

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



CUANTIFICACIÓN DE CELULOSA Y LIGNINA DE LA *Guazuma crinita* c.

(BOLAINA BLANCA)

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR:

TORRES PAIMA, RANDY

Tingo María – Perú

2025



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°125-2025-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 29 de agosto de 2025, a horas 9:05 a.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Forestal de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

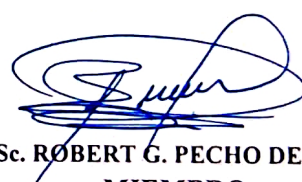
“CUANTIFICACIÓN DE CELULOSA Y LIGNINA DE LA *Guazuma crinita* c. (BOLAINA BLANCA)”

Presentado por el Bachiller: **TORRES PAIMA, RANDY** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 13 de noviembre de 2025


Ing. MSc. LAUREANO ANTONIO ZA VALETA DE LA CRUZ
PRESIDENTE


Ing. MSc. ROBERT G. PECHO DE LA CRUZ
MIEMBRO


Ing. MSc. GUNTER DAZA PANDURO
MIEMBRO


Dra. TANIA ELIZABETH GUERRERO VEJARANO
ASESOR





UNAS

VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE
INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE
CIENTÍFICO
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 431 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

Programa de Estudio:

Ingeniería Forestal

Tipo de documento:

Tesis

X

Trabajo de Suficiencia Profesional

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
CUANTIFICACIÓN DE CELULOSA Y LIGNINA DE LA <i>Guazuma crinita</i> c. (BOLAINA BLANCA)	TORRES PAIMA, RANDY	05 % Cinco	Menor a 20 %

Tingo María, 30 de diciembre de 2025.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO

ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL




CUANTIFICACIÓN DE CELULOSA Y LIGNINA DE LA *Guazuma crinita c.* (BOLAINA BLANCA)

Autor	: Torres Paima, Randy
Asesor (es)	: Dra. Tania E. Guerrero Vejarano
Objetivo General	: Determinar la cantidad de celulosa y lignina en <i>Guazuma crinita c.</i> , por el método gravimétrico.
Área de Investigación	: Química, Física y Anatomía Forestal
Grupo de Investigación	: Química, Física y Anatomía Forestal
Línea de Investigación	: Química y biotecnología forestal
Lugar de ejecución	: Laboratorio fitoquímica de la Facultad de Recursos Naturales Renovables - Universidad Nacional Agraria de la Selva.
Duración del trabajo	: 6 meses
Financiamiento	: Propio(x)

Tingo María – Perú

2025



DEDICATORIA

Dedico esta tesis, en primer lugar, a Dios, por darme salud, fortaleza e inteligencia para enfrentar cada desafío en mi vida y permitirme culminar esta etapa tan importante. Sin su guía y bendiciones, nada de esto hubiera sido posible.

También a mis padres, el señor EDINER TORRES DEL CASTILLO y mi señora madre, la señora LUINA PAIMA MENDOZA, quienes con su amor, esfuerzo y sacrificio hicieron posible mi educación. Su apoyo incondicional y su ejemplo de trabajo y perseverancia han sido mi mayor inspiración para alcanzar esta meta. A ellos les debo todo lo que soy y lo que lograré en el futuro.

Asimismo, a mis queridas hermanas, DEBORA TORRES PAIMA, NANNY TORRES PAIMA, LLANIRA TORRES PAIMA Y DAILY TORRES PAIMA, por su apoyo incondicional y motivación constante. Sus palabras de aliento, compañía y confianza en mí han sido fundamentales en este camino.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres y hermanas por siempre brindarme su apoyo incondicional en todo el proceso de mi formación académica.

A mi asesora, la doctora Tania Elizabeth Guerrero Vejarano, por su valiosa orientación en el desarrollo de la investigación, por su tiempo y dedicación. Gracias por ser mi guía y compartir sus conocimientos para poder culminar mi formación profesional en esta etapa de mi vida.

A mis colegas y amigos que de una u otra forma formaron parte del camino recorrido para mi formación profesional, gracias al esfuerzo conjunto, la motivación mutua, gracias por su amistad y compañerismos que fueron piezas claves para lograr este objetivo.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general:.....	2
1.2. Objetivos específicos:	2
II. REVISIÓN.....	3
2.1. Marco teórico	3
2.1.1. Características de la bolaina blanca	3
2.1.1.1. Taxonómica	3
2.1.1.2. Distribución y ecología.....	3
2.1.1.3. Descripción del árbol.....	3
2.1.1.4. Silvicultura	4
2.1.1.5. Usos	5
2.1.2. Propiedades químicas de la madera	6
2.1.2.1. Celulosa de la madera	6
2.1.2.2. Hemicelulosa.....	8
2.1.2.3. Lignina	10
2.1.2.4. Fundamentos metodológicos para la cuantificación de celulosa y lignina.....	13
2.2. Estado del arte.....	14
2.2.2. A nivel Nacional	20
2.2.3. A nivel local.....	21
III. MATERIALES Y METODOS.....	23
3.1. Lugar de ejecución.....	23
3.1.1. Ubicación política	23
3.1.2. Ubicación geográfica	23
3.2. Materiales y equipos	23
3.2.1. Materiales de muestreo	23
3.2.2. Materiales de laboratorio	23
3.2.3. Reactivos.....	23
3.2.4. Equipos	24
3.2.5. Metodología	24
3.2.5.1. Colección de muestra y preparación de muestra:.....	24
3.2.5.2. Preparación de la muestra de sustancias extraíbles con alcohol y benceno.	24

3.2.5.3. Cuantificación de celulosa y lignina por el método gravimétrico.....	25
- Cuantificación de lignina por el método de klason.....	26
3.2.6. Tipo de investigación	27
3.2.7. Variable de estudio	27
3.2.8. Análisis estadístico.....	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	28
4.1. Cuantificación la cantidad de celulosa por el método de Kurscher y Hoffner en	28
Guazuma crinita C.	28
4.2. Cuantificación la cantidad de lignina por el método de Klason (ácido sulfúrico) en.....	31
Guazuma crinita C.	31
V. CONCLUSIONES	36
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	37
VII. REFERENCIAS	38
ANEXO.....	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Pagina
1. Resultados de la validación de los modelos de predicción	19
2. Porcentaje de celulosa en relación al diámetro a la altura del pecho del individuo evaluado.	44
3. Porcentaje de celulosa en relación a la altura total del individuo evaluado.....	44
4. Porcentaje de lignina en relación al diámetro a la altura del pecho del individuo evaluado.	45
5. Porcentaje de lignina en relación a la altura total del individuo evaluado.....	45

ÍNDICE FIGURAS

Figura	Pagina
Figura 1. Estructura molecular de la celulosa.....	8
Figura 2. Estructura parcial de lignina de madera blanda.	13
Figura 3. Variación de la celulosa en función al DAP de G. crinita.	28
Figura 4. Variación de la celulosa en función a la altura de G. crinita.....	29
Figura 5. Variación de la Lignina en función al DAP de G. crinita.	31
Figura 6. Variación de la lignina en función a la altura de G. crinita.....	32
Figura 7. Perforación del árbol de Guazuma Crinita con el taladro de Pressler en la representativa del árbol a 1.3 metros de altura.	46
Figura 8. Recolección de la muestra con la ayuda del taladro de Pressler	46
Figura 9. Total, de muestras recolectadas de Guazuma Crinita “Bolaina Blanca”	47
Figura 10. Pesado de las muestras recolectada para la determinación de fracción de masa seca (k).	47
Figura 11. Extracción de la muestra por reflujo en alcohol y benceno.	48
Figura 12. Muestra en la cámara central del equipo de soxhlet.	48
Figura 13. Preparación de la concentración de los ácidos para la determinación de celulosa y lignina.	49
Figura 14. Trituración de muestras secas con la ayuda de un mortero.....	49
Figura 15. Preparación de 10 ml del ácido nítrico y 40 ml de alcohol para agregar a un balón de 250 ml con la muestra para la determinación de celulosa.	50
Figura 16. Ebullición de la muestra con ácido nítrico y alcohol en el balón de 250 ml para la determinación de celulosa	50
Figura 17. Filtración al vacío con la ayuda de un crisol filtrante para la determinación de celulosa.	51
Figura 18. Secado del crisol filtrante con la celulosa en la estufa.....	51
Figura 19. Crisol con la celulosa en la mufla.	52
Figura 20. Enfriamiento de mezcla homogénea (muestra seca + ácido sulfúrico(H ₂ SO ₄) al 72 %) en agua y hielo para la determinación de lignina.....	52
Figura 21. Ebullición de 10 minutos del contenido para la determinación de lignina.	53
Figura 22. Filtración del contenido de lignina sobre un embudo Buchner provisto de dos filtros superpuestos	53
Figura 23. Incineración de la lignina con el papel filtro.....	54

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar la cantidad de celulosa y lignina en la madera de *Guazuma crinita* (Bolaina Blanca) mediante métodos gravimétricos. Para ello, se aplicaron los procedimientos de Kurscher y Hoffner para la cuantificación de celulosa y el método de Klason (ácido sulfúrico) para la determinación de lignina. El estudio se llevó a cabo en el laboratorio de Fitoquímica de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. La recolección de muestras se realizó en el Centro de Investigación y Producción Tulumayo - Anexo La Divisoria, Puerto Súngaro, donde se seleccionaron 10 árboles representativos. Se analizaron un total de 55 muestras, estabilizadas a una temperatura de 22 °C, para determinar su composición química. Los resultados obtenidos indican que el contenido de celulosa varía entre 46.0066% y 50.2706%, con un promedio general de 47.77494 %, mientras que la lignina presentó valores entre 17.4503 % y 22.2857 %, dependiendo del diámetro y la altura del árbol. Se observó que los árboles con mayor diámetro tienden a tener una mayor concentración de celulosa, lo que sugiere su potencial para la industria papelera y la producción de bioproductos. Estos hallazgos resaltan la importancia de *G. crinita* como una especie forestal de rápido crecimiento con aplicaciones industriales y ecológicas, promoviendo su uso sostenible y el aprovechamiento de residuos para minimizar el impacto ambiental.

Palabras clave: *Guazuma crinita*, celulosa, lignina, análisis gravimétrico, industria papelera.

ABSTRACT

The objective of the present research was to determine the amount of cellulose and lignin in *Guazuma crinita* (bolaina blanca) wood using gravimetric methods. To do this, Kurscher and Hoffner's procedures were used for the quantification of cellulose and Klason's method (sulfuric acid) was used to determine the lignin. The study was carried out in a phytochemical laboratory at the professional school of forest engineering within the school of natural renewable resources at the Universidad Nacional Agraria de la Selva. The collection of the samples was done in the Centro de Investigación y Producción Tulumayo - Anexo La Divisoria in Puerto Súngaro, [Peru], where ten trees were selected as representatives. A total of fifty five samples were analyzed [and] stabilized at a temperature of 22 °C, in order to determine their chemical composition. The results that were obtained indicated that the cellulose content varied between 46.0066% and 50.2706%, with a general average of 47.77494 %, while the lignin presented values between 17.4503 % and 22.2857 %, depending on the diameter and height of the tree. It was observed that the trees with a greater diameter tended to have a greater concentration of cellulose, which suggested that they had potential for the paper industry and the production of byproducts. These findings highlighted the importance of *G. crinita* as a forest species that has rapid growth with industrial and ecological applications, promoting its sustainable use and taking advantage of the waste in order to minimize the environmental impact.

