UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

2726 T
23/01/18

EVALUACIÓN FÍSICA DE LA PULPA QUÍMICA A LA SODA PARA PAPEL DE LA ESPECIE *Guazuma crinita* (bolaina blanca), PROVENIENTE DE UNA PLANTACIÓN EN EL CENTRO POBLADO SAN PABLO DE TUSHMO- YARINACOHA.

TESIS

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO FORESTAL

WILLY GRATELLI SÁNCHEZ

Pucallpa – Perú

2017

ACTA DE APROBACIÓN

La presente Tesis fue aprobada por los miembros del jurado calificador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

Ing.M.Sc. David Gerardo Lluncor Mendoza ..... Presidente

Dr. Héctor Quispe Cerna ..... Miembro

Ing.Mg. Melchor Herbert Dolmos Castro ..... Miembro

Dr. Carlos Panduro Carbajal ..... Asesor

Bach. Willy Gratelli Sánchez ..... Tesista

DEDICATORIA

A Dios, nuestro Padre Celestial por permitirme culminar esta etapa profesional de mi vida.

A mis padres; Luisa Sánchez Macedo y Marcelo Gratelli Vásquez, por educarme y enseñarme principios correctos, que con su ejemplo y perseverancia en mantener unidad a nuestra familia hicieron que yo pueda formarme como ser humano y profesional.

A mis hermanos que me ayudaron y brindaron su cariño.

A mi esposa Gina Katiusca Arévalo que ha sido el impulso en toda mi carrera y el pilar principal para la culminación de la misma que con su apoyo constante y amor incondicional ha sido amiga y compañera inseparable, fuente de sabiduría y consejo en todo momento.

AGRADECIMIENTO

Muchas gracias al Dr. Carlos Panduro Carbajal, docente de la Universidad Nacional de Ucayali por compartir su valioso tiempo y conocimiento, apoyándome en el asesoramiento de la tesis y sugiriéndome la mejor forma de desarrollar la misma.

A la Ing. Carmen Leticia Guevara Salnicov, por ser mi consejera durante mi etapa universitaria, que formo parte importante en el desarrollo de mi aprendizaje como alumno en la escuela de Ing. Forestal, que en paz descanse.

Agradezco a mis jurados por estudiar y aprobar esta tesis.

INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
Introducción	1
CAPITULO I. Planteamiento del problema de investigación	
1.1. Formulación del problema	2
CAPITULO II. Marco teórico	
2.1. Antecedentes	3
2.2. Planteamiento teórico del problema	4
- Características de la especie ***Guazuma crinita***	4
- Descripción botánica	5
- Característica de la madera	6
- Usos de la madera	7
- Propiedades físicas	7
- Materia primas fibrosas	8
- Materias primas no maderables	9
- Componentes químicos de las fibras	11
- Proceso para la elaboración de pulpa para papel	18
- Acondicionamiento para la pulpa de papel	25
- Desfibrado	25
- Lavado y tamizado	26
- Batido o refino	26
- Contenido de humedad de la madera	27
- Factor de sequedad	28
- Gramaje	28
- Factor H	29
CAPITULO III. Metodología	
3.1. Lugar de ejecución	30
3.2. Método de investigación	30
3.3. Población y muestra	31
3.4. Instrumento de recolección de datos	31

- Ejecución de ensayos para la determinación de la composición química 34
- Determinación del contenido de humedad 34
- Determinación de holocelulosa de la madera 37
- Determinación de celulosa 38
- Determinación de lignina 39
- Determinación de cenizas 40
- Determinación sílice 40

3.5. Obtención de la pulpa para papel de la especie ***Guazuma crinita*** 41

3.6. Evaluación física 49

3.7. Tratamiento de datos 50

3.8. Diseño estadístico 50

CAPITULO IV. Resultados y Discusión

4.1. Resumen del contenido químico de madera 52

4.2. Contenido de humedad de las astillas 53

4.3. Contenido de humedad de la pulpa húmeda 54

4.4. Propiedades físicas del papel 56

- Factor de sequedad 56
- Área del papel 58
- Gramaje del papel 59
- Calibre del papel 61
- Volumen del papel 62
- Rendimiento 64

CAPITULO V. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones 70

5.2. Recomendaciones 71

Referencias bibliográfica 72

Anexo

INDICE DE CUADRO

Pág

Cuadro 1. Calculo en base 1000 g de materia seca 45

Cuadro 2. Variables del Proceso de cocción Kraft 46

Cuadro 3. Resumen general del contenido químico de la especie *Guazuma crinita* 51

Cuadro 4. Parámetros estadísticos del contenido de humedad (%) de las astillas por niveles del fuste 52

Cuadro 5. Análisis de varianza del contenido de humedad de las astillas por niveles longitudinales del fuste de *Guazuma* crinita 53

Cuadro 6. Prueba de medias (Tukey) humedad de las astillas por niveles longitudinales del fuste de *Guazuma crinita* 53

Cuadro 7. Parámetros estadísticos del contenido de humedad (%) de la pulpa para papel por niveles longitudinales de fuste de *Guazuma crinita* 53

Cuadro 8. Análisis de varianza del contenido de humedad de la pulpa para papel por niveles longitudinales de fuste del *Guazuma crinita* 54

Cuadro 9. Prueba de medias (Tukey) humedad de la pulpa para papel por niveles longitudinales de fuste del *Guazuma crinita* 55

Cuadro 10. Parámetros estadísticos del factor de sequedad por niveles longitudinales de fuste del *Guazuma crinita* 55

Cuadro 11. Análisis de varianza del factor de sequedad por niveles longitudinales de fuste dela especie *Guazuma crinita* 56

Cuadro 12. Parámetros estadísticos del área del papel por niveles longitudinales de fuste del *Guazuma crinita* 57

Cuadro 13. Análisis de varianza del área del papel por niveles longitudinales de fuste del *Guazuma crinita* 58

Cuadro 14. Parámetros estadísticos del gramaje del papel por niveles longitudinales del fuste de *Guazuma crinita* 58

Cuadro 15. Análisis de varianza gramaje del papel por niveles longitudinales del fuste de *Guazuma crinita* 59

Cuadro 17. Parámetros estadísticos del calibre del papel por niveles 61

Cuadro 18. Análisis de varianza del calibre del papel por niveles longitudinales del fuste de *Guazuma crinita* 61
Cuadro 19. Prueba de medias (Tukey) calibre del papel por niveles longitudinales del fuste de *Guazuma crinita* 62
Cuadro 20. Parámetros estadísticos del volumen del papel por niveles longitudinales del fuste de *Guazuma crinita* 62
Cuadro 21. Análisis de varianza volumen del papel por niveles longitudinales del fuste de *Guazuma crinita* 63
Cuadro 22. Prueba de medias (Tukey) volumen del papel por niveles longitudinales del fuste de *Guazuma crinita* 63
Cuadro 23. Parámetros estadísticos del rendimiento (%) por niveles longitudinales de fuste del *Guazuma crinita* 64
Cuadro 24. Análisis de varianza del rendimiento por niveles longitudinales de fuste *Guazuma crinita* 65

INDICE DE FIGURA

Figura 1. Principales componentes químicos de la madera 12
Figura 2. Método semiquimico para la producción de papel 24

INDICE DE GRAFICO

Pág.

Gráfico 1. Promedio del contenido de humedad (%) de las astillas por niveles longitudinales del fuste de *Guazuma crinita* 52

Gráfico 2. Promedio del contenido de humedad (%) de la pulpa para papel por niveles longitudinales del fuste de *Guazuma crinita* 54

Gráfico 3: Promedio del factor de sequedad por niveles longitudinales del fuste de *Guazuma crinita* 56

Gráfico 4. Promedio del área del papel por niveles longitudinales del fuste de *Guazuma crinita* 57

Gráfico 5. Promedio gramaje del papel por niveles longitudinales de fuste *Guazuma crinita* 58

Gráfico 6. Promedio calibre del papel por niveles longitudinales del fuste de *Guazuma crinita* 60

Gráfico 7. Promedio volumen del papel por niveles longitudinales del fuste de *Guazuma crinita* 61

Gráfico 8. Promedio rendimiento por niveles longitudinales de fuste *Guazuma crinita* 63

RESUMEN.

El objetivo principal del presente informe de investigación es realizar las evaluaciones físicas de la pulpa química a la soda de la especie ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca). Para poder desarrollar el objetivo principal, planteamos los siguientes objetivos específicos, el primero es obtener la pulpa química a la soda para papel, el segundo objetivo específico determinar la composición química de la especie mencionada y el tercero determinar el rendimiento de la pulpa química a la soda.

El método que se utilizo fue experimental, cuantitativo y consta de Normas de Indecopi, ASTM, manual de laboratorio. Las muestras utilizadas se sacó de una plantación homogénea de la especie ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca), ubicada en el Centro Poblado San Pablo de Tushmo- Yarinacocha. Los resultados obtenidos fue de un 47 % de pulpa celulósica la cual según el análisis estadístico no presenta diferencia significativa en los tres niveles del fuste., el porcentaje de celulosa encontrado en esta investigación fue en promedio de 42,41%, lignina un promedio de 22.88 %, presentando un mayor porcentaje de los componentes químicos en el nivel 1 (base). Las evaluaciones físicas de la pulpa química en forma de hoja de papel de esta especie, se obtuvo un mayor factor de sequedad en el nivel 1 (base), el espesor 0,04 cm y el gramaje con 77,25 gr/m^2 ambas evaluaciones físicas se encontró diferencia significativa en el nivel 1 con respecto a los otros niveles del fuste.

Estos resultados demostraron que la especie ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca), presenta características positivas para la elaboración de pulpa para papel.

Palabras claves: ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca), pulpa química a la soda, gramaje, calibre.

ABSTRACT.

The principal aim of the present research report is to realize the physical evaluations of the chemical flesh to the soda of the species ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca). To be able to expire with the principal aim, we raise the following specific aims, the first one it is to obtain the chemical flesh to the soda for paper, the second specific aim to determine the chemical composition of the mentioned species and the third party to determine the performance of the chemical flesh to the soda of this species.

The method that I use was experimental, quantitative and it consists of Procedure of Indecopi, ASTM, laborator manual. The used samples there was extracted of a homogeneous plantarios of the species ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca), located in the Populated Center San Paul of Tushmo - Yarinacocha. The obtained results it was 47% of cellulose flesh which according to the statistical analysis does not present significant difference in three levels of the shaft., the percentage of cellulose found in this investigación was in average of 42,41%, lignina an average of 22.88%, presenting a major percentage of the chemical component in the level 1 (base). The physical evaluations of the chemical flesh in the shape of leaf of paper of this species, a major factor of dryness was obtained in the level 1 (base), the calibre 0,04 cm and the weight 77,25 gr/m2 both physical evaluations significant difference met in the level 1 with regard to other levels of the shaft.

These results demonstrated that the species ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca), presents positive characteristics for the production of flesh for paper.

Key words: ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca), chemical flesh to the soda, weight, calibre.

INTRODUCCIÓN.

En la región de Ucayali existe mucha diversidad de especies forestales que se desarrollan muy bien en este tipo de ecosistema, una de ellas es la especie ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca), es una especie oriunda de los bosques tropicales amazónicos, especie pionera en la regeneración natural, otra de las cualidades que presenta esta especie es que tiene rápido crecimiento en nuestro medio y es un potencial económico en la industria forestal si se aprovecharía mejor esta especie.

Unas investigaciones realizadas por la Universidad Nacional Agraria de la Molina en Finlandia demostraron que la especie bolaina presenta cualidades halagadoras para la elaboración pulpa y papel con un porcentaje elevado de celulosa de 46,1-52,2 %, que es uno de los indicadores importantes para la elaboración de este producto, (REVISTA FORESTAL DEL PERÚ, 1968)

En esta trabajo de investigación la especie ***Guazuma crinita*** ha sido estudiada en los tres niveles longitudinales del fuste (base, medio, ápice), como objetivo principal es realizar las evaluaciones físicas de la pulpa química a la soda de la especie ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca). Los objetivos específicos son tres, el primero es obtener la pulpa química a la soda para papel, el segundo objetivo específico determinar la composición química de la especie mencionada y el tercero determinar el rendimiento de la pulpa química a la soda de esta especie.

Este estudio pretende la comercialización de la pulpa para papel de la especie ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca) como producto de valor agregado, dando una alternativa más para el aprovechamiento de esta especie.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.1. Formulación del problema.

En la industria local la especie ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca) la gran mayoría se aprovecha para la elaboración de tablillas y el bajo rendimiento registrado en la transformación de madera rolliza a aserrada de esta especie, estuvo afectado principalmente a la baja tecnología empleada en el momento del corte primario y secundario, el rendimiento de estas industrias bolianeras es de un 30% desperdiciando el 70% como (tablillas con manchas por hongos, tablillas con defecto por corte, tablillas que no alcanzan las dimensiones de tablilla ,despuntes, "filetes" o largueras, abundante aserrín y cantoneras, (PROBOSQUES, 2009).

Sin embargo la especie bolaina blanca tiene características positivas especialmente en su crecimiento y propagación, son factores que hacen de esta especie muy promisoras, con la finalidad de aprovechar más el fuste del árbol pretendo el aprovechamiento de esta especie como pulpa para papel ya que en el proceso solo se desperdicia la corteza del fuste .De acuerdo a esto, con el desarrollo del estudio se plantío resolver las siguientes interrogantes:

¿La pulpa química a la soda de la especie ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca). Será apto para la producción industrial de papel?

¿Cuál será el rendimiento de la pulpa química a la soda de la especie ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca)?

¿Existirá alguna diferencia de la composición química en los tres niveles longitudinales del fuste de la especie ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca)?

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.1. Formulación del problema.

En la industria local la especie ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca) la gran mayoría se aprovecha para la elaboración de tablillas y el bajo rendimiento registrado en la transformación de madera rolliza a aserrada de esta especie, estuvo afectado principalmente a la baja tecnología empleada en el momento del corte primario y secundario, el rendimiento de estas industrias bolianeras es de un 30% desperdiciando el 70% como (tablillas con manchas por hongos, tablillas con defecto por corte, tablillas que no alcanzan las dimensiones de tablilla ,despuntes, "filetes" o largueras, abundante aserrín y cantoneras, (PROBOSQUES, 2009).

Sin embargo la especie bolaina blanca tiene características positivas especialmente en su crecimiento y propagación, son factores que hacen de esta especie muy promisoras, con la finalidad de aprovechar más el fuste del árbol pretendo el aprovechamiento de esta especie como pulpa para papel ya que en el proceso solo se desperdicia la corteza del fuste .De acuerdo a esto, con el desarrollo del estudio se plantío resolver las siguientes interrogantes:

¿La pulpa química a la soda de la especie ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca). Será apto para la producción industrial de papel?

¿Cuál será el rendimiento de la pulpa química a la soda de la especie ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca)?

¿Existirá alguna diferencia de la composición química en los tres niveles longitudinales del fuste de la especie ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca)?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES.

BUENO ZARATE, JORGE (1989). Con relación a la industria de pulpa y papel en el Perú, este es un país importador neto de este producto, el cual proviene principalmente de Brasil. De manera general, la industria papelera se encuentra en buen auge en todos sus aspectos: ha incrementado el consumo, la producción y la capacidad mundial. Además, destaca el florecimiento del comercio, aunque su distribución se torna diferente entre los continentes, debido fundamentalmente al consumo per cápita que sitúa a EE.UU., Canadá y Europa en los primeros lugares. Debido a todas las razones antes expuestas, es posible introducir la pulpa en el mercado interno y externo y obtener niveles y calidad igual y superior a la de los países de mayor competencia.

ORGANIZACIÓN DE LA NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION (2011).Establece una demanda a nivel mundial de 440 millones de toneladas de pulpa y papel para el año 2010, con un incremento proyectado de 188 millones de toneladas en el periodo. Esto equivale a 990 máquinas de papel o 522 nuevas plantas de producción de pulpa blanqueada de 1,000 toneladas por día. Para producir esta cantidad de pulpa, se deberán desarrollar, a nivel mundial, 19 millones de hectáreas de cultivos forestales para pulpa. Las condiciones climáticas, el bajo costo de mano de obra y la existencia de tierras para forestar ubican al Perú como potencial productor de pulpa para papel.

Corteza superficial del tronco es grisácea, negruzca, agrietada a fisurada. Corteza viva con muchas laminillas; es posible obtener de ella tiras largas; en árboles de cierto grosor se observan dos capas; una externa fibroso-compacta y otra interna fibrosa-laminar, ambas de color crema, oxidando a marrón oscuro después de unos segundos de ser expuestas al aire: exudan un mucílago incoloro.

Hojas simples, alternas y dísticas, de 10-18 cm de longitud, y 5-7 cm de ancho, el peciolo de 1.5-2 cm de longitud, pulvinulado, las láminas ovadas, frecuentemente asimétricas, aserradas, la nervación palmeada, los nervios secundarios promínulos en haz y envés, el ápice agudo y acuminado, la base cordada, las hojas cubiertas de pubescencia de pelos estrellados y escamosos (10 x) sobre todo por el envés.

Inflorescencias panículas axilares de unos 8-12 x 3-6 cm con muchas flores.

