

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS DE LOS RECURSOS

NATURALES RENOVABLES



DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ESPECIE

BOLAINA BLANCA (*Guazuma crinita* Mart.) PROCEDENTE DEL

SECTOR CADENA – TINGO MARÍA

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

MENCIÓN FORESTALES

CARLA VIVIANA MALPARTIDA ISAAC

PROMOCIÓN 2007 - II

Tingo María – Perú

2010



F60

M19

Malpartida Isaac, Carla V.

Determinación de la Composición Química de la Especie Bolaina Blanca (*Guazuma crinita* Mart.) Procedente del Sector Cadena-Tingo María. Tingo María, 2010

80 h.; 22 cuadros; 14 fgrs.; 31 ref.; 30 cm.

Tesis (Ing. Recursos Naturales Renovables Mención: Forestales) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Recursos Naturales Renovables.

1. GUAZUMA CRINITA MART. 2. COMPOSICION QUIMICA 3. DETERMINACION
- EXTRACTIVOS 4. ALTURA-EDAD 5. PORCENTAJE - HUMEDAD 6. PERU.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 20 de Agosto de 2010, a horas 11:00 a.m. en la Sala de Grados de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, para calificar la tesis titulada:

DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ESPECIE *Guazuma crinita* Mart “BOLAINA BLANCA” PROCEDENTE DEL SECTOR CADENA – TINGO MARÍA

Presentado por la Bachiller: **CARLA VIVIANA, MALPARTIDA ISAAC**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de “BUENO”.

En consecuencia el sustentante queda apto para optar el **Título de INGENIERO en RECURSOS NATURALES RENOVABLES, mención FORESTALES**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del título correspondiente.

Tingo María, 20 de Agosto de 2010


Ing. MANUEL BRAVO MORALES
Presidente


Ing. LAUREANO ZAVALA DE LA CRUZ
Vocal


Ing. RAÚL ARAUJO TORRES
Vocal




Ing. MSc. RICARDO OCHOA CUYA
Co Asesor

DEDICATORIA

Con amor a mi hija María Phya por ser mi principal motivación para lograr cumplir parte de mis metas.

A mis padres, David y Lida por su apoyo abnegado moral y económico y ser ejemplo de sacrificio, abnegación y lucha que han marcado mi vida y formación profesional.

A Evelyn, Elizabeth y David mis hermanos por su gran cariño, comprensión y apoyo incondicional en todo momento.

A Melissa LEÓN BARBARÁN por ser una gran amiga, por haber compartido a mi lado buenos y malos momentos.

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento a todas las personas que han colaborado en la culminación del presente trabajo, entre ellos:

A DIOS mi amigo y compañero.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por acogerme en sus aulas y brindarme la formación profesional.

A Los Ing. M.Sc. Tania Guerrero Vejarano e Ing. M.Sc. Ricardo OCHOA CUYA asesores de la presente tesis, por sus acertadas orientaciones durante la ejecución y redacción de la tesis.

Al Ing. M.Sc. David NATIVIDAD BARDALES por el apoyo en la parte estadística de la tesis.

A los señores Glelia RÍOS SALDAÑA y Juan SOTO BASTIDAS por el apoyo desinteresado en el uso del laboratorio de Nutrición y de Alimentos respectivamente.

A toda la plana de catedráticos del Departamento Académico de Ciencias de los Recursos Naturales Renovables con gratitud y reconocimiento imperecedero por sus enseñanzas y orientaciones durante mi permanencia en las aulas universitarias.

A mis amigos y compañeros: María VARGAS, Yaqueline CABALLERO, Gisela CHUMÁN, Ángel AGÜERO, Franz CALERO, Andy HUAMÁN, Percy CÁRDENAS, Frank RIVERO quienes compartieron conmigo invaluables momentos durante mi etapa universitaria.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Características de la especie	4
2.1.1. Taxonomía de la especie.....	4
2.1.2. Descripción botánica	5
2.1.3. Distribución geográfica	6
2.1.4. Características ecológicas.....	6
2.1.5. Descripción y usos.....	7
2.1.6. Plantación, crecimiento y cuidados.....	8
2.2. La madera	9
2.3. Composición química de la madera	10
2.4. Pared celular	12
2.4.1. Componentes de la pared celular de la madera	13
2.4.2. Componentes extraños de la madera.....	21
2.5. Efecto de la edad	25

III. MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1. Lugar de ejecución.....	26
3.2. Materiales y equipos	26
3.2.1. Material biológico.....	26
3.2.2. Material de campo y transformación.....	26
3.2.3. Material de laboratorio.....	27
3.2.4. Equipos.....	27
3.2.5. Reactivos.....	28
3.3. Metodología	28
3.3.1. Obtención de las muestras	28
3.3.2. Definición de la zona en el árbol.....	28
3.3.3. Solubilidad de la madera en alcohol – benceno	29
3.3.4. Evaluación de cenizas	30
3.3.5. Evaluación de celulosa	31
3.3.6. Evaluación de lignina.....	32
3.4. Componentes en estudio	33
3.4.1. Edad del árbol (factor A).....	33

3.4.2. Alturas del árbol (factor B)	33
3.5. Tratamientos en estudio.....	34
3.6. Diseño experimental	34
3.6.1. Modelo aditivo lineal	35
3.6.2. Diseño de la investigación	35
IV. RESULTADOS	37
4.1. Contenido de extractivos en la bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.)	37
4.1.1. Variación de los extractivos según la edad de la bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	37
4.1.2. Variación de los extractivos según la altura bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	38
4.1.3. Variación de extractivos en la interacción de la edad en los niveles de altura de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	39
4.1.4. Variación de extractivos en la interacción de la altura en los niveles de edad de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.)	40
4.1.5. Efectos generales de los tratamientos en el contenido de extractivos bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	42

4.2. Contenido de cenizas de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	44
4.2.1. Variación de la ceniza según la edad de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	44
4.2.2. Variación de las cenizas según la altura bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	45
4.2.3. Variación de las cenizas en la interacción de la edad en los niveles de altura de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	45
4.2.4. Variación de las cenizas en la interacción de la altura en los niveles de edad de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	46
4.2.5. Efectos generales de los tratamientos en el contenido de cenizas de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	49
4.3. Contenido de celulosa de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	50
4.3.1. Variación de la celulosa según la edad de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	51
4.3.2. Variación de la celulosa según la altura de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	51

4.3.3. Variación de la celulosa en la interacción de la edad en los niveles de altura de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	52
4.3.4. Variación de la celulosa en la interacción de la altura en los niveles de edad de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.)	53
4.3.5. Efectos generales de los tratamientos en el contenido de celulosa de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.)	56
4.4. Contenido de lignina de la bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	58
4.4.1. Variación de la celulosa según la edad de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	58
4.4.2. Variación de la lignina según la altura de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.)	59
4.4.3. Variación de la lignina en la interacción de la edad en los niveles de altura de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	59
4.4.4. Variación de la lignina en la interacción de la altura en los niveles de edad de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.)	61

4.4.5. Efectos generales de los tratamientos en el contenido de lignina de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	63
V. DISCUSIÓN.....	65
5.1. Del contenido de extractivos	65
5.2. Del contenido de cenizas	66
5.3. Del contenido de celulosa	67
5.4. Del contenido de lignina	68
VI. CONCLUSIONES.....	70
VII. RECOMENDACIONES.....	72
VIII. ABSTRACT	73
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág.
1. Descripción de los tratamientos en el estudio.....	34
2. Esquema del análisis de varianza.....	34
3. Prueba de Tukey para la variación según la edad en el contenido de extractivos de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.) (2010).	38
4. Prueba de Tukey para la variación según la altura en el contenido de extractivos de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.) (2010).	38
5. Prueba de Tukey para el efecto simple de la edad en cada nivel de altura y el contenido de extractivos en bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.) (2010).	39
6. Prueba de Tukey para el efecto simple del factor altura en nivel de edad en el contenido de extractivos de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.) (2010).	40
7. Contenido de extractivos por tratamientos de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.) (2010).	43
8. Prueba de Tukey para la variación según la edad en el contenido de cenizas de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.) (2010).	44

9.	Prueba de Tukey para la variación según la altura en el contenido de cenizas de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.) (2010).	45
10.	Prueba de Tukey para el efecto simple de la edad en cada nivel de altura en el contenido de cenizas en bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.) (2010).	46
11.	Prueba de Tukey para el efecto simple de la altura en cada nivel de edad en el contenido de cenizas de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.) (2010).	47
12.	Contenido de cenizas por tratamientos de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.) (2010).	49
13.	Prueba de Tukey para la variación según la edad en el contenido de celulosa de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.) (2010).	51
14.	Prueba de Tukey para la variación según la altura en el contenido de celulosa de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.) (2010).	52
15.	Prueba de Tukey para el efecto simple de la edad en cada nivel de altura en el contenido de celulosa de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.) (2010).	53
16.	Prueba de Tukey para el efecto simple de la altura en cada	

nivel de edad en el contenido de celulosa de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.) (2010).	54
17. Contenido de celulosa por tratamientos de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.) (2010).	57
18. Prueba de Tukey para la variación según la edad en el contenido de lignina de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.) (2010).	58
19. Prueba de Tukey para la variación según la altura en el contenido de lignina de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.) (2010).	59
20. Prueba de Tukey para el efecto simple de la edad en cada nivel de altura en el contenido de lignina de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.) (2010).	60
21. Prueba de Tukey para el efecto simple de la altura en cada nivel de edad en el contenido de lignina de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.) (2010).	61
22. Contenido de lignina por tratamientos de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.) (2010).	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1.	Estructura molecular de la celulosa.....	15
2.	Estructura molecular de la lignina.	20
3.	Alturas del árbol consideradas para el estudio.....	29
4.	Diseño experimental de la investigación.	36
5.	Efectos de la edad en cada uno de los niveles de altura en el contenido de extractivos de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.) (2010).	41
6.	Efectos de la altura en cada uno de los niveles de edad en el contenido de extractivos bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.) (2010).	41
7.	Contenido de extractivos en los diferentes tratamientos de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	43
8.	Contenido de cenizas en los diferentes tratamientos de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	50
9.	Efectos de la edad en cada uno de los niveles de altura en el contenido de celulosa de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	55
10.	Efectos de la altura en cada uno de los niveles de edad en el	

	contenido de celulosa de <i>Guazuma crinita</i> Mart. (bolaina blanca).....	55
11.	Contenido de celulosa en los diferentes tratamientos de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	57
12.	Efectos de la edad en cada uno de los niveles de altura en el contenido de lignina de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	62
13.	Efectos de la altura en cada uno de los niveles de edad en el contenido de lignina de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	62
14.	Contenido de lignina en los diferentes tratamientos de bolaina blanca (<i>Guazuma crinita</i> Mart.).....	64

RESUMEN

La investigación se realizó el año 2010 en la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, consistió en la determinación de extractivos, cenizas, celulosa y lignina de la especie bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.), en tres edades: 3, 4 y 5 años y a tres alturas del fuste: 25%, 55% y 85%. Para la determinación de extractivos se utilizó la norma TAPPI T6 – os - 59, para cenizas la norma ISO R 1762, para celulosa el método de Kurscher y Hoffner y para lignina el método del ácido sulfúrico o Willstater y se aplicó el diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial 3 x 3 con 5 bloques. Los resultados demostraron que existe interacción significativa en función a las diferentes edades y alturas del fuste para las constituyentes cenizas y lignina; mientras que no existe interacción para los extractivos y la celulosa.

El porcentaje de extractivos celulosa y lignina se incrementan proporcionalmente a medida que los árboles de bolaina aumentan de edad, y el contenido de cenizas disminuye. En un árbol de la misma edad el porcentaje de extractivos y lignina disminuye desde la base hasta su ápice, y los contenidos de ceniza y celulosa disminuyen desde el ápice a la base. El contenido de extractivos varía de 3.285% a 6.996%, el de cenizas de 1.126% a 1.781%, la celulosa de 45.950% a 50.0922% y la lignina de 18.441% a 23.041%.

I. INTRODUCCIÓN

El Perú es el único país de América Latina que no tiene una industria maderera desarrollada a partir de plantaciones forestales, a pesar que cuenta con la mayor parte del área geográfica como aptitud forestal (37.89%), aportando solamente el 4.5% del PBI nacional. La subutilización de la (bolaina blanca) en nuestro país se debe a que no existe información suficiente sobre su distribución, abundancia, existencias volumétricas, sistemas de alta productividad, distribución de productos, consumo, mercado y que más aun, no existen técnicas y procedimientos tecnológicos adecuados para su procesamiento.

La *Guazuma Crinita* Mart., sin embargo, no solamente es fuente de madera y productos maderables, sino también de productos químicos que pueden usarse como materia prima para otros procesos y para la obtención de otros productos, como pueden ser la pulpa y papel. Específicamente en la región Amazónica, los trabajos de investigación sobre los constituyentes químicos de la madera son muy escasos. La composición química define ciertos parámetros industriales entre los que pueden citarse el rendimiento en pulpa, el consumo de reactivos y la blanqueabilidad, al punto tal, que algún parámetro cuantitativo o cualitativo, relativo a dicha composición, puede determinar la utilización o no de un recurso forestal para determinado producto

específico. Estudios elaborados por el Departamento académico forestal de la Universidad Nacional Agraria "La Molina" han demostrado que la bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) entre otras, es una especie tropical de la Amazonia peruana con la mayor rentabilidad y el mejor comportamiento para la elaboración de pulpa y papel, por la gran afinidad y plasticidad de su fibra y por ser una especie de rápido crecimiento en bosques secundarios.

Basados en lo anterior, la presente investigación busca generar información acerca de la caracterización química de la madera de *Guazuma Crinita* Mart. Para dicho estudio se cuenta con la madera de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.), utilizando tres diferentes alturas de toma de muestra a lo largo del árbol y tres tipos de edades, con la finalidad de evaluar si el porcentaje de componentes químicos es el mismo para las tres diferentes alturas y edades. Los componentes químicos a determinar son celulosa, lignina, extraíbles y cenizas; todos como porcentaje en peso base húmeda.

Es necesario resaltar la importancia del presente trabajo de investigación que servirá de base para la industria maderera. Bajo esta premisa se realizó este trabajo cuya finalidad fue proporcionar información sobre los principales constituyentes químicos de esta especie, para lo cual se formuló la siguiente interrogante: ¿De qué forma la altura y la edad del árbol influencia en la composición química de la bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) del sector de la Cadena?. Comprobándose la hipótesis de que existen diferencias en la composición química seleccionada en función de la altura y edad del árbol de la

bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.), del sector la Cadena.

Para lo cual se plantearon los siguientes objetivos: calcular el porcentaje de extraíbles en alcohol - benceno a diferentes edades y alturas del fuste en la especie bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.), calcular el porcentaje de cenizas a diferentes edades y alturas del fuste en la especie bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.), estimar el porcentaje de celulosa a diferentes edades y alturas del fuste en la especie bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) y estimar el porcentaje de lignina a diferentes edades y alturas del fuste en la especie bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Características de la especie

2.1.1. Taxonomía de la especie

Según REYNEL *et al.* (2003) da la clasificación siguiente:

Reino	:	Plantae
División	:	ANGIOSPERMAE
Clase	:	DICOTILEDONEA
Sub clase	:	Archychlamidae
Súper orden	:	Malvanae
Orden	:	Malvales
Familia	:	STERCULIACEAE
Género	:	Guazuma
Especie	:	<i>Guazuma crinita</i> Mart.
Nombre vulgar	:	Bolaina blanca

2.1.2. Descripción botánica

La bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) es un árbol de 25 - 80 cm de diámetro y 15 - 30 m de altura total, tronco circular, sin aletones o estos extendidos y ramificados. Copa plana o aparasolada, sobre el tercio superior. La 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, escaso y dulceíno.

Tiene 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 nerviación palmeada, los nervios secundarios prominulos en haz y dorso, el ápice agudo y acuminado, la base cordada, las hojas cubiertas de pubescencia de pelos estrellados y escamosos sobre todo por el envés.

Las inflorescencias en forma de 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.

Los frutos son cápsulas globosas de unos 4 - 8 mm de diámetro con la superficie densamente cubierta de pelos largos, de unos 3 - 4 cm de longitud (REYNEL *et al.*, 2003).

2.1.3. Distribución geográfica

Tienen una distribución muy amplia en el Neotrópico desde Centroamérica a la región Amazónica, hasta el sur de Brasil y Bolivia. 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 (REYNEL *et al.*, 2003).

2.1.4. Características ecológicas

Se le observa en ámbitos con pluviosidad elevada y constante, pero también en zonas con una estación seca marcada. Es una especie heliófita, característica de la vegetación secundaria temprana, muy abundante en la cercanía a caminos y zonas con alteración antropogénica. Suele presentarse en suelos limosos a arenosos, muchas veces de escasa fertilidad, a veces pedregosos; no tolera el anegamiento, sobre todo cuando es una plántula. Generalmente se encuentran en bosques secundarios y orillas de ríos

de origen antrópico y natural donde forma masas coetáneas.

En Selva Alta pueden encontrarse en bosques secundarios en donde es abundante y en bosque primario excepcionalmente. Es propia de los bosques aluviales de la Selva baja, principalmente en las playas y áreas abandonadas por agricultura formando rodales casi puros. (CONAMAD, 2008)

2.1.5. Descripción y usos

En la Amazonia peruana, la bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) una especie pionera de rápido crecimiento y líder en bosques secundarios. Esta especie ha sido introducida con gran éxito en el mercado nacional elaborándose productos de valor agregado y estandarizados para usos finales tales como: machihembrados que se usan para forros de vivienda, embalajes para cajas de espárragos y madera para uso en carpintería, muebles y casas de madera. También es importante destacar que la bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) ha servido como materia prima para la fabricación de puertas sólidas mediante la aplicación de tecnologías industriales tipo tablero de listones, los cuales requieren que tengan un adecuado proceso de secado y calidad en el cepillado, así como en la aplicación de pegamentos industriales tipo PVC (Acetato de polivinil).

La bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) constituye el mejor ejemplo de una especie líder de rápido crecimiento, capaz de desarrollar productos masivos de calidad y estandarizados considerando su bajo costo de

extracción, transporte y procesamiento industrial, debido a que no requiere de altos montos de inversión industrial en comparación con los aserraderos que procesan maderas provenientes de bosques primarios, cuyas características tecnológicas de densidad, color claro, grano fino a mediano, durabilidad natural, contracción y trabajabilidad sean competitivas en base a un suministro constante de dichas maderas para ser utilizadas en tableros encolados, molduras, partes y piezas, embalajes y carpintería en general.

La madera es de buena calidad, aunque blanda y liviana, de color blanco en la albura y marrón muy pálido en el duramen cuando seca, con grano recto y textura media (INIA-OIMT, 1996). 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 (TOLEDO, 2005).

2.1.6. Plantación, crecimiento y cuidados

La supervivencia de esta especie en plantación suele ser alta. En el valle de Chanchamayo (11°05 S, 74°45 W, 900 msnm; 2010 mm precipitación) se observaron plantaciones que alcanzan 25 - 30 cm de diámetro y 12 - 15 m de altura en 5 años. Un estudio efectuado para esta especie con semillas de diferentes procedencias en la amazonia peruana reporta crecimientos en altura de 2.0 - 2.3 m en 6 meses y 4.9 - 5.7 m al año de edad (REYNEL *et al.*, 2003).

2.2. La madera

La madera es un material complejo, con propiedades y características que dependen no sólo de su composición sino de su constitución, de la manera en que están colocados u orientados los diversos elementos que la forman. La madera no es un material homogéneo, está formado por diversos tipos de células especializadas que forman tejidos. Estos tejidos sirven para realizar las funciones fundamentales del árbol; conducir la savia, transformar y almacenar los alimentos y por último formar la estructura resistente o portante del árbol. Por lo que estas propiedades y posibilidades de empleo son, en definitiva, la consecuencia de los caracteres, organización y composición química que la constituyen (INAB, 1999).

La madera está atravesado por una red de células longitudinales (desde las raíces a la copa) y transversales (desde la médula a la corteza) de distintas características, que dan forma a sus tres componentes químicos básicos: celulosa, hemicelulosa y lignina, más otros compuestos secundarios como taninos, gomas, aceites, colorantes y resinas. La madera contiene pequeños tubos que transportan agua desde las raíces a las hojas; estos vasos conductores están dispuestos verticalmente en el tronco y son los que forman su veta. El tronco de un árbol no crece hacia lo alto (excepto en su parte superior), sino a lo ancho, y la única sustancia del tronco destinada a su crecimiento es una fina capa situada entre la corteza y la madera, llamada cambium; a través del cambium circula la savia cruda, y produce el tejido

fibroso externo, así como la zona interna a través de la cual circula la savia (HONORATO y HERNÁNDEZ, 2004).

La formación de la madera es un proceso complejo en el que las células del xilema y del cambium participan activamente en la síntesis de los metabolitos que forman parte de ella. Más aún, son estas células las que responden cuando el tronco pierde la verticalidad por efecto de algún tipo de agresiones (viento, nieve). El proceso en sí es una condición celular única, donde tienen lugar varias etapas sincronizadas finamente y que incluyen: 1) división celular, 2) expansión y elongación de la célula, 3) exudación de metabolitos y formación de pared secundaria y 4) muerte celular (HERRERA *et al.*, 2009).

La madera como tal se usa extensamente en la industria química a causa de sus propiedades físicas y mecánicas; es fuerte, puede trabajarse con herramientas sencillas, resiste los ácidos débiles, es un buen aislante térmico y eléctrico, tiene un coeficiente elevado de resistencia-peso. Como materia prima química, la madera puede usarse para obtener diversos productos. A diferencia de lo que sucede con la mayor parte de las materia primas, la madera es un recurso renovable (GÓMEZ, 2004).

2.3. Composición química de la madera

La madera está constituida fundamentalmente por materias orgánicas tales como: carbono (50%), hidrógeno (6%), oxígeno (44%) y

nitrógeno (0.1%). Los elementos fundamentales de la madera al estar combinados con otros, forman en general dos grupos de sustancias, las que conforman la pared celular, donde se encuentran las principales macromoléculas, celulosa (40 - 60% en coníferas y latifoliadas), hemicelulosa (poliosas, 23% coníferas y 15 - 35% latifoliadas), lignina (28 - 35% coníferas y 18 - 25% latifoliadas) y también pequeñas cantidades de sustancias pécticas, que están presentes en todas las maderas; el otro grupo lo conforman las sustancias de baja masa molar conocidas también como sustancias extraíbles que se encuentran en menor cantidad. La proporción y composición química de la lignina y las poliosas difiere para las maderas de coníferas y latifoliadas, mientras que la celulosa es uniforme en composición en todas las maderas (CONCYT, 2002).

La madera está formada por componentes estructurales y no estructurales, los estructurales son los que componen la pared celular y los no estructurales son denominados como sustancias extraíbles. La proporción de estos componentes varía con la especie, entre la madera de árboles de la misma especie y en diferentes partes del propio árbol, en la madera de la albura y duramen, en dirección radial y longitudinal. Los parámetros edafoclimáticos influyen en la composición química, así, se presentan diferencias entre maderas que provienen de zonas templadas con las que provienen de zonas tropicales (BASAURE, 2005).

2.4. Pared celular

Es un componente típico de las células eucarióticas vegetales. La mayor parte de la madera y la corteza está formada sólo de paredes celulares, ya que el protoplasto muere y degenera. En la corteza de los árboles la pared celular contiene materiales que protegen las células subyacentes de la desecación. En la madera las paredes celulares son gruesas y rígidas y sirven como soporte mecánico de los órganos vegetales (BERROCAL, 2004).

Con una mirada hacia el interior de los componentes moleculares se puede apreciar que la pared celular está compuesta de múltiples capas que se fabrican coordinadamente durante la diferenciación en cada etapa descrita. La primera en ser formada es la lámina media, luego, la pared celular primaria, que está compuesta de muchas capas de microfibrillas dispuestas sin orden. Cuando la célula alcanza su tamaño definitivo, se forma la pared secundaria, dentro de la pared primaria. Esta nueva pared es la más importante en términos de fuerza mecánica. La pared secundaria esta subdividida en tres capas diferentes: S1, S2 y S3 y cada una de estas capas, compuestas de microfibrillas de celulosa, alineadas de manera paralela, que cambian de capa a capa. Las hemicelulosas y la lignina también están presentes en cada una de estas capas. Estas tres capas S se pueden modificar durante la maduración celular, cambiando la cantidad de lignina y celulosa en la pared secundaria, lo que otorga unas características particulares al tipo de madera de que se trate (HONORATO, 2004).

2.4.1. Componentes de la pared celular de la madera

Estos son compuestos químicos que forman una parte integral de la pared celular de la madera; son principalmente orgánicos en naturaleza pero materia mineral también está presente, como lo indica el residuo que queda cuando la madera es sometida a combustión completa. Los componentes de la pared celular no pueden ser removidos con solventes adecuados sin afectar ya sea la composición química de la madera, o bien la estructura física de la pared celular. Los componentes orgánicos de la pared celular de la madera son, en general, de dos clases, carbohidratos y los compuestos conocidos colectivamente como lignina.

2.4.1.1. Carbohidratos de la pared celular

Los carbohidratos son los componentes más importantes de la pared celular puesto que forman la armazón que soporta los tejidos de la planta. Además, están presentes como materiales de reserva en las células de la planta y por lo tanto constituyen una fuente de energía. Constituyen del 65% al 75% del peso de la madera y están formados de celulosa y hemicelulosa. La fracción hidrocarbonada de la madera, libre de materiales extraños, es frecuentemente designada como holocelulosa.

La celulosa

La celulosa es el homopolisacárido que se encuentra en mayor

proporción en la madera, es una estructura básica de las células de las plantas y la sustancia más importante producida por este organismo vivo, siendo el principal componente de la pared celular (VIRGILIO, 2001).

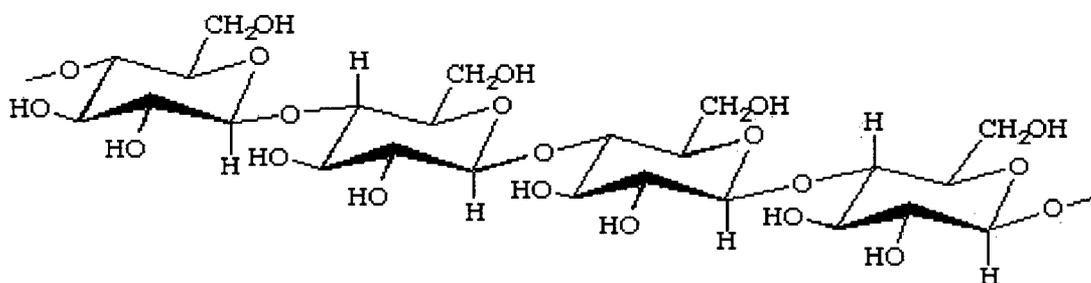
Es reconocida como una de las sustancias orgánicas probablemente más abundantes en la naturaleza, y en la madera constituye el principal carbohidrato, más específicamente un carbohidrato conocido como un polisacárido insoluble en agua. Está presente en un 40 a 60% del contenido de la pared celular (FONSECA, 2006).

La celulosa es el principal componente de las paredes celulares de los árboles y otras plantas. Es una fibra vegetal que al ser observada en el microscopio es similar a un cabello humano, cuya longitud y espesor varía según el tipo de árbol. De igual manera, el contenido de celulosa varía según el tipo de árbol o planta que se considere. Representa alrededor del 50% del peso seco de la madera (una vez extraída el agua). Debido a que las uniones entre las moléculas de glucosa son tan firmes, las moléculas de celulosa son muy resistentes y por esa misma razón, la madera también es resistente. Las uniones laterales entre las moléculas de celulosa también son muy fuertes, lo que hace que ellas se agrupen para formar filamentos, los cuales a su vez forman estructuras más gruesas, similares a una cuerda, llamadas microfibrillas. Estas microfibrillas pueden observarse en un microscopio electrónico (MATTE, 2008).

La celulosa está compuesta de moléculas de glucosa ($C_6H_{12}O_6$)

como un monosacárido formado a través de la fotosíntesis del dióxido de carbono atmosférico. Esta unión de moléculas de glucosa forma cadenas largas de biopolímeros de $4-(\text{Glucosa})_n-\beta 1$, y es acompañada por la eliminación de una molécula de agua, cada molécula de glucosa agregada a la cadena gira 180° y la unión de dos unidades de glucosa da como resultado un disacárido llamado celabiosa. Este proceso de repetición y agregación indefinida de unidades de glucosa (monómeros) se llama polimerización.

Las moléculas de celulosa están orientadas longitudinalmente formando un agregado cristalino fuertemente ordenado, en el que todas las moléculas presentan la misma polaridad, lo que indica que tienen su extremo reductor orientado hacia el mismo extremo de la microfibrilla (GUARDIOLA, 1995).



Fuente: HIRATA y NISHIMOTO, 1991.

Figura 1. Estructura molecular de la celulosa.

Las propiedades más importantes de la celulosa se relacionan, en primer lugar, con la susceptibilidad de la molécula a la hidrólisis y, en segundo lugar, con su capacidad de absorber agua. La celulosa presenta un alto grado de cristalinidad, pero no es 100% cristalina, dependiendo de la materia prima

de donde proviene. La presencia de hemicelulosas en la celulosa de las maderas parece causar disturbios en la cristalinidad. Cuanto más cristalina es la celulosa mayor es su densidad (FONSECA, 2006).

La fibra de celulosa es una estructura muy firme y poco sensible a la degradación. La cristalinidad de la celulosa se encuentra en función de la gran cantidad de puentes de hidrógeno, hecho que además explica por qué la celulosa no es soluble en los sistemas de solventes usuales. Ella es la responsable de determinadas propiedades físicas y mecánicas de las maderas por constituir el material de sostén del árbol, dándole resistencia y tenacidad (BAUSARE, 2005).

Las microfibrillas conforman las macrofibrillas y estas a su vez las fibras de celulosa. Es altamente hidrofílica. Al ponerse en contacto con el agua, sus fibras se hidratan y se hinchan especialmente en las zonas amorfas, mejorando su flexibilidad y la capacidad de unirse a fibras adyacentes. Debido a esto, se intenta destruir las estructuras cristalinas de la celulosa generalmente por procedimientos mecánicos (MATTE, 2008).

La hemicelulosa

Es una sustancia amorfa compuesta de polisacáridos tales como manosa, galactosa, arabinosa, xilosa, ácidos urónicos y, en algunos casos, ramnosa. El contenido total de hemicelulosa se cree que comprende entre 15 y 30% de la sustancia de la pared celular (FONSECA, 2006).

La hemicelulosa es el segundo componente de la madera, representando entre el 15 - 25% del peso seco de la madera. A diferencia de la celulosa, que está constituida sólo por glucosa, la hemicelulosa consta de glucosa más otros azúcares solubles en agua producidos en la fotosíntesis. El grado de polimerización, es decir, el número de moléculas de azúcar conectadas entre sí, es menor que en la celulosa y en consecuencia, las moléculas de hemicelulosa tienden a formar cadenas ramificadas en vez de estructuras rectas. La hemicelulosa rodea los filamentos de celulosa y ayuda en la formación de microfibrillas. Se encuentra formando la pared primaria (MACHADO, 2007).

Forma parte de las paredes de las diferentes células de los tejidos del vegetal, recubriendo la superficie de las fibras de celulosa y permitiendo el enlace de pectina. También es importante considerar que este compuesto varía dependiendo de la edad y variabilidad de las especies cultivadas y mejoradas. La hemicelulosa se caracteriza por ser una molécula con ramificaciones, como lo es el ácido urónico, capaz de unirse a las otras moléculas mediante enlaces que constituyen la pared rígida que protege a la célula de la presión ejercida sobre esta por el resto de las células que la rodean (CARBALLO, 1990). Las maderas están conformadas por azúcares neutros de seis átomos de carbono: glucosa, manosa, galactosa y de cinco átomos de carbono: la xilosa y arabinosa. Algunas poliosas contienen adicionalmente ácido urónico. Las hemicelulosas se encuentran asociadas con la celulosa mediante fuertes interacciones polisacárido-polisacárido (FERNÁNDEZ, 2001). Es fácilmente

soluble en una gran cantidad de disolventes debido a que su estructura no le confiere características hidrofílicas o hidrofóbicas muy marcadas. Una gran proporción de las hemicelulosas son extraídas durante el proceso de la pulpa (MATTE, 2008). La función de las hemicelulosas en la madera parece ser de intermediario entre la celulosa y la lignina, tal vez facilitando la incrustación de las microfibrillas. Si son muy ricas en ácidos urónicos se llaman hemicelulosas ácidas; si no lo son, se denominan hemicelulosas neutras (FONSECA, 2006).

2.4.1.2. La lignina

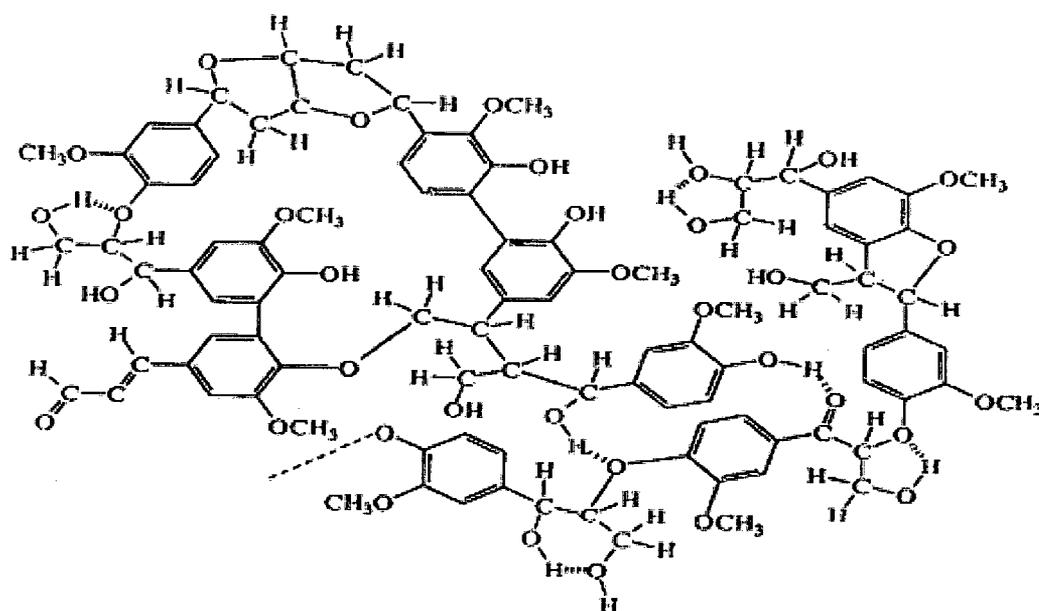
La lignina constituye parte de la pared celular y de la lámina media de la madera; es una sustancia amorfa, aromática, que contiene entre otros, grupos metoxilos e hidroxilos que le confieren un color pardo oscuro variable dependiendo de la especie que se trate. Es llamada el “material cementante” de la madera y existe en ella en proporciones que van de 20 a 30%. Esta determinación es importante para la industria papelera puesto que el porcentaje presente en una especie, determinará las cantidades de productos blanqueadores a utilizar durante el proceso de pulpado (RIVAS, 2006).