Keywords: *Guazuma crinita*, cellulose, lignin, gravimetric analysis, paper industry

I. INTRODUCCIÓN

El Perú cuenta con extensas áreas boscosas que representan el 60% de su territorio, situándolo entre los países con mayor cobertura forestal a nivel mundial. Estos bosques albergan una gran diversidad de especies vegetales, las cuales brindan grandes servicios ecosistémicos de gran importancia.

Dentro de la gran biodiversidad forestal podemos encontrar especies con diferencias en sus características físicas, mecánicas y anatómicas, que se clasifican comúnmente en dos categorías: maderas duras y maderas blandas. Las características que las diferencian más relevantes entre estas dos categorías es que las maderas duras son de lento crecimiento y alta densidad, en cambio las maderas blandas son de rápido crecimiento y baja densidad.

En los últimos años, las maderas de mayor densidad han sido muy explotadas debido a sus cualidades de resistencia, dureza y facilidad de trabajo. El aprovechamiento constante sobre determinadas especies ha provocado una reducción significativa de sus poblaciones naturales, llegando incluso a ponerlas en peligro de extinción. La alta demanda de estas maderas, valoradas a lo largo del tiempo por su durabilidad y calidad estética, ha superado en muchos casos la regeneración natural en los bosques. Como consecuencia de esta sobreexplotación, algunas especies maderables de alta densidad han sido incluidas en listas de especies amenazadas elaboradas por organismos internacionales dedicados a la conservación.

Esta situación no solo afecta el equilibrio ecológico de los ecosistemas forestales, sino también a las comunidades locales que dependen de estos recursos del bosque para su subsistencia y desarrollo económico. El lento crecimiento natural de estas especies agrava aún más el problema, limitando su disponibilidad y generando la necesidad de replantear el modelo de aprovechamiento forestal. Frente a esta situación, resulta necesario promover la diversificación de las especies empleadas en la industria forestal, priorizando aquellas de rápido crecimiento y con un desempeño técnico adecuado, capaces de sustituir, al menos de manera parcial, a las maderas tradicionales de alta densidad.

Bajo este contexto, *Guazuma crinita* se presenta como una alternativa relevante. Esta especie forestal se encuentra distribuida en amplias zonas de la Amazonía peruana y se caracteriza por su rápido crecimiento, su baja densidad y su capacidad de adaptación a determinados tipos de suelo. Asimismo, su madera presenta diversas aplicaciones debido a

sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, lo que la convierte en un recurso económicamente viable. Estas características favorecen el establecimiento de plantaciones forestales y contribuyen al desarrollo de procesos de industrialización asociados a su aprovechamiento.

No obstante, el uso de *G. crinita* genera residuos que pueden representar un desafío desde el punto de vista ambiental. Frente a esta situación, resulta necesario profundizar en el estudio de su composición química, así como en sus propiedades mecánicas y en la facilidad con la que puede ser procesada. Este tipo de análisis permite no solo reducir los impactos ambientales derivados de su aprovechamiento, sino también identificar nuevas alternativas de uso y optimizar el empleo de esta materia prima. De este modo, el impulso de un aprovechamiento sostenible de esta especie contribuiría a disminuir la presión sobre las especies en riesgo y a fortalecer una cadena productiva forestal más equilibrada y responsable.

Por ello, se propone un análisis detallado del contenido de celulosa y lignina presente en la especie. Tener acceso a esta información no solo hará más eficiente la gestión de los residuos, sino que también ayudará a detectar usos innovadores. Además, comprender a fondo su composición química no solo beneficia el tratamiento de los desechos, sino que también amplía significativamente las posibilidades de uso de la especie dentro del sector industrial.

Para la cual nos planteamos el siguiente problema, ¿Cuál es la cantidad de celulosa y lignina presentes en *G. crinita*?

1.1. Objetivo general:

- Determinar la cantidad de celulosa y lignina en *Guazuma crinita c.*, por el método gravimétrico.

1.2. Objetivos específicos:

- Cuantificar la cantidad de celulosa por el método de Kurscher y Hoffner en *Guazuma crinita c.*
- Cuantificar la cantidad de lignina por el método de Klason (ácido sulfúrico) en *Guazuma crinita c.*

II. REVISIÓN

2.1. Marco teórico

2.1.1. Características de la bolaina blanca

2.1.1.1. Taxonómica

Según Flores (Ymber Flores Bendezú, 2007) lo clasifica

en: Familia : Sterculiaceae

Genero : Guazuma

Especie : Crinita

Nombre científico : *Guazuma Crinita Mart*

Nombre comun : Bolaina blanca

2.1.1.2. Distribución y ecología

Esta especie se adapta y desarrolla bien tanto en regiones con lluvias constantes y abundantes como durante períodos de sequía. Es común encontrarla en zonas de clima tropical, donde la temperatura media ronda los 26 °C y las precipitaciones oscilan entre 1500 y 3500 mm anuales. Se encuentra comúnmente en forma de manchales junto con otras especies heliófilas de rápido crecimiento, como el *cecropia sp* “cetico”, el *cedrela sp* “cedro blanco” y la *ochoroma lagopus* “topa”. Esta especie muestra una adaptabilidad destacada, prosperando en suelos fértiles o aquellos con una alta concentración de nutrientes. Se adapta fácilmente a diversos tipos de suelo, ya sea en suelos francos con buen drenaje o incluso en suelos degradados con menor capacidad de drenaje (Hector E. Vidaurre A. et al., 1992). Esta especie se encuentra típicamente en la vegetación secundaria temprana y, durante su etapa de plántula, no tolera las inundaciones (Reynel et al., 2003).

2.1.1.3. Descripción del árbol

(Hector E. Vidaurre A. et al., 1992) señala que el árbol de bolaina blanca tiene una altura promedio que oscila entre 25 y 30 metros, con un diámetro que puede alcanzar hasta 35 cm. Esta especie destaca por su fuste recto y cilíndrico, brindándole una estructura robusta y vertical. La corteza externa es lisa, aunque suele presentar grietas finas y lenticelas visibles, características que facilitan su identificación.

La madera se clasifica como liviana y de baja densidad, con una coloración blanquecina y una superficie suave, cualidades que influyen en su uso. Así como también, la

especie se caracteriza por la exudación de mucílago, rasgos característicos dentro de su composición. Durante su crecimiento, el árbol experimenta un proceso de poda natural, lo cual favorece una arquitectura equilibrada y una forma regular a lo largo de su crecimiento.

Las hojas son simples, se disponen de manera alterna y en disposición dística, y presentan longitudes que varían entre 10 y 18 cm, con un ancho aproximado de 5 a 7 cm. Generalmente muestran ligera asimetría, con bordes aserrados y nervaduras secundarias bien marcadas, visibles tanto en el haz como en el envés. La inflorescencia corresponde a panículas axilares o racimos, cuyas dimensiones oscilan entre 8 y 12 cm de largo y 3 a 6 cm de ancho. Las flores miden entre 8 y 12 mm, son de color rosado y están formadas por cinco pétalos, aportando información relevante para la caracterización morfológica de la especie (Reynel et al., 2003).

En relación con los frutos, estos presentan inicialmente una forma similar a cápsulas dehiscentes cuando se encuentran verdes. Una vez maduros y secos, adquieren una forma pequeña y circular, y se encuentran cubiertos por pelos finos y alargados, lo que les confiere un aspecto particular. Las semillas son de color pardo, de tamaño reducido, y cada fruto puede contener hasta 20 semillas aproximadamente. De manera referencial, se estima que un kilogramo de frutos puede albergar entre 850 000 y 870 000 semillas, lo que evidencia la alta capacidad reproductiva de la bolaina blanca (Héctor E. Vidaurre A. et al., 1992).

2.1.1.4. Silvicultura

La producción de plántulas constituye una etapa importante dentro de la silvicultura, ya que comprende una serie de procesos que se inician con la germinación de las semillas y continúan con la selección de plántulas y su trasplante al sitio definitivo. Aunque esta actividad puede considerarse sencilla a primera vista, en la práctica presenta diversas exigencias desde la fase de almácigo. Eso se debe a la necesidad de realizar una planificación adecuada, que contemple aspectos como la cantidad de plántulas requeridas, la capacidad operativa del vivero y de la plantación, así como consideraciones logísticas y de manejo que influyen directamente en el éxito del establecimiento forestal (Cruz Ambicho, M. A., 2018).

Las semillas de bolaina blanca manifiestan una capacidad germinativa del 65% a una temperatura promedio de 25 °C, siendo este porcentaje germinativo susceptible a variaciones según el estado o frescura de las semillas. Diversos estudios recomiendan la aplicación de tratamientos pregerminativos con la finalidad de mejorar los porcentajes de germinación.

Entre los métodos sugeridos se encuentra el uso de agua hervida, la cual debe dejarse reposar por un período de tres minutos antes de la siembra, procedimiento que permite alcanzar tasas de germinación cercanas al 98 %. Este tipo de prácticas evidencia la importancia de aplicar técnicas específicas para optimizar la propagación de la especie en condiciones controladas (Palomino Yamamoto, J. & Barra Castro, M., 2003).

De acuerdo con Reynel et al. (2003), *G. crinita* se reproduce principalmente de forma sexual y presenta un alto poder germinativo, que oscila entre 80 y 90 %, especialmente cuando se emplean semillas frescas. Para la siembra, se recomienda el voleo en camas de almácigo, utilizando un sustrato arenoso cubierto con una capa delgada de arena. Así como también, se sugiere realizar el trasplante a bolsas plásticas cuando las plántulas alcanzan una altura de 10 a 15 cm, práctica que favorece su desarrollo posterior. El autor destaca la elevada adaptabilidad y supervivencia de la especie en plantaciones. Como referencia, en el valle de Chanchamayo, bajo condiciones de 2010 mm de precipitación anual y a una altitud de 900 msnm, se registraron individuos con alturas entre 12 y 15 metros y diámetros de 25 a 30 cm en un período aproximado de cinco años, lo que demuestra el rápido crecimiento y la robustez de la especie en ambientes favorables.

2.1.1.5. Usos

En la Amazonía y de sobretodo en las comunidades, la *G. crinita* cumple un papel importante dentro de las actividades cotidianas debido a la diversidad de usos que ofrece. La corteza de esta especie es utilizada tradicionalmente para la elaboración de cuerdas y ataduras, lo que demuestra su utilidad en labores domésticas y productivas. Así como también, la madera no solo es aprovechada en zonas rurales, sino también en ámbitos urbanos, donde se emplea en carpintería, en la fabricación de laminados, palos de fósforo, mondadientes, bajalenguas, palitos de chupete, como en la producción de pulpa y papel. Esta diversidad de aplicaciones evidencia la relevancia de la especie como un recurso de amplio aprovechamiento, con valor tanto práctico como cultural para las poblaciones amazónicas (Ymber Flores Bendezú, 2007).