Flores pequeñas, de 8-12 mm de longitud, hermafroditas, con cáliz y corola presentes, los pedicelos de 4-8 mm de longitud, el cáliz de 2-3 mm de longitud, la corola de 6-12 mm de longitud, de color rosado, con cinco pétalos, cada uno de ellos en forma de cuchara y con dos largos apéndices en el extremo, el androceo formado por cinco columnas estaminales que portan en su extremo numerosas anteras, el gineceo con ovario súpero, ovoide, pequeño.

Frutos cápsulas globosas de unos 4-8 mm de diámetro con la superficie densamente cubierta de pelos largos, de unos 3-4 cm de longitud.

c) **Distribución:**

Se encuentra en los departamentos de Amazonas, Huánuco, Junín, Loreto, Madre de Dios, Pasco, San Martín y Ucayali, entre 0 y 1000 msnm. La especie existe en bajas cantidades en la Amazonía central y en cantidades medias en la Amazonía sur del Perú.

d) **Característica de la madera:**

El tronco recién cortado presenta las capas externas de madera (albura) de color blanco similar a las capas internas (duramen), observándose entre ambas capas un leve y gradual contraste de color. En la madera seca al aire la albura se torna de color blanco y el duramen marrón muy pálido.

Olor: No distintivo.
Lustre o brillo: Moderado ha elevado.
Grano: Recto.
Textura: Media.
Veteado o figura: Satinado brillante en la sección radial por contraste de los radios. Líneas verticales vasculares.
Madera liviana, que presenta contracciones lineales medias y la contracción volumétrica estable. Para la resistencia mecánica se sitúa en el límite de la categoría baja con la categoría media.
Largo de las fibras: 1.29 mm.

e) **Usos de la madera**:

La madera es de buena calidad, aunque blanda y liviana, tiene buena durabilidad. Se le usa en carpintería, elaboración de utensilios pequeños como paletas de chupetes, mondadientes, palos de fósforos y artesanía.

En años recientes se le usa crecientemente en la industria de los tableros contrachapados.

La corteza interna fibrosa es empleada localmente como material de amarre.

Propiedades de la madera:

Propiedades físicas

Densidad básica:	0,41 gr/cm^3
Contracción volumétrica:	10,75 %
Relación T/R:	1,6

Propiedades y contenido químico de la pulpa para papel de la especie *Guazuma crinita.*

Según REVISTA FORESTAL DEL PERÚ (1968). Componentes químicos y el rendimiento de la pulpa, determinados en una investigación en Finlandia demostraron lo siguiente:

Largo de las fibras	1.29 mm.
Rendimiento de la pulpa	46.1- 52.2%
Contenido de lignina %	21.6%
Contenido de ceniza %	0.29

El papel.

El papel es un producto de consumo global que cuenta en la actualidad con una gama muy amplia de diferentes usos finales. Los principales se pueden agrupar en: papeles de impresión y escritura, papeles para embalajes, y papeles sanitarios.

Materia primas fibrosas para la obtención de pulpa para papel.

El papel y el cartón están constituidos básicamente por fibras, fundamentalmente de naturaleza celulósica que derivan del reino vegetal. Teóricamente todas las plantas vegetales pueden utilizarse como fuente de fibras celulósicas en la fabricación de pasta y papel aunque en la práctica el número y variedad de las mismas es muy limitada. Para que un vegetal pueda considerarse apto como materia prima papelera debe reunir varias condiciones relacionadas con su disponibilidad y los costos de fabricación (GARCÍA, 1988).

Las maderas latífoliadas han sido utilizadas en Venezuela para la fabricación de diversos cartones y papeles. El Pinus caribaea constituye la conifera pionera en la obtención de pulpa química en el país (ROMERO, 2008).

Dentro de los estándares industriales se considera que un material vegetal es apto para producir papel cuando presenta un porcentaje mínimo del 33 por ciento de celulosa, componente básico en la elaboración del papel. (Santiago, 1999). Las fibras de celulosa son un constituyente esencial de los tejidos vegetales, cuya función es la de dar resistencia a los mismos. La celulosa para la fabricación de papel se obtiene principalmente de madera (55%), de otras fibras vegetales denominadas no madereras (9%) y de papel recuperado (16%) (SMOOK, 2010).

Las fibras vegetales desde el punto de vista papelero son clasificadas en fibras cortas y fibras largas. Las fibras cortas miden de 0,5 a 1,5 mm. de longitud, mientras que las fibras largas tienen una longitud media de 2 a 5 mm. La longitud de las fibras es probablemente el único factor responsable de la resistencia al rasgado. La fibra larga produce una hoja con mayor resistencia al rasgado, mayor volumen especifico, mayor porosidad, pero

menor uniformidad; también se presenta un pequeño mejoramiento en propiedades tales como longitud de ruptura y doblez (SMOOK, 2010).

GARCÍA, (1988), señala que la fabricación de los diversos tipos de papeles existentes en el mundo, requieren de una gran variedad de materias primas fibrosas que van desde pulpas vírgenes obtenidas a partir de la madera hasta los diferentes tipos de fibras secundarias dentro de las que se incluyen las fibras no madereras y las fibras procedentes de papel reciclado.

Materias primas no maderables.

Los principales tipos de materias primas vegetales no madereras utilizadas en la industria papelera se clasifican en tres grupos:

Plantas de crecimiento natural

Son plantas silvestres, de recolección difícil, costosa con utilización de maquinarias, se incluyen en este grupo: bambúes, esparto, cañas, papiro.

Residuos agrícolas

Es el grupo más importante y de uso más extendido, presentan el problema de que su disponibilidad es estacional, limitada a una época del año, por lo que se precisa un almacenado adecuado que garantice una adecuada disponibilidad de materia prima y evite su deterioro. A este grupo pertenecen: pajas de cereales, bagazo de caña de azúcar, sorbo, tallos de maíz, tallos de algodón.

Los mayores productores de pasta de bagazo son México, China y Perú, mientras que en la producción de pasta de paja son: China, India y España.

China es el líder en la producción de pastas de caña, cuyo uso se ha incrementado en detrimento del bambú (GARCÍA, 1988).

Plantas cultivadas

Se caracterizan por su contenido en fibras o semillas. Las pastas obtenidas son de buena calidad, aunque su elevado costo limita su uso en papeles muy especiales pertenecen a este grupo: Fibras liberianas, fibras de hojas y fibras de pelos de semilla.

En la actualidad existe un renovado interés por la utilización de las plantas no madereras, habiéndose incrementado su utilización en los últimos años del 6.7 % en 1970 a 9.1 % en 1990. El incremento medio anual de la capacidad de producción de pastas a partir de materiales no madereros es en la actualidad más del doble del correspondiente a todas las pastas madereras. Los países con economías de mercado en desarrollo y centralmente planificados son los mayores dependientes de materias primas no madereras (GARCÍA, 1988).

Entre las principales razones que apoyan el uso de materias primas no madereras se encuentra, su fácil disponibilidad como residuo agrícola, dado que existe en la actualidad una sobreproducción de materiales tales como paja, bagazo, etc., que constituyen una fuente abundante de fibras de bajo costo.

Una característica importante de las plantas no madereras es la amplia diferencia entre las longitudes de las fibras de las diferentes especies, muchas de estas fibras tienen longitudes similares a las fibras cortas de frondosas, por otra parte, otras son tan largas que deben ser acortadas para optimizar su valor papelero.

Con la utilización de materiales no madereros se tiende a una disminución de la tala masiva e indiscriminada de árboles. Es indudable que las fibras de plantas no madereras jugaran un papel creciente en la industria de pulpa y papel a nivel mundial. Se ha demostrado que seleccionando la mezcla apropiada de fibras no madereras y el proceso de pasteado adecuado, se puede producir cualquier calidad de papel y cartón, sin la adición de pasta maderera alguna.

Componentes químicos de las fibras.

Los materiales fibrosos son extremadamente heterogéneos, su composición química varía entre especies, en la misma especie e incluso en la misma pared fibrosa.

Las células vegetales están compuestas por paredes celulares, las cuales contienen micro fibrillas de celulosa formando un esqueleto rodeado de otras sustancias que actúan como matriz; las hemicelulosas y un material incrustante denominado lignina. Los principales componentes químicos de las fibras vegetales son mostradas la Figura 1.

Extractivos

Los extractivos se definen como cualquier material que pueda ser disuelto en un solvente; forman del 1 al 5 por ciento del peso de la madera (Smook, 2010). La mayoría de estas sustancias son solubles en agua o disolventes orgánicos neutros. Extraer los extractivos de los materiales fibrosos es requisito previo para las determinaciones químicas de celulosa, hemicelulosa y lignina, dado que pueden influir en los rendimientos de dichos constituyentes.

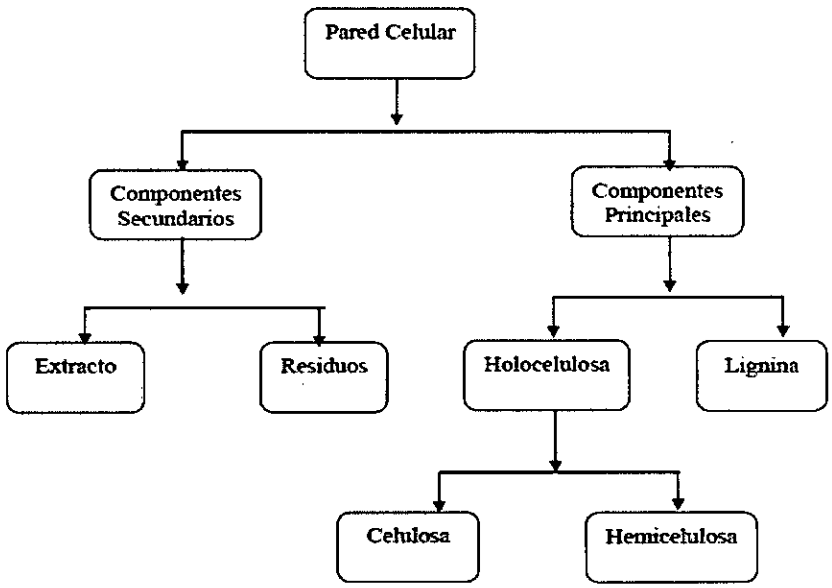


Figura 1. Principales componentes químicos de la madera (Peña 1998).

Un alto contenido de extractivos en las materias primas fibrosas prohíbe su utilización en la fabricación de pulpa, dado que inhibe su deslignificación, además de formar complejos coloreados que afectan la blanqueabilidad de la pulpa. (PEÑA, 2006)

Los extractivos en las materias primas fibrosas son terpenos, ácidos resínicos, grasas, ácidos grasos, fenoles y sustancias neutras insaponificables, están presentes en proporciones muy variables según la especie. Estos componentes además de conferir olor y color a la madera y ser una fuente importante de subproductos valiosos (trementina, tall oil), pueden causar diversos problemas a los fabricantes de pasta y papel. (GARCÍA, 1988)

Celulosa

La materia prima de las industrias del papel, desde el punto de vista químico, es la celulosa. Esta debe presentarse bajo forma de fibras, condición física necesaria para los usos papeleros. Estas fibras celulósicas son susceptibles de desarrollar enlaces químicos entre ellas, durante el proceso de fabricación de papel.

La celulosa es un glucósido que por hidrólisis produce un monosacárido, D - glucosa, aunque realmente es un polímero de la D- glucosa, posee un elevado peso molecular, constituido por moléculas de celobiosa, asociándose en cadenas lineales de 500 a 13.000 moléculas de longitud de 2.500 a 15.000 A0, formando un compuesto micro cristalino amorfo en forma de micro fibrillas. Presenta también formas polimórficas que se conocen con el nombre de celulosa Y, II, III, IV y X. La primera es la forma nativa (60% en la madera) y la X presenta una forma muy degradada, con un grado de polimerización muy bajo. El resto, son formas transitorias. Se encuentra en la madera en una proporción del 43%, siendo el componente principal de todas las especies vegetales (RODRÍGUEZ, 1978).

Dentro de las propiedades más importantes de la celulosa se encuentran su insolubilidad en agua, su carácter higroscópico y su fuerte afinidad por los solventes polares, absorbe agua fácilmente y se hincha, sin embargo el hinchamiento se limita únicamente a la región amorfa de la fibra y no cambia su estructura cristalina. Los agentes de hinchamiento más fuertes como soluciones altamente polares, pueden hinchar completamente la celulosa y conducir fácilmente a su disolución. Entre estos agentes se encuentran soluciones acuosas de ácidos minerales, soluciones concentradas de álcali y complejos metálicos de hidróxido de amonio (GARCÍA, 1988).

En los materiales fibrosos es la celulosa la que determina el carácter de la fibra y permite su utilización en la fabricación de papel (SMOOK, 1990). Las moléculas de celulosa tienen una fuerte tendencia a formar enlaces por puentes de hidrógeno, las zonas más desordenadas de la celulosa son más accesibles a las reacciones químicas, favoreciendo el hinchamiento, el alargamiento y flexibilidad de la fibra.

La celulosa se degrada bajo diversas circunstancias. La degradación puede ser de diversos tipos: hidrolítica, oxidante, alcalina, térmica, microbiológica o mecánica. Para el productor de pasta y papel la degradación no es deseable y se debe mantener al mínimo para obtener el máximo rendimiento y mantener las buenas propiedades físicas y mecánicas de las fibras. El contenido de celulosa es indicativo del rendimiento de la pulpa; a mayor contenido de celulosa de un material, mayor será el rendimiento de la pulpa semiquímica blanqueada (PEÑA, 1998).

Dentro de los estándares industriales se considera que un material es apto para producir papel cuando presenta un porcentaje mínimo de celulosa del 33%. El contenido de alfa-celulosa o celulosa verdadera de un material fibroso no afecta directamente su facilidad de cocción, pero mientras mayor sea el contenido de alfacelulosa de un material mayor será el rendimiento de la pulpa semiquímica blanqueada completamente deslignificada (LIBBY, 1967).

Hemicelulosa.

Es otro de los componentes de la pared celular y está compuesta por diversos monosacáridos lineales de elevado peso molecular, acompañada de restos azucarados de galactosa, malosa, arabinosa, xilosa, así como bajas concentraciones de ácidos.

La hemicelulosa amorfa es hidrófila, y ésta es una de las causas del hinchamiento de las fibras, a través de la fijación del agua bajo sus grupos hidroxilos y carboxilos, poseen un gran poder adherente, favoreciendo en gran medida el poder de unión de las fibras en el papel. La cantidad, el estado y la localización de estas fibras presentan un gran interés para los procesos de pulpeo (EARL, 1983). Las hemicelulosas contribuyen a la resistencia a la tensión, explosión y doblez de la hoja de papel, por ello es deseable un alto contenido de estas. (LIBBY, 1967).

Las hemicelulosas corresponden a los carbohidratos no celulósicos de las materias primas fibrosas. Las hemicelulosas de las coníferas están compuestas tanto de pentosanos como hexosanos. Los pentosanos corresponden a xilanos y arabanos y los hexosanos a mananos y galactanos.

Las maderas latifoliadas contienen principalmente pentanos. El porcentaje de pentanos en coníferas es de 7 a 10 y en latifoliadas de 19 a 25 (RODRÍGUEZ, 1978).

Las hemicelulosas en las maderas duras y en las fibras de productos agrícolas están constituidas básicamente por pentosanos; las pulpas semiquímicas obtenidas a partir de estos materiales agrícolas tienen contenidos altos de pentosanos residuales, a lo cual se atribuye la alta rigidez del cartón corrugado hecho a partir de pulpas semiquímicas de madera dura, paja y bagazo (LIBBY 1967).

Por otra parte es importante señalar que un contenido alto de pentosanos significa dureza y opacidad reducida en los papeles obtenidos a partir de pulpas semiquímicas.

Las hemicelulosas, son polisacáridos más complejos que la celulosa, químicamente heterogéneos constituidos por combinaciones de monosacáridos diferentes. Actúan como matriz de soporte para las microfibrillas de celulosa en la pared celular, son muy hidrofílicas y desempeñan un importante papel en la capacidad de la fibra para absorber agua durante la operación de refinado, en consecuencia promueven la fibrilación interna de la fibra, mejoran su flexibilidad, facilitan el refinado mecánico, aumentan la capacidad de enlace de las fibras y todas aquellas propiedades físico mecánicas que dependen del área de enlace interfibra (GARCÍA, 1988).

Dado que las hemicelulosas se hidratan fácilmente, un elevado porcentaje en las materias primas fibrosas, favorece la refinación disminuyendo el tiempo de batido.

Holocelulosa

Se utiliza este término para designar los carbohidratos totales contenidos en las fibras (celulosa + hemicelulosa) La holocelulosa es el material fibroso libre de lignina (RODRÍGUEZ, 1978).

Lignina

La lignina es un polímero polifenólico de alto peso molecular, con red ramificada tridimensional, altamente oxigenado con un esqueleto de fenil propano que se repite. La mayor parte de la lignina está unida a los polisacáridos de las plantas, especialmente a las hemicelulosas.

Su papel principal es formar la lámina media que une las fibras entre si. Una parte adicional de la lignina está contenida también en la pared de la fibra. Después de la celulosa, la lignina es el principal componente de la madera,

cerca de la cuarta parte de la madera seca consiste en lignina, esta actúa como cementante que une la matriz de las fibras de celulosa en una estructura rígida. En la madera existe en proporciones que varían entre 20 y 30 % (GARCÍA, 1988).