La lignina es estructuralmente muy diferente de la celulosa y las hemicelulosas. Es un polímero fenólico, muy ramificado, tridimensional y amorfo cuyo papel principal es actuar como material incrustante en la lámina media y en las paredes de la fibra. La lignina es de carácter hidrofóbico, por lo que su presencia en las pastas inhibe la absorción de agua, el hinchamiento de la fibra y dificulta el refinado. Su porcentaje y distribución a través de las

paredes celulares difiere según sus orígenes, así por ejemplo, las coníferas poseen un mayor porcentaje de lignina que las frondosas (FERNÁNDEZ, 2001). La lignina es un polímero tridimensional, cuya estructura exacta aún no es totalmente conocida. Además de otorgar resistencia mecánica a las paredes de las células de la madera y por lo tanto, a todo el árbol, la lignina juega un rol crucial en la conducción del agua a través del xilema. La lignina permite la formación de vasos que transportan el agua eficientemente (MATTE, 2008).

Es uno de los componentes más importantes de la pared secundaria, y después de la celulosa, el polímero vegetal más abundante. La pared secundaria tiene 2/3 de celulosa y 1/3 de lignina. Aumenta la resistencia mecánica. Responsable de la gran dureza de algunas paredes. Aparece en células conductoras, mecánicas y de sostén. Pueden lignificarse paredes secundarias, primarias y laminilla media. Se denomina lignificación al proceso de impregnación de la pared celular con lignina (DARNELL *et al.*, 1988). Se concentra en la lámina media y funciona prácticamente como relleno para impartir rigidez al tallo de la planta. El segundo elemento en importancia de la composición vegetal. La palabra lignina viene del latín lignum, leño, sustancia compleja y de composición variable que acompaña a la celulosa en las membranas internas de los vegetales secos. Las ligninas son polímeros mixtos, de moléculas grandes ramificadas y resistentes, tanto al ataque de las sustancias químicas como a la acción de los microorganismos. Sin embargo, la lignina es disuelta por los reactivos sódicos y por el cloro, que la convierten en subproducto soluble en el agua (BASAURE, 2005). El contenido de lignina

aumenta con la edad de la planta y una gran parte se encuentra en el tejido vascular, probablemente con la intención de endurecerlo y darle mayor resistencia al agua (VILLEN, 2007). Este componente de la madera realiza múltiples funciones que son esenciales para la vida de las plantas. Por ejemplo, posee un importante papel en el transporte interno de agua, nutrientes y metabolitos. Proporciona rigidez a la pared celular y actúa como puente de unión entre las células de la madera, creando un material que es notablemente resistente a los impactos, compresiones y flexiones. Realmente, los tejidos lignificados resisten el ataque de los microorganismos, impidiendo la penetración de las enzimas destructivas en la pared celular. Industrialmente es necesario quitar la lignina de la madera para hacer el papel u otros productos derivados (BAUSARE, 2005).



Fuente: Fonseca (2006).

Figura 2. Estructura molecular de la lignina.

La separación de la lignina conlleva una degradación de su estructura por lo que resulta difícil obtener una lignina idéntica a la que se encuentra en la madera (lignina nativa) aunque la separación cuidadosa de la lignina se considera representativa de la lignina total en la madera. Los contenidos de lignina varían con la morfología de la fibra. Después de los polisacáridos, la lignina es el polímero orgánico más abundante en el mundo vegetal. Es importante destacar que es la única fibra no polisacárido que se conoce (SAKAKIBARA y NEISH, 1980).

2.4.2. Componentes extraños de la madera

En adición a sus componentes mayoritarios (celulosa, hemicelulosa y lignina), la madera contiene productos de tipo orgánico llamados componentes extraños (numerosas proteínas y sustancias pécticas) que son bastante insolubles, además de los productos que pueden ser removidos por extracción con solventes neutros tales como agua, alcohol, bencol, éter y, cloroformo, o por volatilización con vapor y son conocidos como extractivos. Cada madera contiene algo de ellos, y se dice que algunas contienen cantidades representativas de los mismos. Son encontrados principalmente en el duramen de todas las especies, pero pequeñas cantidades pueden presentarse en la albura (FONSECA, 2006).

2.4.2.1. Los extraíbles

Existen numerosos compuestos que pueden tener gran influencia

en las propiedades y calidad de la madera, aunque ellos contribuyan sólo en algún porcentaje en la masa total de la madera. A este grupo de compuestos se les denomina comúnmente sustancias extraíbles de la madera. Los componentes químicos aquí presentes son de diferentes clases y pueden ser divididos a su vez, y de forma más simple en componentes orgánicos y componentes inorgánicos, siendo estos últimos en los que se puede encontrar ciertos iones metálicos que son esenciales para el normal desarrollo del árbol. Entre los compuestos orgánicos se pueden encontrar hidrocarburos alifáticos y aromáticos, alcoholes, fenoles, aldehídos, cetonas, ácidos alifáticos, ceras, glicéridos, y compuestos nitrogenados (BAUSARE, 2005).

Todas las especies de madera y la mayoría de los vegetales contienen cantidades variables de algunas sustancias químicas diferentes a los carbohidratos y a la lignina que constituyen la pared celular. De acuerdo con el punto de vista con el que se estén tratando, reciben diversos nombres como: componentes extraños de la madera; porque son diferentes a los compuestos que constituyen la pared celular, sustancias extraíbles o solubles, extractivos, sustancias volátiles; porque muchas de estas sustancias son volátiles o imparten características de olor a la madera o constituyentes menores. Los extraíbles que se encuentran en los tejidos vegetales son sustancias tales como terpenos, fenoles, taninos, minerales, azúcares, hidrocarburos alifáticos y aromáticos, ácidos alifáticos y aromáticos, esterinas, aceites esenciales, ácidos grasos y resinosos, resinas, grasas y otros. Existe una considerable variación en la distribución de los extraíbles en un árbol; ellos se encuentran distribuidos

en follaje, madera, corteza y raíces. La cantidad y composición de los extractivos depende de la especie, la parte del árbol, la época del año, las condiciones de crecimiento y otros factores (ECHENIQUE, 1993).

Por sustancias extraíbles de la madera se entienden aquellas sustancias que se extraen de diferentes partes de los árboles de coníferas y latifoliadas mediante agua, disolventes orgánicos, vapor de agua y mediante un exprimido mecánico. Entre las sustancias extraíbles se encuentran los más diversos compuestos orgánicos e inorgánicos y su presencia en diferentes especies es relativa. A los azúcares, el almidón y algunos compuestos nitrogenados se les encuentran en la albura. Las sustancias fenólicas se encuentran normalmente en el duramen. Existe una variación en la concentración de los extraíbles a lo largo del tronco del árbol y entre este y las ramas. Cuando se estudia la estructura de la madera se observa que las grasas se localizan en las células parenquimatosas, especialmente en los rayos parenquimatosos, mientras que la resina es secretada por las células epiteliales y se depositan en los canales resiníferos. Otras sustancias se depositan en los poros de la madera. Aproximadamente de 3-10% de la madera seca está constituida por sustancias extraíbles. Estos constituyentes son responsables de algunas características de las plantas como resistencia natural a la pudrición, sabor y propiedades abrasivas. Los extractivos del duramen se consideran los responsables de impartir a ciertas especies de maderas olores y sabores muy característicos. Algunas especies a las que los extractivos imparten aroma y sabor intenso son también muy resistentes al

ataque de hongos e insectos (ÁLVAREZ, 2005). Son una serie de productos químicos orgánicos e inorgánicos de las células, que no son componentes estructurales de la madera. Oscilan entre un 2-15% del peso seco de la madera. Como su nombre lo indica, se pueden extraer de la madera con agua caliente, alcohol u otros solventes.

Los extractivos de tipo orgánico contribuyen a darle a la madera propiedades tales como: color, olor, sabor, resistencia a la descomposición, densidad, higroscopicidad (capacidad para absorber el agua) y combustibilidad. Algunos ejemplos de extractivos son: taninos, aceites, grasas, resinas, ceras, goma, almidón y terpenos (ARTOLA, 2008).

2.4.2.2. Las cenizas

Los componentes inorgánicos o sustancias minerales, varían en el árbol en dependencia de la parte que se estudie, altos contenidos pueden encontrarse en las hojas, ramas, corteza, raíces, por lo que es común encontrar diferencias entre las maderas de latifoliadas y las de coníferas; diferencias existen entre la madera joven y la tardía. Las condiciones del suelo y la edad influyen en los contenidos de sustancias minerales (CARBALLO, 1990).

2.5. Efecto de la edad

Los efectos de la edad varían por especie y localización geográfica donde los árboles crecen. El aumento de la edad en los árboles, va acompañado de una serie de fenómenos que modifican la calidad de la madera. Así para una cierta edad se verifica, un descenso en la rapidez de crecimiento, un aumento en la textura promedio para la sección del fuste y generalmente, un incremento en el grosor de las paredes celulares (MORALES, 1998).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El trabajo de investigación se desarrolló en el laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Zootecnia y el laboratorio de Fitoquímica de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, las muestras de madera fueron extraídas de la plantación “El chaparral 2” ubicado en el distrito de Padre Felipe Luyando “Naranjillo”, sector Cadena, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco.

Latitud Sur	:	09° 09 00"
Longitud Oeste	:	75° 57 00"
Altitud	:	660 m.s.n.m.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Material biológico

- Especie bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

3.2.2. Material de campo y transformación

- Motosierra

- Machete y pintura

3.2.3. Material de laboratorio

- Balón de 100 ml
- Probeta de 50 ml
- Pesafiltro
- Crisol
- Capsula de porcelana
- Vaso de precipitación
- Balón de boca esmerilado
- Pipetas de precisión
- Embudo Buchner
- Tamizadores de 40-60 de granulometría
- Papel filtro
- Normas TAPPI peruano

3.2.4. Equipos

- Balanza analítica Sartorius TE 214S
- Equipo de extracción soxhlet
- Estufa Memmert

- Mufla Furnace 1300
- Bomba de vacío Jwi
- Molino

3.2.5. Reactivos

- Benceno
- Ácido nítrico de 40° Bme
- Alcohol etílico de 90° y 96°
- Agua destilada.
- Ácido sulfúrico

3.3. Metodología

3.3.1. Obtención de las muestras

Los árboles fueron extraídos de la plantación el "Chaparral 2" situado en el distrito de Padre Felipe Luyando "Naranjillo"; sector "Cadena". El árbol seleccionado fue apeado con una motosierra luego cortado en 3 segmentos del fuste: base, media y alta.

3.3.2. Definición de la zona en el árbol

En la Figura 3 se muestra las tres (3) alturas del fuste de la altura comercial, desde el tocón hasta la copa, de donde se tomaran las muestras

para las evaluaciones. Estos criterios fueron considerados, debido a que la madera presenta variaciones estructurales en los diferentes niveles del fuste.

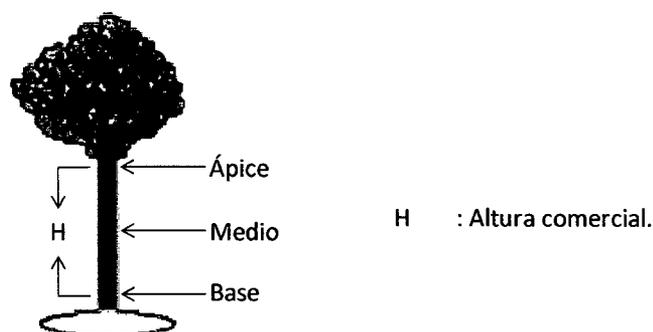


Figura 3. Alturas del árbol consideradas para el estudio.

3.3.3. Solubilidad de la madera en alcohol – benceno

Para la evaluación de la solubilidad de la madera en la mezcla alcohol – benceno ó extractivos, se utilizó la norma TAPPI T6 – os – 59 (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 1978) para lo cual a cada una de las muestras se les determinó K (constante de fracción de masa seca), para ello se pesó 5 gramos de la muestra, se anotó el peso y se llevó a la estufa por 72 horas y se pesó. La madera se extrajo en un sistema soxhlet por 5 horas, con un reciclado de solvente de 6 veces por hora, utilizando 90 ml de una mezcla de alcohol - benceno en una proporción 1:2 (v/v). Luego se retiró la muestra y se puso a secar al ambiente por espacio de 5 horas, el residuo se colocó en una estufa a 105 ± 3 °C, finalmente se dejó enfriar en un desecador y se pesó con una precisión de 0.0001 g.

Para determinar el porcentaje de extractivos de la mezcla alcohol –

benceno en la muestra de la madera se usó la siguiente fórmula:

$$\%E = \frac{(W_m \times K - W_{mse})}{W_m \times K} \times 100$$

Donde:

$$W_m = W_{pm} - W_p$$

$$W_{mse} = W_{pmse} - W_p$$

W_{mse} : peso de la muestra después de la extracción.

W_{pm} : peso del papel con la muestra

W_{pmse} : peso del papel con la muestra después de la extracción.

3.3.4. Evaluación de cenizas

Para la evaluación de cenizas se empleó la norma ISO R 1762. Para lo cual se procedió a tomar 5 g de aserrín (W_m), colocándose en un crisol de peso conocido. La madera se secó hasta obtener un peso constante. Después se quemó directamente con una flama hasta que ésta desapareció y se introdujo en una mufla a $575 \pm 25^\circ\text{C}$ durante un período de 8 horas o hasta que todo el carbón se quemó, indicado por la desaparición de partículas negras. La muestra se dejó enfriar en un desecador y se pesó (W_c).

El porcentaje de cenizas se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ cenizas} = \frac{W_c}{W_m \times K} \times 100$$

W_c : Peso de la cenizas

W_m : Peso de la muestra inicial

3.3.5. Evaluación de celulosa

La evaluación de celulosa se llevó a cabo de acuerdo al método Kurscher y Hoffner, para ello se tomó dos gramos de madera libre de extractivos (W_m), se colocó en un balón de 100 ml con refrigerante a reflujo, agregando una mezcla de 10 ml de ácido nítrico y 40 ml de alcohol llevando luego a una ebullición suave por una hora, posteriormente se decantó el líquido sobrenadante sobre un crisol filtrante N° 2 (porosidad media) de peso conocido, se agregó nuevamente a la muestra 50 ml de la mezcla nitro alcohólica y se procedió como el caso anterior. Este procedimiento se repitió por tercera vez y en este último ataque nitro alcohólico lo que quedó en el balón se filtró al vacío sobre el crisol filtrante y se lavó el residuo con agua destilada, se secó a la estufa a $105\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ y se anotó el peso del crisol con la celulosa (W_{cCel}).

Para calcular el porcentaje de celulosa en la muestra del ensayo se usó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Celulosa} = \frac{(W_{cCel} - W_c)}{W_m \times K} \times 100$$

$$W_{cCel} - W_c = W_{cel}$$

Donde:

W_{cCel} : peso del crisol con la celulosa

W_c : peso del crisol

W_{cel} : peso de la celulosa

W_m : peso de la muestra = 2 g

K : constante de fracción de la masa seca

3.3.6. Evaluación de lignina

Para determinar el contenido de lignina de las muestras se utilizó el método del ácido sulfúrico o Willstater, para ello se tomó una muestra de $\pm 2g$ del material libre de extractivos se le agregó 20 ml de ácido sulfúrico al 57.8% se dispersó cuidadosamente en toda la muestra hasta que se obtuvo una mezcla homogénea, se enfrió inmediatamente colocando el vaso con la muestra en un envase con agua y hielo, se agregó entonces lentamente 20 ml de ácido sulfúrico al 83.3%. Se dejó en reposo por 24 horas a una temperatura entre 5° y 21°C, luego de ello la mezcla se trasladó a un vaso de 1000 ml que contenía 450 ml de agua destilada y se enjuagó el vaso inicial con 50 ml de agua destilada. Se llevó a una ligera ebullición por 10 min. Se dejó enfriar y se filtro sobre un embudo Buchner provisto de dos papeles filtros superpuestos de peso conocido. Se lavó muy abundantemente interrumpiendo al vacío varias

veces. Se introdujo luego los papeles y la muestra en un pesa filtro de peso conocido y se colocó en la estufa a $102^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$ hasta masa constante (WLb), se incineró enseguida los papeles filtro en un crisol tarado y se pesó las cenizas (m). Para calcular el porcentaje de lignina insoluble en la muestra del ensayo se usó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Lignina insoluble} = \frac{(WLb - Wc)}{Wm \times K} \times 100$$

WLb : masa de lignina bruta

Wm : masa de la muestra inicial

Wc : masa de cenizas

3.4. Componentes en estudio

3.4.1. Edad del árbol (factor A)

a_1 = tres años.

a_2 = cuatro años.

a_3 = cinco años

3.4.2. Alturas del árbol (factor B)

b_1 = base

b_2 = media

b_3 = ápice

3.5. Tratamientos en estudio

Los tratamientos se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos en el estudio.

Tratamiento	Clave	Descripción
T1	a1b1	Edad (3 años) x base del árbol
T2	a1b2	Edad (3 años) x mitad del árbol
T3	a1b3	Edad (3 años) x ápice del árbol
T4	a2b1	Edad (4 años) x base del árbol
T5	a2b2	Edad (4 años) x mitad del árbol
T6	a2b3	Edad (4 años) x ápice del árbol
T7	a3b1	Edad (5 años) x base del árbol
T8	a3b2	Edad (5 años) x mitad del árbol
T9	a3b3	Edad (5 años) x ápice del árbol

3.6. Diseño experimental

Cuadro 2. Esquema del análisis de varianza.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc
Bloques	$(r - 1)$	SC_{Bloques}	$SC_{\text{Bloque}} / gl_e$	$S^2_{\text{Bloque}} / S^2_e$
Tratamientos	$(a*b-1)$	$SC_{\text{Tratamientos}}$	SC_{Trat} / gl_e	$S^2_{\text{Trat}} / S^2_e$
A	$(a-1)$	$SC_{\text{Trat A}}$	$SC_{\text{Trat A}} / gl_e$	$S^2_{\text{Trat A}} / S^2_e$
B	$(b-1)$	$SC_{\text{Trat B}}$	$SC_{\text{Trat B}} / gl_e$	$S^2_{\text{Trat B}} / S^2_e$
AxB	$(a-1)*(b-1)$	$SC_{\text{Trat Ax B}}$	$SC_{\text{Trat Ax B}} / gl_e$	$S^2_{\text{Trat Ax B}} / S^2_e$
Error experimental	$(a*b-1)*(r-1)$	SC_{Error}	SC_e / gl_e	
Total	$r*a*b-1$	SC_{Total}		

$$CV = (CM_{\text{error}})^{0.5} / \bar{X} \dots$$

Fuente: Steell y Torrie, 1996.