(Lesly del Rosario Urbina Ramos, 2015) menciona que la madera derivada de plantaciones forestales con una edad de 4 años, especialmente obtenida mediante procesos de raleo, presenta propiedades particulares. Los resultados de su estudio indican que, al compararse con otras especies de similar densidad básica, esta madera resulta adecuada para determinados usos. Entre los más relevantes se encuentran la fabricación de cajonería, juguetes y artesanías, lo que pone en evidencia la versatilidad y calidad del material

obtenido de plantaciones forestales jóvenes, especialmente cuando el aprovechamiento se realiza durante el cuarto año de crecimiento.

2.1.2. Propiedades químicas de la madera

Desde el punto de vista químico, la madera está constituida principalmente por celulosa, lignina y hemicelulosa, componentes que representan la mayor proporción de su estructura. Estos elementos son los responsables de muchas de las propiedades físicas y mecánicas que caracterizan a este material.

En menor proporción, la madera también contiene extractivos y cenizas, los cuales complementan su composición. Los extractivos corresponden a la fracción orgánica, mientras que las cenizas representan el contenido inorgánico. Es importante destacar que estos dos últimos elementos, los extractivos y las cenizas, se encuentran en proporciones relativamente menores en comparación con la celulosa, lignina y hemicelulosa. En conjunto, esta composición química explica la diversidad de aplicaciones que la madera presenta tanto en el ámbito industrial como en el artesanal (Monteoliva, 2009).

2.1.2.1. Celulosa de la madera

La celulosa constituye el principal componente químico de los materiales vegetales, representando un aproximado del 40 % y 50 % de su composición total. Desde el punto de vista estructural, su unidad básica presenta la fórmula ($C_6H_{10}O_5$) y se caracteriza por la presencia de grupos hidroxilo, los cuales favorecen la formación de enlaces intra e intermoleculares, esta capacidad de enlace explica en gran medida la resistencia y estabilidad que presenta la celulosa dentro de la pared celular, aportando rigidez y soporte a la estructura vegetal (Zhang et al., 2015).

Las propiedades de la celulosa pueden agruparse en aquellas que dependen de su estructura molecular y aquellas que son independientes de ella. Estas propiedades pueden evaluarse sin necesidad de alterar su composición química, lo que permite su estudio detallado. En ese sentido, la dureza de la celulosa se encuentra relacionada con el contenido de humedad y el peso específico, factores que influyen directamente en su comportamiento físico. De igual manera, la resistencia mecánica depende en gran medida de la densidad del material, así como de la cantidad y disposición de las fibras celulósicas, las cuales determinan su capacidad para soportar esfuerzos mecánicos (Budjiashvili Turkadze, 2019).

Desde una clasificación química, la celulosa es un biopolímero perteneciente al grupo de los polisacáridos, formado por unidades repetidas de β -D-glucosa, unidas mediante

enlaces glucosídicos β -(1 \rightarrow 4). Esta estructura da lugar a cadenas lineales, donde los monómeros se disponen de forma alternante. Su fórmula empírica se expresa como $(C_6H_{10}O_5)_n$, siendo “n” el número de unidades estructurales que conforman la cadena polimérica (Klemm et al., 2005).

Las cadenas de celulosa se mantienen unidas por enlaces de hidrógeno, tanto dentro de la misma molécula como entre moléculas adyacentes, originando la formación de microfibrillas; estas microfibrillas presentan regiones con estructura cristalina y otras de carácter amorfo, combinación que influye directamente en las propiedades físicas y mecánicas del material (Moon et al., 2011).

En las plantas, la producción de celulosa tiene lugar en la membrana plasmática de las células mediante complejos proteicos conocidos como rosetas sintetizadoras. Estas estructuras catalizan la transformación de UDP-glucosa en largas cadenas de celulosa, que son exportadas hacia el exterior celular y allí se organizan espontáneamente en microfibrillas (Somerville, 2006). Este proceso ocurre en sincronía con la generación de otros componentes de la pared celular, como las hemicelulosas y las pectinas.

Dentro de las células vegetales, la celulosa constituye el elemento estructural predominante en la pared celular secundaria. En el caso de la madera, está integrada en el complejo lignocelulósico junto a la hemicelulosa y la lignina. En este conjunto, la celulosa proporciona integridad estructural y resistencia a la tracción, actuando como el esqueleto mecánico de la pared celular. Las microfibrillas se alinean en capas específicas, contribuyendo así a la rigidez y resistencia del tejido leñoso (Donaldson, 2008).

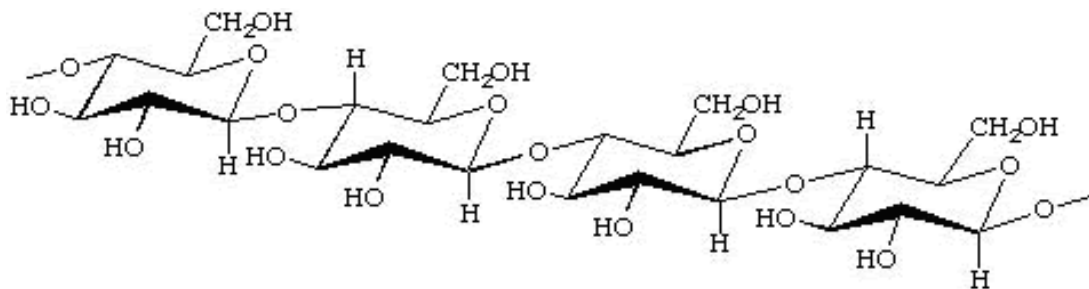
Las propiedades fisicoquímicas de la celulosa están relacionadas en gran medida, con su grado de polimerización y con el tipo de estructura cristalina que presenta. En relación de estas características, se han identificado distintos alomorfos, entre los que se encuentran la celulosa I, considerada la forma natural, y la celulosa II, que se obtiene como resultado de procesos de regeneración o mercerización. Asimismo, existen las formas III y IV, menos frecuentes, las cuales se generan mediante tratamientos químicos específicos (Moon et al., 2011). Cada una de estas variantes presenta diferencias en aspectos como la solubilidad, la reactividad química y el comportamiento mecánico.

Dentro de la celulosa I se distinguen dos subformas: $I\alpha$, predominante en bacterias y algas, y $I\beta$, característica de las plantas superiores. Esta última es la forma más común en la madera. La transformación entre estas estructuras puede inducirse mediante la

aplicación de tratamientos térmicos o químicos, lo que permite modificar ciertas propiedades del material. La organización cristalina de la celulosa ha sido ampliamente estudiada mediante técnicas como la difracción de rayos X y la espectroscopía de estado sólido, las cuales evidencian una disposición paralela y helicoidal de las cadenas moleculares (Nishiyama et al., 2002).

Una de las propiedades más importantes de la celulosa es su elevada rigidez a lo largo del eje de la cadena, la cual se atribuye a su estructura altamente ordenada. En estado cristalino, este material puede alcanzar un módulo de elasticidad de hasta 138 GPa, valor que refleja su notable resistencia mecánica (Sakurada et al., 1962). Esta característica ha permitido su uso como material de refuerzo en compuestos poliméricos y en el desarrollo de nanomateriales.

A pesar de que la celulosa es insoluble en la mayoría de los disolventes comunes, por esta extensa red de enlaces de hidrógeno que estabiliza su estructura, presenta una alta estabilidad térmica y química. A pesar de eso, se ha logrado su disolución controlada mediante el empleo de disolventes específicos, como los líquidos iónicos y sistemas basados en N-metilmorfolina-N-óxido (NMMO), lo que ha abierto nuevas posibilidades para su procesamiento y regeneración industrial (Rosenau et al., 2001).



„Fuente: Hirata Y Nishimoto, 1991.

Figura 1. Estructura molecular de la celulosa

2.1.2.2. Hemicelulosa

La hemicelulosa cumple una función importante dentro de la pared celular secundaria, ya que se dispone entre los haces de microfibrillas de celulosa, contribuyendo a la cohesión y resistencia de esta estructura. Su composición es heterogénea e incluye glucosa y otros azúcares, los cuales forman una red que interactúa directamente con la celulosa, desde el punto de vista estructural, se reconocen principalmente dos tipos de hemicelulosas: los xilanos, predominantes en la madera dura, y los glucanos, característicos de la madera

blanda, lo que refleja la variabilidad química asociada a los distintos tipos de madera (Zhang et al., 2015).

De acuerdo con Hansen y Plackett (como se citó en Karla Ruiz Cuiltly, 2018), la hemicelulosa representa una proporción menor en comparación con la celulosa, con valores que oscilan entre 20 % y 30 % de la composición total. Esta molécula puede presentar ramificaciones, lo que incrementa su reactividad química y favorece su solubilidad en soluciones alcalinas, e incluso en agua bajo determinadas condiciones. La composición de las hemicelulosas varía no solo según el tipo de especie (coníferas o latifoliadas), sino también en función de la parte del árbol de la que provienen, como tronco, ramas, raíces o corteza.

Una de las funciones más importantes de la hemicelulosa es facilitar la incrustación y estabilización de las microfibrillas, actuando como un componente intermediario entre la celulosa y la lignina. Este rol es determinante en las propiedades físicas y mecánicas de la pared celular vegetal. En el ámbito industrial, la hemicelulosa adquiere relevancia por su contribución a la resistencia del papel, lo que resalta su importancia dentro de los procesos de la industria papelera.

Desde el punto de vista químico, la hemicelulosa comprende diversos polisacáridos, siendo los más comunes el glucomanano y el xilano. En las maderas blandas (gimnospermas) predomina el galactoglucomanano, constituido por cadenas de manosa y glucosa β -(1 \rightarrow 4), con ramificaciones de galactosa α -(1 \rightarrow 6) y grupos acetilo. En las maderas duras (angiospermas), el principal componente es el glucuronoxilano, formado por una cadena de xilosa β -(1 \rightarrow 4) con sustituciones de ácido 4-O-metilglucurónico y grupos acetilo (Ebringerová & Heinze, 2000).

A diferencia de la celulosa, la hemicelulosa no presenta una estructura cristalina definida, lo que facilita su degradación enzimática. Su fórmula química general no es constante, ya que depende del tipo de azúcar predominante, así como del grado de ramificación y acetilación presente en la molécula (Scheller & Ulvskov, 2010).

La biosíntesis de la hemicelulosa ocurre en el aparato de Golgi, donde se ensamblan las cadenas a partir de UDP-azúcares por acción de glicosiltransferasas específicas. Posteriormente, se transportan a la pared celular a través de vesículas y se integran en la matriz extracelular donde interactúan con la celulosa y la lignina (Pauly & Keegstra, 2008).

Estas interacciones permiten que la hemicelulosa actúe como una red adhesiva, uniendo las microfibrillas de celulosa y formando un complejo ternario con la lignina, lo que confiere rigidez y flexibilidad a la pared celular secundaria (Scheller & Ulvskov, 2010).

Debido a su estructura amorfa y ramificada, la hemicelulosa es más hidrosoluble y menos resistente a la hidrólisis que la celulosa. Esta característica es aprovechada en procesos industriales como la producción de bioetanol o biocompuestos, donde se requiere su extracción selectiva (Peng et al., 2012).