La lignina es un material con carácter hidrofóbico y como tal su presencia en las pastas inhibe la absorción de agua, el hinchamiento de las fibras, dificulta el refinado, sin embargo la lignina es termoplástica esta característica le ofrece ventajas en los procesos de obtención de pasta mecánica dado que la elevación de la temperatura ablanda la lignina, debilitando los enlaces interfibras y facilitando con ello el proceso de pulpeo. Para degradar el polímero lignina y volverlo hidrosoluble se puede atacar con una solución cáustica o solución de sulfito. En los dos casos la lignina se solubiliza bajo la forma de sustancias que poseen un carácter surfactante marcado.

En el proceso Kraft, las sustancias obtenidas son los lignosulfonatos, los cuales son agentes dispersantes utilizados en los lodos de perforación petrolera. La digestión se realiza a alta temperatura y en un reactor bajo presión. Los licores negros provenientes de la elaboración de pulpa contienen derivados hidrosolubles de lignina, que presentan excelentes propiedades surfactantes.

Los surfonatos y otros compuestos de la lignina poseen propiedades dispersantes, emulsionantes y espumantes de interés; dichos surfactantes se extraen de los licores negros para ser utilizados en el proceso de destintado en las industrias papeleras (SALAGER Y BULTON, 1993) Las materias primas con alto contenido de celulosa y bajos en lignina, alrededor del 25%, son definidas como materiales de fácil deslignificación, por lo que pueden considerarse como una materia prima de bajo costo en la producción de pulpa química y semiquímica de buena calidad la cual puede ser utilizada en la fabricación de varios tipos de papeles.(ADAMS Y RUIZ, 2007). Puesto

que la lignina es un material fibroso sirve como un adhesivo de las fibras, su cantidad y reactividad tiene un marcado efecto sobre la facilidad de cocción del material (LIBBY, 1967).

En el bagazo la lignina es relativamente baja en cantidad alrededor del 19% y alta en reactividad y el material que se penetra rápidamente, puede ser convertido en pulpa química o semiquímica a la presión atmosférica, a temperaturas de 95 a 100°C con reactivos alcalinos por el proceso mecano-químico (ÁLVAREZ, 1993) Las maderas duras de zonas templadas tienen menores cantidades de lignina más reactiva que las maderas suaves y se convierten más fácilmente en pulpa semiquímica, por lo que tiene menores requerimientos de energía química y de desfibración especialmente cuando se somete al proceso por el sulfito neutro.

Las maderas que contienen lignina en valores superiores al 30% se consideran inapropiadas para tratarse por el proceso al sulfito neutro. Las pulpas con alto contenido de lignina residual provienen de materiales vegetales bastante lignificados y para un rendimiento dado son generalmente más débiles que las pulpas procedentes de materiales con bajo contenido de lignina (LIBBY 1967).

Proceso para la elaboración de pulpa para papel.

Pulpeo

El pulpeo es el proceso mediante el cual la materia prima se convierte en una masa fibrosa denominada pulpa, que se obtiene por rompimiento de la estructura de las fibras. La pulpa es definida entonces como una masa fibrosa de naturaleza celulósica, de origen vegetal, resultante de la separación de las fibras de la madera u otros recursos lignocelulósicos (LOMBARDO, 1996). El producto fibroso obtenido es el resultado de la

separación de la fibras originalmente cementadas entre si por la lignina (RODRÍGUEZ, 1978). La producción de pulpa consiste en eliminar la lignina de la materia prima, es decir, la liberación de las fibras celulósicas.

La producción de pulpa se logra por medios mecánicos, químicos o semiquímicos, estos últimos conformados por la combinación de los químicos y los mecánicos. La selección de la técnica del pulpeo depende del tipo de materia prima a ser usada y de las cualidades de los productos deseados. Las maderas duras requieren tratamientos diferentes a los requeridos por las maderas blandas debido a sus diferencias morfológicas. La pulpa obtenida debe adquirir ciertas características que permitan la formación de la hoja de papel, por lo cual esta debe ser sometida a un tratamiento mecánico de desfibrado, tamizado y refino (SMOOK,2010).

Las propiedades de los productos terminales de papeles y cartones, dependerán de las pulpas utilizadas en su manufactura, estas variaran a su vez con las especies de fibras de distintas maderas o de plantas no leñosas utilizadas, así como del proceso empleado en la obtención de la pulpa (AGUILERA, et al 2006). Existe un gran número de procesos diferentes aplicables a la producción de pulpa. En los siguientes párrafos se presenta un resumen de los procesos de obtención de pulpa: mecánicos, químicos y semiquímicos.

Pulpeo mecánico

En la producción mecánica de pulpa los integrantes químicos originales del material fibroso quedan inalterados, excepto por la eliminación de los solubles en agua. Se caracterizan por tener un alto rendimiento. Normalmente entre 85 y 95%, es decir convierten hasta el 95% del peso seco de la madera en pulpa, ya que no hay otra perdida de los extraíbles en

agua y la separación de las fibras se produce por ruptura mecánica (RODRÍGUEZ, 1978).

Se requieren considerables cantidades de energía para lograr el objetivo. La pulpa obtenida a través de este proceso forma un papel poco resistente y amarillea fácilmente cuando se expone a la luz. Durante este proceso se origina el fibrilado en las fibras, el cual se refiere a la rotura de la superficie de estas, de fibrillas y microfibrillas obteniéndose fibras impuras, débiles e inestables. Para lograr una hoja con propiedades físico - mecánicas adecuadas se necesita añadir pulpa química de fibra larga a la pulpa mecánica (SMOOK, 1990).

El proceso mecánico va encaminado a producir una separación de las fibras, manteniendo inalterados los integrantes químicos originales del material fibroso. Esta operación se realiza en equipos de molida como son los refinadores y molinos. El papel hecho de esta pulpa es suave, voluminoso, absorbente, opaco y débil, sujeto a deteriorarse con el tiempo especialmente al exponerse a la luz solar. Las propiedades del papel hecho con pulpa mecánica son aceptables en muchos tipos de papel en los cuales su permanencia no es esencial como el papel periódico, los papeles tisúes, papeles para toallas y los de impresión (AGUILERA, et al 2006).

Hay dos razones básicas para usar pasta mecánica en papeles de impresión y similares. La más importante es su bajo costo, ya que el proceso utiliza prácticamente toda la fibra de la madera. La segunda razón es que las fibras rotas y desgarradas de la pasta mecánica pueden absorber rápidamente la tinta de las prensas de impresión (SMOOK, 1990).

Pulpeo químico

El pulpeo químico tiene como objetivo principal la eliminación selectiva de la lignina que une las fibras con la menor degradación posible de los polisacáridos estructurales; hemicelulosa y celulosa, para obtener rendimientos adecuados y pulpas con altas propiedades fisicomecánicas (CASEY, 1990). El pulpeo químico consiste en romper las uniones entre las fibras a través de la acción de productos químicos que logran solubilizar la lignina al formar otros compuestos (PALENIUS, 1998).

Dichas especies químicas activas potenciadas por efecto de altas temperatura y presión permiten obtener la pulpa. Este procedimiento se realiza en equipos de cocción o digestores diseñados para estos fines. El tratamiento químico proporciona una pulpa de mayor calidad ya que permite una completa liberación de las fibras celulósicas. Si el papel que va a producirse es blanco continúa la purificación durante la etapa de blanqueo. La pulpa química puede obtenerse mediante varios procesos: al sulfito, Kraft, soda etc., con rendimientos que varían de 35 a 50 %. El proceso empleado dependerá del uso final del producto.

Pulpeo semiquímico.

Es un proceso multietapa que comprende un tratamiento químico al material fibroso para obtener una remoción parcial de la lignina, seguido del tratamiento mecánico para completar la separación de las fibras, con una consecuente disminución del consumo de energía. Por ser procesos intermedios entre los mecánicos y los químicos constan de dos etapas; una química y otra mecánica. El tratamiento químico comprende la impregnación del material fibroso con el reactivo químico para producir un debilitamiento de los enlaces interfibrilares. La etapa mecánica o desfibración permite la separación de las fibras por acción físico – mecánica (RODRÍGUEZ, 1978).

Durante el proceso de impregnación se produce un hinchamiento en las fibras, incrementándose su espesor y el volumen, se reduce la fuerza que une a las fibras y la etapa de refracción mecánica se favorece. Los procesos semiquímicos más utilizados en la industria papelera son: importantes son: al Sulfito Neutro, Kraft, a la Soda, al sulfito ácido (LIBBY, 1967).

Es importante señalar que cada tipo de pulpeo se realiza bajo determinadas condiciones de operación, por ello se controlan una serie de variables fundamentales, algunas de las cuales son: hidromódulo, concentración de reactivos químicos, temperatura, velocidad de calentamiento y temperatura máxima, tiempo a temperatura máxima y consumo de reactivos químicos.

Los procesos semiquimicos comprenden las etapas siguientes: impregnación de astillas con el reactivo de cocción, tratamiento térmico o cocción y tratamiento mecánico o desfibrado. Por existir una separación parcial de los materiales que causan la unión entre las fibras, estos procesos en dos etapas producen rendimientos de pulpas que se encuentran comprendidos entre 55% y 75%, similares a los rendimientos habituales en la producción totalmente mecánica, con lo que se logra aprovechar completamente la materia prima y reducir los costos (CASEY, 1990).

La pulpa semiquímica se obtiene por un proceso que implica el ablandamiento de las astillas de madera con ácido sulfuroso o bisulfito seguido por fricción o molienda para convertirlas en pulpa. Los rendimientos logrados fluctúan entre 70 – 85% en pulpas no blanqueadas, dependiendo del tratamiento químico y los equipos usados en la desfibración (RODRÍGUEZ, 1978)

El rendimiento en pulpa por el método semiquimico es mucho más alto que el conseguido por otros procesos químicos corrientes. El costo de instalaciones es inferior al de pulpas químicas para su tratamiento y rendimiento (LIBBY, 1967).

Pulpeo semiquímico a la soda.

Uno de los procesos semiquímicos más utilizados en la industria papelera es el denominado pulpeo a la soda, que consiste en tratar la materia prima con una solución de hidróxido de sodio o sosa cáustica comúnmente denominado licor de cocción. Los rangos de concentración del reactivo pueden variar según el rendimiento requerido en la pulpa. Luego del cocimiento las astillas ablandadas se colocan en un refinador de disco el cual cumple la parte mecánica del proceso es decir desintegración y desfibrado. La pulpa a la sosa difiere del proceso al sulfato o Kraft porque en este último el licor de cocción consiste en sulfuro de sodio junto con hidróxido de sodio. A la presencia de sulfuro se debe la mayor resistencia de la pulpa y la cocción más rápida del proceso al sulfato, en comparación con la pulpa a la sosa (LIBBY, 1967).

Figura 2. Métodos semiquímico para la producción de papel.

E

Nombre del método	Reactivos	Tratamiento mecánico	Rendimiento en pulpa(%)
Kraft (Sulfato)	Na_2S + NaOH	Suave o ninguno	40 - 55%
A la soda	NaOH	Suave o ninguno	40 - 55%
Soda AQ	NaOH + Antraquinona	Suave o ninguno	45 - 55%
Sulfito ácido	Sulfito de Ca, Mg o NH_3	Suave o ninguno	45 - 55%
Bisulfito	Bisulfito de Na, Mg, o NH_3	Suave o ninguno	45 – 60%

Fuente: Casey, 1990

El proceso a la sosa es utilizado para el pulpeo de plantas anuales como el Kenaf, Sisal, Yute, Cañamo y algodón, materiales crudos valorables para la producción de pulpas especiales, puesto que las plantas anuales son fácilmente impregnadas, tienen bajos niveles de lignina y requieren menos químicos que la madera.

En este proceso a la sosa se usa de 10-15 % de hidróxido de sodio y normalmente se utiliza una temperatura de cocción de 160 a 170 grados centígrados (SANTOS Y PRATO, CITADO POR SANTIAGO, 1999).

Los rendimientos obtenidos son del 40% a 55 % influenciadas por el tipo y calidad de la materia prima pulpeada, especialmente por el contenido de lignina y la proporción de células parenquimatosas. Un alto contenido de

lignina y de parénquima no solo reduce el rendimiento sino que incrementa el consumo de álcali y disminuye las propiedades de la pulpa obtenida por el incremento en la formación de finos. El hidróxido de sodio reacciona con el complejo lignina-carbohidratos y los carbohidratos se solubilizan por hidrólisis.

Acondicionamiento para la pulpa de papel.

El acondicionamiento de la pulpa para papel se logra a través de la acción mecánica, la cual le proporciona las características adecuadas para la fabricación de papel; es así como la pulpa proveniente del proceso de pulpeo debe ser sometida a un proceso de desfibrado, tamizado, lavado y refino.

Desfibrado

En dicha etapa el material proveniente del proceso químico es parcialmente desintegrado y desfibrado con respecto a su forma original. Este proceso consiste en desagregar, dispersar o transformar el material fibroso de aspecto sólido, en suficiente agua para formar una suspensión fibrosa. La operación puede realizarse de manera continua o discontinua. El equipo mas utilizado para esta operación es el hidrapulper o tina. Las acciones mecánicas de la etapa de desfibración son principalmente las de fricción entre fibras y haces de fibra contra las placas del molino y las de compresión del material fibroso en suspensión a medida que esta es forzada entre las placas por efecto de la fuerza centrífuga del disco o discos rotatorios.

Como resultado de las fuerzas fricciónales, una gran parte de la energía que se aplica a una o ambas placas del molino se transforma en calor, además de servir para desintegrar las uniones entre las fibras ya debilitadas química y caloríficamente (LIBBY, 1967).

Lavado y tamizado.

El lavado se realiza con la finalidad de eliminar el licor negro en la pulpa y a través del tamizado se logran separar los haces de fibras más gruesos lo cual corresponde a la pulpa rechazada. De esta manera se logra determinar el porcentaje de rendimiento de la pulpa, es decir mediante la sumatoria de la pulpa rechazada y la pulpa aceptada.

Batido o refino.

Es el tratamiento mecánico aplicado a la suspensión fibrosa, para desarrollar propiedades en las fibras capaces de generar una buena formación de la hoja en la maquina papelera. La operación es llevada a cabo en presencia de agua, en la cual la fricción de las fibras entre barras metálicas o discos, permiten la uniformidad de ciertas características requeridas para la buena formación de papel.

El objetivo del refinado es acondicionar mecánicamente a las fibras para la fabricación del papel modificando algunas propiedades físicas con el fin de darle las características necesarias. Sirve esencialmente para aumentar la superficie especifica de las fibras y hacerlas más flexibles, de modo que aumente la superficie de contacto entre estas cuando vayan a formar la hoja (SMOOK, 2010).

El mayor o menor grado de refino influye notablemente en todas las propiedades de la pasta y del papel obtenido. En la pasta hace disminuir el escurrimiento y aumenta el poder de retensión y la resistencia inicial de la hoja húmeda. En el papel hace disminuir su volumen especifico y la porosidad y aumenta la resistencia a la tracción, la rigidez y la dureza.

Durante la refinación las fibras se separan e hidratan, se fibrilan y cortan aprovechando que en este paso las fibras se encuentran hinchadas por la absorción de humedad lo que las haces flexibles y manejables. Con una pulpa sin refinar se obtiene un papel con baja resistencia mecánica con volumen específico alto y con deficientes características de superficie. Por el contrario una pulpa excesivamente refinada produce un papel muy denso y muy resistente de baja porosidad y opacidad.

Muchas veces las diferentes propiedades están relacionadas en forma inversa por ello, el logro de determinadas características exige el sacrificio de otras, por ejemplo si se quiere aumentar la resistencia al rasgado debe aceptarse una baja refinación. Los equipos más utilizados para realizar el refino son la batidora holandesa y el refinador PFI.

Contenido de humedad de la madera.

Según PATT-REFORT/JUNAC (2000). La madera contiene agua bajo tres formas: Agua libre, agua higroscópica y agua de constitución. El agua libre se encuentra llenando las cavidades celulares .el agua higroscópica se halla contenida en las paredes celulares. El agua de constitución se encuentra formando parte integrante de la estructura molecular.

El contenido de humedad (CH) es el porcentaje en peso que tiene el agua libre más el agua higroscópica con respecto al peso de la madera anhidra o tilde al peso húmedo de la madera.

Existe dos valores del contenido de humedad que son particularmente importantes, al primero se le llama punto de saturación de la fibras (PSF) y es el contenido de humedad que tiene la madera cuando ha perdido la totalidad de agua libre y comienza a perder el agua higroscópica. Al segundo se le llama contenido de humedad de equilibrio (CHE) cuando la madera

expuesta al aire, pierde parte del agua higroscópica hasta alcanzar el equilibrio con la humedad relativa del aire.

Factor de sequedad.

BENÍTEZ Y GUTIÉRREZ (2012).El factor de sequedad es la fracción que representa el contenido de humedad perdido en el momento de secado en un horno convencional hasta alcanzar el peso constante, se determina mediante la siguiente formula:

$$FS= \frac{ms}{mh}$$

Dónde:

FS= Factor de sequedad.

Ms= Masa seca.

