó el mejor resultado, le sigue Phyllostachys aurea. La calificación de una pulpa para fines papeleros, incluye tanto la evaluación de su rendimiento así como sus propiedades físico-mecánicas, el análisis de la calidad de papel, se presenta más adelante.

Cuadro 4. Rendimientos en base seca obtenidos de las especies de bambú.

DIGESTION Especie de bambú	Rendimiento por ciento			Número Kappa	Sólidos en g/l
	TOTAL	Tamizado	Rechazos		
<u>B. vulgaris</u>					
Kraft	41.26	41.10	0.16	21.00	65.70
Sosa	47.60	47.47	0.13	34.00	87.98
<u>Phyllostachys aurea</u>					
Kraft	42.19	42.13	0.06	31.60	102.30
Sosa	42.87	42.79	0.08	47.00	78.43

El cuadro 4, presenta los rendimientos de las especies evaluadas, los cuales se ubican dentro del rango de valores de otras especies consideradas como excelentes fuentes de materia prima para la producción de celulosa, por ejemplo, las especies de eucalipto Eucalyptus tereticornis y Eucalyptus maculata, rinden entre 43.95 y 49.10 por ciento en base seca. Otra especie Gmelina arborea según estudios del ICAITI, reporta 49.72 por ciento, de manera que las especies evaluadas de bambú, pueden calificarse como una posible fuente de materia prima para la industria papeleras, por sus rendimientos en base seca.

7.2. Análisis del número kappa

En cuanto al análisis de número kappa (sin dimensionales porque es un valor de grado de deslignificación durante el proceso de pulpeo), los valores de eucalipto se ubican a un rango de 22.4 y 47.7; Eucaliptus tereticornis, reporta un kappa de 48, mientras que el rango de valores para bambú se ubica en 21 y 47. Bambusa vulgaris, digestión kraft tiene un kappa de 21 y las otras pulpas, reportaron valores entre 31 y 47 de número kappa, la especie Phyllostachys aurea, presentó el valor más alto de número kappa que fue de 47, pero esto no es parámetro para descartarla para fines papeleros, aunque se considerarían otros elementos de su proceso de blanqueo como: costos, propiedades físicas y mecánicas, impacto ambiental, etc.

Los sólidos totales reflejan la cantidad de lignina y otros materiales orgánicos disueltos en el licor de digestión y pueden ser impurezas o incocidos durante el proceso de pulpeo. Los valores obtenidos para Bambusa vulgaris (65.70 g/l kraft y 87.98 g/l sosa) y los de Phyllostachys aurea (102.30 g/l kraft y 78.43 g/l sosa) no presentan diferencias significativas, de acuerdo a los criterios que se manejan para el proceso al sulfato, estos valores de sólidos totales son normales (3).

En el proceso de tamizado de la pulpa, para la cuantificación del rendimiento se determinó una cantidad de rechazos presentes en la pulpa, después del proceso de digestión (nudos, entrenudos, incocidos, etc.) los mismos fueron de 0.13 y 0.16 por ciento para Bambusa vulgaris y para Phyllostachys aurea fueron de 0.06 y 0.08 por ciento respectivamente. Estos valores indican que las pérdidas que ocasiona el proceso de digestión de la pulpa son mínimas y que el aprovechamiento en pulpa se refleja en un porcentaje alto.

7.3. Análisis de la calidad de pulpa

Cuadro 5. Resultados de las propiedades físico-mecánicas.

Espece de bambú	Refinación rev.	Gramaje g/cm ²	Indice de Volumen cc/g	Indice de tensión Nm/g	Indice de estallido kPam ² /g	Indice de rasgado mNm ² /g	Dobleces Mit/kg
Proceso kraft							
<u>B. vulgaris</u>	4,300	60.9877	1.9633	66.8544	5.4808	13.0031	395
<u>Ph. aurea</u>	2,900	59.9732	2.0134	47.0278	3.6481	9.9146	5
Proceso sosa							
<u>B. vulgaris</u>	4,500	61.0333	1.9743	73.4739	5.9693	14.4288	395
<u>Ph. aurea</u>	3,250	60.2755	2.2149	41.1951	2.8940	10.1469	5

El análisis general, indica que Bambusa vulgaris, presenta los mejores valores, en los dos procesos de digestión, valores más altos que Phyllostachys aurea. Estas propiedades reflejan las virtudes de esta planta para fines papeleros, otras especies como el pino, el eucalipto y otras latifoliadas, se consideran como las fuentes de materia prima, con garantías absolutas de mejor calidad, sin embargo, y de acuerdo con los parámetros con que trabaja la industria papelera, estos valores que reportan las especies de bambú, inclusive la Phyllostachys aurea pueden considerarse como alternativas novedosas y prometedoras de materia prima, tanto para producir papel comercial de calidad, como para producir planchas de pulpa, para fines comerciales que exigen una calidad secundaria.

A continuación se presentan un análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de cada pulpa:

2). **Indice de estallido:** Al igual que el análisis anterior, Bambusa vulgaris proceso sosa y kraft presentó los mejores resultados con el valor más alto 5.96 kPam²/g, respecto a Phyllostachys aurea sus valores de índice de estallido fueron inferiores a la otra especie, su valor más alto a penas reportó 2.89 kPam²/g. El estallido tiene particular importancia, porque refleja la capacidad que puede tener la tira de papel, para soportar la presión hidrostática que provoca su ruptura cuando se vence su resistencia.

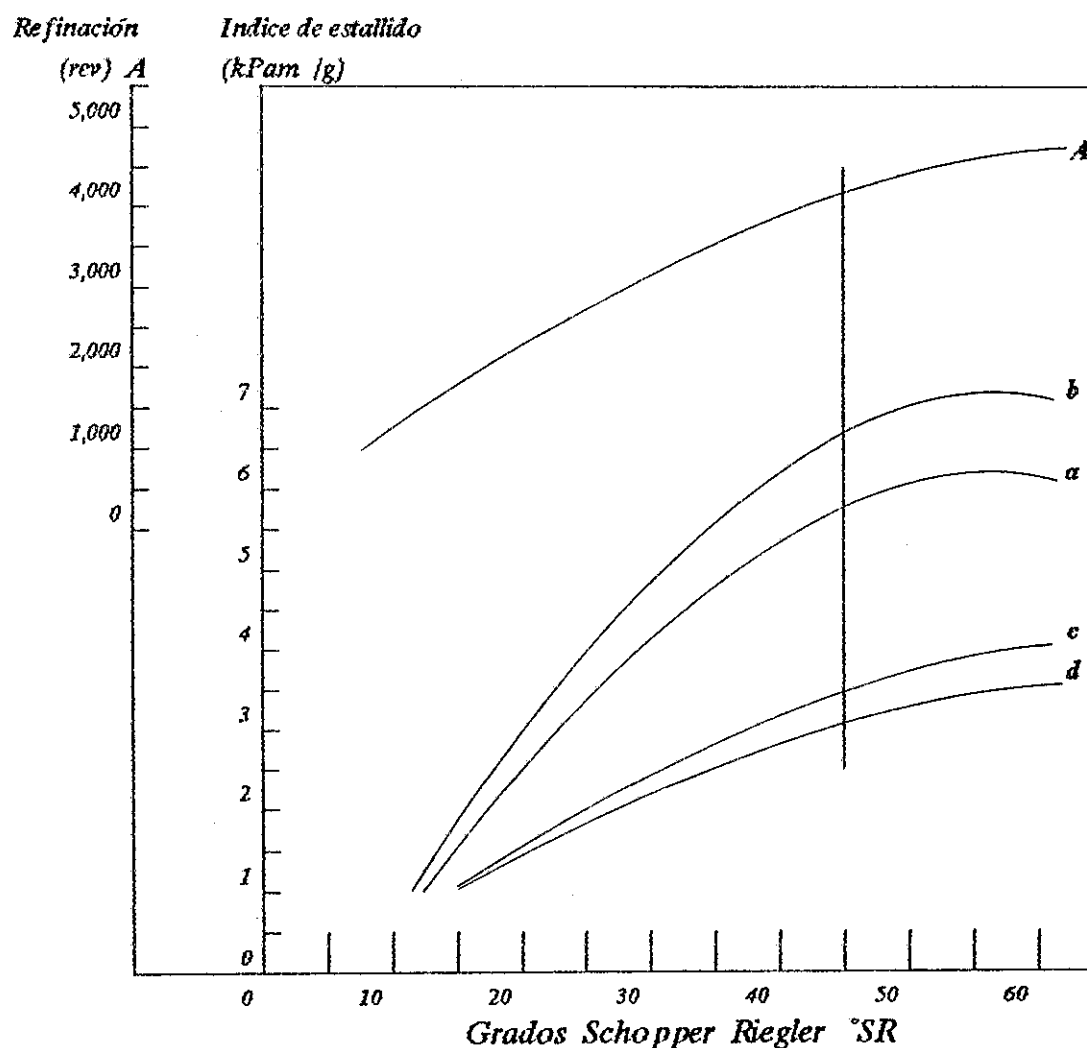


Figura 4. Índices de estallido de las pulpas evaluadas a 45 °SR versus grado de refinación

Referencias: a = Bambusa vulgaris, kraft
b = Bambusa vulgaris, sosa

c = Phyllostachys aurea, kraft
d = Phyllostachys aurea, sosa

3). **Indice de rasgado:** Para esta evaluación Bambusa vulgaris proceso sosa y proceso kraft presentó los mejores resultados, su valor más alto fue de 14.43 mNm²/g, en cuanto a Phyllostachys aurea sus valores de índice de tensión fueron muy inferiores. La siguiente figura nos indica que Bambusa vulgaris fue siempre superior a Phyllostachys aurea, si la resistencia al rasgado se traduce como el trabajo necesario, expresado en energía potencial que debe desarrollar la tira de papel, hasta romperse Bambusa vulgaris posee una buena resistencia, característica que es positiva para la producción de pulpa de calidad.