Desde el punto de vista estructural, la hemicelulosa estabiliza las microfibrillas de celulosa y facilita su alineación durante la formación de la pared celular secundaria. En combinación con la lignina, forma una matriz tridimensional que determina la rigidez, resistencia y porosidad de la madera (Scheller & Ulvskov, 2010).

La hemicelulosa ha cobrado importancia como materia prima renovable en biorefinerías, especialmente por su potencial en la producción de biocombustibles, polímeros biodegradables, películas comestibles y agentes quelantes. Su estructura química la hace susceptible a modificaciones que permiten desarrollar materiales funcionales con propiedades específicas (Ebringerová & Heinze, 2000).

Además, la extracción de hemicelulosa permite una valorización integral de la biomasa lignocelulósica, reduciendo residuos y mejorando la eficiencia en procesos como la fabricación de papel y la obtención de productos químicos plataforma (Peng et al., 2012).

2.1.2.3. Lignina

La lignina es un polímero de gran importancia en la pared celular secundaria de las plantas, donde cumple funciones clave relacionadas con la rigidez estructural, la resistencia mecánica y la hidrofobicidad de los tejidos. Se encuentra ampliamente distribuida en las plantas vasculares, especialmente en aquellas que desarrollan tejidos leñosos, y se deposita principalmente en células que han alcanzado una diferenciación terminal. Estas células forman parte de los tejidos de soporte y de conducción, contribuyendo tanto a la estabilidad estructural de la planta como al transporte eficiente del agua a través del xilema (Boerjan et al., 2003).

Desde el punto de vista químico, la lignina se caracteriza por ser un polímero polifenólico de naturaleza amorfa, originado a partir de la copolimerización de tres monómeros fenilpropanoides. Esta compleja estructura le confiere propiedades particulares, como una alta rigidez y una marcada resistencia a la degradación química y biológica.

Asimismo, la composición de la lignina presenta variaciones significativas según su origen, diferenciándose entre ligninas provenientes de coníferas y aquellas de especies de hojas anchas, lo que explica las diferencias funcionales observadas entre distintos tipos de madera (Mansouri, 2006).

En términos cuantitativos, la lignina es uno de los biopolímeros más abundantes en las plantas, representando aproximadamente entre 20 % y 35 % del peso seco de la madera. Se localiza principalmente en las paredes celulares secundarias de las plantas vasculares, donde desempeña funciones esenciales relacionadas con el soporte mecánico, la protección frente a agentes externos y la regulación fisiológica. A diferencia de la celulosa, la lignina no pertenece al grupo de los polisacáridos, sino que corresponde a un poliariléter complejo, constituido por unidades fenólicas que determinan su comportamiento estructural y funcional (Boerjan et al., 2003).

Desde el punto de vista químico, la lignina es un polímero amorfo que se forma mediante la polimerización oxidativa de tres alcoholes monolignólicos: el alcohol p-cumarílico, el coniferílico y el sinapílico. Estos precursores dan lugar a las unidades estructurales H (p- hidroxifenilo), G (guaiacilo) y S (siringilo), respectivamente. La proporción relativa de estas unidades varía entre especies: en gimnospermas predomina la unidad G, mientras que en angiospermas se observa una mayor proporción de G y S (Vanholme et al., 2010).

La estructura de la lignina incluye principalmente enlaces éter β -O-4, los más frecuentes, así como un número significativo de enlaces carbono-carbono como β -5 y 5-5, los cuales contribuyen a su alta estabilidad química. Debido a su heterogeneidad estructural, no posee una fórmula empírica fija; sin embargo, suele representarse genéricamente como $[C_9H_{10}O_2(OCH_3)_n]$, donde “n” depende del contenido de grupos metoxilo presentes en el tejido vegetal (Ralph et al., 2004).

El proceso de lignificación se lleva a cabo en el apoplasto, donde enzimas como laccasas y peroxidasas catalizan la oxidación de los monolignoles. Esta oxidación genera radicales libres que se acoplan espontáneamente, sin participación directa de enzimas, para formar una red tridimensional compleja. Este proceso biosintético se inicia a partir del aminoácido aromático fenilalanina y está finamente regulado por factores de transcripción específicos (Bonawitz & Chapple, 2010).

En la ruta metabólica de biosíntesis de la lignina intervienen diversas enzimas

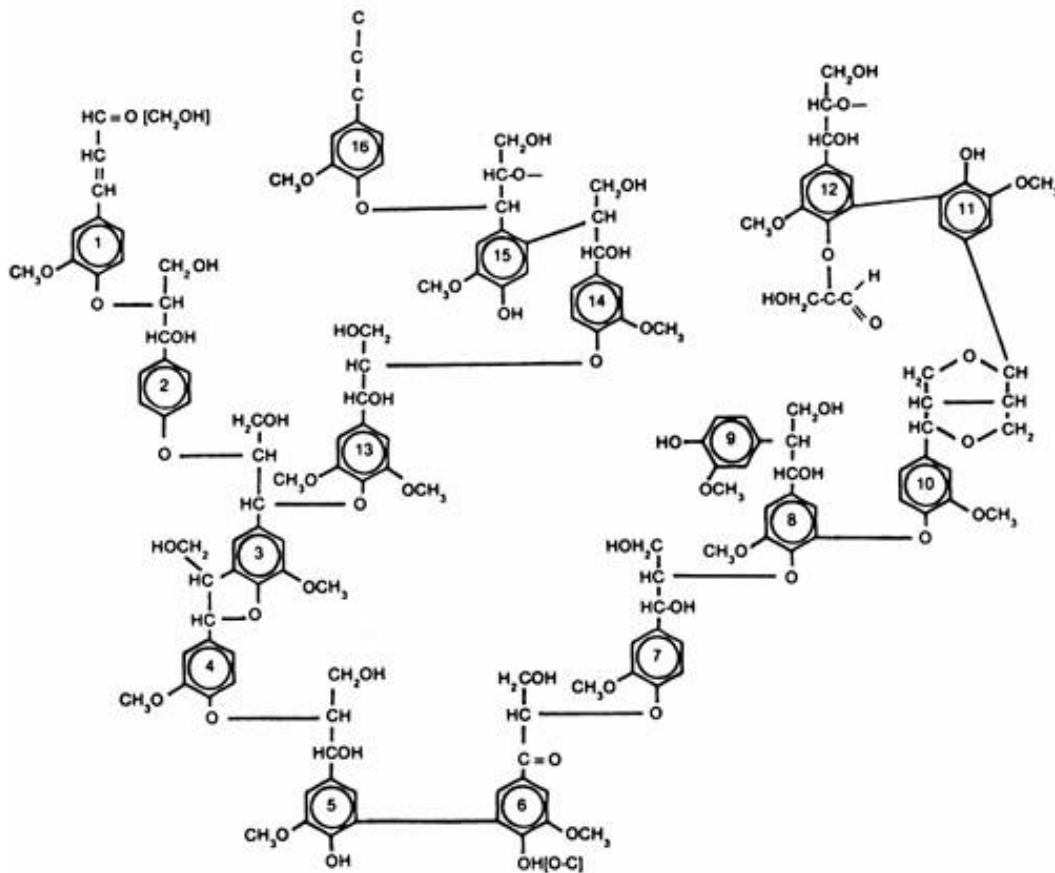
clave, entre las que destacan la fenilalanina amonio-liasa (PAL), la cinamato-4-hidroxilasa (C4H), la 4-coumarato:CoA ligasa (4CL) y la cafeato O-metiltransferasa (COMT), entre otras. La manipulación genética de estas enzimas ha demostrado ser una estrategia eficaz para modificar tanto el contenido como la composición de la lignina en distintas especies vegetales modelo, lo que ha permitido evaluar su influencia en las propiedades estructurales de la madera (Li et al., 2008).

Desde el punto de vista funcional, la lignina cumple un papel importante en la consolidación de las paredes celulares secundarias, otorgando a la madera la capacidad de resistir esfuerzos de compresión. De igual manera, su presencia disminuye la permeabilidad de las paredes celulares al agua, lo que contribuye al adecuado funcionamiento del sistema vascular, especialmente del xilema. La lignina también previene el colapso de los vasos conductores y actúa como una barrera protectora frente a microorganismos, debido a su alta resistencia frente a procesos de degradación química y biológica (Donaldson, 2001).

Diversos estudios basados en técnicas histoquímicas y de microscopía han demostrado que la lignina se deposita principalmente en la capa S2 de la pared celular secundaria. En esta zona, se integra entre las microfibrillas de celulosa y hemicelulosa, formando una matriz tridimensional que incrementa la resistencia mecánica, dureza y durabilidad del tejido leñoso (Terashima et al., 2009).

En la industria papelera, especialmente en el proceso Kraft, la lignina se genera como un subproducto en grandes volúmenes. Actualmente, se investigan diversas estrategias para su valorización como fuente renovable de compuestos aromáticos, resinas, adhesivos, materiales carbonosos, biocombustibles y composites (Ragauskas et al., 2014).

El principal desafío para su aprovechamiento industrial radica en su compleja estructura, que dificulta la ruptura controlada de sus enlaces. Sin embargo, recientes avances en el desarrollo de catalizadores específicos y en procesos de oxidación selectiva han permitido obtener productos de alto valor añadido a partir de lignina técnica (Zakzeski et al., 2010).



Fuente: Pettersen, R. C. (1984).

Figura 2. Estructura parcial de lignina de madera blanda.

2.1.2.4. Fundamentos metodológicos para la cuantificación de celulosa y lignina

La biomasa lignocelulósica constituye una fuente estratégica de compuestos estructurales como la celulosa y la lignina, ampliamente demandados por sectores industriales como el paplero, textil, energético y de biocombustibles. En este marco, Guazuma crinita — una especie forestal tropical nativa de América Latina— ha despertado creciente interés por su rápido desarrollo, notable adaptabilidad ecológica y su frecuente incorporación en programas de reforestación y restauración de suelos degradados (Flores-Córdova et al., 2019).

La determinación cuantitativa de los componentes lignocelulósicos en este tipo de biomasa se realiza, con frecuencia, mediante métodos gravimétricos tradicionales. Si bien en algunos estudios han sido reemplazados por técnicas instrumentales más avanzadas, estos métodos continúan utilizándose debido a su bajo costo, facilidad de aplicación y un nivel de precisión aceptable para análisis comparativos. Entre ellos, el método de Kürschner y Hoffer

es uno de los más empleados para estimar el contenido de celulosa. Este procedimiento se basa en el tratamiento de la muestra con soluciones ácidas diluidas, las cuales eliminan los componentes no celulósicos, como las hemicelulosas, resinas y una fracción de la lignina, dejando como resultado un residuo sólido con alto contenido de celulosa (Niebla et al., 2015).

Para la cuantificación de la lignina, el método más utilizado es el método de Klason. Este consiste en someter la muestra a una hidrólisis ácida con ácido sulfúrico concentrado (72%), proceso mediante el cual se degradan los polisacáridos estructurales, mientras que la lignina insoluble permanece como residuo. Dicho residuo es posteriormente determinado por pesada gravimétrica, lo que permite estimar el contenido de lignina. La aplicabilidad de este método ha sido comprobada en una amplia variedad de materiales lignocelulósicos, incluyendo maderas, residuos forestales y subproductos agroindustriales (Theander & Westerlund, 1986).