Mh= Masa humada.

%PH=(1-FS)*100

%PH= Porcentaje de la humedad perdida en base al peso húmedo.

Gramaje.

Leticia Vas (2012). Se define como la densidad del papel medida en gramos por m^2 .este concepto hace la referencia al grosor o cuerpo del papel y podemos destacar del mismo los siguientes conceptos o ideas:

1. Usualmente, a mayor gramaje, más calidad.
2. Los gramajes imprimibles van desde 60 gramos hasta 350 gramos.
3. El gramaje de referencia es de 80 gramos que es el típico de fotocopiadora.

Factor H

Es uno de los métodos utilizados para predecir el punto final de la cocción alcalina. VROOM (1957) desarrolló un método para expresar los tiempos y las temperaturas de cocción en una sola variable, basada en la ecuación modelo de **Arrhenius**. Esta variable, denominada factor H, puede expresarse como un valor numérico, que representa el área bajo una curva en la cual las velocidades de reacción relativas se grafican respecto al tiempo de cocción.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Lugar de ejecución.

3.1.1. Ubicación del área experimental.

La investigación se realizó en la Universidad Nacional de Ucayali ubicado en el km 6.200 Carretera Federico Basadre, en el distrito de Manantay, Provincia de Coronel Portillo, Departamento de Ucayali. En los ambientes del laboratorio de Transformación química de la madera.

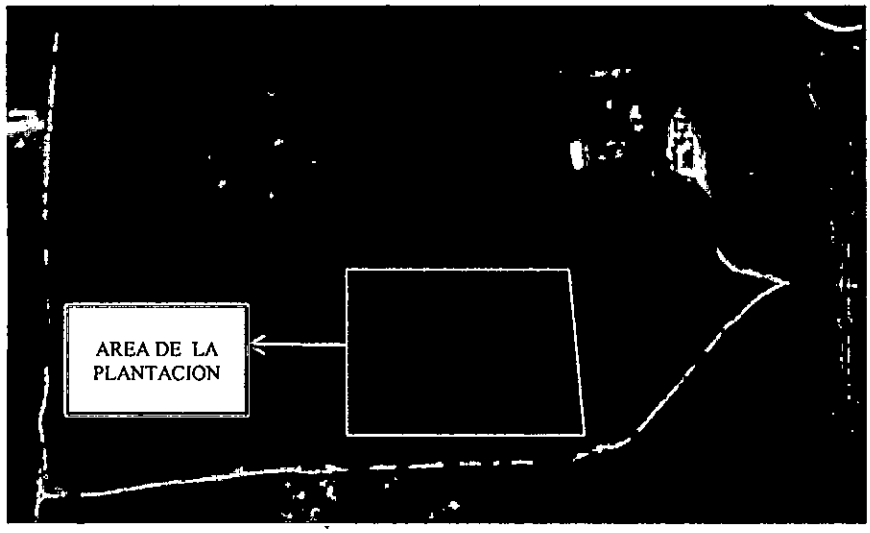
3.2. Método de investigación.

El método que se empleo fue experimenta, cuantitativo y consta de:

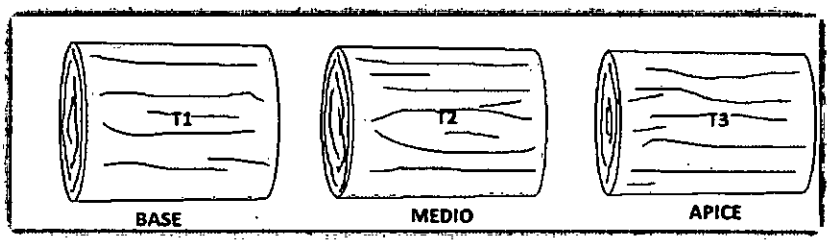
- Normas INDECOPI, ASTM, manual de Laboratorio.
- Determinación de la composición química de la madera.
- Se llevó a cabo el procesamiento de los datos y análisis estadísticos para establecer los niveles de confiabilidad de los resultados, empleando el análisis de varianza (ANOVA), solo para la evaluación de la pulpa en forma de hoja de papel.

3.3. Población y muestra

La población está representada por una reforestación de 300 árboles de bolaina blanca (***Guazuma crinita***), proveniente de una plantación en el centro poblado San Pablo de Tushmo, perteneciente al distrito de Yarinacocha. Ubicado con coordenadas geográficas 8° 21' 36" S; 74° 36' 32" O.



Lo cual se tomó la muestra de un árbol, para ello se utilizó el fuste del árbol esto permitió la toma de muestras por niveles longitudinales del fuste (tres niveles).La trozas obtenidas se marcaron con el número de la troza.



3.4. Instrumento de recolección de datos.

3.4.1. Reactivos.

- Ácido nítrico de 40% al 13.7%
- Alcohol etílico de 96 %
- Agua destilada
- Clorito de sodio al 1.5%
- Ácido acético concentrado al 96%
- Ácido clorhídrico 4N
- Ácido sulfúrico al 72%

3.4.2. Equipos y materiales

- Capsulas de porcelana
- Bomba o trampa de vacío
- Balón de cuello esmerilado de 100 ml.
- Refrigerante de flujo
- Papel filtrante
- Estufa
- Baño maría
- Balanza analítica
- Vaso de precipitado
- Vasos de 300 ml
- Varilla de vidrio
- Erlenmeyer de 500 ml
- Crisoles de capa filtrante de porosidad media o papel de porosidad Equivalente en forma de embudo buchner.
- Plancha caliente con termostato
- Erlenmeyer de 500 ml con refrigerante en flujo

- Capsula de porcelana
- Desecador
- Estufa con termostato regulable
- Vasos de 100 ml de capacidad
- Extractor soxhlet; por un balón de 250 ml, tubo soxhet para extracción de diámetro inferior de 50 mm. Capacidad tope de sifón de 100 ml, altura de sifón de 55 mm, condensador Hopkins.
- Calentador eléctrico
- Dedal de extracción
- Algodón
- Erlenmeyer de 250 ml
- Termómetro
- Pipetas
- Luna de reloj
- Capsula de platino o porcelana
- Mufla
- Balanza analítica
- Desecador
- Papel filtro sin cenizas, compacto
- Vasos de precipitado de 50 ml.
- Erlenmeyer de filtración
- Vaso precipitado
- Pipetas graduadas
- Probetas de 10 ml
- Embudo de vidrio

3.4.3. Procedimiento

Selección del árbol.

Para el presente estudio se seleccionó 1 árbol de dimensión representativa de la población y con características fenotípicas resaltantes apropiadas para el uso en transformación química de la madera. Se determinaron la altura total del árbol y el fuste comercial, el diámetro a la altura del pecho la plantación de donde se extrajo la muestra tiene 5 años de reforestado.

3.4.4. Determinación de los componentes químicos.

A. Molienda de la materia prima.

Se molieron la madera de las trozas de cada nivel en partículas pequeñas y se tamizaron en un tamiz 40/60 de acuerdo a la norma específica.

B. Ejecución de ensayos para la determinación de la composición Química.

B.1. Determinación del contenido de humedad en aserrín de madera.

El método gravimétrico es ampliamente utilizado por diferentes organismos de normalización para determinar el contenido de humedad en maderas y reconocido como un método primario (Norma ASTM D 4442).
Se determinó el peso de la capsula empleando una balanza analítica, se añadió 2 gramos de partículas pequeñas que quedo retenido en el tamiz 60, y volver a pesar. Por diferencia de pesos se obtuvo el peso húmedo de la muestra. Se llevó la capsula (con muestra) a la estufa a +100 °C y – 105 °C, a las 2 horas se sacó, se colocó en un desecador hasta que enfrió y luego se pesó. Este procedimiento se repite hasta obtener un peso constante.

Para determinar la humedad se empleó la siguiente formula:

$$\%h = \frac{mh - ms}{mh} x100$$

Dónde:

Mh= Masa húmeda

Ms= Masa seca

B.2. Determinación de extractivos en la madera.

B.2.1. Determinación de extractivos en agua fría.

Se colocó las muestras de 2 gramos de aserrín de madera en vasos de 300ml de agua destilada por separado, se dejó las muestras a temperatura ambiente durante 48 horas agitando de tiempo en tiempo.

Se filtró el material obtenido de aserrín de madera y aserrín de corteza por separado en un crisol tarado o papel filtro seco pesado, se lavó con agua destilada fría y se secó a 105 °C hasta peso constante. Se enfrió en desecador y se pesó.

B.2.2. determinación de extractivos en agua caliente.

Se puso por separado 2 gramos de aserrín de madera y 2 gramos de aserrín de corteza en el erlenmeyer con el tubo refrigerante a reflujo y se agregó 100 ml de agua destilada; luego se hizo hervir durante 3 horas agitando frecuentemente, se filtró con vacío sobre crisol filtrante de porosidad media con agua en estufa a 105 °C y luego se pesó.

Para determinar los extractivos en agua caliente o frio se utilizó la siguiente formula:

$$\text{\% solubles en agua} = \frac{\mathbf{P}}{\mathbf{W}} \times \mathbf{100}$$

Dónde:

P= peso perdido de aserrín durante determinación.

W= peso seco de muestra.

B.2.3. determinación de extractivos en alcohol.

1. Previo al trabajo se lavó y seco completamente el balón de extracción en estufa, y luego el balón se puso en un desecador por 20 minutos para que se enfrié, se pesó el balón con 0.005 g de precisión y se anotó este peso.
2. Se pesó el papel filtro o dedal de extracción a utilizar como receptor de aserrín con 0,005 g de precisión.
3. Luego se agregó el cartucho de papel filtro receptor 2 gramos de aserrín de madera. Posteriormente se tapono la boca con un tapón hecho de papel filtro, se dobló cuidadosamente de tal manera que al momento de la extracción no se escape el aserrín.
4. Posteriormente se introdujo el recipiente con aserrín dentro del cuerpo medio del soxhlet.
5. Se instaló el equipo y se agregó por la parte de arriba del soxhlet alcohol, hasta que se produjo una descarga de solvente hacia el balón, se agregó 50 ml adicionales de solvente.
6. Se prendió la cocina eléctrica a una temperatura que permita aproximadamente 6 descargas por hora. Se dejó que transcurra este proceso de 4 a 6 horas.
7. Cumplido el tiempo se enfrió, se retiró el recipiente que contiene el aserrín y se guardó. Posteriormente se instaló de nuevo el equipo soxlet, cuando estuvo por llenarse la parte media del soxhlet se dejó enfriar y se recuperó el solvente utilizado guardándolo en un recipiente herméticamente cerrado. Se repitió este proceso hasta que quedo poco solvente en el balón.

8. Se desmonto el balón y se secó de 100 a 105°C hasta que broto olor del solvente utilizado (aproximadamente una hora). Se enfrió en el desecador y luego se pesó. Se anotó el peso, el incremento en el peso del balón es la cantidad de extractivo solubles en alcohol.

$$\%\ \text{Extractivo} = \frac{(\text{Peso del balon del extracto}) - (\text{Peso del balon vacio})}{\text{Peso de la muestra}} \times 100 = \frac{R}{W} \times 100$$

Dónde:

R = peso del balón en extracto (PEB) – Peso del balón seco y vacío (PB)

W= peso seco de la muestra utiliza

B.3. Determinación de holocelulosa de la madera.

Se depositó 2 g de muestra en el Erlenmeyer y se trató con 150 ml de solución de clorito de sodio al 1.5% y 10 gotas de ácido acético concentrado, se cubrió con una luna de reloj y se dejó en baño maría a 70°C durante 30 minutos agitando de vez en cuando.

Después se añadió gotas de ácido acético concentrado y 150 ml de clorito de sodio repita esta operación cada 30 minutos hasta completar 3 repeticiones por que la especie ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca) no es una madera dura. Terminado el tratamiento se enfrió en agua helada y se filtró, se lavó el residuo cinco veces con 40 ml de agua destilada helada, después se secó a 105 °C, hasta peso constante y luego se enfrió en un desecador y se pesó.

Para determinar el porcentaje de holocelulosa se empleó la siguiente fórmula:

$$\%\ \text{Holocelulosa} = \frac{\text{Peso de holocelulosa}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100 = \frac{R}{W} \times 100$$

Dónde:

R = Peso del residuo seco

W = Peso de la muestra seco

B.4. Determinación de celulosa.

Se pesó 2 g de aserrín seco al aire libre. Aparte se determinó la humedad de la madera, se colocó la muestra pesada en un balón de 100 ml. Con refrigerante a flujo.

En un vaso de precipitado se tomó 10 ml. de ácido nítrico y se agregó a 40 ml. de alcohol; se echó rápidamente la mescla en el balón con la muestra y se llevó a ebullición suave en baño maría, con refrigerante a flujo durante una hora; se decantó el líquido sobrenadante sobre crisol filtrante N ° 2 y se agregó otros 50 ml. de mescla nitro – alcohólica y se hizo hervir suavemente otra hora.

Se repitió por tercera vez el ataque nitro alcohólico y luego de una hora de ebullición suave, se filtró el vacío con la ayuda del crisol filtrante, se lavó el residuo con agua caliente desionizada y se secó en la estufa a 105 °C hasta peso constante.

Se efectuó la determinación de celulosa y de humedad, y se aplicó la siguiente formula:

$$\textbf{\% de celulosa} = \frac{\mathbf{R}}{\mathbf{W}} \times \mathbf{100}$$

Dónde:
R = peso del residuo seco
W = peso seco de la muestra

B.5. Determinación de la hemicelulosa.

Se determinó por diferencia de la cantidad en porcentaje de la holocelulosa y celulosa.

B.6. Determinación de lignina.

Se colocó la muestra de 2 g. de aserrín en un vaso de 50 ml. y se agregó lentamente 15 ml. de ácido sulfúrico frio macerando el material con una varilla de vidrio, por 2 horas agitando frecuentemente.
Al cabo de las 2 horas se pesó cuantitativamente el contenido del vaso al Erlenmeyer y se diluyo con agua hasta obtener una concentración de ácido al 3% correspondiente a un volumen total de 575 ml.

Luego se hizo hervir durante 4 horas a reflujo para mantener el volumen constante, posteriormente se dejó que el material insoluble (lignina) se sedimente durante la noche sobre el crisol filtrante usando agua caliente y una varilla de vidrio. Se lavó residuo con agua caliente eliminar completamente el ácido y se secó a los 105 °C hasta peso constante y finalmente se enfrió en un desecador y se pesó.
Para encontrar el porcentaje de la lignina se utilizó la siguiente formula:

$$\%\ \text{lignina} = \frac{\text{Peso de la lignina}}{\text{peso de la muestra seca}} \times 100 = \frac{R}{W} \times 100$$

Dónde:
R = peso de la lignina (residuo)
W = peso de la muestra seca.

B.7. Determinación de cenizas.

Se pesó 5 gramos de muestra en un crisol con tapa previamente calentado a 600 °C, enfriado y pesado.

Se colocó el crisol en la mufla, una temperatura de 120°C. Evitando perdidas del material; se continuó el calentamiento hasta que toda la muestra haya sido carbonizada; cuando no hubo más llama, se subió la temperatura 575 °C ± 25°C y se calentó por 3 horas hasta la calcinación completa.
Terminada el proceso, se apagó la mufla y se esperó que la temperatura baje a 100°C. Se sacó el crisol, se colocó en un desecador para su enfriamiento, finalmente se pesó las cenizas.

Para determinar el porcentaje en de cenizas en base seca se aplicó la siguiente formula:

$$\% \text{ cenizas} = \frac{\text{Peso de cenizas}}{\text{Peso seco de la muestra}} \times 100 = \frac{R}{W} \times 100$$

Dónde:

R = Peso de cenizas
W= Peso seco de la muestra

B.8. Determinación de sílice.

En un crisol previamente tarado se pesó 5 gramos de muestra y luego se colocó en la mufla a 575- 600 °C, obteniendo cenizas blancas al cabo de 3 horas. Luego se sacó el crisol y se colocó en el desecador durante 25 minutos para su enfriamiento, luego se pesó las cenizas totales.
Posteriormente se agregó 10 ml. HCl 4N tratando de mojar todas las partículas adheridas a las paredes; esto se hizo hervir durante 2 minutos. Se

llevó a sequedad en baño maría durante 3 horas y se completó la desecación en estufa a 105°C hasta peso constante.

Se enfrió en el desecador y se agregó a 10 ml de H_2O, se volvió a desecar en estufa y se agregó a 10 ml. HCl 1N dejando el crisol durante 10 minutos en baño maría, se filtró al vacío a través de papel filtro compacto sin cenizas lavando con HCl al 1 %. Posteriormente se deseco el filtro en estufa y luego se calcino a 450 – 500 °C, se pesó el residuo insoluble y se procedió a determinar el porcentaje de sílice, mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ sílice} = \frac{\text{Peso del residuo}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

3.5. Obtención de la pulpa para papel de la especie *Guazuma crinita.*

Preparación de las astillas.

Las astillas (chips) se obtuvo en el proceso de aserrío de la madera con dimensiones de 1.5 x 3.0 cm con espesor entre 3 a 5 mm, y se tomó 1500gr de astilla por cada nivel del fuste.