En el presente trabajo se aplicó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con arreglo factorial 3 x 3 con 5 bloques. Las características evaluadas de cada uno de los componentes fueron sometidos a la prueba Tukey con un nivel de significancia de 0.05 de probabilidad.

3.6.1. Modelo aditivo lineal

$$y_{ijk} = B_k + \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

- Y_{ijk} = Componente químico porcentual en el k -ésimo árbol de bolaina blanca de i -ésimo año y en su j -ésima altura del fuste.
- B_k = efecto i, j -ésimo bloque
- μ = Es el efecto de la media general
- α_i = Efecto del i -ésimo nivel del factor A (edad del árbol).
- β_j = Efecto del j -ésimo nivel del factor B (altura del árbol).
- $(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre el i -ésimo nivel del factor A con j -ésimo nivel del factor B.
- ϵ_{ijk} = Es la variación del error asociado con las ijk unidades.

3.6.2. Diseño de la investigación

En el presente trabajo de investigación, se realizó el siguiente

diseño experimental, como se muestra en la Figura 4.

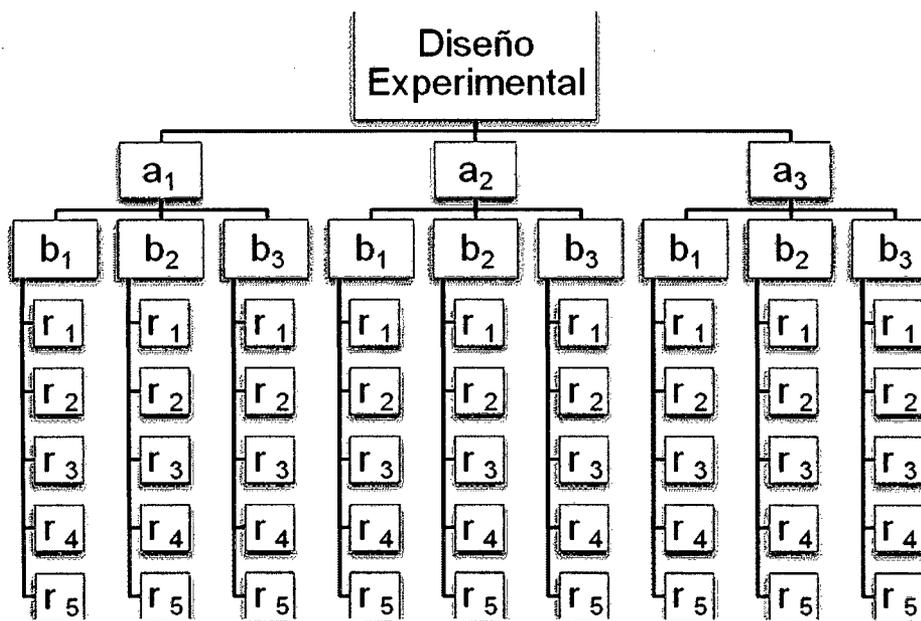


Figura 4. Diseño experimental de la investigación.

Donde:

a1, a2, a3 = Edad del árbol

a1 = 3 años

a2 = 4 años

a3 = 5 años

b1, b2, b3 = altura del árbol

b1 = base

b2 = media

b3 = alta

IV. RESULTADOS

4.1. Contenido de extractivos en la bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

Realizado el análisis de varianza y la prueba F (Anexo 1), a los porcentajes de extractivos de los árboles de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) determinados en el estudio, se encontró que hubo diferencias altamente significativas a nivel de tratamientos, tanto para la de edad y altura; mientras que para los bloques y a nivel de la interacción de los factores A x B (edad x altura) no existieron diferencias estadísticas.

4.1.1. Variación de los extractivos según la edad de la bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

El Cuadro 3, presenta los resultados de la variación de los extractivos según la edad en el contenido de extractivos. Se aprecia que existen diferencias significativas con la edad. Siendo a3 (5 años) con 5.612% que contiene la mayor cantidad de sustancias extractivas, seguido de a2 (4 años) con 4.847% y finalmente a1 (3 años) con 4.281%.

Cuadro 3. Prueba de Tukey para la variación según la edad en el contenido de extractivos de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

Niveles de A (Años)	Medias (%)	Significación ($\alpha=0.05$)
a3	5.612	a
a2	4.847	b
a1	4.281	c

4.1.2. Variación de los extractivos según la altura bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

Para la variación de los extractivos según la altura, la prueba de significación de Tukey, mostrada en el Cuadro 4, se puede observar que el porcentaje del contenido de extractivos con los niveles de la altura b1 (base), b2 (medio) y b3 (ápice) presentaron diferencias estadísticas significativas. Siendo en la base con 6.063% en promedio donde se obtuvo un mayor porcentaje, seguido de la parte media con 4.801% y el ápice con 3.876% de extractivos.

Cuadro 4. Prueba de Tukey para la variación según la altura en el contenido de extractivos de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

Niveles de A (años)	Medias (%)	Significación ($\alpha=0.05$)
b1	6.063	a
b2	4.801	b
b3	3.876	c

4.1.3. Variación de extractivos en la interacción de la edad en los niveles de altura de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

Del Cuadro 5, en términos generales se aprecia diferencias estadísticas entre el factor edad para cada nivel de altura. Podemos decir que, el contenido de extractivos aumenta proporcionalmente con la edad de los árboles de bolaina, no habiendo diferencia significativa en las edades de 3 y 4 años; asimismo es en la base de árboles de 5, 4 y 3 años donde se evidenciaron los mayores porcentajes de extractivos siendo 6.966%, 5.722% y 5.501% respectivamente los valores registrados.

Cuadro 5. Prueba de Tukey para el efecto simple de la edad en cada nivel de altura y el contenido de extractivos en bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

Niveles de A (años)	Medias (%)	Significación ($\alpha=0.05$)
Efectos simples para A en b1		
a3b1	6.966	a
a2b1	5.722	b
a1b1	5.501	b
Efectos simples de A en b2		
a3b2	5.417	a
a2b2	4.929	a b
a1b2	4.058	b
Efectos simples de A en b3		
a3b3	4.454	a
a2b3	3.890	a b
a1b3	3.285	b

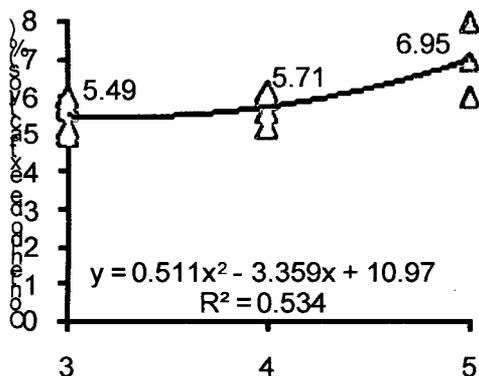
4.1.4. Variación de extractivos en la interacción de la altura en los niveles de edad de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

Analizando los resultados del Cuadro 6, se observa diferencias significativas de la altura en cada nivel de edad. En términos generales existe un mayor contenido de extractivos en la base de los árboles de bolaina de las tres edades estudiadas, seguido de la parte media y del ápice. El valor de 6.966% de extractivos fue el mayor de los registrados y corresponde al árbol de bolaina de 5 años en la base.

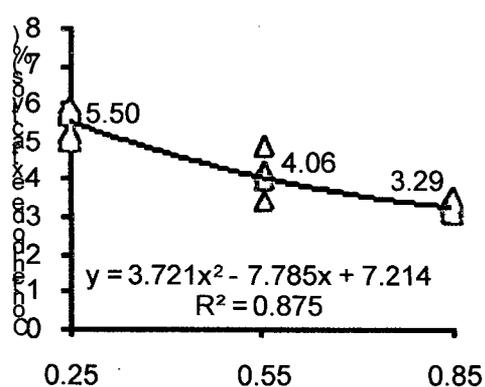
Cuadro 6. Prueba de Tukey para el efecto simple del factor altura en nivel de edad en el contenido de extractivos de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

Niveles de A (años)	Medias (%)	Significación ($\alpha=0.05$)
Efectos simples para B en a1		
a1b1	5.501	a
a1b2	4.058	b
a1b3	3.285	b
Efectos simples para B en a2		
a2b1	5.722	a
a2b2	4.929	a
a2b3	3.890	b
Efectos simples para B en a3		
a3b1	6.966	a
a3b2	5.417	b
a3b3	4.454	c

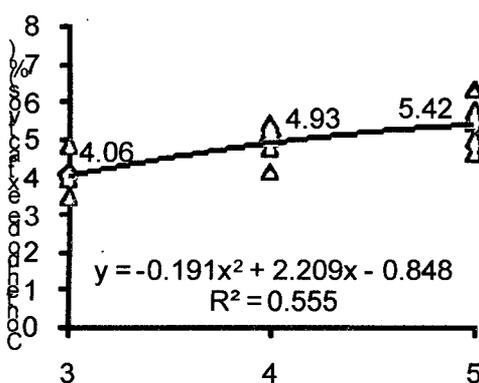
A en b1



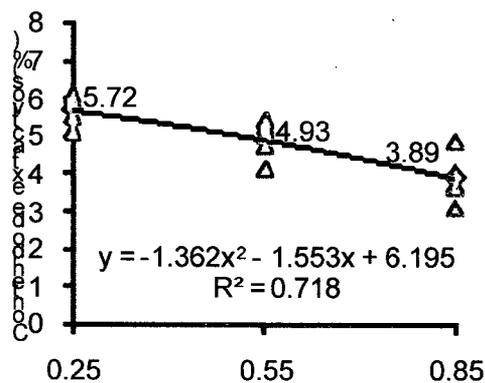
B en a1



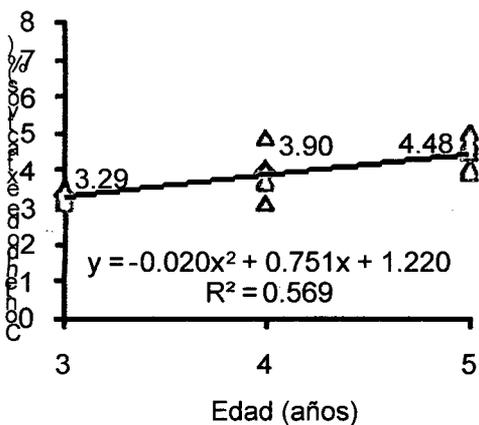
A en b2



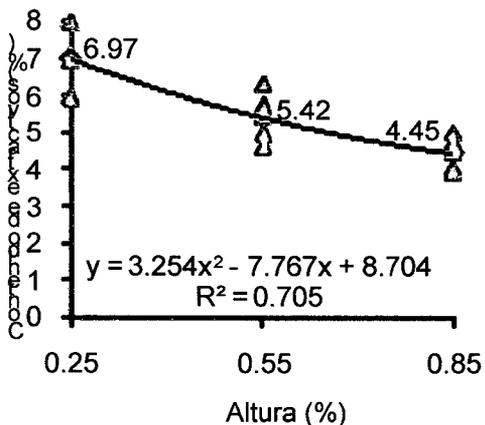
B en a2



A en b3



B en a3



△ Bloques
◆ Pronóstico

△ Bloques
◆ Pronóstico

Figura 5. Efectos de la edad en cada uno de los niveles de altura en el contenido de extractivos de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

Figura 6. Efectos de la altura en cada uno de los niveles de edad en el contenido de extractivos bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

Los resultados del Cuadro 5 y 6, también son representados en la Figura 5 y 6 con sus cinco repeticiones (bloques), observándose tendencias polinomiales de segundo orden, que fueron las que mejor se ajustaron a los resultados y que corresponden a la edad de los árboles en cada nivel de altura, y a la altura en cada nivel de edad respectivamente.

Estas ecuaciones nos permitirán determinar los porcentajes de extractivos en los intervalos de 3 hasta los 5 años para cada nivel de altura de los árboles de bolaina.

4.1.5. Efectos generales de los tratamientos en el contenido de extractivos bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

Del Cuadro 7 y de la Figura 7, nos permiten notar diferencias significativas entre tratamientos, la base de los árboles de bolaina blanca de 5 años (T7) presentan en promedio el porcentaje más alto de extractivos (6.966%) y se diferencia estadísticamente de los otros tratamientos, un segundo grupo conformado por los tratamientos T4, T1, T8, y T5 entre los cuales no hay diferencias significativas ocupan el segundo lugar con porcentajes de extractivos superiores al 5%; finalmente los cuatro tratamientos restantes del estudio de investigación, constituyen un tercer grupo, entre los cuales tampoco hay diferencia significativas y ocupan las últimas clasificaciones en cuanto al contenido porcentual de extractivos. También se aprecia notoriamente, que el porcentaje de extractivos se incrementa a medida que los árboles de bolaina aumentan de edad, y en un árbol de la misma edad

el porcentaje de extractivos va disminuyendo desde su base hasta su ápice.

Cuadro 7. Contenido de extractivos por tratamientos de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

Tratamiento (Edad x altura)	Interacción	Medias (%)	Significación ($\alpha=0.05$)
T7	a3b1	6.966	a
T4	a2b1	5.722	b
T1	a1b1	5.501	b c
T8	a3b2	5.417	b c
T5	a2b2	4.929	b c d
T9	a3b3	4.454	c d e
T2	a1b2	4.058	d e
T6	a2b3	3.890	d e
T3	a1b3	3.285	e

En la Figura 7, se observa que en promedio los árboles de 5 años en la base, T7, presentan el mayor porcentaje de extractivos 6.966%, seguido por T4 con 5.722% y T1 con 5.501%, y en un último lugar a T3 con el menor porcentaje de extractivos 3.285%.

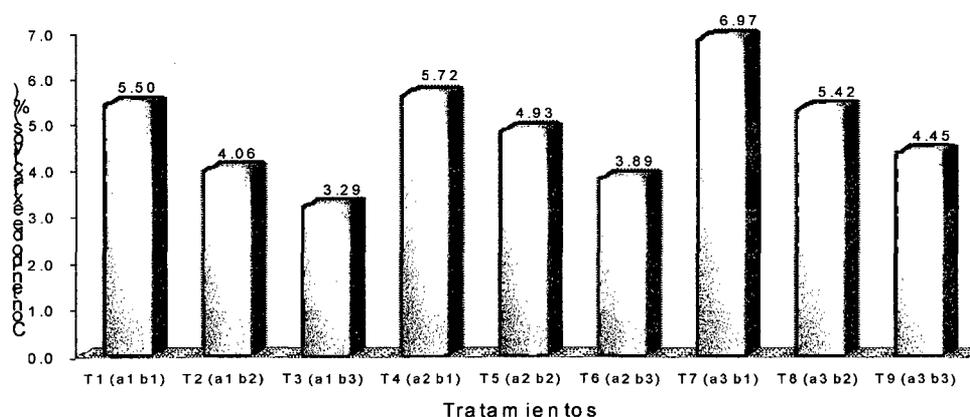


Figura 7. Contenido de extractivos en los diferentes tratamientos de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.).

4.2. Contenido de cenizas de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

Realizado el análisis de variancia y la prueba F (Anexo 2), se encontró que no hubo diferencias significativas a nivel de bloques; mientras que para tratamientos si se encontraron diferencias altamente significativas. También, existieron diferencias altamente significativas para los efectos principales de la edad y la altura.

4.2.1. Variación de la ceniza según la edad de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

El Cuadro 8, presenta los resultados de la variación de la según la edad en el contenido de cenizas. Según la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$, se encontró diferencias significativas entre los niveles de la edad, siendo los árboles de bolaina de 3 años los que en promedio ocuparon el primer lugar con 1.534%, seguido de los de 4 y 5 años con 1.277% y 1.171% respectivamente.

Cuadro 8. Prueba de Tukey para la variación según la edad en el contenido de cenizas de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

Niveles de A (años)	Medias (%)	Significación ($\alpha=0.05$)
a1	1.534	a
a2	1.277	b
a3	1.171	c

4.2.2. Variación de las cenizas según la altura bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

Para la variación de las cenizas según la altura, la prueba de significación de Tukey, mostrada en el Cuadro 9, indica que el porcentaje del contenido de cenizas con los niveles del factor altura presentaron diferencias estadísticas significativas. Siendo el ápice del árbol en donde se concentra el mayor porcentaje de cenizas 1.472%, en segundo orden la parte media con 1.296% y la base con 1.214% de extractivos respectivamente no existiendo diferencias significativas en estos dos últimos niveles.

Cuadro 9. Prueba de Tukey para la variación según la altura en el contenido de cenizas de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

Niveles de A (años)	Medias (%)	Significación ($\alpha=0.05$)
b3	1.472	a
b2	1.296	b
b1	1.214	b

4.2.3. Variación de las cenizas en la interacción de la edad en los niveles de altura de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

En el Cuadro 10, en términos generales se aprecia diferencias estadísticas entre la edad para cada nivel de altura. Podemos decir que, el contenido de cenizas disminuye proporcionalmente con la edad de los árboles de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.), no diferenciándose

significativamente en las edades de 4 y 5 años; asimismo es en la base de árboles de 3, 4 y 5 años donde se evidenciaron los mayores porcentaje de cenizas: 1.781% (a1b3), 1.468% (a1b2) y 1.354% (a1b1).