Investigaciones recientes indican que especies forestales tropicales secundarias, como *Guazuma crinita*, presentan contenidos de celulosa y lignina similares a los observados en maderas comerciales de uso tradicional, lo que resalta su potencial como recurso para aplicaciones industriales. Por ejemplo, Rodríguez et al. (2021) analizaron residuos de *Eucalyptus* spp. y reportaron contenidos de celulosa entre el 43% y el 47%, y de lignina entre el 17% y el 20%. Estos valores concuerdan con estimaciones preliminares obtenidas para *G. crinita*, lo que refuerza su potencial como materia prima en procesos de valorización industrial.

La aplicación de estos métodos analíticos no solo permite caracterizar con precisión la composición química de *G. crinita*, sino que también proporciona una base sólida para evaluar su viabilidad en diversos procesos industriales. Entre ellos destacan la conversión biotecnológica a biocombustibles, la producción de bioetanol, la generación de bioenergía y el desarrollo de materiales biodegradables compuestos (Vallejos et al., 2012). En este sentido, el estudio de *Guazuma crinita* contribuye al impulso de biorefinerías sostenibles en zonas tropicales, promoviendo el aprovechamiento integral de recursos.

2.2. Estado del arte

2.2.1. A nivel Internacional

Según Lobato-Peralta et al. (2021) en su investigación ofrece una visión general de los estudios realizados sobre la extracción de lignina y el uso de biomásas lignocelulósicas

como materiales para el almacenamiento de energía. Los métodos de aislamiento y los pretratamientos de la lignina continúan evolucionando, y tanto la conversión termoquímica de la biomasa lignocelulósica como la optimización de los parámetros de activación son fundamentales para lograr materiales con alta densidad energética. Esta revisión expone diversas técnicas de extracción de lignina, tipos de pretratamiento y cómo las condiciones de extracción afectan el rendimiento y las propiedades del material obtenido. Se investigó la conversión termoquímica de biomasa basada en lignina y su aplicación en supercondensadores y almacenamiento de hidrógeno. El estudio reveló que la extracción química mediante el proceso organosol *v* presenta una mayor pureza y conserva parcialmente la estructura de la lignina en comparación con los procesos con azufre. Diferentes parámetros como el método de extracción, la temperatura, el pH, el tiempo de residencia y la presión influyen enormemente en el valor Kappa y el rendimiento de la lignina. La dosis de hidróxido de potasio (KOH) como agente activador y la temperatura de activación son vitales para obtener una elevada área superficial y microporosidad, lo que mejora el rendimiento del carbón activado a base de lignina hacia un elevado almacenamiento de hidrógeno y capacitancia. El dopaje de metales en el carbón activado mejora marginalmente la capacidad de almacenamiento de hidrógeno y la capacitancia, sin embargo, la desorción reversible del hidrógeno adsorbido requiere una temperatura más alta para el almacenamiento de hidrógeno. Además, un alto dopaje metálico reduce la superficie disponible, colapsa las estructuras en forma de jaula de los fullerenos y reduce la capacidad de almacenamiento de hidrógeno del carbón activado. La presencia de heteroátomos en los carbones activados mejora el rendimiento en cuanto a capacidad y almacenamiento de hidrógeno. Por otra parte, debe explorarse el análisis tecnoeconómico y de sostenibilidad basado en la exergía de las distintas técnicas de aislamiento de la lignina para obtener información valiosa sobre la energía y los costes operativos asociados.

Kollmann et al. (1968), en su estudio, se ofrece un análisis detallado de la composición química de la madera, con énfasis en sus componentes estructurales principales —celulosa, hemicelulosas y lignina— y en cómo estos varían según la especie y las distintas partes del árbol. Se comparan tanto maderas latifoliadas como coníferas, para la cuantificación de celulosa y lignina, se utilizaron los siguientes métodos analíticos: para la determinación de lignina uso el método Klason, que consiste en hidrólisis ácida para separar la lignina insoluble y para la determinación de celulosa utilizo la aplicación de hidrólisis ácida y cromatografía para determinar la cantidad de glucosa derivada de la celulosa. Estos métodos

se implementaron conforme a los estándares establecidos por la Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI), lo que asegura la precisión y la comparabilidad de los resultados. Se observó que, en las maderas latifoliadas (angiospermas), el contenido de celulosa varía entre el 42% y el 51%, mientras que, en las maderas de coníferas, dicho contenido se mantiene más constante, situándose entre el 41% y el 42%. En cuanto a la lignina, se observa una mayor presencia en las coníferas, con valores que fluctúan entre el 27% y el 33%, en contraste con las latifoliadas, donde la lignina representa entre el 19% y el 24% del total de la madera.

Tribot, A. et al (2018). Se analiza el comportamiento químico de la madera de Eucalyptus y su eficiencia en la producción de pulpa, con el objetivo de maximizar su uso en la industria del papel. El estudio consideró variables como el contenido de celulosa, lignina y otros compuestos químicos relevantes. Los métodos utilizados fueron los métodos como hidrólisis ácida y espectrofotometría para determinar celulosa y lignina. El estudio evalúa las propiedades químicas de la madera de Eucalyptus y su rendimiento en pulpa para optimizar su aprovechamiento en la industria papelera, analizando el contenido de celulosa (45-52%), lignina (25-30%), extractivos (2-5%) y cenizas (<1%). La extracción con solventes para analizar extractivos, calcinación a alta temperatura para cuantificar cenizas y procesos de cocción alcalina para evaluar el rendimiento de pulpa, el cual alcanzó entre 50-55%. Se encontró que un mayor contenido de celulosa se asocia con un mejor rendimiento en la producción de pulpa, mientras que un contenido elevado de lignina aumenta la demanda de productos químicos en el proceso de blanqueo.

Fonseca (2006), en su trabajo de investigación determinó la composición química de la madera de Pino Candelillo (*Pinus Maximinoi* H. E. Moore). Los análisis químicos se llevaron a cabo conforme a las normas ANSI/ASTM, utilizando el método de hidrólisis y análisis gravimétrico para la determinación de celulosa (ANSI/ASTM D1103-60), y la hidrólisis ácida seguida de filtrado para la cuantificación de lignina (ANSI/ASTM D1106-56). La investigación incluyó el estudio de nueve árboles, evaluando muestras tomadas en tres alturas diferentes: la altura del diámetro a la altura del pecho (DAP) a 1,30 m, conocida también como altura basal; la altura media comercial; y la parte superior o apical del árbol. En el caso del Pino Candelillo (*Pinus maximinoi* H. E. Moore), los análisis arrojaron los siguientes resultados: el contenido de celulosa varió entre 46% y 59% en peso, la lignina entre 22% y 34%, las sustancias extraíbles entre 6% y 12%, los taninos puros entre 0.05% y 0.18%, y las cenizas entre 0.1% y 0.7%. No se observaron diferencias significativas en la

concentración de celulosa, lignina, sustancias extraíbles, taninos, cenizas ni contenido de humedad en relación con la altura de muestreo, lo que sugiere que estos componentes se encuentran en proporciones similares a lo largo del árbol.

Berrocal A. et al (2004). En su estudio de investigación cuantifico la composición química de la madera de *Pinus radiata* en árboles de diferentes edades, evaluando la variación en la proporción de celulosa, hemicelulosa, lignina y extractivos. Busco determinar la edad óptima del árbol para la producción de bioetanol, priorizando un menor contenido de lignina y una mayor concentración de azúcares fermentables. Eligió árboles de *Pinus radiata* en plantaciones ubicadas en San Pedro de la Paz, Concepción, Chile, y los agrupó en ocho rangos etarios: 1-3, 4-6, 7-10, 11-15, 16-20, 21-25, 26-30 y más de 30 años. Se extrajeron muestras de madera a la altura del diámetro normal (1,30 m). para la determinación de celulosa, hemicelulosa y lignina se aplicó un método de hidrólisis con ácido trifluoroacético (TFA), separando los componentes mediante filtración y analizando los azúcares por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Según los resultados obtenidos la celulosa aumenta con la edad hasta los 21-25 años (máximo de 42,51%), disminuyendo en árboles más viejos (>30 años: 36,36%). La lignina tiene una relación inversa con la celulosa, disminuyendo con la edad hasta los 21-25 años y aumentando nuevamente en árboles más viejos determinando que la composición química de la madera de *Pinus radiata* varía significativamente con la edad del árbol. La celulosa alcanza su mayor proporción a los 21-25 años, mientras que la lignina disminuye en esta etapa y aumenta en árboles más viejos.

(PETTERSEN, 1984) ofrece un análisis exhaustivo de la composición química de la madera, describiendo en detalle sus componentes principales y sus funciones. En la madera, la celulosa representa el componente mayoritario, con valores que generalmente oscilan entre el 40 y 50 % del peso seco. Se trata de un polímero lineal formado por unidades de glucosa, cuya función principal es aportar resistencia mecánica y rigidez estructural al material. Por su parte, la hemicelulosa se encuentra en proporciones menores, aproximadamente entre 15 y 25 %, y está constituida por polisacáridos de cadena corta. Estos compuestos rodean las microfibrillas de celulosa y cumplen una función importante en la flexibilidad de la pared celular, además de facilitar la unión entre las fibras. La lignina constituye alrededor del 20 al 30 % del peso seco de la madera y corresponde a un polímero de estructura compleja y tridimensional. Su presencia permite la cohesión entre las fibras de celulosa, incrementa la resistencia a la compresión y actúa como una barrera natural frente a

la degradación biológica, contribuyendo a la durabilidad del material.

Además de estos componentes principales, la madera contiene extractivos, como resinas, aceites y taninos, así como minerales, los cuales afectan sus propiedades físicas y químicas, incluyendo el color, olor, durabilidad y resistencia a plagas. Pettersen subraya la variabilidad en la composición química según la especie de árbol, la edad de la madera y las condiciones de crecimiento, factores que influyen en las propiedades mecánicas y los posibles usos de la madera.

(Watkins et al., 2015) el estudio analiza varias fuentes de biomasa el objetivo de esta investigación es extraer lignina de biomasa celulósica no maderera (paja de trigo, paja de pino, alfalfa, kenaf y fibra de lino) mediante un tratamiento con ácido fórmico seguido de un tratamiento con ácido peroxifórmico para su posible uso. Las ligninas extraídas fueron sometidas a un proceso de purificación para remover impurezas y posteriormente se caracterizaron utilizando espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), análisis termogravimétrico (TGA) y calorimetría diferencial de barrido (DSC), con el fin de evaluar su composición química y propiedades térmicas. Los resultados indican que las fibras de alfalfa produjeron el mayor contenido de lignina, un 34%, seguidas de la paja de pino, la paja de trigo y las fibras de lino, con un contenido de lignina del 22,65%, 20,40% y 14,88%, respectivamente. Lam et al. informaron de que el tratamiento con ácido fórmico a presión atmosférica disolvía el 90% de la lignina presente en la paja de arroz, lo que se supone que ocurrió en todas las extracciones del presente estudio, con el fin de obtener rendimientos óptimos de lignina para todas las fuentes naturales de biomasa.