Material y equipo experimental

- Digestor rotatorio, cap. 15 litros, con calentamiento eléctrico.
- Estufa a 105 °C
- Balanza de 0,1g de precisión
- Vasos de plástico
- Probetas graduadas de 500 ml
- Varillas de vidrio
- Crisoles de vidrio
- Densímetro (1 a 1,5)
- Baldes, bolsas de plástico y de tela

- Una laptop con software Office
- EPP: guantes cuero, guantes de caucho, mandil manga larga, gafas de protección.

Material y equipo de gabinete.

- Papel bond A4.
- Lápiz.
- Bolígrafo.
- Computadora
- Tinta para impresora, color negro
- Tinta para impresora, colores
- Cámara fotográfica

Reactivos.

Solución preparada de licor blanco: conformada por NaOH
(R1) álcali activo = hidróxido de sodio
Pureza % : mayor a 98%

Materia prima

Madera, en forma de astillas de madera.

Nombre común	Bolaina blanca
Nombre científico	***Guazuma crinita***
Familia	Esterculiaceae
Procedencia	Plantación en predio privado en San Pablo de Tushmo-Yarinacocha

Procedimiento.

Preparación de la materia.

- **Determinación de la masa** : Las astillas (chips) se sacó de los tres niveles de fuste, estas muestras se humedecieron en el laboratorio antes del pulpeo ; para el ensayo , determinar la humedad ; luego estimar una masa de astillas equivalente que contenga una masa seca de 1000 g (ms) por cada nivel de fuste.

a) Cálculo de humedad: se tomó muestras de astillas, por niveles de fuste aprox. 2 gramos masa húmeda (mh) y se colocó dentro de la estufa, a 105°C, hasta masa constante; se retiró las astillas y determino el valor de masa seca (ms), y luego se obtuvo contenido de humedad (%h):

$$\%h = \frac{mh - ms}{mh} x100$$

b) Cantidad de materia prima para la cocción: con humedad conocida (%h), determina la masa húmeda (MH_{sa}) equivalente a la masa seca (MS), por la fórmula siguiente:

$$MH_{sa} = \frac{MS}{100 - \%h} * 100$$

Dónde:

MH_{sa}: masa húmeda de la materia prima

MS : masa seca o anhidra, definida según capacidad del digestor (MS=1000 g)

% h : humedad, expresada en porcentaje

Reactivos de cocción.

Los reactivos deben estar diluidos en agua. Es necesario conocer los siguientes valores del reactivo

- Pureza %
- Concentración del álcali activo, (g/l)
- Densidad de la solución del álcali activo (g/ml)

Preparación del reactivo.

El licor está compuesto por los reactivos, el agua de la madera y el agua agregada para completar la masa total del licor de cocción. La cantidad de licor de cocción es en base a la relación predefinida LD/MS; se tomó el valor de 6/1.

Preparación del NaOH.

Este reactivo se utilizó líquido, por lo que se requiere diluirlo. Esta preparación se realizó de manera pausada, pues la dilución del NaOH en agua es una reacción exotérmica, NaOH análisis (98 % pureza).

Estimación de la cantidad de reactivo.

La cantidad de reactivo se estimó tomando en cuenta, la cantidad de lignina inicial, extractivos, el tipo de pulpa deseada, pulpa para papel oscuro . Un cuadro con datos experimentales de necesidad de reactivos se presentan en el anexo 16.

Para la disminución de la concentración del NaoH al 98 % de pureza, para un proceso alcalino al 24 % se realizó con la siguiente formula:

$$\% \text{ NaOH} = \frac{m \times 0.24 \times 1.29}{0.98}$$

Dónde:

m= 1000 g de madera

Factor de conversión del Na_2O al NaOH = 1.290

Preparación del licor de cocción: Con los datos de humedad y concentración, se realizó el ejercicio de cálculo de preparación de licor, según el ejemplo siguiente:

- Masa seca 1000 g (MS)	Calculando masa húmeda (MH)
- Humedad % (mh) - Humedad en fracción - f= %h /100	$MH= \frac{MS}{(1-f)}=$

- Concentración de NaOH 24 %
- Relación licor/madera (L/M)= 6/1
- Licor de cocción LD = MS * 6

Cuadro 1. Calculo en base 1000 g de MS

	% bms	Masa requerida	Concentración (g/L)	Densidad (g/mL)	Volumen (mL)	Masa (g)	
MS						**1000**	
Agua de Madera (Am)		Masa h-1000 g		1		***(Am)***	g
Álcali activo	24 %	309,6 g	303,1		ml	***(AA)***	g
Agua a agregar	Ag = LD – AA - Am					***(Ag)***	g
Peso del licor		LD = MS * 6 = ***(Am)*** + ***(AA)*** + ***(Ag)***				**(LD)**	6000 g

El ejemplo realizado para la preparación del licor de cocción se muestra en el anexo 14.

Variable de digestión.

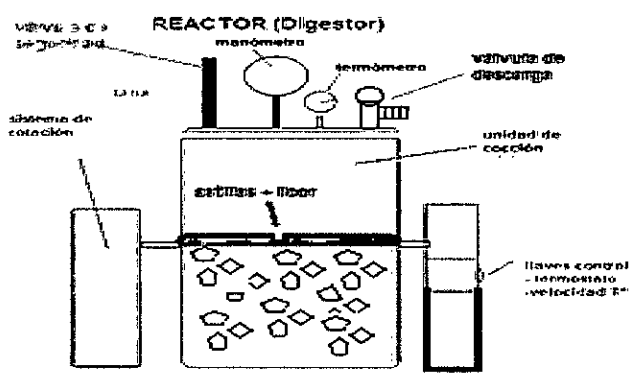
Cuadro 2. Variables del Proceso de cocción Kraft

Nombre común: Bolaina blanca	Nombre científico: ***Guazuma crinita***	
Cantidad de materia seca (MS)	1000 g	
Álcali activo*	24 % bms	
Reactivos*	%NaOH= 24 %	$\%Na_2S$ = 0 %
Aditivo	0,00 % bms	
Relación Licor / Materia seca (LD/MS)	6/1	
Temperatura máxima /Presión máxima	160 °C	0,618 MPa
Tiempo del proceso	Aproximadamente 150-160 minutos, según factor H	
Factor H	1000 (para latifoliada)	

- Las variables tiempo y temperatura dependerán del factor H.
- La presión es dependiente de la temperatura; aunque en la 1ra mitad del proceso se realiza un alivio de presión (desgasaje).
- El valor del factor H es equivalente a la energía química del proceso. Para madera latifoliadas, los valores de factor H varían entre 900 a 1200; para coníferas, entre 1200 a 1500.

3.5.1. Carga del digestor

Luego de los cálculos, se realizó la carga del digestor.

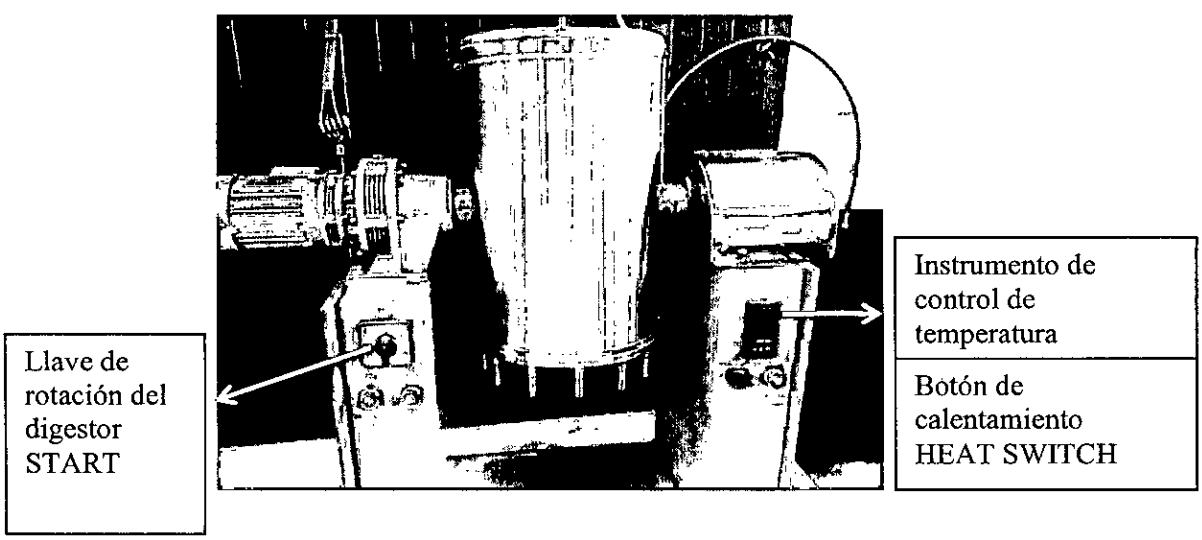


- Las astillas humedecidas se colocan dentro del digestor e inmediatamente, se agregó el licor de cocción.

- Se cerró, colocando la tapa del reactor, asegurando su cierre hermético.

- Se controló que el termostato del digestor este calibrado a la temperatura máxima de trabajo. **La temperatura no debe sobrepasar más al valor programado en el termostato.**

- Se Puso en marcha el digestor conectando simultáneamente las llaves de rotación (*start*, gire a la derecha) y de calentamiento (*heat switch).*



Cocción

Durante esta etapa se controló cada 5 minutos los valores de temperatura y presión. Durante el período de elevación de la temperatura hasta el valor máximo (163 C°), se debe tener cuidado de que la presión manométrica no llegue a la zona crítica (más de 0,8 MPa) y que en caso de que ocurra se debe detener la rotación del digestor y realizar un desgasaje, deteniendo la

marcha del equipo, abra la válvula de descarga, hasta que la presión baje a menos 0,6 MPa; luego se retomó la posición normal, con el digestor.

Control del factor H.

- Con ayuda de una lap top, durante la cocción, mientras se controla las variables, se llenó el formulario, que se encuentra en el anexo, "Tabla datos Tiempo y temperatura; se requirió abrir de manera simultánea el archivo Excel "UNU-factor H", en la hoja "DATOS".

3.5.2. Descarga.

Al alcanzar el valor del factor H, se detuvo y apago el digestor; se eliminó, mediante la ayuda de una manguera de descarga, el vapor al interior del equipo, hasta bajar la temperatura a menos de 100°C, y/o reducir la presión manométrica a 0. Se Descargó con cuidado la pulpa con el licor negro: se manipulo con precaución (se utilizó guantes de cuero) pues el material se encuentra caliente. Se retiró la pulpa y el licor, trasvasarlos a una bolsa, dentro de un balde de plástico (balde de masa conocida.)

- Se Separó el licor negro, exprimiendo la bolsa, dentro del balde; se determinó la masa total . Se colocó el licor negro dentro de una probeta, se determinó su volumen v_{an} y luego su densidad relativa (d_{ln}): Densidad= masa/volumen

3.5.3. Tamizado y lavado de la pulpa.

La pulpa se colocó sobre un tamiz, malla 30, para separar incocidos; se utilizó agua corriente para la operación. Se recogió la pulpa tamizada en una bolsa de tela; los incocidos sobre el tamiz son retirados y colocados en un recipiente para determinar su masa seca, en estufa, (hasta masa seca

(**mi**). Durante el lavado, se agregó el agua por etapas, reciclo la 1[ra] mitad del líquido de lavado. Continúo el lavado hasta eliminar el licor residual (se comprobó al observar el agua, cristalina).

Luego de lavar la pulpa se centrifugó por 3 min, o exprimida en forma manual. Determine la masa de la pulpa húmeda (PH); se tomó una muestra de 5 gr y se colocó en crisol, previamente pesado y llevar a estufa a 105 °C ± 2 °C, hasta masa constante (24 h) en balanza con 0,1 gr de precisión. Se estimó la humedad de la pulpa (**%hp**) y luego se calculó la masa de la pulpa seca (PS):

$$PS = \frac{PH}{100} * (100 - \%hp)$$

Simplificando la fórmula:

$PS = PH\ (1\text{-}0{,}01_x\%\ hp)$

Rendimiento del pulpeo.

El rendimiento neto (Rn) se calcula por la fórmula: $\%\,Rn = \frac{PS}{MS} * 100$

MS = 1000 g

3.6. Evaluación física.

a). Área del papel y gramaje.

Área del papel = πr^2

Gramaje (g/m^2) = peso del papel (g.) /área (m^2).

b). Factor de sequedad.

$$S = \frac{Ms}{Mh}$$

Donde.

S = Factor de sequedad.
Mh = Peso del papel obtenida al final del proceso.
Ms = Peso del papel después de una hora en la estufa a 105 °C.

c). Calibre y volumen del papel.

Calibre = Se mide con el micrómetro en distintos puntos.
Volumen = Área x calibre.

3.7. Tratamiento de datos.

Se determinaron parámetros estadísticos tales como la medida de tendencia central (promedio), medida de dispersión relativa (coeficiente de variación); Para determinar si existen diferencias significativas en base a los datos de rendimiento de la pulpa del papel, propiedades físicas de la hoja del papel, contenido de humedad ,procedente de los diferentes niveles del fuste se realizó el análisis de la varianza.

3.8. Diseño estadístico.

En el presente trabajo se aplicó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), teniendo como objetivo determinar el rendimiento de la pulpa, propiedades físicas de la hoja de papel ,en los tres niveles del fuste de la especie ***Guazuma crinita*** realizando tres repeticiones por nivel.

1. Unidad experimental (árbol de ***Guazuma crinita***)
2. Factor (niveles de fuste).
   - Base (Primer nivel)
   - Medio (Segundo nivel)
   - Ápice (Tercer nivel)
3. Variables de estudio.
   - Contenido de humedad
   - Evaluaciones físicas de la pulpa.
   - Rendimiento de la pulpa.

N° de tratamiento = 3 x 3 = 9

N° de repeticiones = 1

ANOVA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamiento	SCa	(p-1)	Cma	Fobs	p	Fc
Error	SCr	(n-p)				
Total	SCt	n-1				

Estadísticamente un análisis de varianza es significativo si la probabilidad "P" es menor de 0.05.

Nota:

Al ser significativo el análisis de varianza, se utilizó la prueba de medias de Tukey para determinar dónde está la significancia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Resumen del contenido químico de madera por niveles longitudinales del fuste de *Guazuma crinita* (Bolaina blanca).

Cuadro 3: Resumen general del contenido químico promedio de madera Guazuma crinita (Bolaina blanca) por niveles longitudinales de fuste.

	Nivel	A	B	C	D	E	F
Madera	1	23,12	4,96	43,79	24,63	1,83	0,22
	2	17,38	3,40	41,06	22,54	1,75	0,18
	3	18,30	3,07	40,84	21,47	1,72	0,16
Promedio		**20,15**	**3,81**	**42,41**	**22,88**	**1,76**	**0,19**

A = Humedad B = Extractivos C = Celulosa D = Lignina E = Cenizas F = Sílice

En el cuadro 3 se observa el resumen general del contenido químico promedio de madera ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca) por niveles longitudinales de fuste. De acuerdo al cuadro, la composición química es variable, es así que la madera tiene mayor humedad en el nivel 1 con 23,12%, extractivo 4,96%, celulosa con 43,79%, lignina con 24,63%, cenizas 1,83% y sílice 0,22%.

Estos resultados varían un mínimo de porcentaje encontrado por REVISTA FORESTAL DEL PERÚ (1968), que manifiesta haber encontrado para la misma especie 21,6 % de lignina, el porcentaje de ceniza 0,29 %. El porcentaje de celulosa encontrado en esta investigación fue en promedio de 42,41%, esto está dentro de los estándares industriales para producir papel, se considera que un material es apto para producir papel cuando presenta un porcentaje mínimo de celulosa del 33% (LIBBY, 1967)

Cabe mencionar que el porcentaje de extractivo mostrado en el cuadro es el promedio de los extractivos en agua fría, en agua caliente y en alcohol.

4.2. Contenido de humedad de las astillas por niveles longitudinales del fuste de *Guazuma crinita* (Bolaina blanca).

Cuadro 4. Parámetros estadísticos del contenido de humedad (%) de las astillas por niveles longitudinales de fuste de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca).

Contenido de humedad			
Niveles	Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente Variación (%)
N_1 (Base)	20,40	0,199	0,040
N_2 (Medio)	19,92	0,057	0,003
N_3 (Ápice)	19,96	0,011	0,001

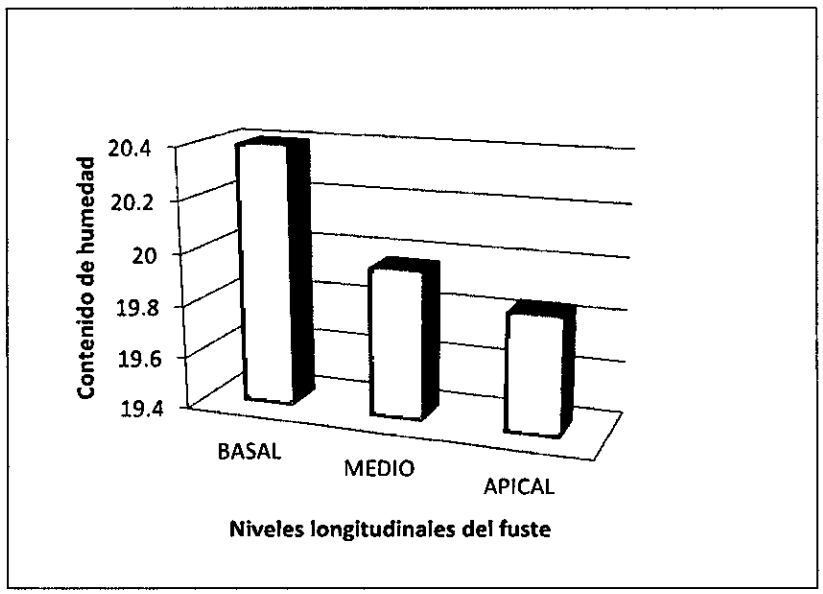


Gráfico 1. Promedio del contenido de humedad (%) de las astillas por niveles longitudinales del fuste de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca).