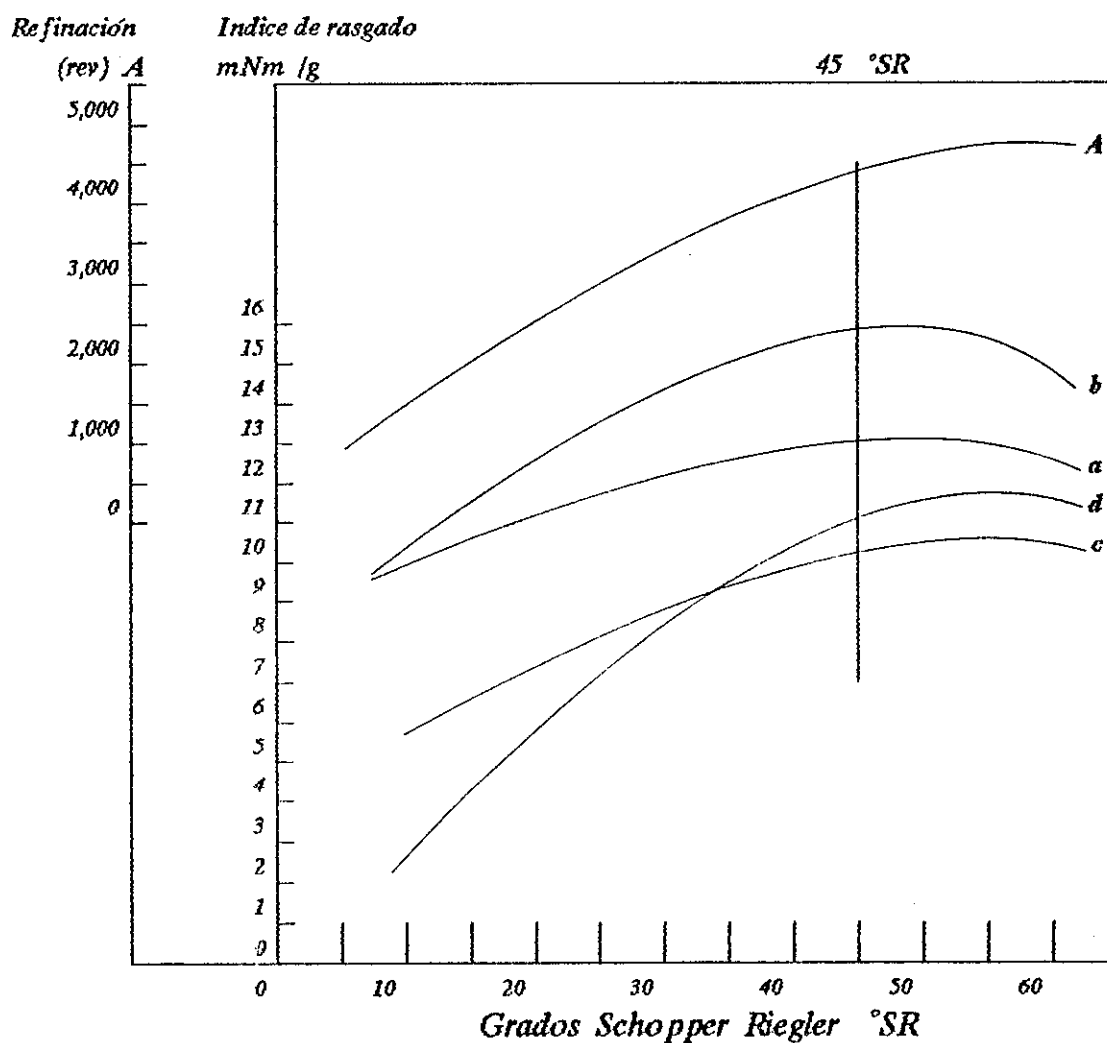


Figura 5. Índices de rasgado de las pulpas evaluadas a 45 °SR, versus grado de refinación.

Referencias: a = Bambusa vulgaris, kraft c = Phyllostachys aurea, kraft
 b = Bambusa vulgaris, sosa d = Phyllostachys aurea, sosa

5) **Índice de volumen:** El índice de volumen expresado en cc/g disminuye a medida que aumenta la refinación entre fibras. Según la siguiente figura, de las dos especies en el proceso kraft, Bambusa vulgaris, presenta un menor índice de volumen (1.9633 cc/g), mientras que Phyllostachys aurea presentó un índice relativamente mayor (2.0134 cc/g), esto podría deberse a las características particulares de las fibras, por ejemplo: diámetro de fibra, grado de entrecruzamiento de fibras, un estudio sobre diámetros de fibras de bambú, aumentaría la información para fines papeleros.

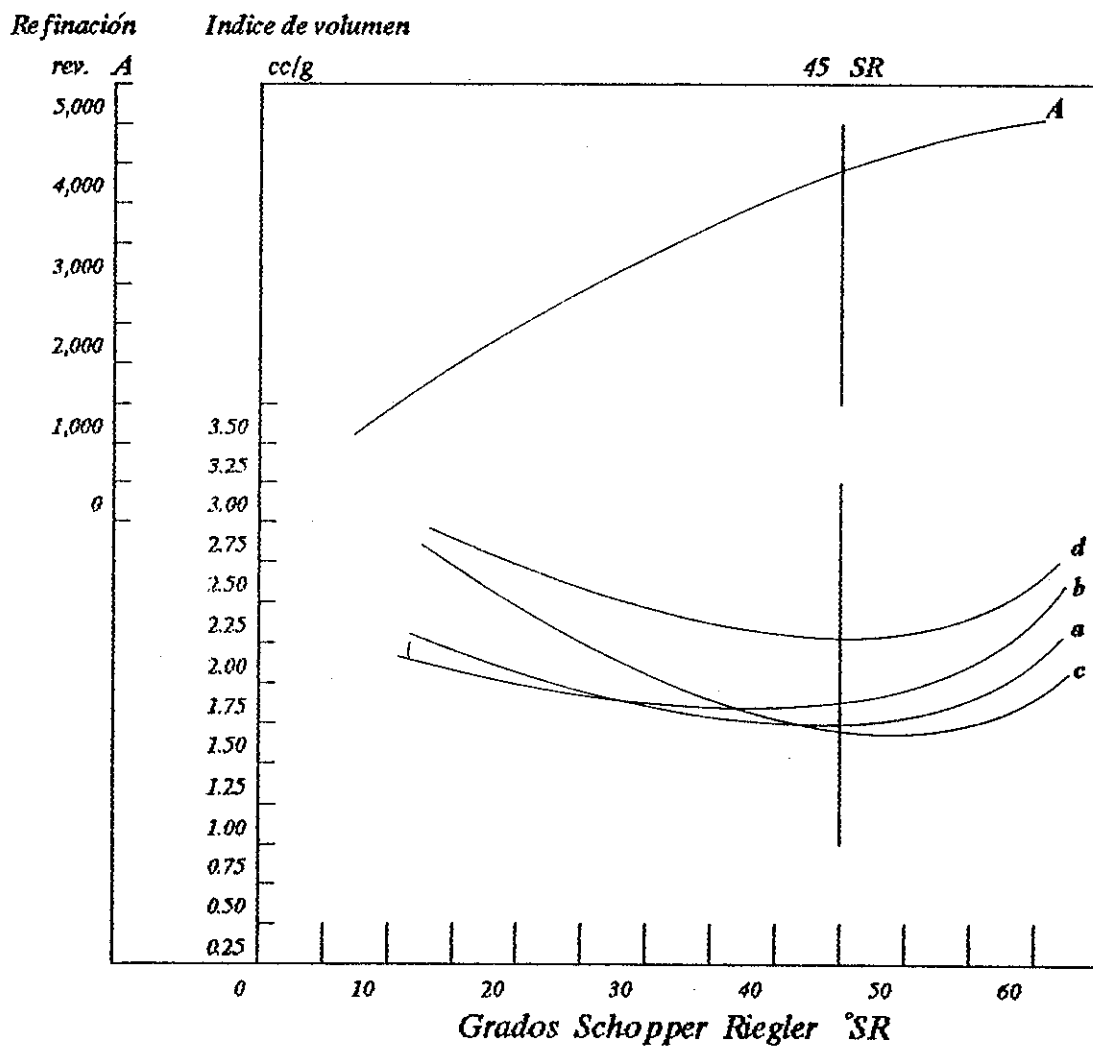


Figura 7. Índices de volumen de las pulpas evaluadas a 45 °SR, versus grado de refinación.