(Li et al., 2015) en su trabajo de investigación determino el contenido de hemicelulosa, celulosa y lignina del bambú moso, utilizando la técnica de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR). Para la colección de muestra tomaron tres ubicaciones diferentes, a las cuales les denominaron A, B y C. una vez recolectado o cosechado los bambúes se secaron al aire, las cueles una vez seco se cortaron en pedazos, las cuales fueron molidos, posteriormente procedieron a tamizar, el polvo tamizado con tamaños de 380 μm y 250 μm , fueron recogidas para ser analizadas. Para la colección de espectroscopia NIR, los espectros de las muestras fueron adquiridos en un espectrómetro FOSS NIR Systems 5000, la recolección de espectros fue en un rango de longitud de onda de 1100–2498 nm. Las muestras fueron escaneadas 3 veces en un ángulo de 12° por rotación sucesiva. El software utilizado para la medición y análisis espectral fue el Winscan v1.50, el espectro d l muestra fue considerado al promedio. El método tradicional de Van Soest fue utilizado para determinar

del contenido de celulosa, lignina y hemicelulosa y para el reconocimiento de muestras anormales fue utilizado el método de regresión de mínimos cuadrado-parciales (PLS). Utilizaron 180 muestras para la construcción de modelos de regresión PLS, el rango de longitud de onda (1100–2498 nm) para celulosa, lignina y hemicelulosa.

(Watkins et al., 2015) en su trabajo de investigación demostró la aplicación del infrarrojo cercano (NIR) como método rápido para determinar la composición química y no destructiva del rendimiento final de la pulpa de *Eucalyptus camaldulenses* en las plantaciones de Tailandia. Aplicaron el análisis de regresión lineal múltiple (MLR) y mínimos parciales. Se introdujo el análisis de cuadrados (PLS) para desarrollar modelos estadísticos en términos de ecuaciones de calibración para pulpa total rendimiento, rendimiento de pulpa tamizada y contenido de \ddot{y} -celulosa, pentosanas y lignina en la madera. En el análisis MLR, un razonablemente se encontró una buena ecuación de calibración solo para pentosanos (error estándar de predicción (SEP): 0,98%) el pls El análisis mejoró la precisión de la predicción para cada variable de criterio, especialmente para pentosanos (SEP: 0.91%) lignina (SEP: 0,52%). Asimismo, en el caso de pulpa tamizada y lignina (SEP: 0,52%). Asimismo, en el caso de pulpa tamizada rendimiento, pudieron usar un resultado estadístico como un indicador de las características de la pulpa y el papel. De este modo la espectroscopia NIR podría utilizarse satisfactoriamente como una técnica de evaluación eficaz para *Eucalyptus camaldulenses* árboles de plantación.

(Loaiza de la Pava, J. K. 2016) en su trabajo de investigación determinaron la composición química de la paja de arroz utilizando espectroscopía de reflectancia de infrarrojo cercano (NIRS) para la determinación utilizaron diferentes muestras de partes de paja de arroz para terminar la composición química de la humedad, ceniza total, ceniza insoluble, celulosa, hemicelulosa y Kla, estas muestras sirvieron para el modelo de desarrollo de componentes de paja de arroz por análisis NIRS. Los resultados obtenidos en la investigación se muestran en el siguiente cuadro seleccionado en el rango de 4100–7500 cm^{-1} para diferentes componentes químicos de la paja de arroz:

Tabla 1. Resultados de la validación de los modelos de predicción

Componentes	Muestra	P. medido (%)	P. previsto (%)	R2	T0.05 (16)	SEP (%)
Humedad	9	7,3	7,24	0,8871	1,7459	1,01

Hemicelulosa	9	24,9	25,4	0,9065	1,7459	1,7
Celulosa	9	34,8	33,1	0,9340	1,7459	1,1
Clase de lignina	9	10,8	10,2	0,8601	1,7459	2,1
Cenizas totales	9	11,5	10,7	0,8570	1,7459	0,8
Ceniza insoluble en acido	9	7,8	8,0	0,8813	1,459	0,6

Fuente: Jin y Chen (2007)

Astete (2021) llevó a cabo un estudio con el propósito de validar modelos predictivos para la cuantificación de celulosa, hemicelulosa y lignina en árboles jóvenes de *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) y *G. crinita* (Bolaina), empleando espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR). La investigación analizó la variación de la composición química entre la sección apical y basal del tallo de ambas especies, con el fin de desarrollar modelos precisos basados en espectros FTIR. Se trabajó con 150 muestras por especie, provenientes de árboles de 1.8 años de edad, y los resultados evidenciaron diferencias significativas en la composición química entre las secciones del tallo. En Capirona, el modelo predictivo de lignina presentó alta precisión (RMSEP = 0.48, RPD > 2.0), mientras que los modelos de celulosa, hemicelulosa y holocelulosa lograron predicciones aceptables (RPD entre 1.60 y 1.96). Por otro lado, en Bolaina, el modelo de celulosa mostró una capacidad de predicción sobresaliente (RPD = 6.14), y los modelos de lignina, hemicelulosa y holocelulosa también reflejaron buena precisión (RPD > 2.0). Se concluyó que la espectroscopia FTIR-ATR, combinada con modelos PLS, es una herramienta confiable para determinar la composición química de la madera en árboles jóvenes, facilitando su selección para aplicaciones industriales y programas de mejoramiento genético.

2.2.2. A nivel Nacional

De acuerdo con el Instituto de Investigación y Desarrollo de Productos Forestales

(2005), se realizó una investigación destinada a caracterizar la composición química de la madera y la corteza de diez especies forestales originarias de bosques secundarios y remanentes primarios en la región de Ucayali, Perú. La investigación analizó componentes como celulosa, hemicelulosa, lignina, extractivos, cenizas y sílice, con el propósito de evaluar su potencial uso en la industria maderera, así como en la producción de bioenergía y papel. Para ello, se seleccionaron cinco árboles por especie y se tomaron muestras en tres niveles del fuste (base, medio y ápice). La cuantificación de celulosa se realizó mediante hidrólisis ácida, mientras que la lignina se determinó utilizando el método Klason. Los resultados obtenidos indicaron que *Apeiba membranacea* (Maquizapa) presentó 44.33% de celulosa y 31.46% de lignina; *Apuleia leiocarpa* (Anacaspi), 46.27% y 36.26%, respectivamente; *Brosimum utile* (Panguana), 51.35% y 36.53%; *Croton matourensis* (Aucatadijo), 55.66% y 20.76%; *Jacaranda copaia* (Huamanzamana), 49.51% y 35.08%; *Matisia cordata* (Sapote), 55.62% y 29.60%; *Septotheca tessmannii* (Utucuro), 40.68% y 26.60%; *Schizolobium parahyba* (Pashaco), 57.01% y 28.43%; *Simarouba amara* (Marupa), 52.72% y 30.78%; y *Terminalia oblonga* (Yacushapana), 53.88% y 34.12%. El estudio concluyó que todas las especies analizadas poseen niveles de celulosa adecuados para la producción de papel y bioetanol, mientras que la variabilidad en la cantidad de lignina influye en su aprovechamiento energético y en la industria química. Finalmente, se sugiere realizar investigaciones adicionales que diferencien albura, duramen y la zona de transición, con el objetivo de optimizar su uso.

2.2.3. A nivel local

(MALPARTIDA, 2010) la investigación tuvo como objetivo determinar los contenidos de extractivos, cenizas, celulosa y lignina en la especie *G. crinita* “bolaina blanca” en diferentes edades (3, 4 y 5 años) y a tres alturas del fuste (25%, 55% y 85% de su longitud). Para el análisis de extractivos se aplicó la norma TAPPI T6-os-59; para las cenizas, la norma ISO R 1762; la celulosa fue cuantificada mediante el método de Kürschner y Höffner; y la lignina, a través del método del ácido sulfúrico o de Willstätter. El diseño experimental consistió en bloques completamente al azar con un arreglo factorial 3 x 3 y cinco repeticiones. Los resultados mostraron una interacción significativa entre la edad de los árboles y la altura del fuste para los contenidos de cenizas y lignina, pero no para los extractivos ni la celulosa. Se observó que los niveles de extractivos, celulosa y lignina aumentan con la edad, mientras que el contenido de cenizas tiende a disminuir. En árboles de igual edad, los porcentajes de extractivos y lignina decrecen desde la base hacia el ápice

del tronco, en tanto que los de celulosa y cenizas disminuyen en dirección opuesta. Los valores registrados oscilaron entre 3.285% y 6.996% para extractivos, 1.126% a 1.781% para cenizas, 45.950% a 50.092% para celulosa, y 18.441% a 23.041% para lignina.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación política

El presente trabajo se realizó en el laboratorio fitoquímica de la escuela profesional de Ingeniería Forestal de la Facultad de Recursos Naturales Renovables en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicado en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco.

3.1.2. Ubicación geográfica

El trabajo de investigación se realizó en las siguientes coordenadas UTM (Datum WGS 84, UTM):

“Este” : 390186.70

“Norte“ : 8970795.80

“Altitud” : 669 msnm

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales de muestreo

Los materiales empleados para recolectar las muestras fueron:, Sorbetes de plástico, segueta bimetálica de 12", 18 DPP, Truper Expert, cupravit OB 21, cinta métrica, tarugo de madera, machete, guantes de látex, lentes de protección, cubrebocas.

3.2.2. Materiales de laboratorio

Se utilizaron los siguientes materiales: Cápsulas de porcelana, pesafiltros, vasos de precipitación, refrigerante a reflujo, balón de cuello esmerilado de 100 ml, probeta, vasos de forma alta de 250 ml. y 1000 ml. (NF-B35 – 001), pipetas de precisión de 50 ml. (NF B35 – 024), papel filtro redondos de 110mm, embudo Buchner, crisoles de porcelana de 30 ml de capacidad., crisol filtrante N°2, desecador.

3.2.3. Reactivos

Los reactivos utilizados fueron: Ácido nítrico de 40 °Bmé, ácido sulfúrico, benceno, alcohol etílico de 90 °, , agua destilada.

3.2.4. Equipos

Los equipos utilizados fueron los siguientes: Taladro de pressler, Bomba de vacío, baño María, balanza analítica-Sartorius TE214S, estufa Elos Eat regulada a $103 \pm 3^{\circ}\text{C}$, mufla thermolyne 1300, Equipo de extracción soxhlet.

3.2.5. Metodología

3.2.5.1. Colección de muestra y preparación de muestra:

Las muestras de *G. Crinita* se colectaron en el Centro de Investigación y Producción Tulumayo Anexo la Divisoria - Puerto Súngaro de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (CIPTALD - UNAS). La recolección de las muestras fue de un total de 10 árboles (parte representativa del árbol 1.3 metros de altura) con la ayuda de un taladro de pressler estas muestras serán recolectadas de las plantaciones de *G. Crinita*. Se colectará un total de 55 muestras y se dejará estabilizarse a la temperatura de 22°C .

3.2.5.2. Preparación de la muestra de sustancias extraíbles con alcohol y benceno.

Se inició el procedimiento con el pesado de un papel de filtración rápida (Mp), seguido de la determinación de la fracción de masa seca (K). Posteriormente, se pesó exactamente 1 gramo de muestra (Mm) sobre el papel de filtro, registrando el peso real de la muestra (Mm). La muestra fue cuidadosamente envuelta con el papel y colocada en la cámara central del equipo Soxhlet.