En el cuadro 4 y grafico 1 se observa el promedio del contenido de humedad de las astillas por niveles longitudinales de fuste de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca). Donde el mayor contenido de humedad fue obtenido en el nivel 1 (Base) con 20,40% hasta llegar a disminuir en el nivel 2 (medio) con 19,92%.

Cuadro 5. Análisis de varianza del contenido de humedad de las astillas por niveles longitudinales del fuste de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca).

F. V	GL	SC	CM	Fc	P valor	Significancia
Tratamientos	2	0,277	0,139	5,143	0,013	*
Error	6	0,086	0,014			
Total	8	0,363				

Cuadro 6. Prueba de medias (Tukey) humedad de las astillas por niveles longitudinales del fuste de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca).

Tratamientos	N_1	N_2	N_3
Promedios	20,40	19,92	19,96
	A		
		B	B

En el cuadro 5 se demuestra que existe significancia en la humedad de la madera entre los niveles longitudinales de fuste y en el cuadro 6 con la prueba de medias se comprueba que la significancia está dada en el nivel N_1 (base).

4.3. Contenido de humedad de la pulpa húmeda para papel por niveles longitudinales del fuste de *Guazuma crinita* (Bolaina blanca).

Cuadro 7. Parámetros estadísticos del contenido de humedad (%) de la pulpa para papel por niveles longitudinales del fuste de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca).

Contenido de humedad			
Niveles	Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente Variación (%)
N_1 (Base)	42,01	0,50	0,25
N_2 (Medio)	40,14	0,76	0,58
N_3 (Ápice)	39,92	0,57	0,33

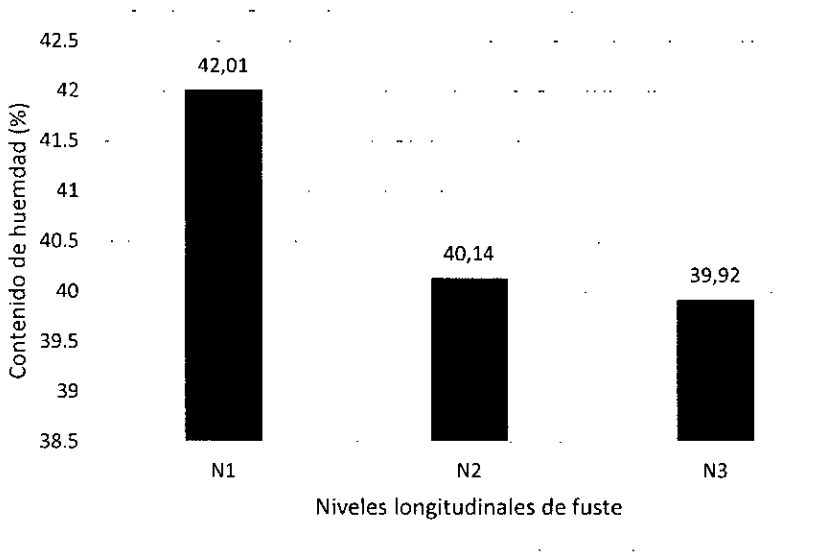


Gráfico 2. Promedio del contenido de humedad (%) de la pulpa para papel por niveles longitudinales del fuste de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca).

En el cuadro 7 y grafico 2 se observa el promedio del contenido de humedad de la pulpa para papel por niveles longitudinales del fuste de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca). Donde el mayor contenido de humedad fue obtenido en el nivel 1 (base) con 42,01 % hasta llegar a disminuir en el nivel 3 (ápice) con 39,92 %.

Cuadro 8. Análisis de varianza del contenido de humedad de la pulpa para papel por niveles longitudinales del fuste de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca).

F. V	GL	SC	CM	Fc	P valor	Significancia
Tratamientos	2	7,920	3,960	10,262	0,012	*
Error	6	2,315	0,386			
Total	8	10,235				

Cuadro 9. Prueba de medias (Tukey) humedad de la pulpa para papel por niveles longitudinales del fuste del ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca).

Tratamientos	**N_1**	**N_2**	**N_3**
Promedios	42,01	40,13	39,92
	A		
		B	B

En el cuadro 8 se demuestra que existe significancia en la humedad de la pulpa para papel entre los niveles longitudinales del fuste y en el cuadro 9 con la prueba de medias se comprueba que la significancia está dada en el nivel N_1 (base).

4.4. Propiedades físicas del papel.

4.4.1 Factor de sequedad.

Cuadro 10.Parámetros estadísticos del factor de sequedad por niveles longitudinales del fuste de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca).

Niveles	Factor de sequedad		
	Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente Variación
N_1 (Base)	0,90	0,0026	0,29
N_2 (Medio)	0,87	0,0112	1,28
N_3 (Ápice)	0,85	0,0443	5,23

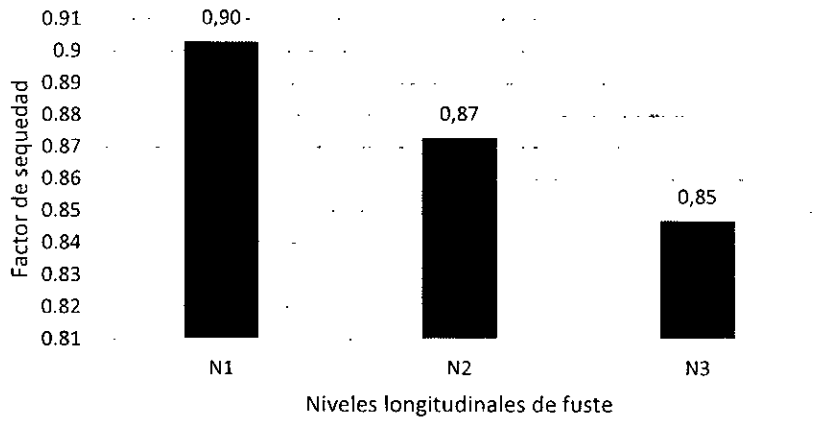


Gráfico 3: Promedio del factor de sequedad por niveles longitudinales del fuste de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca).

En el cuadro 10 y grafico 3 se observa el promedio del factor de sequedad de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca). Donde el mayor factor de sequedad fue obtenido en el nivel 1 (base) con 0,90 y hasta llegar a disminuir en el nivel 3 (base) con 0,85. Al secar la pulpa en forma de papel en horno a temperatura de 105 C°, hasta alcanzar peso constante el resultado da a conocer una diminución en el peso que es el contenido de humedad perdido en base al peso húmedo, a mayor factor de sequedad menor contenido de humedad perdido. Tal como lo indica (BENÍTEZ Y GUTIÉRREZ .2012)

Cuadro 11. Análisis de varianza del factor de sequedad por niveles longitudinales del fuste de la especie ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca).

F. V	GL	SC	CM	Fc	P valor	Significancia
Tratamientos	2	0,004767	0,002384	3,42	0,102	**N.S.**
Error	6	0,004183	0,000697			
Total	8	0,008950				

En el cuadro 11 se observa el análisis de varianza del factor de sequedad por niveles del fuste, de acuerdo a esto se aprecia que no existe diferencia significativa por niveles longitudinales del fuste.

4.4.2 Área del papel

Cuadro 12. Parámetros estadísticos del área del papel por niveles longitudinales del fuste de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca).

Niveles	Área del papel (cm^2)		
	Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente Variación
N_1 (Base)	308,95	1,80	0,58
N_2 (Medio)	305,85	4,74	1,55
N_3 (Ápice)	303,78	1,78	0,59

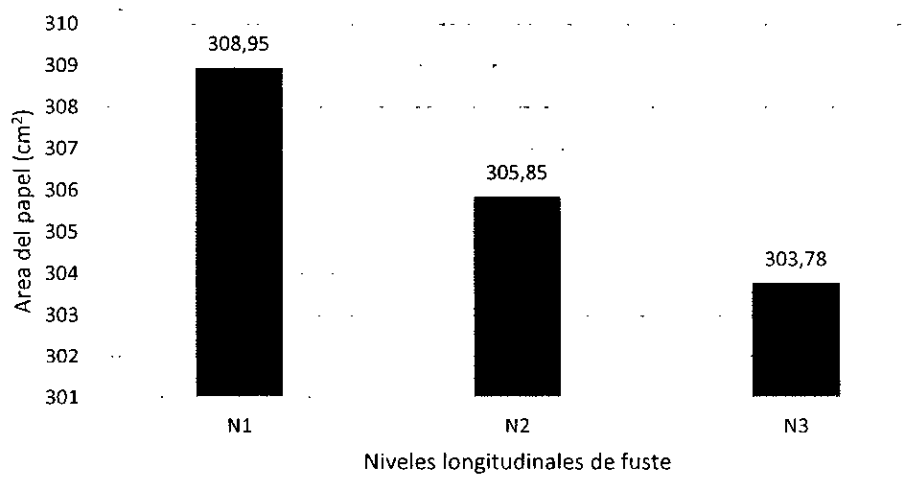


Gráfico 4. Promedio del área del papel por niveles longitudinales del fuste de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca)

En el cuadro 12 y grafico 4 se observa el promedio del área del papel de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca). Donde la mayor área del papel fue obtenida en el nivel 1 (base) con 308,95 cm^2 y hasta llegar a disminuir en el nivel 3 (ápice) con 303,78 cm^2.

Cuadro 13. Análisis de varianza del área del papel por niveles longitudinales del fuste de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca)

F. V	GL	SC	CM	Fc	P valor	Significancia
Tratamientos	2	40,63	20,31	2,11	0,202	**N.S.**
Error	6	57,78	9,63			
Total	8	98,41				

En el cuadro 13 se observa el análisis de varianza del área del papel por niveles del fuste, de acuerdo a esto se aprecia que no existe diferencia significativa por niveles longitudinales del fuste.

4.4.3. Gramaje del papel.

Cuadro 14. Parámetros estadísticos del gramaje del papel por niveles longitudinales del fuste de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca)

Niveles	Gramaje del papel (gr/m^2)		
	Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente Variación
N_1 (Base)	77,25	1,11	1,44
N_2 (Medio)	75,11	1,98	2,63
N_3 (Ápice)	71,33	1,90	2,66

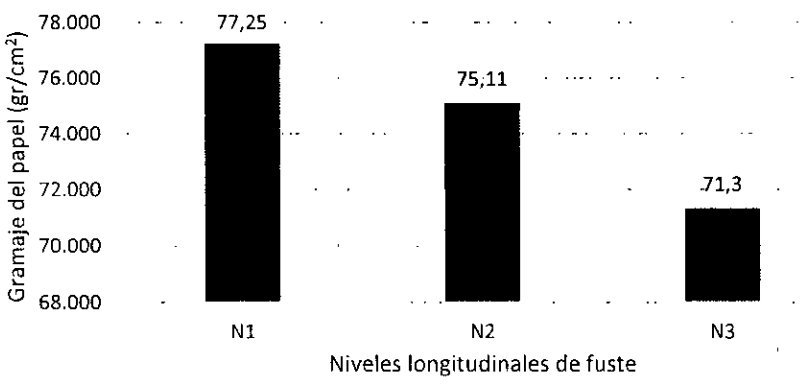


Gráfico 5. Promedio gramaje del papel por niveles longitudinales de fuste ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca)

En el cuadro 14 y grafico 5 se observa el promedio gramaje del papel *de* ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca). Donde el mayor promedio de gramaje del papel fue obtenido en el nivel 1 (base) con 77.25 gr/m^2 y hasta llegar a disminuir en el nivel 3 (ápice) con 71.33 gr/m^2. Este tipo de gramaje está dentro del rango para la producción de papel para imprimir o fotocopiar. Los gramajes imprimibles van desde 60 gramos hasta 350 gramos (Leticia Vas 2012).

Cuadro 15. Análisis de varianza gramaje del papel por niveles longitudinales del fuste de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca)

F. V	GL	SC	CM	Fc	P valor	Significancia
Tratamientos	2	53,90	26,95	39,23	0,015	*
Error	6	17,52	2,92			
Total	8	71,42				

Cuadro 16. Prueba de medias (Tukey) gramaje del papel por niveles longitudinales del fuste del ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca)

Tratamientos	N_1	N_2	N_3
Promedios	2,14	3,38	5,52
	A	B	
			C

En el cuadro 15 se demuestra que existe significancia en el gramaje del papel entre los niveles longitudinales de fuste y en el cuadro 16 con la prueba de medias se comprueba que la significancia está dada en el nivel N_1 (base)

4.4.4. Calibre del papel.

Cuadro 17. Parámetros estadísticos del calibre del papel por niveles longitudinales del fuste de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca)

Niveles	Calibre del papel (cm)		
	Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente Variación
N_1 (Base)	0,04	0,47	1,46
N_2 (Medio)	0,03	0,15	0,56
N_3 (Ápice)	0,02	0,52	2,23

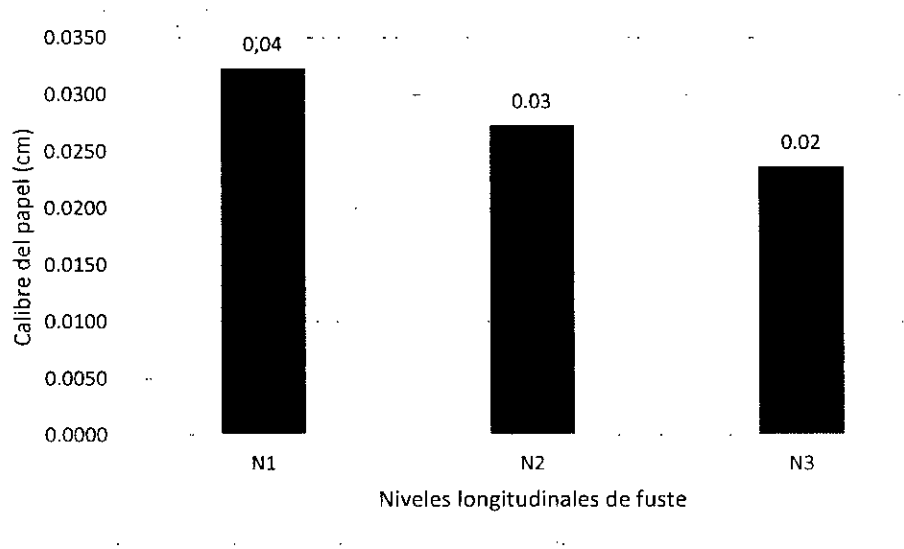


Gráfico 6. Promedio calibre del papel por niveles longitudinales del fuste de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca)

En el cuadro 17 y grafico 6 se observa el promedio calibre del papel de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca). Donde el mayor promedio de espesor del papel fue obtenido en el nivel 1 (base) con 0,04 cm y hasta llegar a disminuir en el nivel 3 (ápice) con 0,02 cm.

Cuadro 18. Análisis de varianza calibre del papel por niveles longitudinales del fuste de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca)

F. V	GL	SC	CM	Fc	P valor	Significancia
Tratamientos	2	0,0800	0,0004	34,49	0,0051	*
Error	6	0,0069	0,0011			
Total	8	0,0089				

Cuadro 19. Prueba de medias (Tukey) calibre del papel por niveles longitudinales del fuste del ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca)

Tratamientos	N_1	N_2	N_3
Promedios	0,032	0,027	0,023
	A		
		B	
			C

En el cuadro 18 se demuestra que existe significancia en el espesor del papel entre los niveles longitudinales de fuste y en el cuadro 19 con la prueba de medias se comprueba que la significancia está dada en el nivel N_1 (base).

4.4.5. Volumen del papel.

Cuadro 20. Parámetros estadísticos del volumen del papel por niveles longitudinales de fuste del ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca).