Cuadro 10. Prueba de Tukey para el efecto simple de la edad en cada nivel de altura en el contenido de cenizas en bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

Niveles de A (años)	Medias (%)	Significación ($\alpha=0.05$)
Efectos simples para A en b1		
a1b1	1.354	a
a2b1	1.163	b
a3b1	1.126	b
Efectos simples para A en b2		
a1b2	1.468	a
a2b2	1.279	b
a3b2	1.142	b
Efectos simples para A en b3		
a1b3	1.781	a
a2b3	1.388	b
a3b3	1.246	b

4.2.4. Variación de las cenizas en la interacción de la altura en los niveles de edad de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

Observándose los resultados del Cuadro 11, se encuentra diferencias significativas en los niveles de altura en cada nivel de edad. En forma global existe un mayor porcentaje de cenizas en el ápice de los árboles

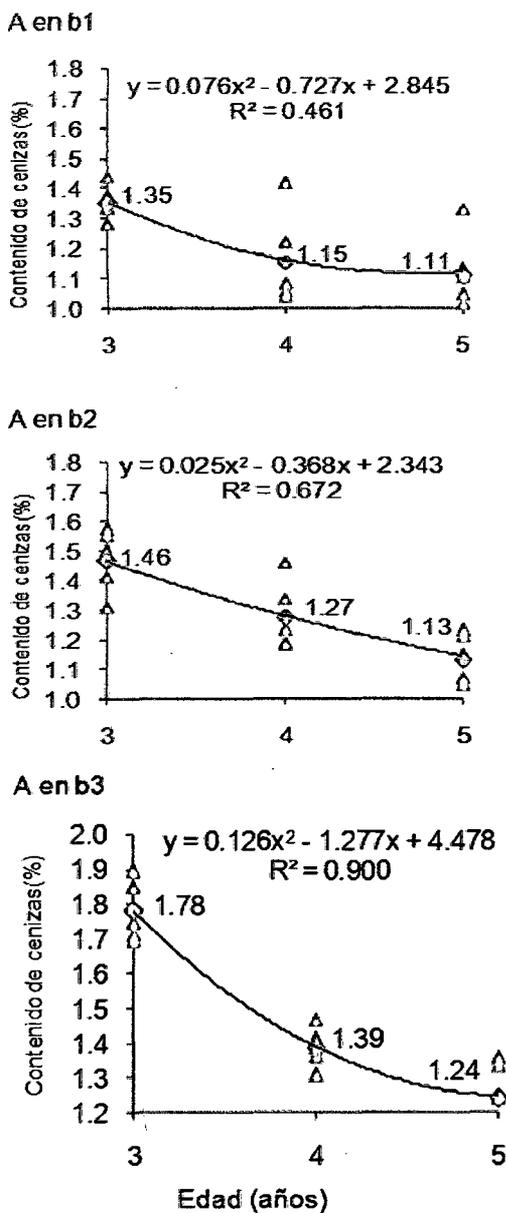
de bolaina de las tres edades estudiadas, seguido de la parte media y de la base. El valor de 1.781% de ceniza fue el mayor de los registrados y corresponde al árbol de bolaina de 3 años en el ápice.

Cuadro 11. Prueba de Tukey para el efecto simple de la altura en cada nivel de edad en el contenido de cenizas de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

Niveles de A (años)	Medias (%)	Significación ($\alpha=0.05$)
Efectos simples para B en a1		
a1b3	1.781	a
a1b2	1.468	b
a1b1	1.354	b
Efectos simples para B en a2		
a2b3	1.388	a
a2b2	1.279	a b
a2b1	1.163	b
Efectos simples para B en a3		
a3b3	1.246	a
a3b2	1.142	a
a3b1	1.126	a

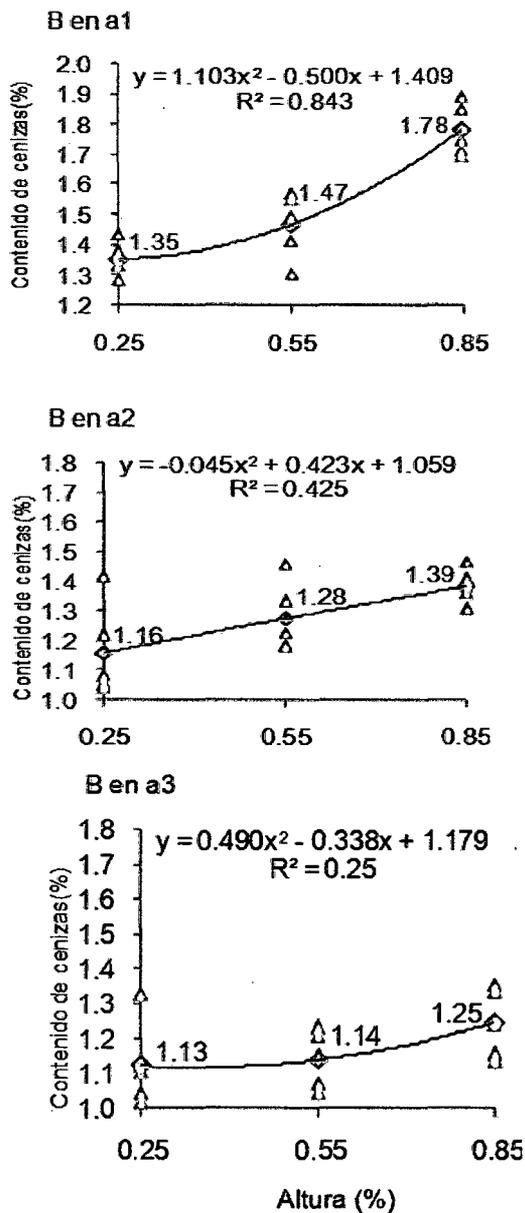
En las Figuras 8 y 9, se grafica los resultados por bloques que en promedios se presentaron en los Cuadros 10 y 11, en ambas figuras se evidencia curvas de ajuste polinomial de segundo grado. A través de éstas curvas se puede conocer del contenido porcentual de cenizas, para cualquier valor comprendido entre la base y el ápice de árboles de bolaina de 3 a 5 años. Más aun igualando la primera derivada de la ecuación polinomial a cero se

podrá maximizar o minimizar el contenido porcentual de cenizas en cualquiera de las gráficas.



△ Bloques
 ◆ Pronóstico

Figura 8. Efectos de la edad en cada uno de los niveles de altura en el contenido de cenizas de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).



△ Bloques
 ◆ Pronóstico

Figura 9. Efectos de la altura en cada uno de los niveles de edad en el contenido de cenizas de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

4.2.5. Efectos generales de los tratamientos en el contenido de cenizas de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

En el Cuadro 12, se confirma las diferencias estadísticas entre los tratamientos, la prueba de comparación de Tukey, ubica a T3 (árbol de 3 años en el ápice) en el primer lugar con un porcentaje de cenizas de 1.781%. También notoriamente se aprecia cuatro grupos de tratamientos entre los cuales no se evidencia diferencias estadísticas, los más destacados lo conforman el grupo de T2, T6, T1 y T5 que se ubican luego del mejor tratamiento, y el grupo conformado por los tratamientos T5, T9, T4, T8 y T7 ubicados en las últimas posiciones en lo que respecta al porcentaje de cenizas.

Cuadro 12. Contenido de cenizas por tratamientos de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

Tratamiento (Edad x altura)	Interacción	Medias (%)	Significación ($\alpha=0.05$)
T3	a1b3	1.781	a
T2	a1b2	1.468	b
T6	a2b3	1.388	b c
T1	a1b1	1.354	b c d
T5	a2b2	1.279	b c d e
T9	a3b3	1.246	c d e
T4	a2b1	1.163	d e
T8	a3b2	1.142	d e
T7	a3b1	1.126	e

En la Figura 10, se grafica las ubicaciones de los tratamientos con respecto al porcentaje de cenizas. Notoriamente T3 (a1b3) presenta la columna gráfica más elevada lo que está relacionado con el mayor porcentaje de cenizas, y en la última posición T7 (a3b1) con 1.126% de cenizas. Se nota también que los grupos de tratamientos entre los que no hay diferencias estadísticas como: T2, T6, T1, T5 y T5, T9, T4, T8, T7 sus alturas de columnas gráficas son similares.

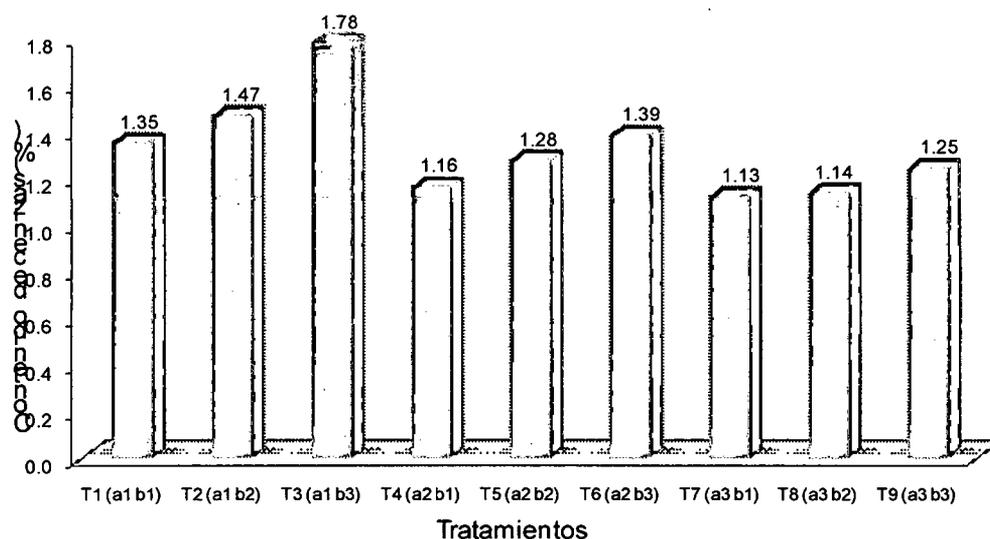


Figura 8. Contenido de cenizas en los diferentes tratamientos de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.).

4.3. Contenido de celulosa de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

Los resultados del análisis de varianza mostrado en el anexo 3, muestran diferencias altamente significativas para los tratamientos, tanto para la edad y la altura, siendo en forma general no significativo para la interacción entre los niveles de los dos factores y para los bloques. En el ANVA para los

efectos simples de cada uno de los factores de estudio, también se encontraron diferencias altamente significativas.

4.3.1. Variación de la celulosa según la edad de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

La prueba de Tukey para la variación según la edad en el contenido de celulosa que se muestra en el Cuadro 13, indica diferencias significativas entre los niveles. En el estudio se determinó que los árboles de bolaina de 5 años obtuvieron un promedio de 49.029% de celulosa no diferenciándose de los árboles de 4 años que en promedio alcanzaron 48.362%.

Cuadro 13. Prueba de Tukey para la variación según la edad en el contenido de celulosa de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

Niveles de A	Medias	Significación
(años)	(%)	($\alpha=0.05$)
a3	49.029	a
a2	48.362	a
a1	47.232	b

4.3.2. Variación de la celulosa según la altura de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

La prueba de Tukey para el efecto de la altura en el contenido

porcentual de celulosa (Cuadro 14), muestra diferencias significativas, en donde en el ápice se obtiene el mayor porcentaje de celulosa, siendo en promedio 49.316%, seguido de la parte media y la base con promedios de 48.361% y 46.946% respectivamente.

Cuadro 14. Prueba de Tukey para la variación según la altura en el contenido de celulosa de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

Niveles de A	Medias	Significación
(años)	(%)	($\alpha=0.05$)
b3	49.316	a
b2	48.361	b
b1	46.946	c

4.3.3. Variación de la celulosa en la interacción de la edad en los niveles de altura de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

En los árboles de bolaina con 5 años es donde en promedio se alcanza los mayores contenidos porcentuales de celulosa en comparación a los árboles de 4 y 3 años (Cuadro 15), en términos generales, en la base y en ápice de los de los árboles de 5 y 4 años, el porcentaje de celulosa no difiere estadísticamente, como tampoco se evidencia diferencias entre base y la parte media de los árboles de 3 y 4 años.

Cuadro 15. Prueba de Tukey para el efecto simple de la edad en cada nivel de altura en el contenido de celulosa de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

Niveles de A	Medias	Significación
(años)	(%)	($\alpha=0.05$)
Efectos simples para A en b1		
a3b1	47.694	a
a2b1	47.194	a b
a1b1	45.950	b
Efectos simples para A en b2		
a3b2	49.300	a
a2b2	48.024	b
a1b2	47.758	b
Efectos simples para A en b3		
a3b3	50.092	a
a2b3	49.870	a
a1b3	47.987	b

4.3.4. Variación de la celulosa en la interacción de la altura en los niveles de edad de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

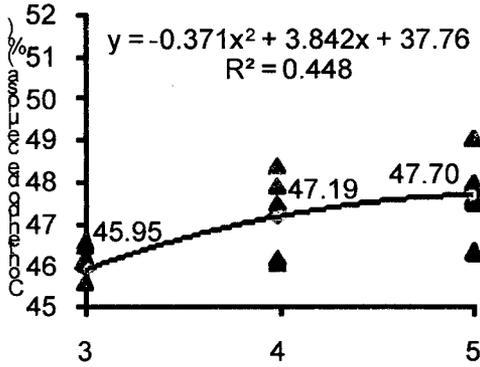
En el Cuadro 16, se observa diferencias estadísticas en los niveles de la altura en cada nivel de la edad en relación al contenido porcentual de celulosa. El contenido de celulosa en todos los árboles según las edades estudiadas es mayor en el ápice: 50.092% en árboles de 5 años, 49.870% en 4 años y 47.987% en árboles de 3 años, estos contenidos porcentuales van disminuyendo conforme se desciende a la base del fuste.

Cuadro 16. Prueba de Tukey para el efecto simple de la altura en cada nivel de edad en el contenido de celulosa de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

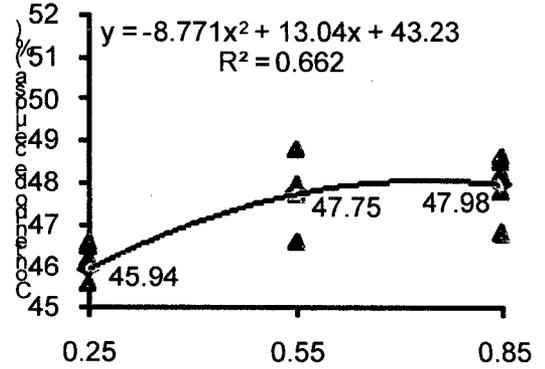
Niveles de A (años)	Medias (%)	Significación ($\alpha=0.05$)
Efectos simples para B en a1		
a1b3	47.987	a
a1b2	47.758	a
a1b1	45.950	b
Efectos simples para B en a2		
a2b3	49.870	a
a2b2	48.024	b
a2b1	47.194	b
Efectos simples para B en a3		
a3b3	50.092	a
a3b2	49.300	a
a3b1	47.694	b

Las gráficas de las Figuras 11 y 12, corresponden a los efectos de los niveles de un factor en cada uno de los niveles del otro factor en el contenido porcentual de celulosa, en donde la tendencia de los valores de las repeticiones (bloques), se ajustan a ecuaciones polinómicas de segundo grado. Tanto en las gráficas de A en b3 como en el de B en a3 se observan los mayores contenidos porcentuales de celulosa, de tal forma, que igualando la primera derivada de la función a cero se obtendría los siguientes contenidos máximos de celulosa: 50.20% en A en b3 y 50.18% en B en a3 que corresponderían a la edad de un árbol de bolaina 4.63 años y al 99.2% de la altura total del fuste respectivamente.

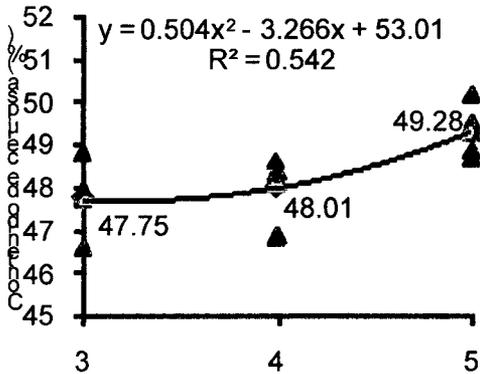
A en b1



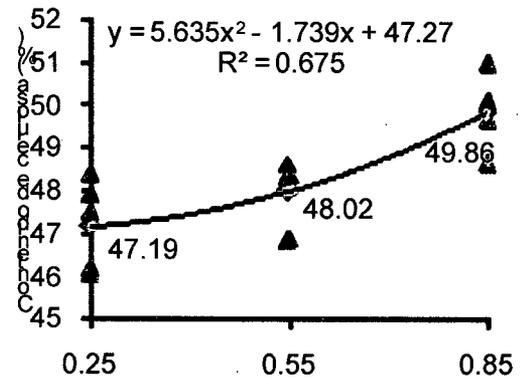
B en a1



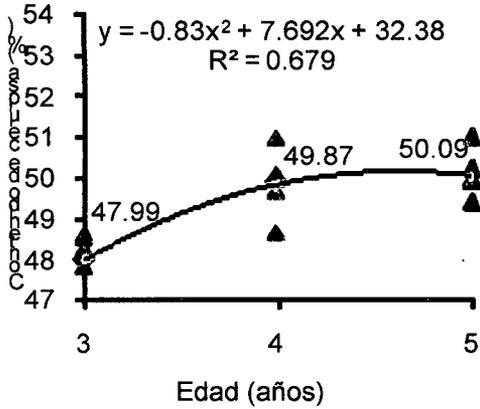
A en b2



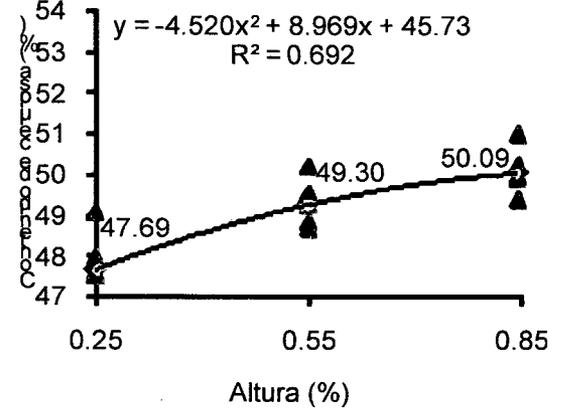
B en a2



A en b3



B en a3



△ Bloques
◆ Pronóstico

△ Bloques
◆ Pronóstico

Figura 9. Efectos de la edad en cada uno de los niveles de altura en el contenido de celulosa de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

Figura 10. Efectos de la altura en cada uno de los niveles de edad en el contenido de celulosa de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

4.3.5. Efectos generales de los tratamientos en el contenido de celulosa de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

Una visión general del Cuadro 17, nos permite afirmar que en términos generales, la edad de los árboles de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) influye en el incremento del porcentaje de celulosa, y en relación a la altura del fuste el contenido de celulosa está en mayor porcentaje en el ápice y de ahí va disminuyendo hasta la base; por ello, los mayores contenidos porcentuales: 50.092% (T9), 49.8696% (T6) y 49.3001% (T8) se concentran en el ápice de los árboles de 5 y 4 años; mientras que los menores contenidos: 47.6943% (T7), 47.1935% (T4) y 45.9503% (T1) en la base de los árboles de 5, 4 y 3 respectivamente. Asimismo la parte media del fuste de los árboles en las tres edades estudiadas no presentan diferencias estadísticas significativas en cuanto al porcentaje de celulosa.