En un balón de fondo redondo con cuello esmerilado, se añadieron 90 mL de una mezcla de alcohol y benceno en una proporción 1:2. A continuación, se llevó a cabo la extracción por reflujo durante un periodo de 4 a 5 horas, asegurando una frecuencia de descarga del Soxhlet de aproximadamente seis ciclos por hora.

Finalizada la extracción, se retiró la mezcla obtenida y se procedió a la eliminación del solvente mediante destilación o evaporación, según correspondiera. La muestra, aún contenida en el papel de filtro, se dejó secar a temperatura ambiente durante 5 horas. Luego, fue introducida en una estufa a 105°C hasta alcanzar peso constante.

Finalmente, la muestra fue retirada de la estufa, colocada en un desecador para su enfriamiento y, una vez equilibrada, se procedió a su pesado final (Mprs).

Para la determinación de porcentaje de extraíbles considerando el papel se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$\%E = ((M_p + M_m * K - M_{prs}) / M_m * K) \times 100 \text{----- Ecuación (1)}$$

Donde:

%E : Porcentaje de extraíbles

M_p : Masa del papel

M_m : Masa de la muestra

M_{prs} : Peso del papel con el residuo seco (sin extraíbles) K : Fracción de masa seca

3.2.5.3. Cuantificación de celulosa y lignina por el método gravimétrico.

- Cuantificación de celulosa por el método de Kurscher y Hoffner

Se utilizó como muestra la fracción de aserrín 40/60 previamente extraída con alcohol-benceno, según el método (TAPPI T 6 os-59). Se pesaron $2 \text{ g} \pm 0,1 \text{ mg}$ de muestra de madera seca y se determinó su fracción de masa constante (k). La muestra pesada fue colocada en un balón de 250 mL provisto de un refrigerante a reflujo.

En un vaso de precipitación se preparó una mezcla compuesta por 10 mL de ácido nítrico y 40 mL de alcohol, la cual fue transferida al balón que contenía la muestra. A continuación, se llevó la mezcla a ebullición suave en baño María durante una hora.

Transcurrido ese tiempo, el contenido fue filtrado al vacío utilizando un crisol filtrante N°2 previamente tarado. Luego, se añadió una nueva porción de 50 mL de mezcla nitro- alcohólica (relación 1:5 V/V) y se realizó una segunda ebullición suave durante una hora. Este proceso fue repetido una tercera vez, aplicando nuevamente la mezcla nitro-alcohólica y manteniendo la ebullición por una hora más.

Finalizado el tercer tratamiento, el residuo fue filtrado al vacío con el mismo crisol. Posteriormente, se lavó con agua desionizada y se secó en una estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta alcanzar peso constante. Se registró el peso del crisol filtrante con la celulosa (McCel).

Finalmente, el crisol con el residuo fue introducido en una mufla para llevar el contenido a cenizas, tras lo cual se anotó el peso final de las cenizas (MC).

Para determinar el porcentaje de celulosa en la muestra se aplicó la siguiente formula:

$$\% \text{ de celulos} = ((\text{McCel} - \text{Mc} - \text{MC}) / (\text{Mm} (k))) \times 100 \text{----- Ecuación (2)}$$

Donde:

McCel	: Masa del crisol con celulosa
Mc	: Masa del crisol
MC	: Masa de las cenizas
Mm	: Masa de la muestra
K	: Fracción de masa seca

- Cuantificación de lignina por el método de klason.

Se tomaron aproximadamente $5 \text{ g} \pm 0,5 \text{ mg}$ de aserrín tamizado entre las mallas 40/60, previamente extraído con alcohol-benceno. La muestra fue llevada a una estufa a $102 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta alcanzar peso constante.

Una vez seca, la muestra se introdujo en un vaso de precipitación de 250 mL, al cual se añadieron 50,0 mL del ácido (1). La mezcla fue dispersada cuidadosamente con un agitador hasta lograr una suspensión homogénea. A continuación, el vaso se enfrió colocándolo en una mezcla de agua y hielo, tras lo cual se agregaron 50,0 mL del ácido (2), incrementando la concentración del ácido hasta alcanzar el 72%. La mezcla fue dejada en reposo durante 24 horas, a una temperatura comprendida entre $5 \text{ }^\circ\text{C}$ y $21 \text{ }^\circ\text{C}$.

Transcurrido el tiempo de reposo, el contenido del vaso de 250 mL fue transferido a un vaso de 1000 mL que contenía 450 mL de agua destilada. El vaso de 250 mL fue enjuagado con 50 mL de agua adicional, la cual también fue añadida al vaso de 1000 mL. El contenido de este último se llevó a ligera ebullición durante 10 minutos, cubierto con un vidrio de reloj. Luego se dejó enfriar.

Una vez frío, se procedió a la filtración al vacío sobre un embudo Büchner provisto de dos papeles de filtro superpuestos. Tanto los papeles de filtro como el Pesafiltros que los contenía habían sido previamente tarados después de ser secados a peso constante. El residuo fue lavado abundantemente, interrumpiendo el vacío en varias ocasiones para asegurar la completa eliminación del ácido, que es fuertemente retenido por el residuo insoluble.

La eliminación del anión sulfato fue verificada mediante la prueba con cloruro de bario. Posteriormente, los papeles filtro fueron colocados en la pesa filtro y llevados a una estufa a $102 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta alcanzar masa constante (MLp). Se verificó que los papeles no presentaran ennegrecimiento, lo que indicaría un lavado deficiente. Finalmente, se incineró el residuo

(lignina) junto con los papeles de filtro en un crisol previamente tarado, y se determinó el

peso de las cenizas resultantes (MC).

Siendo Mm (5 g) la masa en gramos de la muestra seca previamente extraída en alcohol- benceno, el contenido de insoluble en ácido sulfúrico al 72% fue calculado en función de este valor:

$$\text{Lignina insoluble (\%)} = ((MLp - Mp - Mc)) / (Mm (k)) \times 100 \text{ ----- Ecuación (3)}$$

K : Fracción de masa seca

MLp : La masa constante en gramos, del insoluble bruto seco (lignina bruta con cenizas y papel).

Mp : Masa del papel

Mm : Masa de la muestra

MC : la masa de cenizas, expresada en gramos.

Asimismo, para obtener una relación precisa con respecto a la muestra original, se consideró la cantidad de extracto eliminada durante la extracción con alcohol- benceno, determinada previamente por evaporación del solvente.

3.2.6. Tipo de investigación

La presente investigación corresponde al tipo descriptivo, ya que se enfoca en caracterizar y cuantificar los componentes químicos de la biomasa lignocelulósica de *Guazuma crinita*, específicamente la celulosa y la lignina, sin manipular las variables estudiadas.

3.2.7. Variable de estudio

- Variable: Cantidad de celulosa y cantidad de lignina.

3.2.8. Análisis estadístico

El análisis estadístico del presente trabajo de investigación es de tipo descriptivo, mediante el cual se procesaron y resumieron los datos obtenidos para su interpretación. Se emplearon herramientas gráficas y numéricas que permitieron visualizar las tendencias y variaciones de las variables evaluadas. En particular, se utilizaron gráficos de líneas con marcadores para representar la relación entre las variables de diámetro, altura, contenido de celulosa y lignina, facilitando la identificación de patrones y comportamientos dentro de la muestra analizad.

IV.RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Cuantificación la cantidad de celulosa por el método de Kurscher y Hoffner en *Guazuma crinita* C.

En la figura 1 se presenta la cuantificación de celulosa en función del diámetro de los árboles, utilizando el método de Kurscher y Hoffner. Esta información se detalla en la tabla 2 (anexo). El gráfico ilustra la variación en el contenido de celulosa a medida que cambia el diámetro de los árboles de *G. crinita* “Bolaina Blanca”.

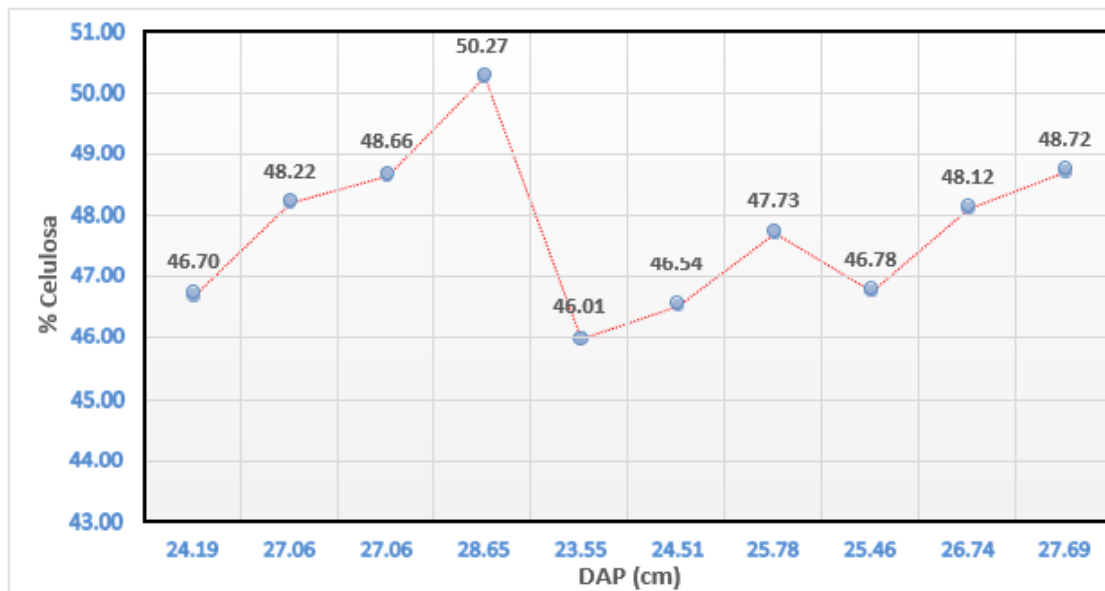


Figura 3. Variación de la celulosa en función al DAP de *G. crinita*.

Valor máximo: 50.27 %

Valor mínimo: 46.01 %

Coefficiente de variación (CV): 2.70 %

Los resultados muestran una relación entre el DAP del árbol y el contenido de celulosa, indicando que la variación en el diámetro puede afectar significativamente la cantidad de celulosa disponible. El porcentaje de celulosa varía entre 46.0066% y 50.2706% en función del diámetro de los árboles.

Específicamente, se observa una tendencia general en la que los árboles con diámetros mayores tienden a presentar concentraciones de celulosa más altas. Por ejemplo, el árbol A4, con un diámetro de 28.65 cm, muestra el mayor porcentaje de celulosa, alcanzando el 50.2706%. En contraste, el árbol A5, con un diámetro de 23.55 cm, tiene el porcentaje más bajo de celulosa, que es del 46.0066%.

Este patrón sugiere que el diámetro del árbol influye en la cantidad de celulosa, y puede ser un factor importante para considerar en la evaluación del potencial de la Bolaina Blanca para aplicaciones industriales que requieren altos contenidos de celulosa.