Niveles	Volumen del papel (cm^3)		
	Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente Variación
N_1 (Base)	9,97	0,14	1,40
N_2 (Medio)	8,36	0,89	1,05
N_3 (Ápice)	7,20	0,12	1,65

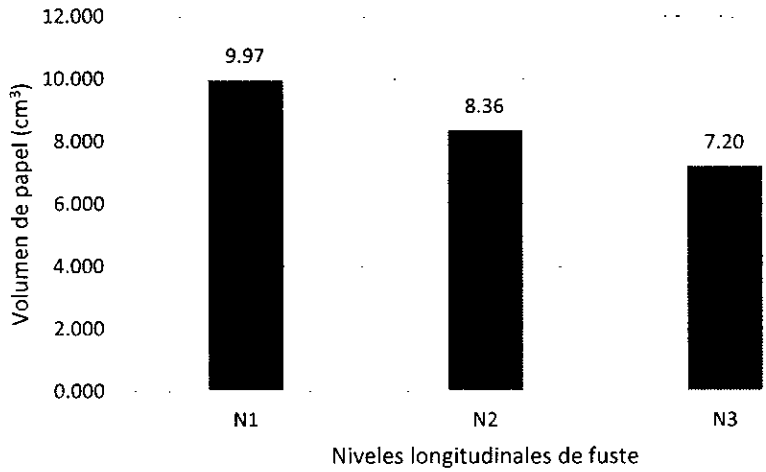


Gráfico 7. Promedio volumen del papel por niveles longitudinales del fuste ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca)

En el cuadro 20 y grafico 7 se observa el promedio volumen del papel de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca). Donde el mayor promedio de volumen del papel fue obtenido en el nivel 1 (base) con 9,97 cm^3 y hasta llegar a disminuir en el nivel 3 (ápice) con 7,20 cm^3.

Cuadro 21. Análisis de varianza volumen del papel por niveles longitudinales de fuste del ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca)

F. V	GL	SC	CM	Fc	P valor	Significancia
Tratamientos	2	11,6069	5,8035	421,98	0,010	*
Error	6	0,0825	0,0138			
Total	8	11,6894				

Cuadro 22. Prueba de medias (Tukey) volumen del papel por niveles longitudinales del fuste de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca).

Tratamientos	N_1	N_2	N_3
Promedios	9,97	8,36	7,20
	A		
		B	
			C

En el cuadro 21 se demuestra que existe significancia en el volumen del papel entre los niveles longitudinales de fuste y en el cuadro 22 con la prueba de medias se comprueba que la significancia está dada en el nivel N_1 (base).

4.4.6. Rendimiento.

Cuadro 23. Parámetros estadísticos del rendimiento (%) por niveles longitudinales del fuste de **Guazuma crinita** (Bolaina blanca)

Niveles	Rendimiento (%)		
	Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente Variación
N_1 (Base)	47,04	0,46	0,09
N_2 (Medio)	46,97	0,62	0,13
N_3 (Ápice)	46,90	0,43	0,09

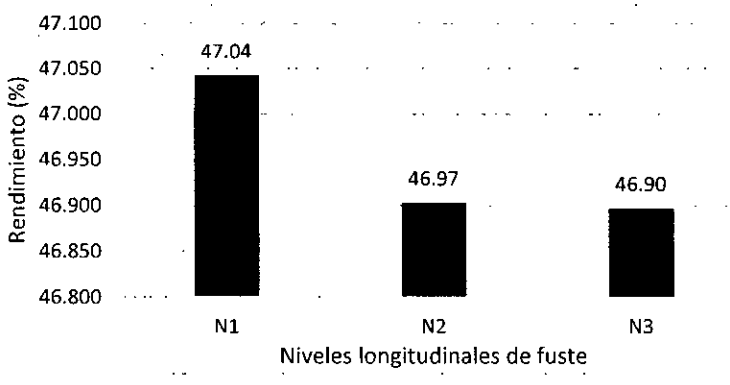


Gráfico 8. Promedio rendimiento por niveles longitudinales del fuste de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca).

En el cuadro 23 y grafico 8 se observa el promedio de rendimiento de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca). Donde el mayor promedio de rendimiento fue obtenido en el nivel 1 (base) con 47,04% y hasta llegar a disminuir en el nivel 3 (ápice) con 46,90%.Estos resultados están dentro del rengo encontrado por Revista Forestal del Perú (1968), que determino el rendimiento de la pulpa para papel de la especie ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca) en un estudio en Finlandia donde se demostró que el rendimiento encontrado es de 46,1- 52,2%

Cuadro 24. Análisis de varianza del rendimiento por niveles longitudinales del fuste ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca).

F. V	GL	SC	CM	Fc	P valor	Significancia
Tratamientos	**2**	**0,04**	**0,02**	**0,07**	**0,93**	**N.S**
Error	**6**	**1,55**	**0,25**			
Total	**8**	**1,59**				

En el cuadro 24 se observa el análisis de varianza del rendimiento de la pulpa por niveles del fuste, de acuerdo a esto se aprecia que no existe diferencia significativa por niveles longitudinales del fuste

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. CONCLUSIONES

- Se determinó la composición química de la especie ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca), donde los porcentajes de los componentes químicos encontrados en los resultados de esta tesis tales como celulosa, lignina, extractivos, etc, son aptos para la utilización de esta especie como pulpa para papel, por presentar el porcentaje de celulosa adecuada, el porcentaje de lignina es baja. El porcentaje de extractivos se encontró en promedio 3%, este porcentaje de extractivo por ser bajo facilita la deslignificacion en el proceso de cocción.

- Se determinó el rendimiento de la pulpa química a la soda de esta especie donde se pudo encontrar un porcentaje de 47% en promedio este resultado en la industria papelera es bueno para la elaboración industrial de pulpa para papel.

- Se determinó las evaluaciones físicas fundamentales de la pulpa en forma de hoja de papel tales como, gramaje, espesor, volumen, factor de sequedad los resultados encontrados son positivos para la elaboración de papel.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Se recomienda realizar un estudio de las propiedades mecánicas de la hoja de papel de esta especie, como resistencia a la tensión, al estallido, al rasgado, al dobles, etc. Por las limitaciones de equipo que presenta los laboratorios de la U.N.U solo se realizó algunas evaluaciones físicas que se mencionaron en la presente investigación.

- En el momento de lavado de la pulpa cosida se recomienda centrifugar la pulpa, ya que de esa manera se economizará el agua, porque en el momento de lavado se utilizó mucha agua hasta aclarar la muestra.

- Para la utilización de la especie ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca), como pulpa para papel se recomienda realizar plantaciones de esta especie , ya que esto facilita la disponibilidad de la misma, que es un factor económico importante para la utilización de una especie maderable para pulpa y papel.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. ADAMS, R. Y RUIZ, S. (2007). Caracterización papelera de la especie Shizolobium parahybum y su influencia en la evaluación de mezcla con Melina arbórea. Trabajo de Grado. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.

2. AGUILERA, A., GÓMEZ, L., Y GUTIÉRREZ, I. (2006). Curso técnico pulpa y papel. Procesos de pulpificación. Editorial Grupo Proveeduría, Venezuela.

3. ARIAS, K. Y ZERPA, L. (1997). Determinación del Rendimiento en la Determinación de Pulpa Química a la Soda y a la Soda Antraquinona de Bagazo de Caña de Azúcar. Informe de Pasantias. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.

4. BALDOCEDA (et al 1998). Ecología y distribución de especies tropicales peruanas.

5. BENÍTEZ Y GUTIÉRREZ (2012). Determinación del contenido de humedad en astillas de *Pinus caribaea hondurensis* utilizando un horno domestico de microondas. San José Costa Rica.

6. BUENO ZÁRATE, JORGE. (1989). Universidad Nacional Agraria La Molina. Utilización de la madera del eucalipto. El eucalipto en la fabricación de pulpa y eucalipto.

7. CASEY J. (1990). Pulpa y Papel. Editorial Limusa. México.

8. EARL C. (1983). Ciencia y Tecnología sobre Pulpa y Papel. Editorial Continental, México.

9. GARCIA J. (1988). Constituyentes fibrosos de pastas y papeles. Editorial Departamento de Ingeniería Textil y Papelera. España.

10. LETICIA VAS (2012).Papel tamaños y tipos .hptt://www. es.slideshare.net/UxiaGalicia/**papel**tamaos-y-tipos

11. LIBBY, E. (1967). Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel. Editorial Continental, México.

12. LOMBARDO, C. (1996). Procesos de alto rendimiento guía de conversión química de la madera. Universidad de Los Andes. Facultad de ciencias forestales y ambientales (Mimiografiado). Mérida, Venezuela.

13. LUZAR J. 2007 The Political Ecology of a "Forest Transition": Eucalyptus forestry in the Southern Peruvian Disponible en: http.www.wikipedia%eucalipto1.mht.

14. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. hptt://www.fao.org

15. P&C.(2015).Maderas Catalogo ***Guazuma crinita*** .Disponible en: http.www.pcmaderas.net

16. PALENIUS, I. (1998). Technology Programme Reviewed: New Pulping Reserch Result. 88 (4), 233 – 234.

17. PATT-REFORT/JUNAC (2000). Manual del grupo andino para el secado de maderas. 1era edición. Proyecto subregional de Promoción Industrial de la madera para construcción (PRID-MADERA). 429 p.

18. PEÑA, A. (2006). Efectos de la intensidad de la luz, del nitrógeno y del incremento en la disponibilidad de agua sobre el cam de Agave Cocui. Trabajo de grado, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Coro, Venezuela.

19. PROBOSQUES, (2009).Rendimiento comercial de la madera bolaina blanca. Resultado del Informe técnico anual.IIAP.

20. REVISTA FORESTAL DEL PERÚ (1968).Nueva especie forestal papelera en el trópico peruano, nota varia, Vol 2 N°1 Lima.

21. RODRÍGUEZ, L. (1978). Métodos de análisis empleados en la industria papelera. Centro de Investigaciones en Celulosa y Papel. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.

22. ROMERO, E. (2008). Evaluaciones de las propiedades físico-mecánicas en mezcla de pulpa de Eucalyptus grandis y Pinus caribaea var hondurensis para la obtención de corrugado medio. Informe de pasantias. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.

23. SANTIAGO, D. (1999). Evaluación del potencial papelero de la fibra de sisal (Agave sisalana). Trabajo de grado. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela.

24. SMOOK, G. (2010). Manual para técnicos de pulpa y papel. Editorial Tappi Press. Atlanta.

25. VROOM (1957). Pulping processes. Interscience, N. York, p. 576-649.

26. ZOBEL B. Y TALBERT, J 1988 Técnicas de Mejoramiento Genético de árboles forestales México, D.F. Limusa 545 p

ANEXO

ARBOL	Nivel	Peso del Crisol	Peso de la Muestra	Peso Seco	Peso Seco	C.H.%	PROMEDIO
1	Basal	25,653	2,003	27,212	1,559	22,167	**23,15**
	Basal	26,368	2,005	27,561	1,543	23,042	
	Basal	23,879	2,008	25,400	1,521	24,253	
	Medio	22,324	2,000	24,008	1,684	15,800	**17,38**
	Medio	24,461	2,005	26,024	1,563	22,045	
	Medio	25,400	2,000	27,114	1,714	14,300	
	Apice	22,619	2,009	24,250	1,631	18,815	**18,30**
	Apice	24,639	2,005	26,272	1,633	18,554	
	Apice	23,449	2,007	25,104	1,655	17,539	

Anexo 1. Determinación del contenido de humedad de la especie ***Guazuma crinita***

N° Arbol	N° Niveles	P.B.Vacio	P.Ba.con Ext.	P	C.H	M	W	%E.A-B.M	PROMEDIO
1	Basal	134,28	134,731	0,103	22,167	2,005	1,561	6,600	**4,86**
	Basal	118,252	118,307	0,055	23,042	2,005	1,543	3,564	
	Basal	139,976	140,043	0,067	24,253	2,005	1,519	4,412	
	Medio	134,632	134,687	0,055	15,800	2,002	1,686	3,263	**3,49**
	Medio	118,254	118,31	0,056	22,045	2,003	1,561	3,586	
	Medio	139,978	140,04	0,062	14,300	2,002	1,716	3,614	
	Apice	123,136	123,19	0,054	18,815	2,006	1,629	3,316	**3,07**
	Apice	141,743	141,779	0,036	18,554	2,006	1,634	2,203	
	Apice	123,997	124,058	0,061	17,539	2,005	1,653	3,689	

Anexo 2. Determinación química extractivos en alcohol por niveles longitudinales del Fuste.

N° Arbol	N° Niveles	P.B.Vacio	P.Ba.con Ext.	P	C.H	M	W	%E.A-B.M	PROMEDIO
1	Basal	134,628	134,731	0,103	22,167	2,005	1,561	6,600	**4,86**
	Basal	118,252	118,307	0,055	23,042	2,005	1,543	3,564	
	Basal	139,976	140,043	0,067	24,253	2,005	1,519	4,412	
	Medio	134,632	134,687	0,055	15,800	2,002	1,686	3,263	**3,48**
	Medio	118,254	118,310	0,056	22,045	2,003	1,561	3,586	
	Medio	139,978	140,040	0,062	14,300	2,002	1,716	3,614	
	Apice	123,136	123,190	0,054	18,815	2,006	1,629	3,316	**3,07**
	Apice	141,743	141,779	0,036	18,554	2,006	1,634	2,203	
	Apice	123,997	124,058	0,061	17,539	2,005	1,653	3,689	

Anexo 3. Determinación química de la lignina por niveles longitudinales del fuste

N° Arbol	N° Niveles	P.F.	M.S.+ P.F.	P	P.S.M	C.H.	W	% CEL.M	PROMEDIO
1	Basal	0,997	1,675	0,678	2,002	24,319	1,515	44,749	**42,50**
	Basal	0,998	1,688	0,690	2,002	15,800	1,686	40,933	
	Basal	1,000	1,680	0,680	2,002	18,815	1,625	41,838	
	Medio	0,990	1,675	0,685	2,002	23,452	1,532	44,698	**44,03**
	Medio	0,974	1,683	0,709	2,003	22,045	1,561	45,407	
	Medio	0,996	1,681	0,685	2,002	18,554	1,631	42,010	
	Apice	1,000	1,655	0,655	2,003	22,002	1,562	41,925	**40,92**
	Apice	0,996	1,675	0,679	2,003	14,300	1,717	39,556	
	Apice	0,993	1,675	0,682	2,003	17,539	1,652	41,291	

Anexo 4. Determinación química de la celulosa por niveles longitudinales del fuste

N° Arbol	N° Niv	P.F.	M.S +PF	P	P.S.M	C.H.	W	% HOL.M	PROMEDIO
1	Basal	1,236	2,135	0,899	2,003	24,319	1,516	59,305	**59,108**
	Basal	1,197	2,115	0,918	2,004	23,452	1,534	59,843	
	Basal	1,253	2,161	0,908	2,001	22,002	1,561	58,178	
	Medio	1,215	2,080	0,865	2,002	15,800	1,686	51,314	**51,218**
	Medio	1,195	2,038	0,843	2,004	22,045	1,562	53,962	
	Medio	1,240	2,070	0,830	2,002	14,300	1,716	48,376	
	Apice	1,215	2,007	0,792	2,004	18,815	1,627	48,680	**47,577**
	Apice	1,191	1,980	0,789	2,004	18,554	1,632	48,340	
	Apice	1,255	2,010	0,755	2,003	17,539	1,652	45,710	

Anexo 5. Determinación química de holocelulosa por niveles longitudinales del fuste

N° Arbol	N° Niv	P.C.	M.S +PF	P	P.S.M	C.H.	W	% CE.M	PROMEDIO
1	Basal	23,421	23,478	0,057	4,000	24,319	3,027	1,883	**1,71**
	Basal	23,876	23,928	0,052	4,002	15,800	3,370	1,543	
	Basal	22,613	22,669	0,056	4,002	18,815	3,249	1,724	
	Medio	25,240	25,299	0,059	4,003	23,452	3,064	1,925	**1,89**
	Medio	24,489	24,549	0,060	4,004	22,045	3,121	1,922	
	Medio	24,161	24,220	0,059	4,004	18,554	3,261	1,809	
	Apice	25,970	26,027	0,057	4,003	22,002	3,122	1,826	**1,72**
	Apice	24,579	24,634	0,055	4,003	14,300	3,431	1,603	
	Apice	25,240	25,297	0,057	4,002	17,539	3,300	1.727	

Anexo 6. Determinación química de la ceniza por niveles longitudinales del fuste.

Nº Arbol	Nº Niv	P.C.	M.S +PF	P	P.S.M	C.H.	W	% SIL.M.	PROMEDIO
1	Basal	23,421	23,428	0,007	4,001	24,319	3,028	0,231	**0,21**
	Basal	23,876	23,882	0,006	4,000	23,452	3,062	0,196	
	Basal	22,613	22,620	0,007	4,004	22,002	3,123	0,224	
	Medio	25,240	25,245	0,005	4,002	15,800	3,370	0,148	**0,18**
	Medio	24,489	24,496	0,007	4,001	22,045	3,119	0,224	
	Medio	24,161	24,167	0,006	4,002	14,300	3,430	0,175	
	Apice	25,970	25,976	0,006	4,002	18,815	3,249	0,185	**0,16**
	Apice	24,579	24,584	0,005	4,003	18,554	3,260	0,153	
	Apice	25,240	25,245	0,005	4,006	17,539	3,303	0,151	

Anexo 7. Determinación química del sílice por niveles longitudinales del fuste.