Referencias: a = Bambusa vulgaris, kraft c = Phyllostachys aurea, sosa
 b = Bambusa vulgaris, sosa d = Phyllostachys aurea, kraft

8. CONCLUSIONES

1. Bambusa vulgaris y Phyllostachys aurea, reportan rendimientos que estadísticamente no tienen diferencias significativas (cuadro 10A) y cuyos valores (42 - 47 por ciento) las coloca junto a las especies leñosas y maderables consideradas actualmente como importantes fuentes de materia prima, por ejemplo especies de eucalipto (Eucaliptus sp.), de esta manera se confirma la hipótesis planteada en términos de rendimiento.
2. En cuanto a la calidad de pulpa Bambusa vulgaris en las dos digestiones, presentó los mejores resultados en todas las resistencias (figuras 10A y 11A), mientras que Phyllostachys aurea, en las dos digestiones fueron totalmente inferiores (figuras 12A y 13A). Lo anterior fue confirmado en los análisis de varianza, donde se registraron significancias entre especies y al analizar la interacción especie y proceso estos no registraron significancia (cuadros 11A al 14A). En conclusión sólo Bambusa vulgaris posee indicadores óptimos de calidad de pulpa, en este sentido la hipótesis planteada se acepta parcialmente, porque de las dos especies evaluadas solo una, reportó resultados óptimos.
3. El número kappa, es un indicador implícito al rendimiento y a la calidad de papel desde el punto de vista de propiedades fisico-mecánicas, estadísticamente se registraron diferencias entre especies e interacciones (especies y procesos de digestión). La especie que presenta un número kappa levemente inferior a las demás pulpas evaluadas fue Bambusa vulgaris digestión kraft, sin embargo, las pulpas evaluadas reportan números kappa ubicados en un promedio que según el ICAITI (3,18) es calificado como de grado blanqueable, esto sumado a los resultados de rendimientos, califica al bambú como especie de interés para la industria papelera, especialmente Bambusa vulgaris

9. RECOMENDACIONES

1. La consideración del cultivo a nivel comercial de especies de bambú para fines papeleros, especialmente Bambusa vulgaris podría representar una fuente alternativa de obtención de dividendos para el país.
2. Las especies de bambú, tienen la característica de poder adaptarse fácilmente a diferentes ambientes ecológicos, obviamente, si se analiza el contexto nacional, Guatemala posee una amplia gama de condiciones climáticas, que constituyen un importante factor beneficioso para la producción en escala comercial de especies de bambú; de manera que se recomienda, evaluar otras especies y variedades de bambú, que puedan ser una alternativa y quizás con mejores cualidades que las evaluadas.
3. Evaluar la posibilidad de blanqueo de Bambusa vulgaris, para determinar la calidad de papel comercial que se puede producir.

10. BIBLIOGRAFIA

1. ARMIRA, P.A. 1989. Evaluación de seis tipos de esquejes de Bambusa arundinacea, Bambusa vulgaris y Gigantocloa verticilata. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 70 p.
2. CASERES, R.; RODRIGUEZ DE C.L. 1982. Obtención de pulpas celulósicas a partir de diferentes especies de bambú. Colombia, Universidad de Stander, Facultad de Ciencias, Centro de Investigaciones de Celulosa y Papel. 120 p.
3. CHINCHILLA, M.E. 1989. Obtención y evaluación de pulpas celulósicas y papel sin blanquear y blanqueados frente a proceso kraft, a partir de tres especies de eucalipto. Tesis Ing. Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. 86 p.
4. FAO (Italia). 1980. Regional office for Asia and the paper east. Italia. Informe de Reserva Forestal. 40 p.
5. GIRON, E.M. 1975. Evaluación de dos maderas latifoliadas del Petén para producir pulpa y papel con el proceso al sulfato. Tesis Ing. Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. 15 p.
6. GUATEMALA. MINISTERIO DE ECONOMIA; UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS Y SOCIALES. 1985. Consecuencias ecológicas y socioeconómicas del funcionamiento de la empresa celulosa y papel, S. A. CELGUSA. Guatemala. Boletín Informativo, pte.1, 8 p.
7. HARTMANN, N.T.; KESTLER, D.E. 1984. Propagación de plantas, sus principios y prácticas. México, CECSA. 734 p.
8. HIDALGO LOPEZ, O. 1974. Bambú, su cultivo y aplicaciones en la fabricación de papel, construcción, arquitectura e ingeniería así como en la artesanía. Cali, Colombia, Estudios Técnicos Colombianos. 318 p.
9. HOLTZMAN E.; NOVIKOFF. A. 1981. Estructura y dinámica celular. 2 ed. México, Interamericana. p. 102, 209, 213- 215.
10. INTERNATIONAL ATOMIC AGENCY (Suiza). 1970. Pregnated fibrous materials report of a study group. Vienna, Suiza. p. 10-20.
11. McCLURE, F.A. 1955. Flora of Guatemala. USA, Chicago, Natural History Museum, Fieldiana Botany. v. 24, pte.2. 390 p.
12. MENA, M.O. 1976. Análisis físico-mecánico y morfológico de seis especies de maderas latifoliadas de Petén. Tesis Lic. Farm. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. 25 p.

13. PORRES, C.; VALLADARES, J. 1981. Evaluación técnica de una mezcla de maderas latifoliadas del bosque tropical centroamericano, por el proceso Kraft. En Congreso Latinoamericano de celulosa y papel. 2, 1981, memoria. España, ICAITI. p. 2-12.
14. PORRES C.; VALLADARES, J. 1985. Producción de pulpa con 17 especies de maderas tropicales de Petén, Guatemala; pulpa y papel con materias primas autóctonas Centroamericanas. Guatemala, ICAITI. Informe técnico. p. 79-122.
15. REYES, C.P. 1982. Diseños de experimentos aplicados. 2 ed. México, Trillas. p. 80-120, 270-280.
16. RODAS CAMAS, O. 1989. Obtención y evaluación de pulpas celulósicas y papel sin blanquear y blanqueados, por el proceso Kraft, a partir de tres especies de eucalipto. Tesis Ing. Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. 86 p.
17. VALIENTE NAVARRO, M. 1985. Utilización de especies de bambú en el diseño de viviendas para la región suroccidental de Guatemala. Tesis Arq. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura. 45 p.
18. VALLADARES, J.; PORRES, C. 1982. Situación actual y perspectivas de desarrollo de la industria celulósica en Centroamerica. Guatemala, ICAITI. 12 p.
19. VALLADARES, J. 1975. Situación industria de la pulpa y papel en Centroamérica. Guatemala, ICAITI. Boletín No. 13. 12 p.
20. WHITE, A.; HANDLER, P. 1983. Principios de bioquímica. 2 ed. México, McGraw-Hill. 1100 p.

Yo. Bo. *Rolando Barrios.*



ANEXOS

1. Equipos, instrumentos y materiales de laboratorio

1.1. Equipo especial de laboratorio

- Máquina ensayadora del doble plegado MIT, determinación de la resistencia de los papeles a los dobleces
- Aparato Mullen para papeles, modelo C, determinación de la resistencia al estallido.
- Dinamómetro de tracción Schopper, para la determinación de la resistencia a la rotura por la tensión del papel
- Máquina ensayadora Elmendorf, que se utiliza para la determinación de la resistencia al rasgado.
- Micrómetro de banco eléctrico, para la determinación de espesores
- Balanza analítica, tipo Sauter 0-2000 g. para determinación de peso de reactivos y gramaje de hojas.
- Balanza convencional para pesar pulpa sin blanquear
- Digestor para pulpeo químico, rotatorio de 2 rpm, de 15 litros de capacidad, calentado por resistencia eléctricas.
- Aparato Schopper Riegler y Aparato PFI para refinación de pulpas
- Tamizador, con ranuras de 0.0254 m. de diámetro
- Aparato tamizador de astillas, Horno y potenciómetro
- Aparato de centrifuga, para eliminar humedad en la pulpa
- Aparato refinador de pulpa
- Termómetro, en el cuarto aclimatado
- Estandarizador de humedad y sequedad
- Licuadora, utilizada para determinar número kappa.