La Figura 13, grafica los porcentajes de celulosa en función de los tratamientos en estudio, se aprecia una variación desde 45.950% encontrado en el tratamiento T1 hasta el 50.092% en el tratamiento T9.

Cuadro 17. Contenido de celulosa por tratamientos de bolaina blanca
(*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

Tratamiento (Edad x altura)	Interacción	Medias (%)	Significación ($\alpha=0.05$)
T9	a3b3	50.0922	a
T6	a2b3	49.8696	a
T8	a3b2	49.3001	a b
T5	a2b2	48.0243	b c
T3	a1b3	47.9871	b c
T2	a1b2	47.7581	b c
T7	a3b1	47.6943	b c
T4	a2b1	47.1935	c d
T1	a1b1	45.9503	d

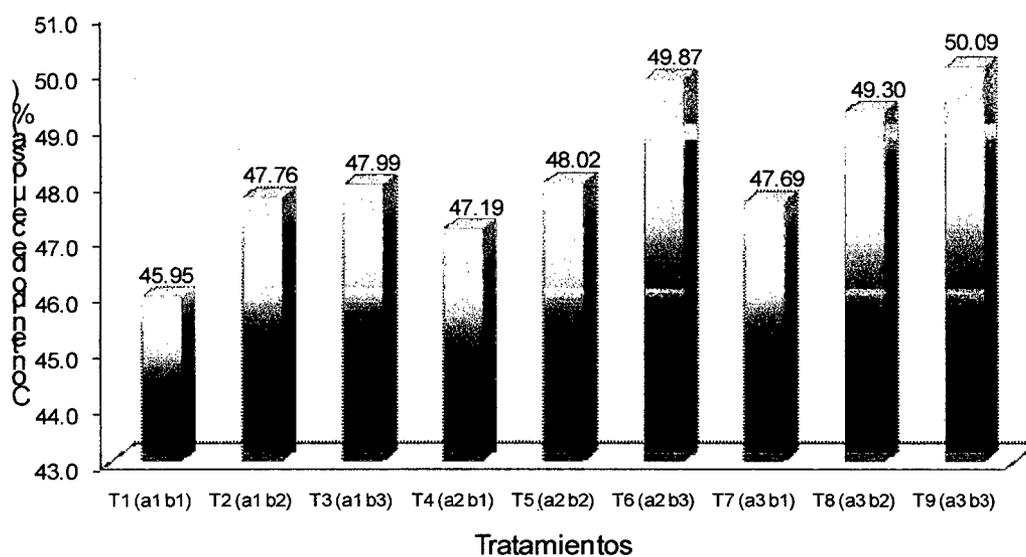


Figura 11. Contenido de celulosa en los diferentes tratamientos de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.).

4.4. Contenido de lignina de la bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

En el anexo 4 se presentan los resultados del análisis de varianza correspondiente al contenido porcentual de lignina según tratamientos. Se encontró diferencias altamente significativas a nivel de tratamientos: edad, altura e interacción de los niveles de ambos factores, mientras que no hubo diferencias significativas en cuanto a bloques. En cuanto al análisis de varianza de los efectos simples de cada factor también se encontraron diferencias altamente significativas a excepción del factor A en el nivel b3.

4.4.1. Variación de la celulosa según la edad de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

El Cuadro 18, se presenta los resultados de la clasificación Tukey para el efecto de la edad en el contenido de lignina, se aprecia diferencias estadísticas entre los tres niveles y en el de 5 años se encuentra la mayor concentración de lignina (21.120%), seguido de 4 y 3 años.

Cuadro 18. Prueba de Tukey para la variación según la edad en el contenido de lignina de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

Niveles de A (años)	Medias (%)	Significación ($\alpha=0.05$)
a3	21.120	a
a2	20.385	b
a1	19.388	c

4.4.2. Variación de la lignina según la altura de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

A diferencia del contenido de celulosa, el contenido porcentual de lignina se presenta en mayor proporción en la base de los árboles de bolaina y conforme se va subiendo hacia el ápice esta concentración va disminuyendo, de aquí que en la base se obtiene el mayor porcentaje de lignina (21.748%) y se diferencia estadísticamente de la parte media y del ápice con sus valores correspondientes 20.347% y 18.799% (Cuadro 19).

Cuadro 19. Prueba de Tukey para la variación según la altura en el contenido de lignina de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

Niveles de A (años)	Medias (%)	Significación ($\alpha=0.05$)
b1	21.748	a
b2	20.347	b
b3	18.799	c

4.4.3. Variación de la lignina en la interacción de la edad en los niveles de altura de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

El contenido de lignina aumenta proporcionalmente con la edad de los árboles de bolaina en los diferentes niveles de altura, siendo 23.041%, 21.280% y 19.039% los mayores resultados encontrados que corresponden a los árboles de 5 años, tal como lo muestra el Cuadro 20.

Podemos apreciar también, que no existen diferencias estadísticas entre los árboles de 5 y 4 años en la base, como tampoco lo hay entre los árboles de 5, 4 y 3 años en el ápice.

Cuadro 20. Prueba de Tukey para el efecto simple de la edad en cada nivel de altura en el contenido de lignina de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

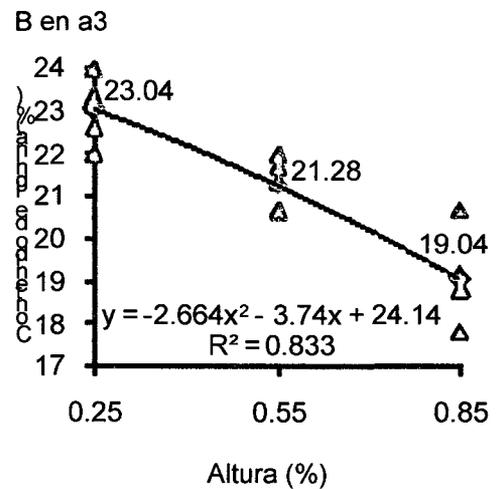
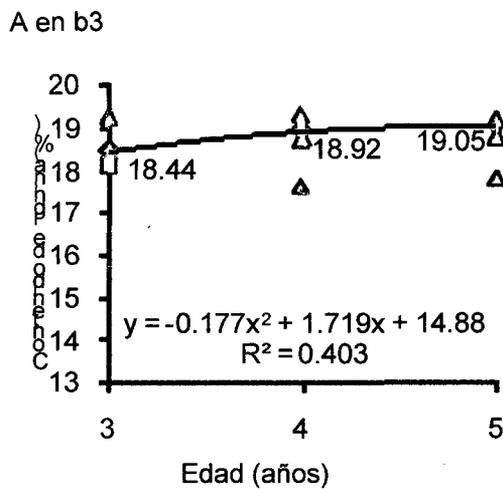
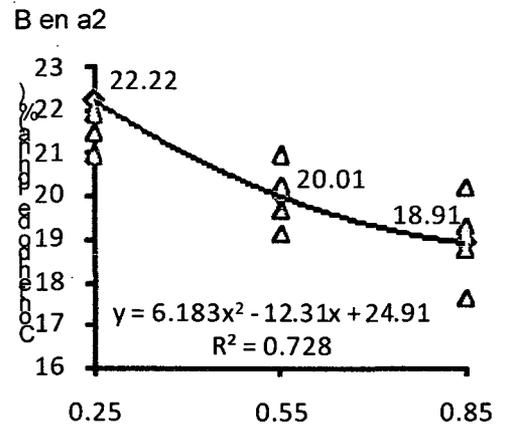
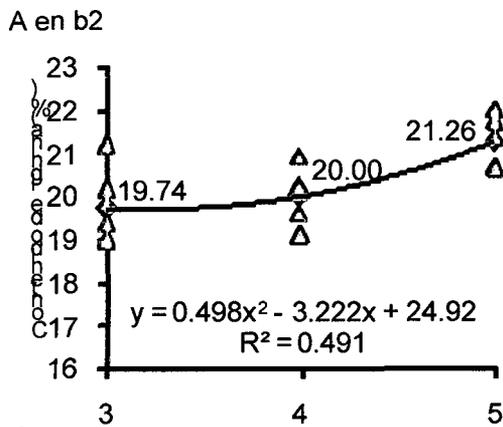
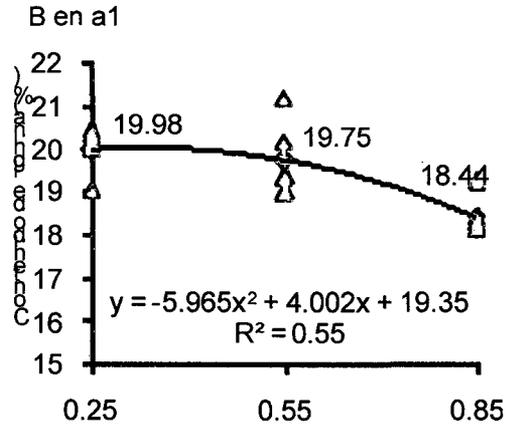
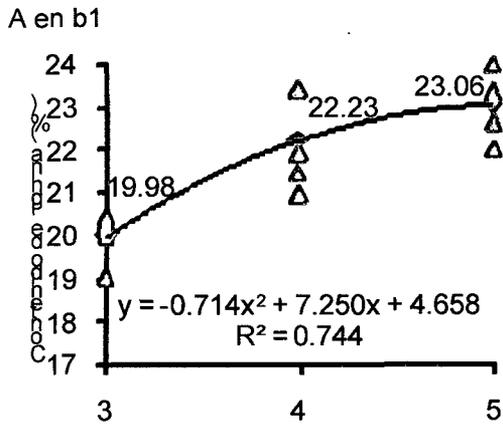
Niveles de A (años)	Medias (%)	Significación ($\alpha=0.05$)
Efectos simples para A en b1		
a3b1	23.041	a
a2b1	22.224	a
a1b1	19.977	b
Efectos simples para A en b2		
a3b2	21.280	a
a2b2	20.014	b
a1b2	19.746	b
Efectos simples para A en b3		
a3b3	19.039	a
a2b3	18.917	a
a1b3	18.441	a

4.4.4. Variación de la lignina en la interacción de la altura en los niveles de edad de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

Analizando los resultados del Cuadro 21, se observa diferencias estadísticas en los niveles de altura para cada nivel de la edad. En términos generales existe un mayor contenido de lignina en la base de los árboles de bolaina de las tres edades estudiadas, seguido de la parte media y del ápice, tal es así que el valor de 23.041% de lignina fue el mayor de los registrados y se ubica en la base del árbol de mayor edad.

Cuadro 21. Prueba de Tukey para el efecto simple de la altura en cada nivel de edad en el contenido de lignina de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

Niveles de A (años)	Medias (%)	Significación ($\alpha=0.05$)
Efectos simples para B en a1		
a1b1	19.978	a
a1b2	19.746	a
a1b3	18.441	b
Efectos simples para B en a2		
a2b1	22.222	a
a2b2	20.014	b
a2b3	18.917	b
Efectos simples para B en a3		
a3b1	23.041	a
a3b2	21.280	b
a3b3	19.039	c



△ Bloques
◆ Pronóstico

△ Bloques
◆ Pronóstico

Figura 12. Efectos de la edad en cada uno de los niveles de altura en el contenido de lignina de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

Figura 13. Efectos de la altura en cada uno de los niveles de edad en el contenido de lignina de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

Las cinco repeticiones (bloques) que corresponden a los efectos de la edad en cada una de los niveles de la altura del árbol de bolaina, como también de los efectos del factor altura en cada uno de los niveles de la edad, cuyos promedios se presentaron en los Cuadros 20 y 21, en ambos casos evidencian tendencias polinomiales de segundo orden en lo que respecta al contenido porcentual de lignina. En la gráfica de A en b1 de la Figura 14 cuya ecuación de ajuste es $y = -0.714x^2 + 7.250x + 4.658$ es con la cual se obtiene el mayor contenido de lignina (23.06%); mientras que con la ecuación de ajuste $y = -2.664x^2 - 3.74x + 24.14$, gráfica B en a3 de la Figura 15, se obtiene el otro valor más alto del contenido de lignina (23.04%).

4.4.5. Efectos generales de los tratamientos en el contenido de lignina de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

En el Cuadro 22 y Figura 16, se nota diferencias estadísticas entre tratamientos, la base de los árboles de bolaina de 5 años (T7) presentan en promedio el porcentaje más alto de lignina (23.041%) seguido de T4 (22.224%) con quien no se diferencia estadísticamente. La edad de los árboles influye en el incremento del porcentaje de lignina, y en relación a la altura del fuste el contenido de lignina está en mayor porcentaje en la base y de ahí va disminuyendo hasta el ápice. Es así que observamos que los menores porcentajes de lignina se encuentran en el ápice de los árboles de 5, 4 y 3 años con: 19.039% (T9), 18.917% (T6) y 18.441% (T3) respectivamente, no encontrándose diferencias estadísticas entre ellos.

Cuadro 22. Contenido de lignina por tratamientos de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) (2010).

Tratamiento (Edad x altura)	Interacción	Medias (%)	Significación ($\alpha=0.05$)
T7	a3b1	23.041	a
T4	a2b1	22.224	a b
T8	a3b2	21.280	b c
T5	a2b2	20.014	c d
T1	a1b1	19.977	c d
T2	a1b2	19.746	c d
T9	a3b3	19.039	d
T6	a2b3	18.917	d
T3	a1b3	18.441	d

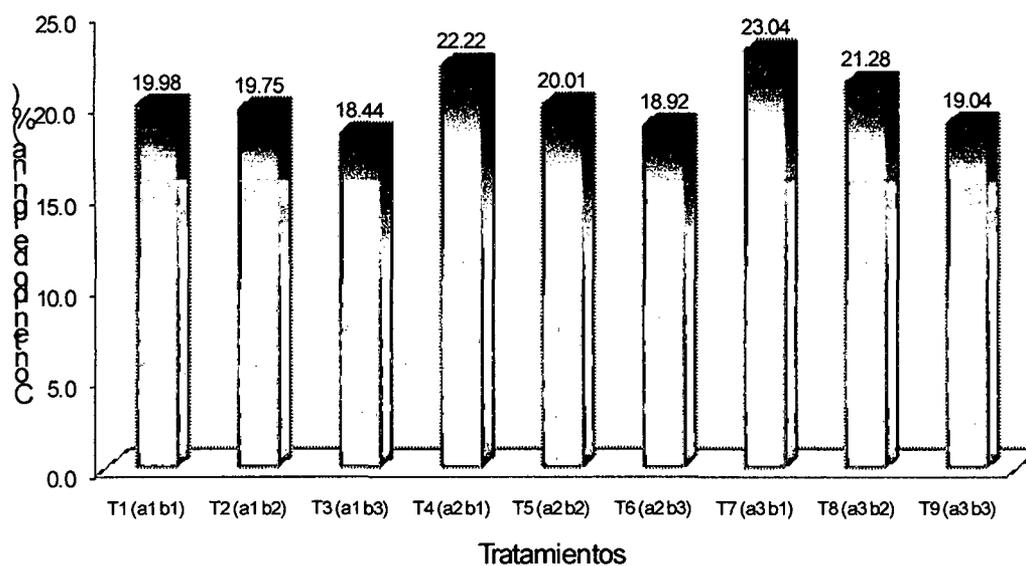


Figura 14. Contenido de lignina en los diferentes tratamientos de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.).

V. DISCUSIÓN

5.1. Del contenido de extractivos

En la investigación realizada se encontró que el porcentaje de extractivos va disminuyendo en un árbol de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.), desde la base hasta el ápice. Estos resultados concuerdan con lo establecido por HON y SHIRAISHI (1990), quienes señalan que los extractivos no forman parte de la estructura de la madera y decrece gradualmente en el tronco de un árbol, desde el nivel del suelo hacia la copa.

Asimismo, en los resultados se encontró que los porcentajes de extractivos se incrementan a medida que los árboles de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.), aumentan de edad, esto probablemente que a medida que aumenta la edad los metabolitos primarios ya se han completado y se comienzan a sintetizar los metabolitos secundarios (extractivos). El porcentaje de extractivos en árboles maderables, conforme aumentan de edad resaltan en ellos mayores características como la resistencia natural, olor, densidad, higroscopicidad, combustibilidad y propiedades abrasivas, que son constituyentes extractivos según ÁLVAREZ (2005) y MATTE (2008), desde este punto de vista se explica el por qué en los resultados del estudio hubo el incremento de los extractivos conforme aumentó la edad del árbol. Según

AGUILAR (2004), en la madera el porcentaje de extractivos está comprendido entre 3 a 10%, en el estudio realizado con la bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.), se encontraron porcentajes entre 3 y 7%, lo que concuerda con lo establecido por este autor.