Nivel	Factor de sequedad	Peso de papel (gr.)	Area (cm2)	Gramaje (g/cm2)	Calibre (cm)	Volumen (cm3)	Densidad (gr/cm3)
Base	0,90	2,20	320,48	78,35	0,05	15,83	0,20
Base	0,91	2,19	314,16	77,83	0,04	15,46	0,21
Base	0,90	2,18	314,16	76,82	0,04	15,58	0,20
Promedio	**0,90**	**2,19**	**316,27**	**77,25**	**0,04**	**15,62**	**0,20**

Anexo 8. Propiedades físicas de la pulpa en forma de hoja de papel de la especie ***Guazuma crinita*** del nivel 1 (base)

Nivel	Factor de sequedad	Peso de papel (g.)	Area (cm2)	Gramaje (g/cm2)	Calibre (cm)	Volumen (cm3)	Densidad (gr/cm3)
Medio	0,86	2,43	314,16	76,91	0,03	9,27	0,33
Medio	0,88	2,39	314,16	74,25	0,04	7,41	0,42
Medio	0,88	2,34	307,91	75,04	0,04	10,90	0,29
Promedio	**0,87**	**2,39**	**312,08**	**75,11**	**0,03**	**9,19**	**0,34**

Anexo 9. Propiedades físicas de la pulpa en forma de hoja de papel de la especie ***Guazuma crinita***, del nivel 2 (medio).

Nivel	Factor de sequedad	Peso de papel (gr.)	Area (cm2)	Gramaje (gr/cm2)	Calibre (cm)	Volumen (cm3)	Densidad (gr/cm3)
Apice	0,90	2,33	307,91	70,54	0,02	8,99	0,27
Apice	0,83	2,28	314,16	70,27	0,03	9,11	0,26
Apice	0,81	2,28	307,91	71,02	0,02	9,08	0,28
Promedio	**0,85**	**2,30**	**309,99**	**71,33**	**0,03**	**9,06**	**0,27**

Anexo 10. Propiedades físicas de la pulpa en forma de hoja de papel de la especie ***Guazuma crinita***, del nivel 3 (ápice).

Niveles	peso húmedo	peso seco	CH %	RENDIMIENTO	Promedio
BASE	820,234	475,613	42,015	47,561	
BASE	812,201	466,959	42,507	46,696	
BASE	815,352	468,713	42,514	46,871	**47,04**
MEDIO	785,067	474,149	39,604	47,415	
MEDIO	782,087	470,816	40,800	47,082	
MEDIO	783,342	462,117	41,007	46,212	**46,97**
APICE	779,789	467,749	40,016	46,775	
APICE	780,561	473,707	39,312	47,371	
APICE	781,564	465,468	40,444	46,547	**46,90**

Anexo 11. Rendimiento de la pulpa de la de la especie ***Guazuma crinita***, en los distintos niveles del fuste.

ANEXO 12. Fotografías de la selección y tumbado del árbol de ***Guazuma Crinita.***



A. Plantación de bolaina



B. Selección del árbol

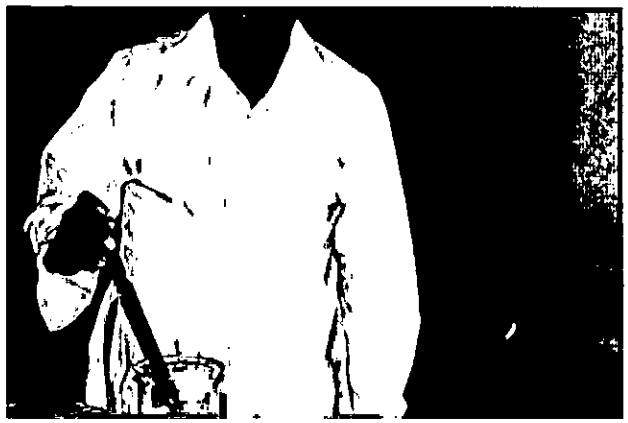


B. Tumbado del árbol



D. Corte por niveles del fuste

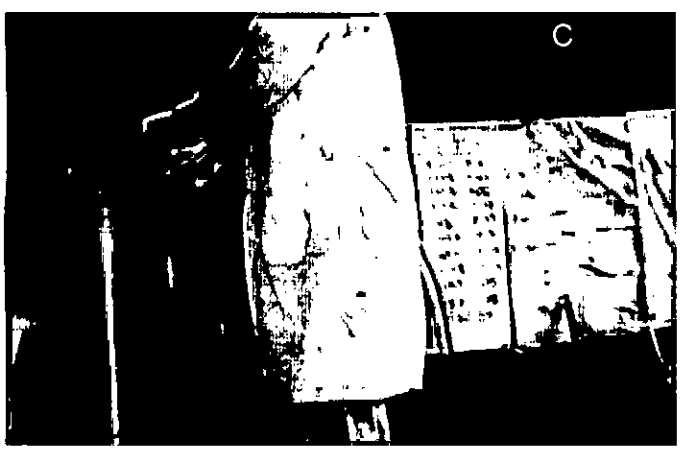
Anexo 13 .Fotografías del proceso para la obtención de pulpa de la especie ***Guazuma crinita*** (bolaina blanca)



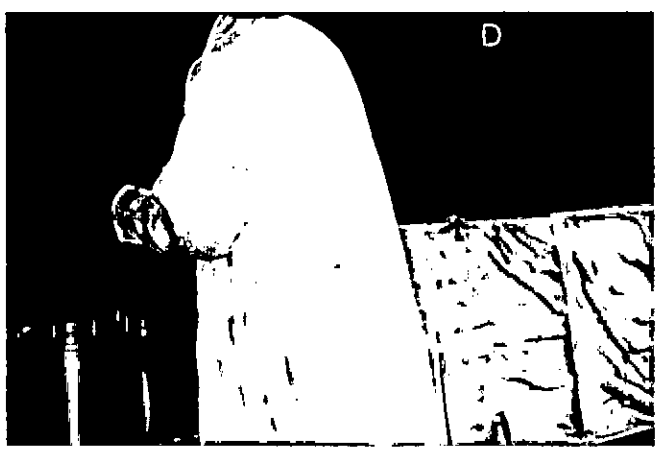
A. Preparación del NaOH



B. Astillas húmedas



C. Colocación de las astillas al digestor



D. Colocación del licor de cocción.

Anexo 14. Ejemplo de Preparación del licor de cocción del nivel de la especie ***Guazuma crinita*** bolaina blanca.

- Masa seca 1000 g (MS) - Humedad % (20.4) - Humedad en fracción - f= 20.4 /100	Calculando masa húmeda (MH) $MH=\frac{1000}{(1-0.204)}=1256$ g

- Concentración de NaOH 24 %
- Relación licor/madera (L/M)= 6/1
- Licor de cocción LD = MS * 6

Preparación del NaOH al 24 % con 98% de pureza inicial.

$$NaOH\ \% = \frac{1000 \times 0{,}24 \times 1.29}{0.98} = 315\ g$$

CÁLCULOS: base 1000 g de MS

	% bms	Masa requerida	Concentración (g/L)	Densidad (g/mL)	Volumen (mL)	Masa (g)	
MS						**1000**	
Agua de Madera (Am)		1256-1000		1		*(Am)*	256 g
Alcali activo	24 %	309,6 g	303g	1.2631	$\frac{303}{309,6}$ x 100 979 ml	*(AA)*	979 x 1,2631 1237 = g
Agua a agregar	Ag = LD – AA - Am					*(Ag)*	4507 g
Peso del licor		LD = MS * 6 = *(Am)* + *(AA)* + *(Ag)*				**(LD)**	6000 g

ANEXO 15. Tabla concentración NaOH

Densidad	%Concentración	g NaOH/L
1,0095	1%	10,1
1,0207	2%	20,4
1,0428	4%	41,7
1,0648	6%	63,9
1,0869	8%	87,0
1,1089	10%	110,9
1,1309	12%	135,7
1,153	14%	161,4
1,1751	16%	188,0
1,1971	18%	215,5
1,2192	20%	243,8
1,2412	22%	273,1
1,2631	24%	303,1
1,2848	26%	334,0
1,3064	28%	365,8
1,3277	30%	398,3
1,3697	34%	465,7
1,4102	38%	535,9
1,4299	40%	572,0

NOTA: para otros valores de g NaOH/L, interpolar en función de densidad y concentración C%.

ANEXO 16: Aplicación de condiciones, en digestor PL1-00, para 1 kg de materia prima (bms) en Pulpeo Químico, relación 1:6

(bms)	CONÍFERAS		LATIFOLIADAS		GRAMÍNEAS
ALCALI ACTIVO % (como Na_2O)	20-28%		20-25%		12-21%
		Sin sulfuro		Sin sulfuro	Sin sulfuro
SULFIDEZ	25%	0	25%	0	0
(a) NaOH % (como Na_2O)	18-25%	20-28%	18-20 %	20-25 %	12-21 %
(b) Na_2S % (como Na_2O)	5-7%	0	5-6%	0	0
Necesidad de reactivo					
NaOH (real)= (a) x 1,29	232-323	258-361	232-258	258-323	155-271
Na_2S (real)= (b) x 1,258	63-88	0	63-76	0	0
Antraquinona (% bms)	0	0,05	0	0,05	0,05
H_2O	4-6 L		4-6 L		5-7 L
Tiempo a T° máxima	50 min		50 min		50 min
Factor H	1200		1000		800
presión	0,79 MPa		0,62 MPa		0,54 MPa
Temperature máxima	170		160		155
Tiempo de retención	3 h		2,5 h		0,5 h

Anexo 17: Tabla DATOS Tiempo, temperatura y factor H [1]

Tiempo (t)	dt	Temperatura	K	$\bar{k}$	H	Presión
0						
5						
10						
15						
20						
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						
60						
65						
70						
75						
80						
85						
90						
95						
100						
105						
110						
115						
120						
125						
130						
135						
140						
145						
150						
				$\sum$ **H**		

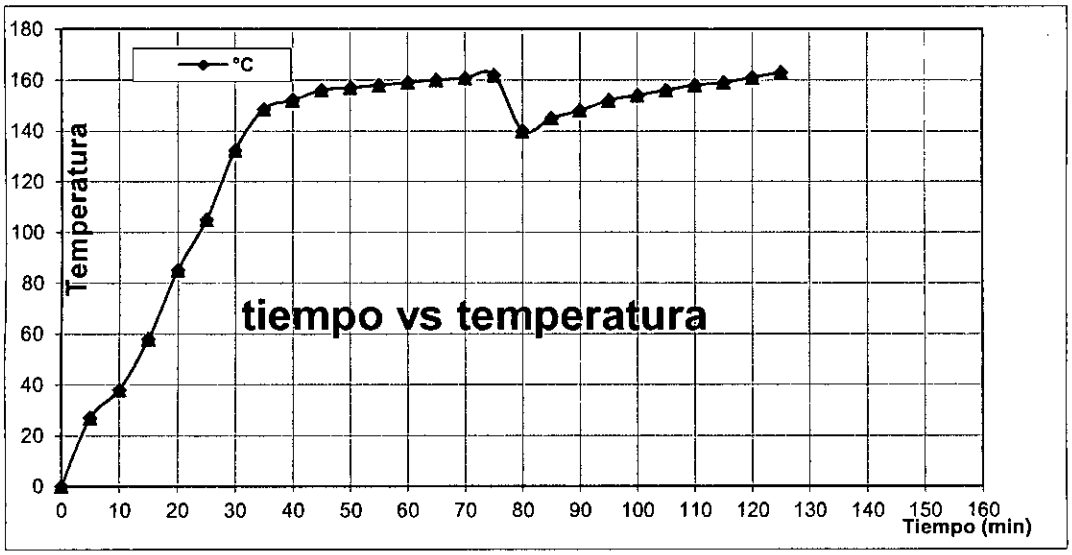
t: Tiempo (minutos)
dt: Intervalo de tiempo (fracción hora)
T: Temperatura (°C)
P: Presión manométrica (kg/cm^2)

K: Velocidad relativa
$\bar{k}$: velocidad media
H: Factor H parcial = k x dt

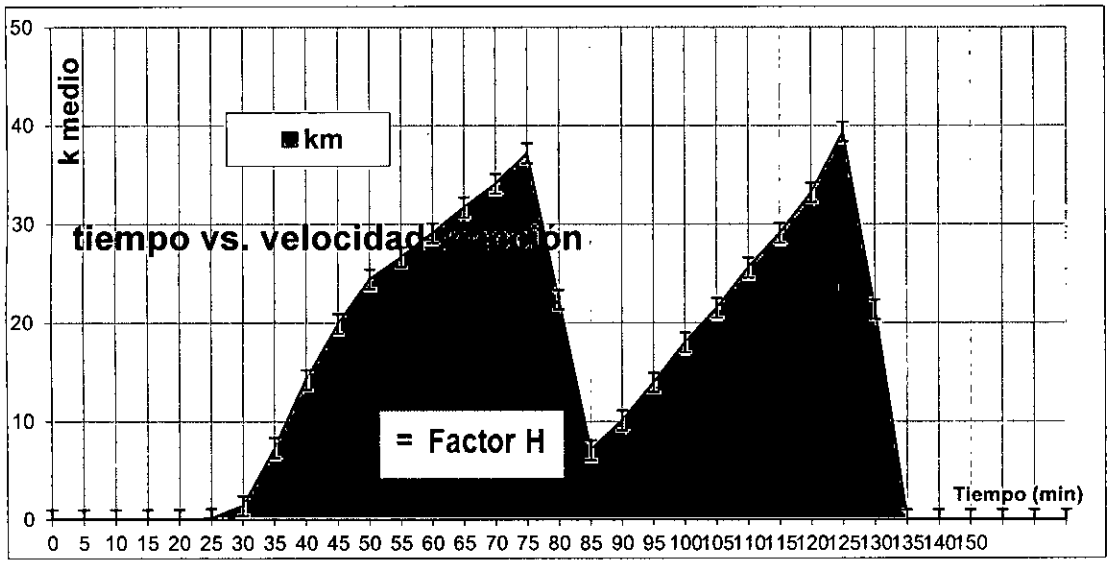
[1] **INSTRUCCIONES:** Simultáneamente abrir el archivo Excel (UNU-factor H) y en la hoja "Datos-factor H, ir completando las columnas de tiempo (min) y temperatura (°C). Los valores respectivos (en la misma fila) irán apareciendo de la velocidad de reacción (k), la velocidad media, entre dos valores de temperatura (km) y la sumatoria de estos valores, factor H; además se irá formando el gráfico "tiempo vs. Temperatura" y la curva de tiempo vs. Velocidad de reacción, siendo el área bajo esta curva (color verde) el factor H. La cocción concluye cuando el factor H alcanza el valor asignado (1000 en latifoliadas); ver anexo A.

Anexo 18: Ejemplo de determinación del Factor H de la madera de la base del Fuste de ***Guazuma crinita.***

HORA DE INICIO	TIEMPO min	TEMPERATURA °C	°K	PRESIÓN (Mpa)	kg/cm2	VELOCIDAD REACCIÓN k	k_m	factor H	RENDIMIENTO DE PULPA
8:05:00	0	0	273	0.00	0.00	0.0	0	0.00	*100*
	5	28	301	0.60	6.12	0.0	0.00	0.00	*210.4%*
	10	50	323	0.65	6.63	0.0	0.00	0.00	*180.2%*
	15	56	329	0.71	7.24	0.0	0.00	0.00	*168.3%*
	20	99	372	0.72	7.34	0.9	0.04	0.04	*126.9%*
	25	118	391	0.74	7.55	7.3	0.34	0.38	*107.9%*
	30	120	393	0.77	7.85	9.0	0.68	1.06	*99.5%*
	35	140	413	0.76	7.75	65.5	3.10	4.16	*88.3%*
	40	148	421	0.78	7.95	137.4	8.45	12.61	*79.3%*
	45	155	428	0.78	7.95	256.8	16.42	29.0	*72.5%*
	50	156	429	0.82	8.36	280.3	22.38	51.4	*67.8%*
	55	158	431	0.50	5.10	333.7	25.58	77.0	*64.5%*
	60	156	429	0.60	6.12	280.3	25.58	102.6	*62.1%*
	65	158	431	0.64	6.53	333.7	25.58	128.2	*60.3%*
	70	158	431	0.70	7.14	333.7	27.81	156.0	*58.7%*
	75	160	433	0.72	7.34	396.5	30.43	186.4	*57.3%*
	80	160	433	0.74	7.55	396.5	33.05	219.5	*55.9%*
	85	163	436	0.77	7.85	512.2	37.86	257.3	*54.6%*
	90	163	436	0.78	7.95	512.2	42.68	300.0	*53.4%*
	95	165	438	0.78	7.95	606.3	46.60	346.6	*52.2%*
	100	165	438	0.80	8.16	606.3	50.53	397.1	*51.1%*
	105	166	439	0.81	8.26	659.3	52.73	449.9	*50.1%*
	110	166	439	0.82	8.36	659.3	54.94	504.8	*49.1%*
	115	168	441	0.83	8.46	778.6	59.91	564.7	*48.2%*
	120	168	441	0.83	8.46	778.6	64.88	629.6	*47.3%*
	125	168	441	0.82	8.36	778.6	64.88	694.5	*46.5%*
	130	166	439	0.80	8.16	659.3	59.91	754.4	*45.8%*
	135	166	439	0.80	8.16	659.3	54.94	809.3	*45.3%*
	140	168	441	0.80	8.16	778.6	59.91	869.2	*44.7%*
	150	168	441	0.80	8.16	778.6	129.77	1010.0	*43.5%*



Anexo 19 : Relación tiempo y temperatura de la madera de la base del árbol de ***Guazuma crinita.***



Anexo 20: Relación tiempo y velocidad de reacción de la parte media del árbol de ***Guazuma crinita.***