1.2. Instrumentos especiales y cristalería

- pipetas, para preparar reactivos
- buretas, para titulaciones de KMnO_4
- Beacker, para determinar humedad en base seca
- Probetas, para la preparación de mezclas de reactivos
- Pinzas, especiales para remover pulpa en el digestor
- Espátulas, para remoción de pulpas en el refinador
- Guillotina, especial para cortar hojas sin blanquear
- Cuchillas especiales para preparar tiras de papel
- Prensador de hojas, para estandarización
- Cajas de petri, para determinar sequedad de pulpa

1.3. Materiales especiales, para pulpeo y obtención de papel

- Botas especiales para pulpeo químico
- Mascarilla para pulpeo químico

- Cubeta de acero inoxidable
- Bolsas de plástico, para almacenar la pulpa sin blanquear
- Sacos de lona, para eliminar humedad
- Mesas para elaboración de hojas de pulpa sin blanquear

1.4. Análisis de licor y propiedades fisicomecánicas del papel obtenido:

1.4.1. Preparación de licor:

$m =$ peso de la madera en base seca = m

$H =$ concentración en peso de humedad de madera = por ciento

$n =$ peso de la madera en base húmeda

$$n = 100g / (100 - H) \quad g$$

$a =$ peso del agua presente en la madera = $n - m$ g

$A =$ concentración en peso de álcali (NaOH como Na_2O) sobre peso de la madera seca

$s =$ concentración en peso de sulfuro (Na_2S) como Na_2O) sobre peso de la madera seca

$AA =$ concentración en peso de álcali activo sobre el peso de la madera seca

$$AA = A + s = 16 \text{ por ciento}$$

$S =$ relación porcentual entre sulfuro de sodio y el álcali activo (sulfidez)

$$S = 100 s / (s + A) = 25 \text{ por ciento}$$

1.4.2. Propiedades físico-mecánicas, factores de conversión utilizados (3).

a. Gramaje o peso en base seca (r):

$$r = W(h) * z / 0.01973$$

donde:

$w(h) =$ peso húmedo de hojas acondicionadas

$z =$ por ciento de sequedad de las hojas

0.01973 = área de hoja de 15.85 cm de diámetro

b. Espesor o calibre (um)

$$e = \text{espesor en lectura de milésimas de plg} * 25.4$$

c. Índice de volúmen o mano (IV)

$$IV = e / r$$

d. Índice de explosión o estallido (IE)

$$IE = E / r$$

$E =$ fuerza de estallido en $lb/plg^2 * 6.895$

e. Índice de tensión (m/g^2)/m (IT)

$$IT = T * 653.7 / r$$

donde:

$T =$ carga en kg.

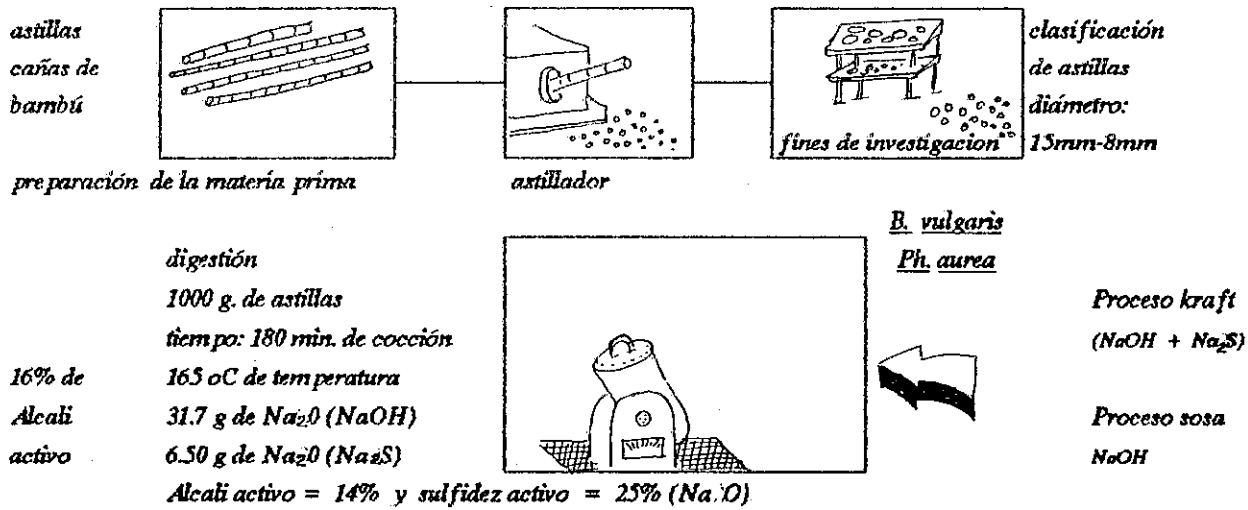
653.7 = aceleración / ancho tira del papel, es decir: $9.807 / 0.015$

f. Índice de rasgado (IR)

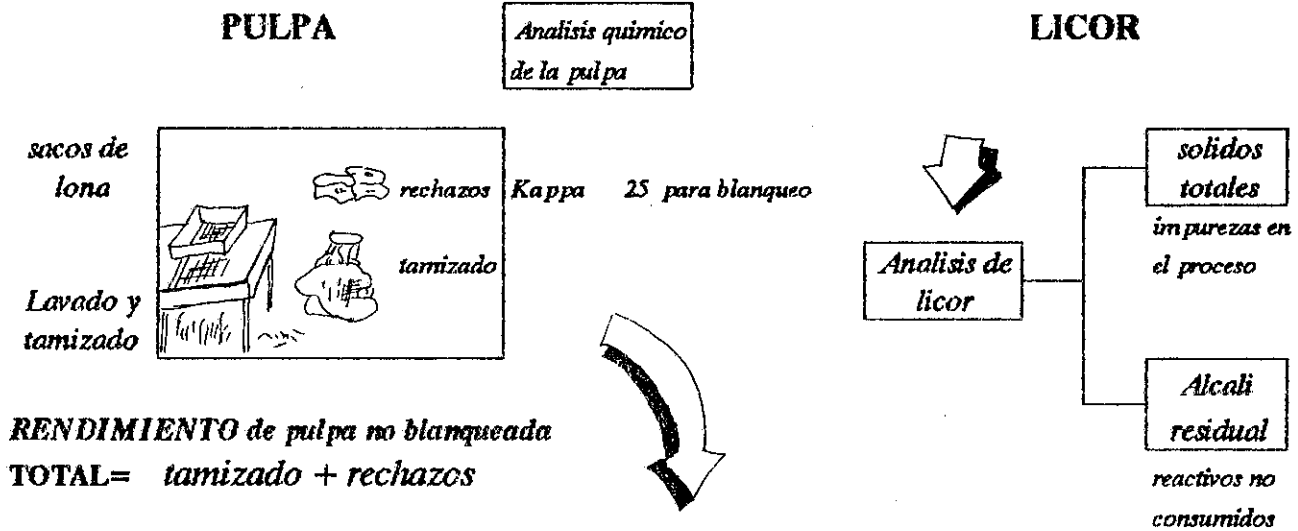
$$IR = R / r$$

donde: $R =$ fuerza de rasgado en $g(f) * 9.807$

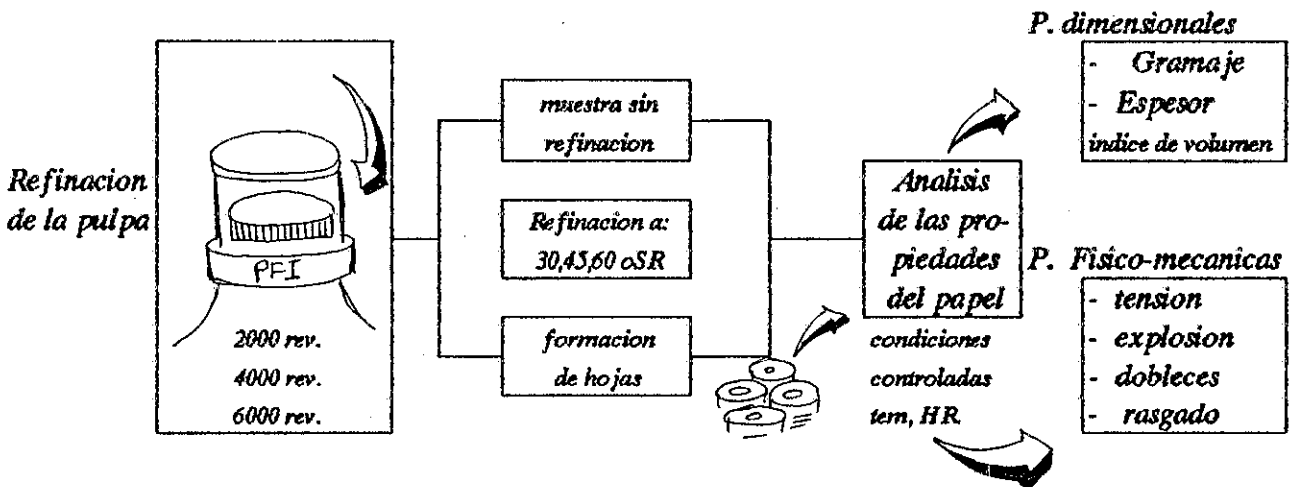
Figura 8A. Flujoograma del proceso de pulpeo y análisis de la calidad de pulpa