5.2. Del contenido de cenizas

Los componentes inorgánicos o sustancias minerales como cristales y depósitos de sílice, se conocen popularmente como cenizas. En el análisis de varianza de los resultados del contenido de cenizas (Anexo 2), se encontraron diferencias estadísticas en la interacción A x B, lo que indica que los factores no son independientes entre sí; es decir, los efectos simples del factor edad dependen de los niveles del factor altura. En otros términos, indica que la diferencia porcentual que existe entre dos niveles de altura en un nivel de edad, es diferente a la diferencia entre los mismos niveles de altura en otro nivel de edad.

En el estudio realizado se encontraron valores promedios de cenizas entre 1.2 y 1.7%, tales valores superan el rango normal para las latifoliadas que varían entre 0,1 y 1,0% según ABARCA (2003); sin embargo, OREA *et al.*, (2006) encontró en tres variedades de eucaliptos, contenidos que superan el 4% de cenizas. Los resultados del estudio, también indicaron que el mayor porcentaje de cenizas se encontraba en el ápice (85% de altura del fuste) de los árboles de bolaina, desde este nivel de altura fue disminuyendo el contenido porcentual, conforme descendió hasta la base del árbol (25% de

altura del fuste). En un estudio similar realizado por OREA *et al.*, (2004), se encontró que el contenido de componentes inorgánicos en el *Eucalyptus pellita* fueron mayores y estadísticamente iguales entre el 55% y 85% de altura del fuste, frente a los cuantificados a 25% de altura.

5.3. Del contenido de celulosa

En términos generales, la edad de los árboles de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) influye en el incremento del porcentaje de celulosa, y en relación a la altura del fuste el contenido de celulosa está en mayor porcentaje en el ápice y de ahí va disminuyendo, lo que concuerda con el estudio realizado por OREA *et al.*, (2004), quienes encontraron que la celulosa de la madera de *Eucalyptus pellita*, presenta mayores valores en la parte superior del fuste (ápice) y los menores valores en la parte inferior (base), mostrando diferencias estadísticas significativas en las tres edades estudiadas. El incremento de los contenidos de celulosa con la altura del fuste, podría estar asociado al mayor porcentaje de madera juvenil en la parte superior, que al encontrarse menos lignificada, la accesibilidad química a la celulosa es mayor.

Asimismo, en los resultados del ANVA (Anexo 3), se estableció que no existen diferencias significativas en los tratamientos A x B, lo que indica que los factores en consideración no están relacionados entre sí; de otra forma, la diferencia proporcional del contenido de celulosa entre los niveles de altura en un nivel de edad determinado, será estadísticamente igual, a la diferencia porcentual entre los mismos niveles de altura, pero en otro nivel de edad, y de

forma global, cualquier diferencia proporcional entre dos niveles de altura, no cambiará significativamente con el transcurrir de los años de la bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

Según CONCYT (2002), FONSECA (2006) y MATTE (2008), el porcentaje de celulosa en coníferas y latifoliadas varía entre 40 y 60%, e indica que la edad es una variable importante para diferenciar entre árboles de una misma especie, por lo que es de esperar que los valores obtenidos no sean casi iguales a los reportados en la teoría. En el estudio de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.), se encontraron en promedio entre 45 y 50%, concordando con el autor.

5.4. Del contenido de lignina

En el análisis de varianza de los resultados porcentuales de la lignina, se encontraron diferencias estadísticas en la interacción de los factores A x B, lo que indica que los niveles de altura y los niveles de edad de los árboles de bolaina no son independientes entre sí.

Expresado de otra forma, indica que la diferencia porcentual que existe entre dos niveles de altura en un mismo nivel de edad (p.e. base y ápice en la edad de 3 años), es menor a la diferencia entre los mismos niveles de altura en otro nivel superior de edad (p.e. base y ápice en la edad de 4 ó 5 años); también la diferencia porcentual de lignina que existe entre dos edades diferentes en un mismo nivel de altura (p.e. 3 y 5 años en la base) es mayor a

la diferencia porcentual que existe entre los dos mismos niveles de edad en otro nivel de altura (p.e. 3 y 5 años en el medio o en el ápice).

Por otro lado, los resultados del estudio también indicaron que el contenido de lignina se incrementa conforme aumenta la edad de los árboles. Estos resultados coinciden con lo manifestado por VILLEN (2007), quien manifiesta que el contenido de lignina aumenta con la edad de la planta, probablemente con la intención de endurecerlo y darle mayor resistencia al agua.

El porcentaje de lignina en el estudio de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.), también se presentó en mayor porcentaje en la base, seguido de la parte media y del ápice, en el estudio realizado por OREA *et al.*, (2004) en la especie maderable *Eucalyptus pellita*, el contenido de lignina presentó una tendencia a la disminución con la altura del fuste, mostrando valores entre 18.51% y 21.30%, con diferencias estadísticas significativas en las tres alturas estudiadas, similar al estudio realizado. Esta tendencia a la disminución podría estar relacionada con el mayor porcentaje de madera juvenil en la parte superior del fuste, y que por lo tanto se encuentra menos lignificada.

Según CONCYT (2002), el porcentaje de lignina en latifoliadas varía entre 18 – 25%, en el estudio de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.), se encontraron en promedio entre 18.44 y 23.04%, concordando con el autor.

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y a los resultados del estudio se llega a las siguientes conclusiones:

- La determinación de los principales constituyentes químicos de la bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.), demostró que existe interacción significativa en función a las diferentes edades y alturas del fuste para los constituyentes cenizas y lignina; mientras que no existe interacción para los extractivos y la celulosa.
- No existe interacción significativa entre los niveles de edad y altura para el porcentaje de extractivos de los árboles de bolaina. El contenido de extractivos varió de 3.285% encontrado en el ápice de los árboles de 3 años a 6.996% en los árboles de 5 años en la base.
- Existe interacción significativa entre los niveles de edad y altura de los árboles de bolaina. El mayor porcentaje de cenizas (1.781%) se encontró en los árboles de 3 años en el ápice y el menor (1.126%) en árboles de 5 años en la base.
- No existe interacción significativa entre los niveles de edad y altura para el contenido porcentual de celulosa. El mayor contenido de celulosa fue de

50.0922% encontrado en un árbol de 5 años en el ápice; mientras que el menor porcentaje fue 45.950% encontrado en la base de un árbol de 3 años.

- Existe interacción significativa entre los niveles de edad y altura de los árboles de bolaina. El mayor porcentaje de lignina (23.041%) se encontró en los árboles de 5 años en la base y el menor (18.441%) en árboles de 3 años en el ápice.

VII. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados y conclusiones del estudio de investigación se plantea las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda estudios complementarios con más niveles de edad, de tal forma que se pueda modelar matemáticamente y con mayor confiabilidad la variación de los constituyentes químicos de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.), en función a la edad.
- Se recomienda promover la investigación sobre caracterización química en árboles del género *Guazuma* pero y así comparar las concentraciones de los constituyentes químicos presentes.
- Hacer un estudio para incrementar la variedad de componentes químicos a determinar en la bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.), así como los tipos de sustancias extraíbles en la madera, con el objeto de cuantificarlos.

VIII. ABSTRACT

The investigation was carried in the 2010 year out in the Faculty of Renewable Natural Resources of the "National University of forest", it consisted on the determination of extractive, ashes, cellulose and lignin of the species bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.), in three ages: 3, 4 and 5 years and to three heights of the shaft: 25%, 55% and 85%.

For the determination of extractive the norms TAPPI T6 – os – 59 was used, for ashes the norms ISO R 1762, for cellulose the method Kurscher and Hoffner and lignin the sulfuric acid method was applied or Willstater and the design of blocks was applied totally at random with factorial arrangement 3 x 3 with 5 blocks. The results demonstrated that significant interaction exists in function to the different ages and heights of the shaft for the ashy constituents and lignin; while interaction doesn't exist for the extractive ones and the cellulose. The percentage of extractive cellulose and lignin are increased proportionally as the bolaina trees increase of age, and the content of ashes diminishes. In a tree of the same age the percentage of extractive and lignin diminishes from the base until its apex, and the contents of ash and cellulose they diminish from the apex to the base. The content of extractive varied from 3.285% to 6.996%, the one of ashy of 1.126% to 1.781%, the cellulose of 45.950% to 50.0922% and the lignin of 18.441% to 23.041%.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABARCA, R. 2003. Caracterización de *Tectona grandis* de plantación y evaluación del uso potencial de la pulpa y la lignina obtenidas. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 177 p.
- AGUILAR, N. 2004. Importancia, manejo y control de extraíbles e incrustaciones (pitch) en la fabricación de papel. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Año/vol. 10, número 001 Instituto de Ecología A.C.
- ÁLVAREZ, G. 2005. Extractivos del árbol. Argentina. [En línea]: Ecoportal, ([http://www.ecoportal.net/Contenido/Temas Especiales/Educacion Ambiental/Extractivos del Arbol](http://www.ecoportal.net/Contenido/Temas_Especiales/Educacion_Ambiental/Extractivos_del_Arbol), documento, 20 Dic. 2009.)
- ARTOLA, I. 2008. Estructura de la madera. México. [En línea]: Textoscientíficos, (<http://www.textoscientificos.com/papel/estructura-madera.htm>, documento, 30 Jul. 2009).
- BASAURE, P. 2005. Composición química de la celulosa y lignina. Chile. [En línea]: Manualdelombricultura, ([http://www.manualde lombricultura.com/wwwboard/messages/9645.html](http://www.manualde_lombricultura.com/wwwboard/messages/9645.html)], manual, 26 Jul. 2009).

- BERROCAL, J. 2004. Relación entre edad del árbol y su composición química en *Pinus radiata* (D.Don) crecido en Chile y su importancia para la producción de bioetanol. Revista Forestal Kurú. 1(1): 1-8.
- CARBALLO, L. 1990. "The influence of chemical composition and age of pine wood on the physical and mechanical properties as well as on yield of sulfite pulp". República Eslovaca. [En línea]: Monografías, (<http://www.monografias.com/trabajos46/hemicelulosas-maderas/hemicelulosas-maderas2.shtml>, documento, 31 Jul. 2009).
- CONAMAD (Peru Tropicals Wood in Perú). 2008. Bolaina blanca del Perú. Perú. [En línea]: Peruwoodproducts, (<http://www.peruwoodproducts.com/BolainaBlanca.html>, documento, 13 Mar. 2009).
- CONCYT. 2002. Usos Maderables del Pino Candelillo. INVESTIGACIÓN FORESTAL. Programa de investigación Forestal. Guatemala.
- DARNELL, J; LODISH, H y BALTIMORE, D. 1988. Biología Celular y Molecular. Editorial Labor, S.A. 781 p.
- ECHENIQUE, R. 1993. Ciencia y Tecnología de la madera, manual de laboratorio. Veracruz (México). Editorial Líder S.A.
- FERNÁNDEZ, I. 2001. Influencia de la composición química en la descomposición térmica del Eucalipto. Chile. [En línea]: Monografías, (<http://www.monografias.com/trabajos17/influencia-composicion-quimica/influencia-composicion-quimica.shtml>, documento, 29 Jul. 2009).

- FONSECA, M. 2006. Determinación de la composición química de la madera de pino candelillo (*Pinus maximinoi* H. E. Moore) procedente de la finca Río Frío, Alta Verapaz. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Química. Guatemala. 154 p.
- GÓMEZ, O. 2004. Comparación del porcentaje de extracto tánico de la corteza y de la madera de encino (*Quercus tristis* Liebm) proveniente de un bosque natural. Tesis Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Guatemala.
- GUARDIOLA, L. 1995. Fisiología Vegetal, Nutrición y Transporte. Valencia, España.
- HERRERA, R.; GARCÉS, M. y CANCINO, L. 2009. Procesos moleculares de la formación de la madera. Chile. [En línea]: Encuentros.uma.es, (<http://www.encuentros.uma.es/encuentros108/madera.htm>, documento, 25 Ene. 2010).
- HIRATA, T. Y NISHIMOTO, T. 1991. DSC, DTA and TG of Cellulose Untreated and Treated With Flame Retardant, Thermochemica. Amsterdam.
- HONORATO, S. y HERNÁNDEZ, P. 2004. Determinación de componentes químicos de la madera de cinco especies de encino del estado de Puebla. México. [En línea]: Ecología.edu.mx, (<http://www.ecologia.edu.mx/publicaciones/resumeness/4.2/pdf/Honorato%20y%20Hernandez>

%201998.PDF, documento, 29 Nov. 2009).

INAB (Instituto Nacional de Bosques). 1999. Ficha Técnica de Especies: Pino Candelillo". Revista del INAB. Vol 6. Guatemala.

MACHADO, P. 2007. Polímeros Biodegradables. España. [En línea]: Cvnaturplas.dnsalias.com, ([http://cvnaturplas.dnsalias.com/materials-naturales/polimeros-biodegradables/principales-aplicaciones-de-polimeros/polimeros-biodegradables-de-origen-natural/polisacaridos?](http://cvnaturplas.dnsalias.com/materials-naturales/polimeros-biodegradables/principales-aplicaciones-de-polimeros/polimeros-biodegradables-de-origen-natural/polisacaridos?Set_language=es) Set language=es, documento, 25 Ene. 2010).

MATTE, L. 2008. La celulosa. Chile. [En línea]: Papelnet.cl, (<http://www.papelnet.cl/celulosa/doc/celulosa.pdf>, documento, 29 Nov. 2009).

MORALES, R. 1998. Variación del peso específico y largo de traqueída según edad y sitio en plantación de *Pinus radiata* D. Don. Tesis Industrias Forestales. Universidad de Bio – Chile. Facultad de Ingeniería. Chile. 106 p.

OREA, U.; CARBALLO, L. y CORDERO, E. 2004. Composición Química de Tres Maderas en la Provincia de Pinar del Río, Cuba a Tres Alturas del Fuste Comercial". Parte Nº 2: *Eucalyptus pellita* F.Muell Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente ISSN 0186 3231 Vol.X;Nº 1; pág. 51-55. México.

OREA, U.; CORDERO, E. y GÓMEZ, R. 2006. Estudio comparativo de la

composición química de la corteza de tres especies de eucaliptos a tres alturas del fuste comercial. Revista Quebracho. Centro de Estudios Forestales. Vol N° 13; pag. 44-55. Universidad de Pinar del Río, Cuba.

REYNEL, C.; PENNINGTON, R.; PENNINGTON, T.; FLORES, C. y DAZA, A. 2003. Árboles útiles de la Amazonía peruana. Perú. [En línea]: Icrafperu.org, (http://www.icrafperu.org/docs/14_arbolesamazonPeru.Pdf, documento, 29 Jul. 2008).

RIVAS, P. 2006. Estudio comparativo del contenido de lignina y solubles de nuevos clones de álamos. Chile. [En línea]: Sagpya, (<http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/00/forestacion/biblos/JS%202006/pdf%20tt/Rivas.pdf>, documento, 30 Jul. 2008).

SAKAKIBARA, K. y NEISH, C. 1980. Technology of Wood. U.S.A.

TOLEDO, E. 2005. Plantaciones forestales de pequeña escala, el caso de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) en la amazonía peruana. Perú. [En línea]: Icraf, (http://www.icraf-peru.org/users/lewistel_news/news.php?newsid=15, documento, 22 Dic. 2009).

VILLEN, M. 2007. Correctores biodegradables de carencias de Ca y micronutrientes: determinación del elemento complejo, reactividad y efectividad. Madrid, España. [En línea]: Portal, (http://portal.uam.es/portal/page/profesor/epd2_profesores/prof1046/enlaces/tesis%20final%20M.%20Vill%E9n.pdf, documento, 20 Ago. 2009).

VIRGILIO, M. 2001. La madera. España. [En línea]: lestiemposmodernos.com, (<http://www.iestiemposmodernos.com/depart/dtec/Recursos/powepoin/madera.ppt>, presentación, 01 Jul. 2009).

UNALM (Universidad Nacional Agraria de la Molina). 2007. Veintiún especies con aptitud papelera en el Perú. Perú. [En línea]: Cedinfor.lamolina.edu.pe, ([http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol04_no1-2_Ene-Dic70_\(07\)/vol4_art4.pdf](http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol04_no1-2_Ene-Dic70_(07)/vol4_art4.pdf), artículo, 16 Jun. 2008).