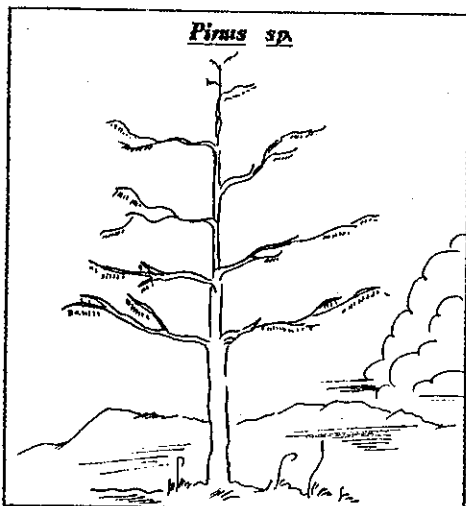


PRODUCTOS

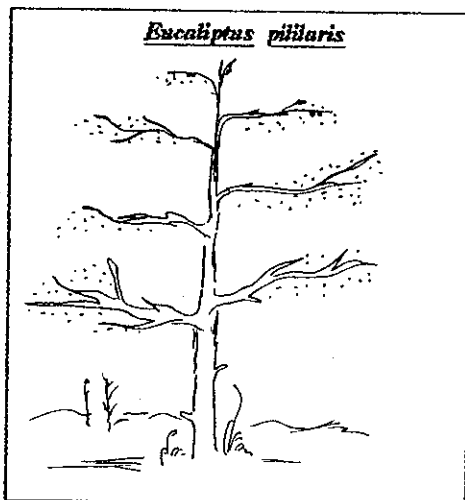


ANALISIS DE LA CALIDAD DE PAPEL

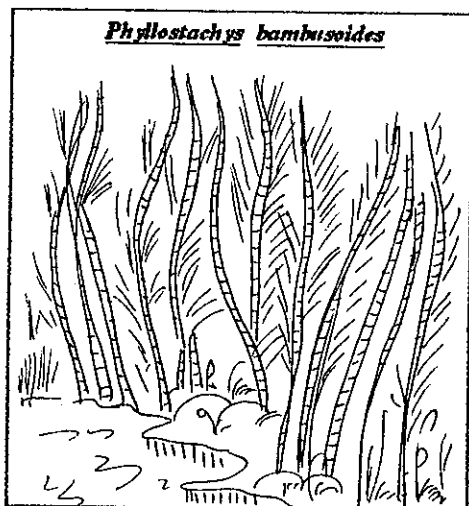




- Crecimiento lento (15 - 20 años) para fines papeleros
- Pocas reservas en el mundo, especie considerada en riesgo
- No regenera, obligadamente se debe renovar la plantación
- Rendimientos entre: 50 - 60%
- Produce pulpas de fibra corta
- Aprovechable en 70-80% (corteza, ramas y hojas)
- Para el transporte, se requiere de medios pesados
- Altas exigencias de condiciones edáficas y climáticas
- Tiene amplia distribución en Guatemala



- Crecimiento rápido para fines papeleros
- Amplias reservas en el mundo, aunque ahora
- Regenera excepto algunas especies que deben renovarse
- Rendimientos mínimos de 50% de pulpa en base seca
- Produce pulpas de fibra corta
- Aprovechable en 80-90% (ramas, nudos y hojas)
- Para el transporte se requiere maquinaria pesada
- Tiene altas exigencias de condiciones edáficas y climáticas
- Distribución en Guatemala
- Número kappa: 23 - 25



- Rápido crecimiento, facilidad para su cultivo y transporte
 - Extensas reservas en el mundo, solo Asia posee alrededor de 30 millones de Ha. de bambú.
 - A los 3 años puede disponer de fibra útil para pulpa
 - Planta perenne, brotan renuevos una vez se cortan sus cañas
 - Fibras contienen altas cantidades de alfa celulosa
 - fibras mas largas que ancho, apropiado para papeles finos
 - Rendimiento excelente:
- Experimento realizado en EE.UU.
- Especie de pino: Pinus loblolly =
 $Rt = 15,870 \text{ libras/Acre en bs.} = 20 \text{ kg/ha.}$
- Especie de bambu: Phyllostachys bambusoides:
 $Rt = 27,794 \text{ libras/Acre en bs.} = 35.7 \text{ Kg/ha.}$
 incluyendo solo las ramas

Figura 9A. Comparación entre dos especies leñosas y una especie de bambú (3)

Cuadro 6A. Propiedades fisico-mecánicas de pulpa sin blanquear de Bambusa vulgaris Schrad. Ex Wendl. Frente al proceso kraft (NaOH + Na₂S)

Resistencias fisico-mecánicas de la pulpa:

PFI rev.	Desgote °SR	Gramaje g/m ²	Grosor um	Resistencia a:			
				Tensión N/m	Estallido kPa	Rasgado mN	Dobleces MIT/1kg.
0	17	61.0694	142.9004	1,550.77	96.4178	686.4655	6
2,800	32	60.1705	114.9096	3,583.42	300.1059	822.4510	263
4,300	45	60.9877	119.7356	4,077.30	334.2631	793.0311	395
6,000	62	60.5804	114.6048	4,222.11	348.8802	751.1894	448

Indices de tensión de la pulpa:

PFI rev.	Desgote °SR	Gramaje g/m ²	Indice de volumen cm ³ /g	Indices de:			
				Tensión Nm/g	Estallido kPam ² /g	Rasgado mNm ² /g	Dobleces MIT/1kg.
0	17	61.0694	2.3400	25.3935	1.5788	11.2407	6
2,800	32	60.1705	1.9097	59.5544	4.9876	13.6687	263
4,300	45	60.9877	1.9633	66.8544	5.4808	13.0031	395
6,000	62	60.5804	1.8918	69.6944	5.7590	12.3999	448

Cuadro 7A. Propiedades físico-mecánicas de pulpa sin blanquear de Bambusa vulgaris Schrad. Ex Wendl. Frente al proceso sosa (NaOH).

Resistencias físico-mecánicas de la pulpa:

PFI rev.	Desgote °SR	Gramaje g/m ²	Grosor um	Resistencia a:			
				Tensión N/m	Estallido kPa	Rasgado mN	Dobleces MIT/1kg.
0	14.7	60.8927	165.7096	1,549.46	109.4905	696.0564	6.82
3,000	30.7	61.3123	128.1176	3,552.77	327.3682	897.3085	256.82
4,500	45.5	61.0333	120.4976	4,484.35	364.3247	880.6372	393.68
5,500	60.0	60.8199	114.8588	4,686.01	405.8318	823.7586	467.24

Indices de tensión de la pulpa:

PFI rev.	Desgote °SR	Gramaje g/m ²	Indice de volumen cm ³ /g	Indices de:			
				Tensión Nm/g	Estallido kPam ² /g	Rasgado mNm ² /g	Dobleces MIT/1kg.
0	14.7	60.8927	2.7213	25.4457	1.7981	11.4309	6.82
3,000	30.7	61.3123	2.0896	57.9455	5.3394	14.6350	256.82
4,500	45.5	61.0333	1.9743	73.4739	5.9693	14.4288	393.68
5,500	60.0	60.8199	1.8885	77.0472	6.6727	13.5442	467.24

Cuadro 8A. Propiedades físico-mecánicas de pulpa sin blanquear de *Phyllostachys aurea* A&C. Riviere, Bull. Frente al proceso kraft (NaOH + Na₂S)

Resistencias físico-mecánicas de la pulpa:

PFI rev.	Desgote °SR	Gramaje g/m ²	Grosor um	Resistencia a:			
				Tensión N/m	Estallido kPa	Rasgado mN	Dobleces MIT/1kg.
0	12.70	60.3976	171.3992	560.49	29.5828	282.9545	1
1,910	29.30	60.1999	127.9650	2,261.95	156.5879	526.0941	15.06
2,900	44.76	59.9732	120.7516	2,820.41	218.7859	594.6099	40.22
4,020	58.10	60.6861	114.4016	3,466.05	259.0432	622.3300	90.08

Indices de tensión de la pulpa:

PFI rev.	Desgote °SR	Gramaje g/m ²	Indice de volumen cm ³ /g	Indices de:			
				Tensión Nm/g	Estallido kPam ² /g	Rasgado mNm ² /g	Dobleces MIT/1kg.
0	12.70	60.3976	2.8378	9.2799	0.4898	4.6849	1
1,910	29.30	60.1999	2.1257	37.5740	2.6011	8.7391	15.06
2,900	44.76	59.9732	2.0134	47.0278	3.6481	9.9146	40.22
4,020	58.10	60.6861	1.8851	57.1145	4.2686	10.2549	90.08

Cuadro 9A. Propiedades fisico-mecánicas de pulpa sin blanquear de *Phyllostachys aurea* A&C. Riviere, Bull. Frente al proceso sosa (NaOH).

Resistencias fisico-mecánicas de la pulpa:

PFI rev.	Desgote °SR	Gramaje g/m ²	Grosor um	Resistencia a:			
				Tensión N/m	Estallido kPa	Rasgado mN	Dobleces MIT/1kg.
0	11.7	59.8860	190.2460	303.35	17.5130	190.0529	0
2,210	29.6	60.4321	138.8872	2,195.52	139.1384	555.0564	8.27
3,250	45.1	60.2755	133.5024	2,483.06	174.4401	611.6081	18.36
4,420	59.6	60.5111	126.4920	2,899.25	199.9511	634.4903	31.26

Indices de tensión de la pulpa:

PFI rev.	Desgote °SR	Gramaje g/m ²	Indice de volumen cm ³ /g	Indices de:			
				Tensión Nm/g	Estallido kPam ² /g	Rasgado mNm ² /g	Dobleces MIT/1kg.
0	11.7	59.8860	3.7668	5.0655	0.2924	3.1736	0
2,210	29.6	60.4321	2.2982	36.3304	2.3024	9.1848	8.27
3,250	45.1	60.2755	2.2149	41.1951	2.8940	10.1468	18.36
4,420	59.6	60.5111	2.0904	47.9128	3.3044	10.4855	31.26

Cuadro 10A. Análisis de varianza para rendimientos y número kappa de pulpa de las especies de bambú evaluadas.

Especie de bambú: Phyllostachys aurea A&C. Riviere, Bull.
Bambusa vulgaris Schrad Ex Wendl.

Proceso de digestión: Proceso kraft (NaOH+Na₂S) y
Proceso sosa (NaOH)

Rendimiento de pulpa sin blanquear evaluadas:

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	f = 0.05		0.05 de signif.
				F cal.	F tab.	
Tratamientos	3	5.3239	1.746	0.808	3.28	NS
Factor A	1	0.4848	0.485	0.224	12.7	NS
Factor B	1	2.5934	2.593	1.200	12.7	NS
Interacción AB	1	2.1609	2.161			
Error	16	36,020.40	2,251.27			
TOTAL	19	36,025.64	1,896.09			

Número kappa de pulpa sin blanquear evaluadas:

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	f = 0.05		0.05 de signif.
				F cal.	F tab.	
Tratamientos	3	68.2961	22.765			
Factor A	1	30.3072	30.307	59.941	12.7	NS
Factor B	1	37.4832	37.483	74.133	12.7	NS
Interacción AB	1	0.5056	0.506			
Error	16	22,946.64	1,434.17			
TOTAL	19	23,014.94	1,211.31			

Cuadro 11A. Análisis de varianza de índices de tensión de pulpa producida de bambú

Especie de bambú: Phyllostachys aurea A&C. Riviere, Bull.
Bambusa vulgaris Schrad Ex Wendl.

Proceso de digestión: Proceso kraft (NaOH+Na₂S) y
Proceso sosa (NaOH)

Rendimiento de pulpa sin blanquear evaluadas:

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	f = 0.05		0.05 de signif.
				F cal.	F tab.	
Bloques	4	2.54	0.63	2.25		
Factor A (especies)	1	83.96	83.960	297.08	12.70	*
Error A	4	1.13	0.28			
Parcela grande	9	87.63	9.74			
Factor B (procesos)	1	0.11	0.11	0.46	12.70	NS
Interacción AB	1	3.12	3.12	13.00	12.70	*
Error B	8	1.92	0.24			
Parcela media	19	92.79	4.88			
Factor C (refin.)	3	222.86	74.29	487.01	3.18	*
Interacción AC (esp. / refinación)	3	1.61	0.54	3.52	3.18	*
Interacción BC (Pro. / refinación)	3	0.16	0.05	0.34	3.18	NS
Interacción ABC (Esp. proc. y ref.)	3	1.80	0.60	3.93	3.18	*
ERROR	48	7.32	0.15			
TOTAL	76					

Cuadro 12A. Análisis de varianza de índices de estallido de pulpa producida de bambú

Especie de bambú: Phyllostachys aurea A&C. Riviere, Bull.
Bambusa vulgaris Schrad Ex Wendl.

Proceso de digestión: Proceso kraft (NaOH+Na₂S) y
Proceso sosa (NaOH)

Rendimiento de pulpa sin blanquear evaluadas:

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	f = 0.05		0.05 de signif.
				F cal.	F tab.	
Bloques	4	68.96	17.24	0.64		
Factor A (especies)	1	7,833.52	7,833.52	292.20	12.70	*
Error A	4	107.23	26.81			
Parcela grande	9	8,009.72	889.97			
Factor B (procesos)	1	0.21	0.21	0.01	12.70	NS
Interacción AB	1	445.42	445.42	24.39	12.70	*
Error B	8	146.09	18.26			
Parcela media	19	8,601.43	452.71			
Factor C (refin.)	3	14,484.08	4,828.03	1,050.49	3.18	*
Interacción AC (esp. / refinación)	3	474.70	158.23	34.43	3.18	*
Interacción BC (Pro. / refinación)	3	7.84	2.61	0.57	3.18	NS
Interacción ABC (Esp. proc. y ref.)	3	123.43	41.14	8.95	3.18	*
ERROR	48	220.61	4.60			
TOTAL	76					

Cuadro 13. Análisis de varianza de índices de rasgado de pulpa producida de bambú

Especie de bambú: Phyllostachys aurea A&C. Riviere, Bull.
Bambusa vulgaris Schrad Ex Wendl.

Proceso de digestión: Proceso kraft (NaOH+Na₂S) y
Proceso sosa (NaOH)

Rendimiento de pulpa sin blanquear evaluadas:

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	f = 0.05		0.05 de signif.
				F cal.	F tab.	
Bloques	4	276.66	69.17	0.97		
Factor A (especies)	1	17,703.62	17,702.62	294.25	12.70	*
Error A	4	284.10	71.02			
Parcela grande	9	18,263.38	2,029.26			
Factor B (procesos)	1	140.96	140.93	1.84	12.70	NS
Interacción AB	1	256.56	256.56	3.36	12.70	NS
Error B	8	611.53	76.44			
Parcela media	19	19,272.40	1,014.34			
Factor C (refin.)	3	9,464.16	3,154.72	258.41	3.18	*
Interacción AC (esp. / refinación)	3	2,523.84	841.28	68.91	3.18	*
Interacción BC (Pro. / refinación)	3	325.72	108.57	8.87	3.18	NS
Interacción ABC (Esp. proc. y ref.)	3	23.17	7.72	0.63	3.18	NS
ERROR	48	586.00	12.21			
TOTAL	76					

Cuadro 14. Análisis de varianza de la resistencia al doble plegado de pulpa producida de bambú

Especie de bambú: Phyllostachys aurea A&C. Riviere, Bull.
Bambusa vulgaris Schrad Ex Wendl.

Proceso de digestión: Proceso kraft (NaOH+Na₂S) y
Proceso sosa (NaOH)

Rendimiento de pulpa sin blanquear evaluadas:

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	f = 0.05		0.05 de signif.
				F cal.	F tab.	
Bloques	4	1,831.93	457.98	0.89		
Factor A (especies)	1	1,291,259	1,291,259	2,515.95	12.70	*
Error A	4	2,053.00	513.25			
Parcela grande	9	1,295,144	143,904			
Factor B (procesos)	1	1,725.11	1,725.15	5.58	12.70	*
Interacción AB	1	3,166.39	3,166.39	10.25	12.70	*
Error B	8	2,471.18	308.80			
Parcela media	19	1,302,507	68,553.03			
Factor C (refin.)	3	749,045.36	249,681.8	1,685.80	3.18	*
Interacción AC (esp. / refinación)	3	470,635.43	156,878.5	1,059.21	3.18	*
Interacción BC (Pro. / refinación)	3	1,082.39	360.80	2.44	3.18	NS
Interacción ABC (Esp. proc. y ref.)	3	5,005.40	1,668.47	11.27	3.18	*
ERROR	48	7,109.23	148.11			
TOTAL	76					