ANEXO

ANEXO 1

Contenido de Extractivos

Bloque	a ₁			a ₂			a ₃		
	b ₁	b ₂	b ₃	b ₁	b ₂	b ₃	b ₁	b ₂	b ₃
I	5.7755	4.1448	3.0882	6.0786	4.1386	3.1228	8.0311	4.9810	4.4756
II	5.1501	3.9363	3.3402	5.9460	4.7479	3.7458	7.9414	6.3160	4.7439
III	4.9752	3.9472	3.2468	5.9125	5.2667	4.8718	5.9374	5.7304	3.9499
IV	5.9665	4.8220	3.2704	5.1338	5.4478	4.0563	6.9535	5.4443	5.0410
V	5.6362	3.4405	3.4817	5.5389	5.0432	3.6551	5.9677	4.6133	4.0572

TRATAMIENTO	T ₁ (a ₁ b ₁)	T ₂ (a ₁ b ₂)	T ₃ (a ₁ b ₃)	T ₄ (a ₂ b ₁)	T ₅ (a ₂ b ₂)	T ₆ (a ₂ b ₃)	T ₇ (a ₃ b ₁)	T ₈ (a ₃ b ₂)	T ₉ (a ₃ b ₃)
TOTAL	27.5035	20.2908	16.4273	28.6098	24.6441	19.4519	34.8311	27.0850	22.2676
PROMEDIOS	5.5007	4.0582	3.2855	5.7220	4.9288	3.8904	6.9662	5.4170	4.4535

Análisis de varianza

Fuente de variación	GL	SC	CMe	Fc
Bloques	4	1.6045	0.4011	1.2567
Tratamientos	8	50.5315	6.3164	19.7887 **
A	2	13.3825	6.6912	20.9629 **
B	2	36.1396	18.0698	56.6107 **
AxB	4	1.0095	0.2524	0.7906
Error experimental	32	10.2142	0.3192	
Total	44	62.3503		

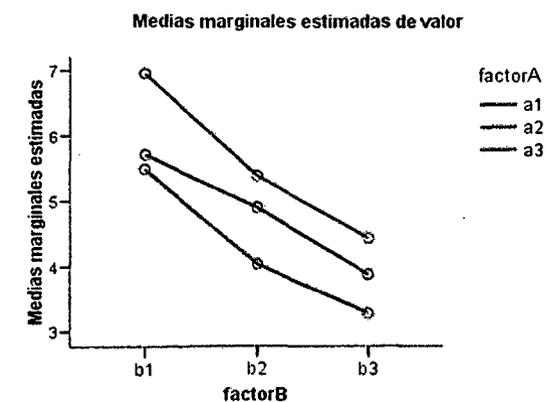
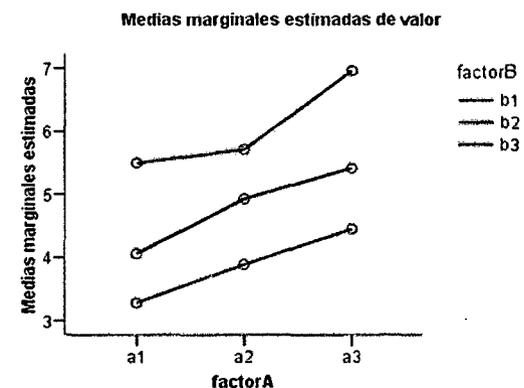
CV = 6.899%

Análisis de varianza de las interacciones de los factores

Fuentes de variación	GL	SC	CMe	Fc
A en b ₁	2	6.2415	3.1207	9.7770 **
A en b ₂	2	4.7381	2.3690	7.4219 **
A en b ₃	2	3.4124	1.7062	5.3453 *
B en a ₁	2	12.6422	6.3211	19.8032 **
B en a ₂	2	8.4369	4.2184	13.2159 **
B en a ₃	2	16.0701	8.0350	25.1729 **
Error experimental	32	10.2142	0.3192	

Ft (0,05)	Ft (0,01)
2.674	3.982
2.252	3.134
3.302	5.348
3.302	5.348
2.674	3.982

Ft (0,05)	Ft (0,01)
3.3020	5.3480
3.3020	5.3480
3.3020	5.3480
3.3020	5.3480
3.3020	5.3480



ANEXO 2

Contenido de cenizas

Bloque	a ₁			a ₂			a ₃		
	b ₁	b ₂	b ₃	b ₁	b ₂	b ₃	b ₁	b ₂	b ₃
I	1.4378	1.4974	1.8950	1.0408	1.1823	1.4690	1.0463	1.0458	1.3363
II	1.3348	1.4139	1.7497	1.2196	1.1871	1.3883	1.1061	1.1506	1.1582
III	1.2843	1.3074	1.8520	1.0832	1.3359	1.3079	1.1295	1.0703	1.2416
IV	1.3330	1.5507	1.6966	1.4160	1.2311	1.3625	1.3308	1.2103	1.3588
V	1.3782	1.5717	1.7136	1.0553	1.4603	1.4099	1.0156	1.2320	1.1365
TRATAMIENTO	T ₁ (a ₁ b ₁)	T ₂ (a ₁ b ₂)	T ₃ (a ₁ b ₃)	T ₄ (a ₂ b ₁)	T ₅ (a ₂ b ₂)	T ₆ (a ₂ b ₃)	T ₇ (a ₃ b ₁)	T ₈ (a ₃ b ₂)	T ₉ (a ₃ b ₃)
TOTAL	6.7681	7.3411	8.9069	5.8149	6.3966	6.9377	5.6282	5.7090	6.2314
PROMEDIOS	1.3536	1.4682	1.7814	1.1630	1.2793	1.3875	1.1256	1.1418	1.2463

Análisis de varianza

Fuente de variación	GL	SC	CMe	Fc
Bloques	4	0.0516	0.0129	1.2191
Tratamientos	8	1.7065	0.2133	20.1586 **
A	2	1.0472	0.5236	49.4828 **
B	2	0.5194	0.2597	24.5446 **
AxB	4	0.1398	0.0350	3.3035 *
Error experimental	32	0.3386	0.0106	
Total	44	2.0967		

CV = 4.650%

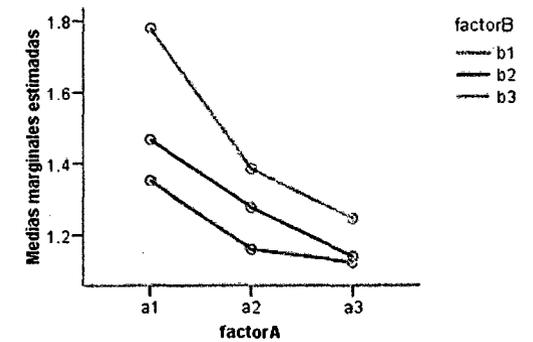
Análisis de varianza de las interacciones de los factores

Fuentes de variación	GL	SC	CMe	Fc
A en b ₁	2	0.1495	0.0748	7.0653 **
A en b ₂	2	0.2686	0.1343	12.6899 **
A en b ₃	2	0.7690	0.3845	36.3346 **
B en a ₁	2	0.4903	0.2451	23.1661 **
B en a ₂	2	0.1261	0.0631	5.9589 **
B en a ₃	2	0.0429	0.0214	2.0265
Error experimental	32	0.3386	0.0106	

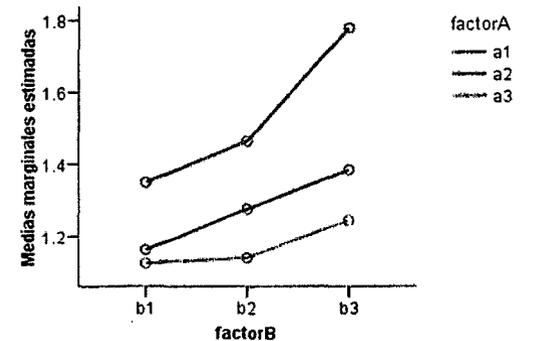
Ft (0,05)	Ft (0,01)
2.674	3.982
2.252	3.134
3.302	5.348
3.302	5.348
2.674	3.982

Ft (0,05)	Ft (0,01)
3.3020	5.3480
3.3020	5.3480
3.3020	5.3480
3.3020	5.3480
3.3020	5.3480
3.3020	5.3480

Medias marginales estimadas de valor



Medias marginales estimadas de valor



ANEXO 3

Contenido de celulosa

Bloque	a ₁			a ₂			a ₃		
	b ₁	b ₂	b ₃	b ₁	b ₂	b ₃	b ₁	b ₂	b ₃
I	44.9846	47.7065	46.8062	47.9138	48.3528	48.6483	49.0547	49.2593	49.3994
II	46.5499	48.7828	48.6004	46.0503	46.8526	50.9721	47.9698	50.1828	49.9486
III	45.5859	47.9395	48.5155	46.1665	48.1840	49.6605	47.5119	49.5316	50.9957
IV	46.4684	47.7726	48.2187	47.4663	48.1179	49.9956	46.3271	48.8422	49.8949
V	46.1626	46.5889	47.7945	48.3707	48.6143	50.0714	47.6079	48.6844	50.2222

TRATAMIENTO	T ₁ (a ₁ b ₁)	T ₂ (a ₁ b ₂)	T ₃ (a ₁ b ₃)	T ₄ (a ₂ b ₁)	T ₅ (a ₂ b ₂)	T ₆ (a ₂ b ₃)	T ₇ (a ₃ b ₁)	T ₈ (a ₃ b ₂)	T ₉ (a ₃ b ₃)
TOTAL	229.7514	238.7903	239.9353	235.9676	240.1217	249.3479	238.4714	246.5003	250.4607
PROMEDIOS	45.9503	47.7581	47.9871	47.1935	48.0243	49.8696	47.6943	49.3001	50.0921

Análisis de varianza

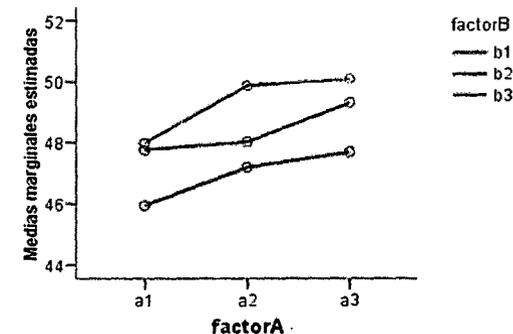
Fuente de variación	GL	SC	CMe	Fc	Ft (0,05)	Ft (0,01)
Bloques	4	0.8776	0.2194	0.3328	2.674	3.982
Tratamientos	8	70.8942	8.8618	13.4408 **	2.252	3.134
A	2	24.7589	12.3794	18.7762 **	3.302	5.348
B	2	42.6626	21.3313	32.3536 **	3.302	5.348
AxB	4	3.4727	0.8682	1.3168	2.674	3.982
Error experimental	32	21.0981	0.6593			
Total	44	92.8700				

CV = 1.011%

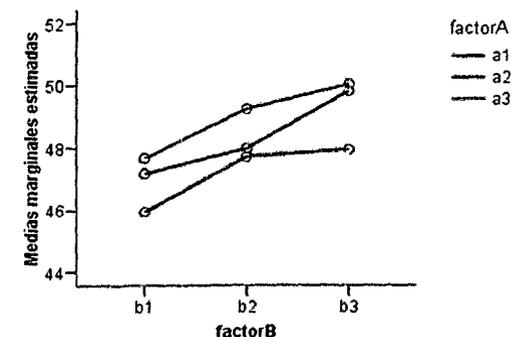
Análisis de varianza de las interacciones de los factores

Fuentes de variación	GL	SC	CMe	Fc	Ft (0,05)	Ft (0,01)
A en b ₁	2	8.0633	4.0317	6.1149 **	3.3020	5.3480
A en b ₂	2	6.7936	3.3968	5.1520 *	3.3020	5.3480
A en b ₃	2	13.3746	6.6873	10.1428 **	3.3020	5.3480
B en a ₁	2	12.4484	6.2242	9.4404 **	3.3020	5.3480
B en a ₂	2	18.7609	9.3804	14.2275 **	3.3020	5.3480
B en a ₃	2	14.9260	7.4630	11.3193 **	3.3020	5.3480
Error experimental	32	21.0981	0.6593			

Medias marginales estimadas de valor



Medias marginales estimadas de valor



ANEXO 4

Contenido de lignina

Bloque	a ₁			a ₂			a ₃		
	b ₁	b ₂	b ₃	b ₁	b ₂	b ₃	b ₁	b ₂	b ₃
I	20.3135	19.0074	18.2950	21.4582	20.2711	19.3083	23.3194	21.7266	18.7963
II	19.0445	21.1946	18.1456	23.4279	19.6316	18.7380	21.9866	20.6856	17.7923
III	19.9825	18.9799	18.4033	20.9367	19.1028	18.7349	22.6231	21.3338	18.7645
IV	20.1033	19.3705	19.2349	23.3919	20.1234	17.6214	23.3276	20.6557	20.6577
V	20.4428	20.1783	18.1266	21.9059	20.9424	20.1845	23.9489	21.9967	19.1822
TRATAMIENTO	T ₁ (a ₁ b ₁)	T ₂ (a ₁ b ₂)	T ₃ (a ₁ b ₃)	T ₄ (a ₂ b ₁)	T ₅ (a ₂ b ₂)	T ₆ (a ₂ b ₃)	T ₇ (a ₃ b ₁)	T ₈ (a ₃ b ₂)	T ₉ (a ₃ b ₃)
TOTAL	99.8867	98.7307	92.2053	111.1205	100.0713	94.5870	115.2055	106.3983	95.1932
PROMEDIOS	19.9773	19.7461	18.4411	22.2241	20.0143	18.9174	23.0411	21.2797	19.0386

Análisis de varianza

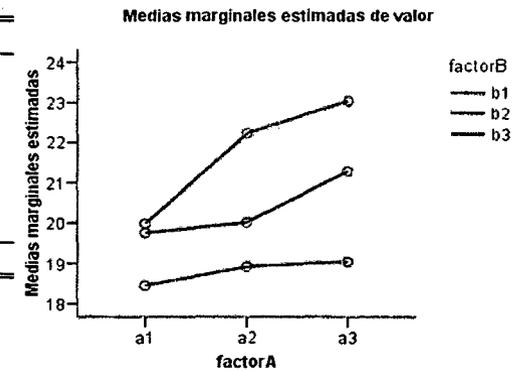
Fuente de variación	GL	SC	CMe	Fc
Bloques	4	4.4324	1.1081	1.7893
Tratamientos	8	98.1315	12.2664	19.8067 **
A	2	22.6611	11.3306	18.2955 **
B	2	65.2556	32.6278	52.6842 **
AxB	4	10.2149	2.5537	4.1235 **
Error experimental	32	19.8179	0.6193	
Total	44	122.3819		

CV = 2.326%

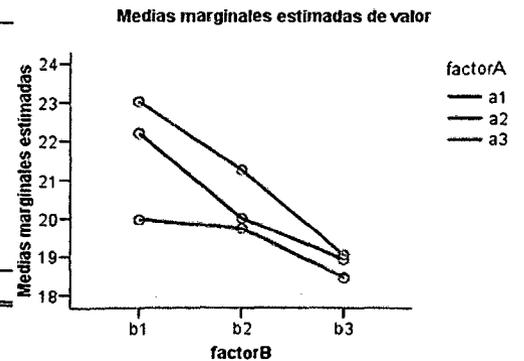
Análisis de varianza de las interacciones de los factores

Fuentes de variación	GL	SC	CMe	Fc
A en b ₁	2	25.1701	12.5851	20.3211 **
A en b ₂	2	6.7081	3.3540	5.4158 **
A en b ₃	2	0.9978	0.4989	0.8056
B en a ₁	2	6.8614	3.4307	5.5395 **
B en a ₂	2	28.3679	14.1839	22.9029 **
B en a ₃	2	40.2411	20.1206	32.4887 **
Error experimental	32	19.8179	0.6193	

Ft (0,05)	Ft (0,01)
2.674	3.982
2.252	3.134
3.302	5.348
3.302	5.348
2.674	3.982

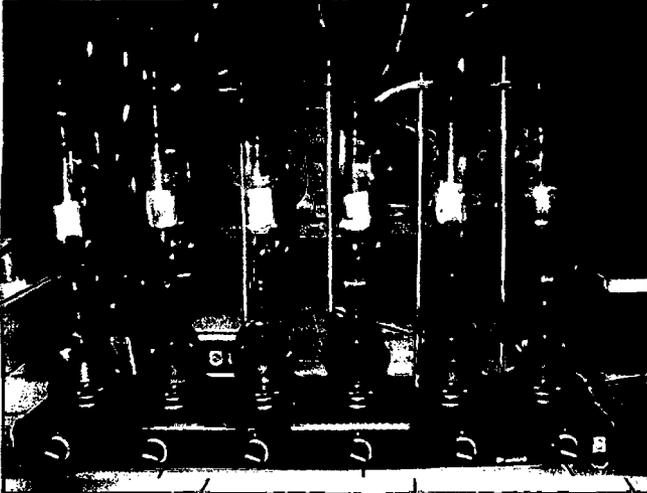


Ft (0,05)	Ft (0,01)
3.3020	5.3480
3.3020	5.3480
3.3020	5.3480
3.3020	5.3480
3.3020	5.3480



Anexo 5

Extractivos



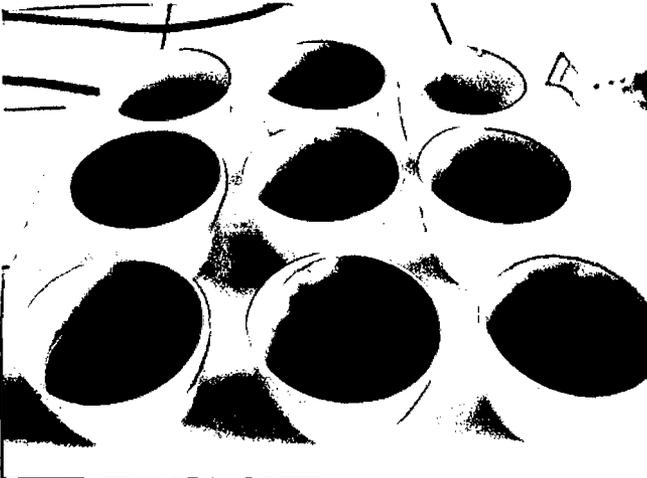
Muestras en equipo Soxhlet siendo extraídas



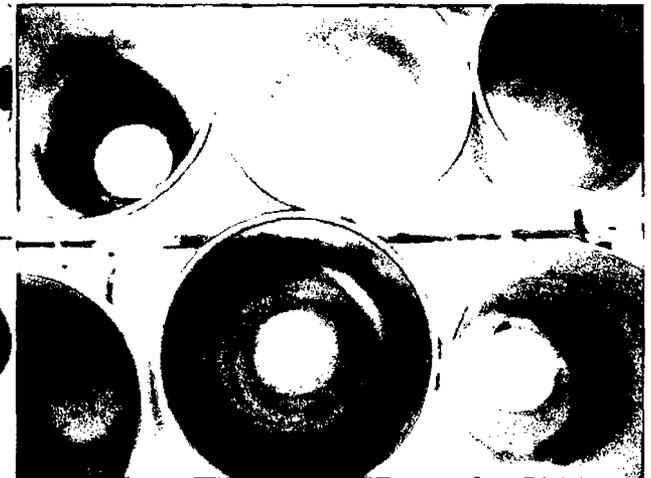
Muestras secándose en estufa

Anexo 6

Cenizas



Aserrín quemándose para llevar a la mufla



Ceniza luego de sacar de la mufla

Anexo7

Celulosa



Muestra con mezcla de ác. nítrico y alcohol



Producto final: celulosa

Anexo 8

Lignina



Muestra con ácido sulfúrico



Muestra dentro del pesafiltro en estufa