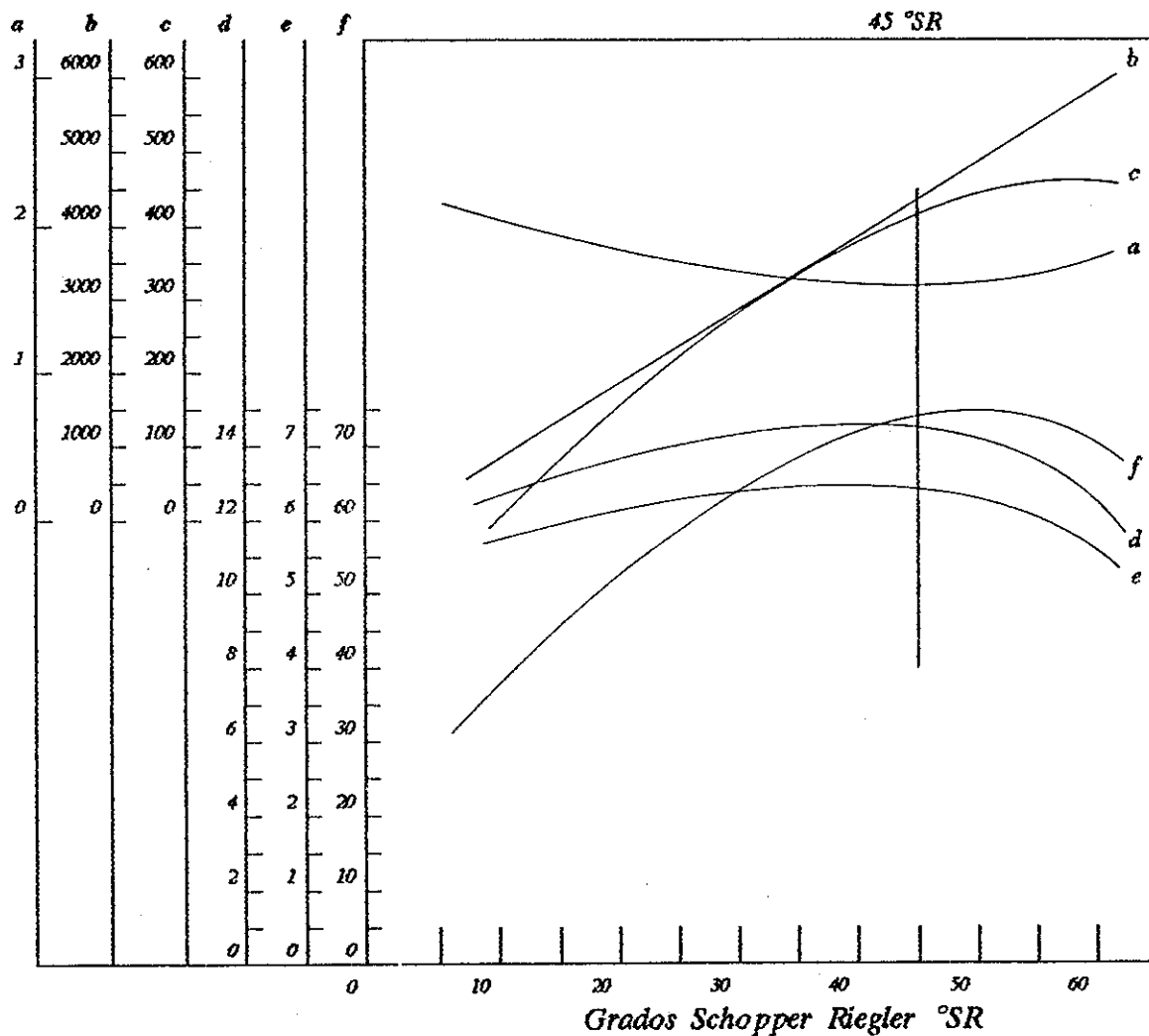


Figura 10A. *Propiedades físico-mecánicas de Bambusa vulgaris, proceso kraft ($\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}$), versus grado de refinación.*

Referencias:

<i>a</i> = Índice de volumen o mano (cm^3/g)	<i>d</i> = Índice de Rasgado, (mNm^2/g)
<i>b</i> = Refinación de la pulpa (Rev/min.)	<i>e</i> = Índice de estallido, (kPam^2/g)
<i>c</i> = Dobleses	<i>f</i> = Índice de tensión, (Nm/g)

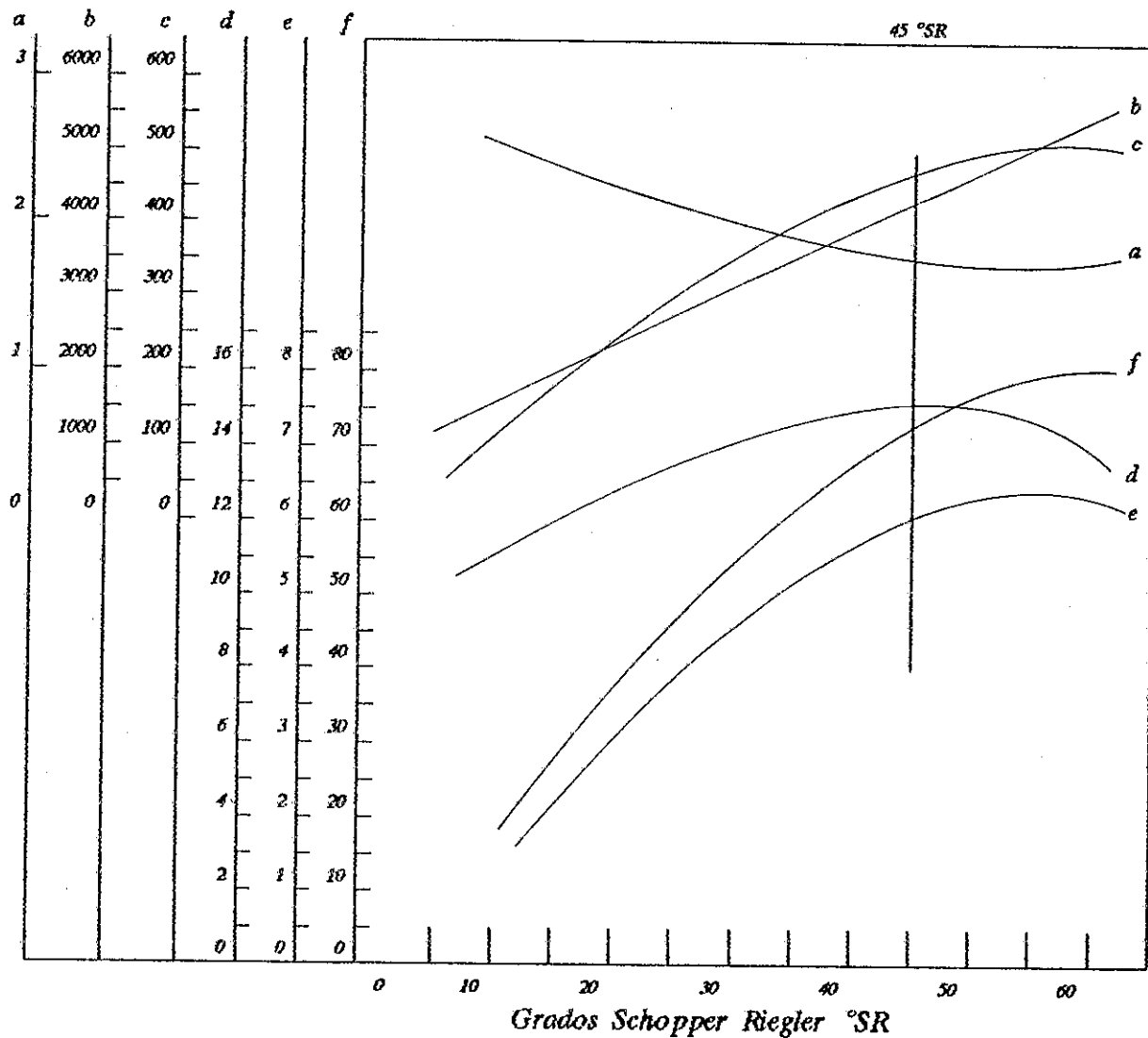


Figura 11A. *Propiedades físico-mecánicas de la pulpa de Bambusa vulgaris* proceso sosa (NaOH) versus grado de refinación.

Referencias: a = Índice de volumen o mano (cm^3/g) d = Índice de Rasgado, (mNm^2/g)
 b = Refinación de la pulpa (rev) e = Índice de estallido, (kPam^2/g)
 c = Dobleces f = Índice de tensión, (Nm/g)

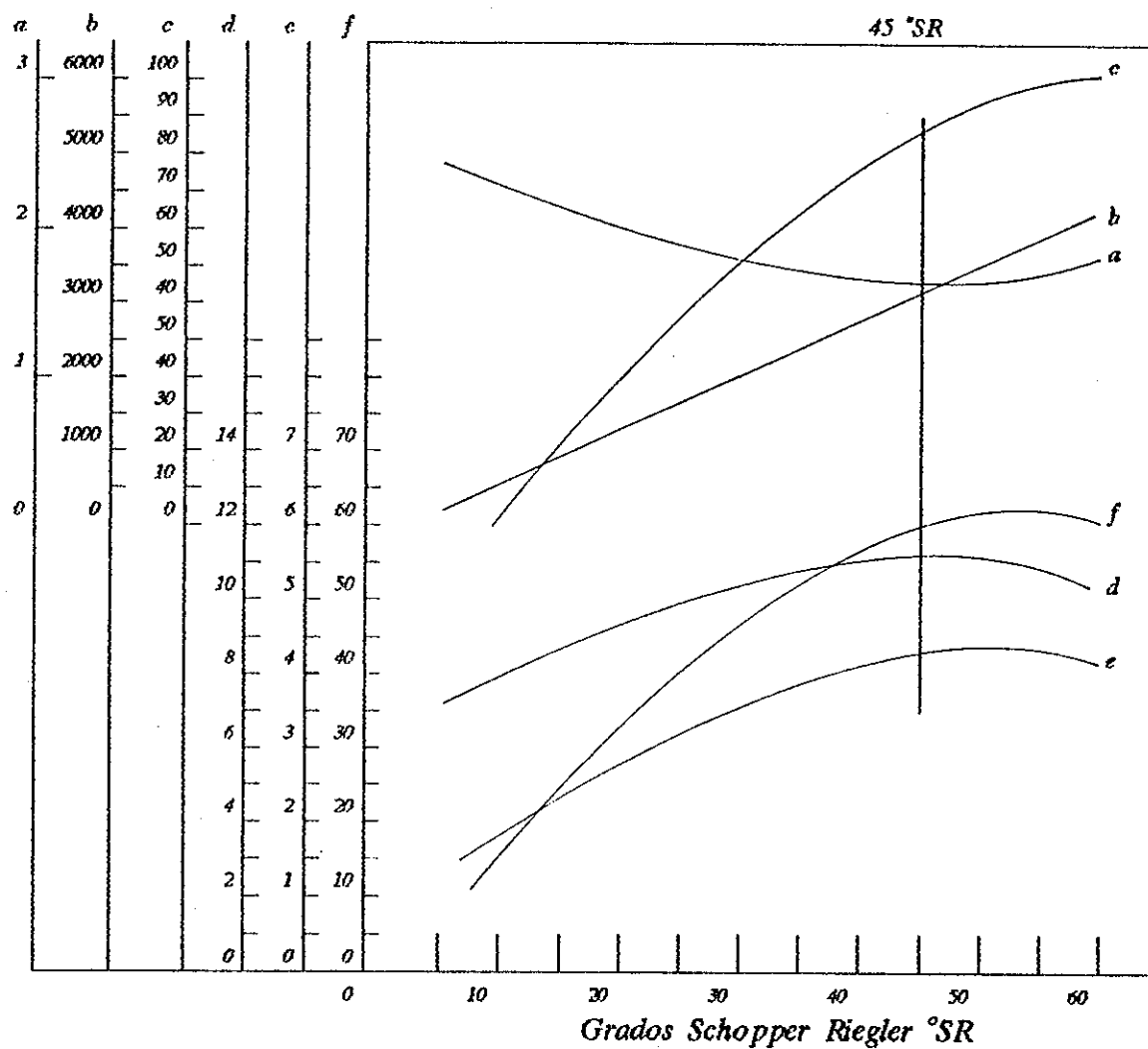


Figura 12A. *Propiedades físico-mecánicas de la pulpa de Phyllostachys aurea, proceso kraft ($\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}$), versus grado de refinación.*

Referencias: a Índice de volumen o mano (cm^3/g) d = Índice de Rasgado, (mNm^2/g)
 b Refinación de la pulpa (rev) e = Índice de estallido, (kPam^2/g)
 c = Dobleces f = Índice de tensión, (Nm/g)

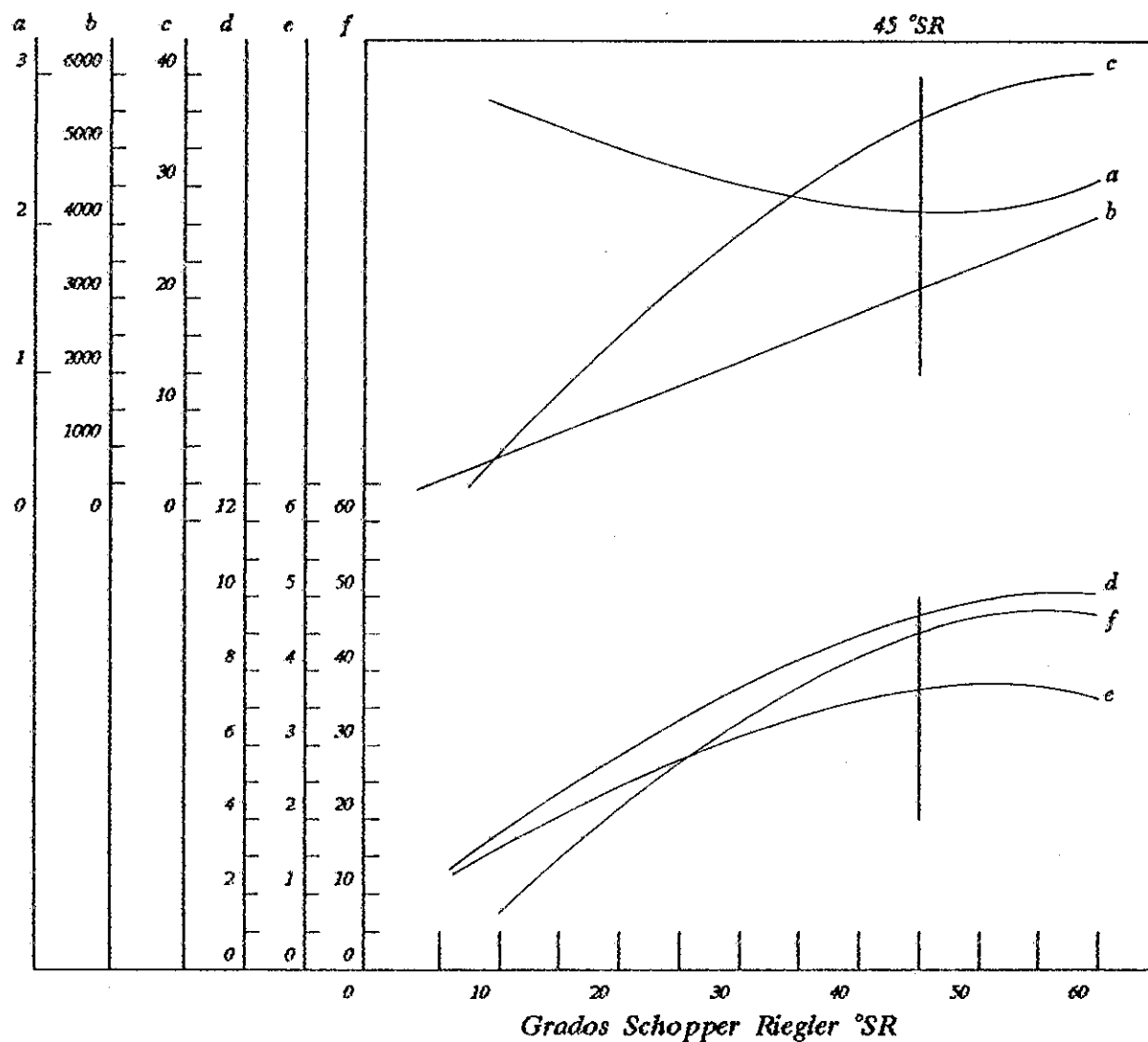


Figura 13A. *Propiedades físico-mecánicas de la pulpa de Phyllostachys aurea, proceso sosa (NaOH), versus grado de refinación.*

Referencias: a = Índice de volumen o mano (cm^3/g) d = Índice de Rasgado, (mNm^2/g)
 b = Refinación de la pulpa (rev) e = Índice de estallido, (kPam^2/g)
 c = Dobleces f = Índice de tensión, (Nm/g)



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE AGRONOMIA
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
 AGRONOMICAS

Sem. 051-97

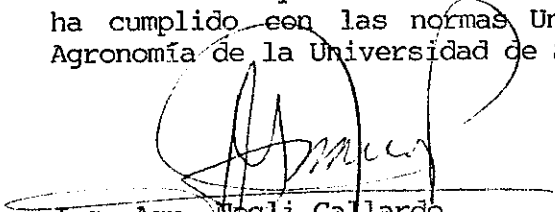
LA TESIS TITULADA: PRODUCCION DE PULPA SIN BLANQUEAR A PARTIR DE Bambusa vulgaris Schrad. Ex Wendl y Phyllostachys aurea A&C. Riviere, Bull. OBTENIDA POR DIGESTION A LA SOSA Y AL SULFATO (Kraft).

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: JUAN CLEMENTE RAYMUNDO VELASCO

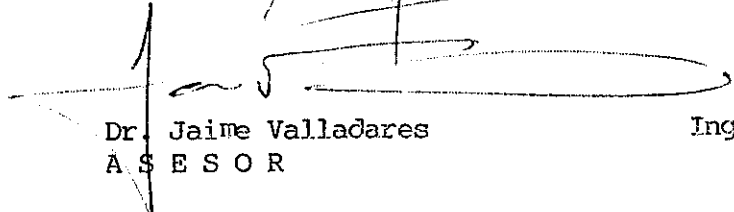
Carnet No: 87-16360

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Lic. Romeo Alfonso Perez Morales
 Ing. Agr. Edwin Enrique Cano
 Ing. Agr. Luis Ortiz Castillo

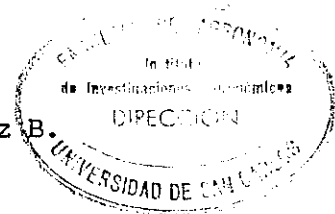
Los asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.


 Ing. Agr. Negli Gallardo
 ASESOR

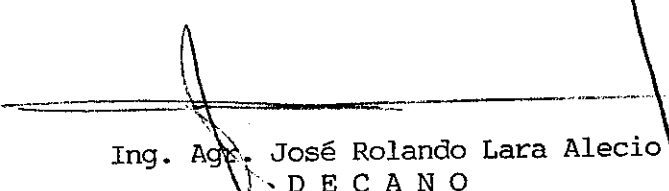

 Licda. Olga Leticia Mena
 ASESOR


 Dr. Jaime Valladares
 ASESOR


 Ing. Agr. Fernando Rodríguez B.
 DIRECTOR DEL IIA



I M P R I M A S E


 Ing. Agr. José Rolando Lara Alecio
 DECANO



APARTADO POSTAL 1545 • 01091 GUATEMALA, C. A.

TELEFONO: 769794 • FAX: (5022) 769770