Los resultados de la cuantificación de celulosa en relación con la altura de los árboles de *G. crinita*, se presentan en la Tabla 3 (anexo). En la figura 2 se muestra el porcentaje de celulosa (% Celulosa) para cada árbol en función de su altura.

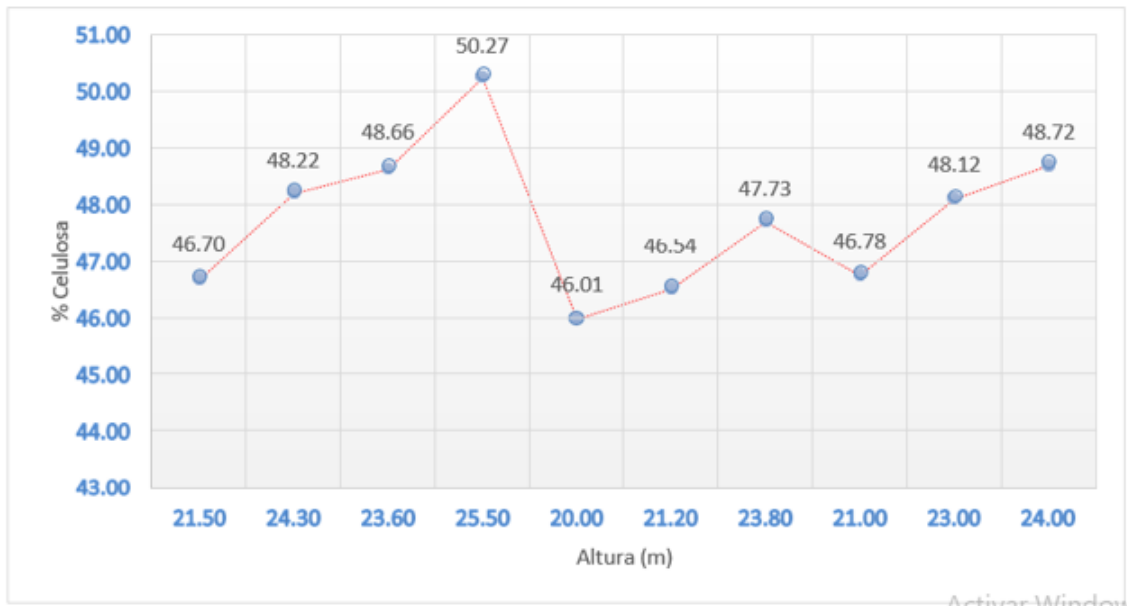


Figura 4. Variación de la celulosa en función a la altura de *G. crinita*.

Valor máximo: 50.27 %

Valor mínimo: 46.01 %

Coefficiente de variación (CV): 2.70 %

Los datos obtenidos muestran que el porcentaje de celulosa varía en función de la altura de los árboles de Bolaina Blanca. Los valores de % celulosa oscilan entre 46.0066% y 50.2706%, con un promedio general de aproximadamente 47.7749 %.

Se observa que, en general, los árboles de mayor altura tienden a tener un mayor porcentaje de celulosa. En particular, el árbol más alto (A4) presenta el porcentaje más alto de celulosa (50.2706%), mientras que el árbol de menor altura (A5) muestra el porcentaje más bajo (46.0066%).

A pesar de la tendencia general se observa una variabilidad que árboles más altos contienen más celulosa, la variabilidad entre los árboles de alturas similares no es significativa.

Por ejemplo, los árboles con alturas entre 20.00 m y 21.50 m muestran porcentajes de

celulosa muy cercanos, que van de 46.0066% a 46.7772%.

Con relación a lo expuesto, la investigación realizada por Malpartida (2010), titulada "Determinación de la composición química de la especie bolaina blanca (*Guazuma crinita Mart.*)", determinó el contenido de celulosa en función del diámetro y la altura del árbol, empleando el método de Kurscher y Hoffner, obteniendo valores que fluctuaron entre 45.950% y 50.092%.

Por su parte, Tribot et al. (2018) evaluaron las propiedades químicas de la madera de Eucalyptus y su rendimiento en pulpa, con el propósito de optimizar su aprovechamiento en la industria papelera, obteniendo valores de celulosa entre 45% y 52%. Del mismo modo, Fonseca (2006), en su investigación sobre la composición química de la madera de Pino Candelillo (*Pinus maximinoi* H. E. Moore), reportó un contenido de celulosa que osciló entre 46% y 59%, evidenciando una variabilidad dentro del rango observado en estudios previos.

Además, el Instituto de Investigación y Desarrollo de Productos Forestales (2005) realizó un análisis detallado de la composición química de la madera y la corteza de diez especies maderables, obteniendo los siguientes valores de celulosa: Apeiba membranacea (Maquizapa), 44.33%; Apuleia leiocarpa (Anacaspi), 46.27%; Brosimum utile (Panguana), 51.35%; Croton matourensis (Aucatadijo), 55.66%; Jacaranda copaia (Huamanzamana), 49.51%; Matisia cordata (Sapote), 55.62%; Septotheca tessmannii (Utucuro), 40.68%; Schizolobium parahyba (Pashaco), 57.01%; Simarouba amara (Marupa), 52.72%; y Terminalia oblonga (Yacushapana), 53.88%.

De acuerdo con lo señalado por Pettersen (1984), en su investigación titulada *The Chemical Composition of Wood*, señala que un mayor contenido de celulosa generalmente indica un crecimiento sano y robusto del árbol. Este hallazgo es relevante, ya que la celulosa constituye un componente estructural esencial en las paredes celulares de la madera, contribuyendo significativamente a su resistencia mecánica y estabilidad. Este resultado resulta relevante, dado que la celulosa cumple una función estructural fundamental en las paredes celulares de la madera, aportando de manera directa a su resistencia mecánica y a la estabilidad del material. En este sentido, el incremento del diámetro a la altura del pecho (DAP) puede interpretarse como un indicador indirecto de la acumulación de celulosa y otros compuestos estructurales, como la hemicelulosa y la lignina, a medida que el árbol madura. Estos resultados se corresponden con los obtenidos en el presente estudio, donde se observa una correlación positiva entre el DAP y la calidad estructural del tejido leñoso. Este aspecto resulta crucial al momento de evaluar la calidad de la madera para distintos usos industriales,

como la producción de papel o materiales de construcción, donde un alto contenido de celulosa es especialmente valorado.

A partir de estos antecedentes y de los resultados obtenidos en la investigación desarrollada, se concluye que no existen diferencias significativas en los valores de celulosa entre las distintas especies analizadas, dado que los porcentajes se mantienen dentro de un rango relativamente homogéneo. Sin embargo, las variaciones observadas podrían atribuirse a factores como la edad del árbol, las condiciones edafoclimáticas, el manejo silvicultural, así como la metodología utilizada para la cuantificación de la celulosa. En este sentido, futuras investigaciones podrían enfocarse en la influencia de estos factores sobre la variabilidad de la composición química de la madera, permitiendo una mejor caracterización y aprovechamiento industrial de los recursos forestales.

4.2. Cuantificación la cantidad de lignina por el método de Klason (ácido sulfúrico) en *Guazuma crinita* C.

Los resultados de la cuantificación de la lignina en función del diámetro de los árboles de *G. crinita*. Esta información se detalla en la tabla 4 (anexo).

En la figura 3 se muestra el porcentaje de Lignina (% lignina) para cada árbol en función al diámetro.

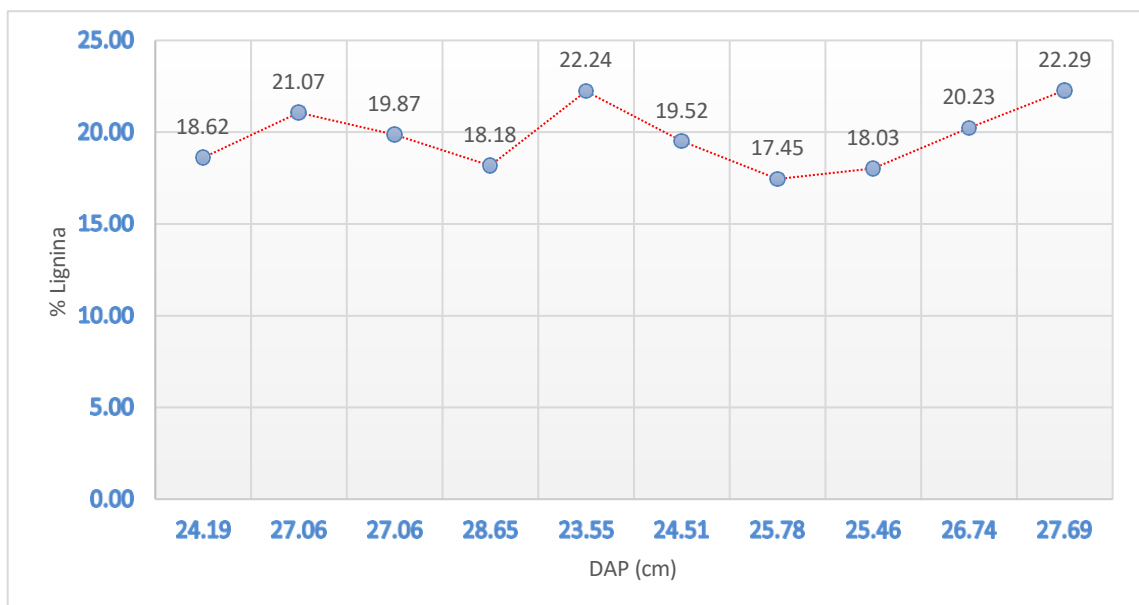


Figura 5. Variación de la Lignina en función al DAP de *G. crinita*.

Valor mínimo: 17.45 %

Coefficiente de variación (CV): 8.3 %

El porcentaje de lignina varía entre un mínimo de 17.4503% (árbol A7) y un máximo de 22.2857% (árbol A10), mostrando una variabilidad moderada en la cantidad de lignina presente en los árboles.

El diámetro de los árboles oscila entre 23.55 cm (árbol A5) y 28.65 cm (árbol A4). Los árboles con diámetros mayores no necesariamente presentan los niveles más altos de lignina, lo que sugiere que la relación entre estas variables no es lineal.

No se identifica una correlación directa evidente entre el diámetro y el contenido de lignina. Por ejemplo, el árbol con el mayor diámetro (A4, 28.65 cm) tiene un contenido de lignina de 18.1818%, inferior al de otros árboles con diámetros menores, como el A10 (22.2857 % de lignina con un diámetro de 27.69 cm).

De manera similar, el árbol con el menor porcentaje de lignina (A7, 17.4503%) no tiene el menor diámetro, ya que este es de 25.78 cm, lo que refuerza la idea de que el contenido de lignina no sigue un patrón claramente asociado al tamaño del árbol.

En la figura 4 se muestran los resultados de la cuantificación de la lignina en relación con la altura de los árboles de *G. crinita*. Esta información se detalla en la tabla 5 (anexo). El porcentaje de lignina en los árboles varía entre un mínimo de 17.4503% (árbol A7) y un máximo de 22.2857% (árbol A10), lo que indica una variabilidad moderada en el contenido de lignina entre los diferentes ejemplares.

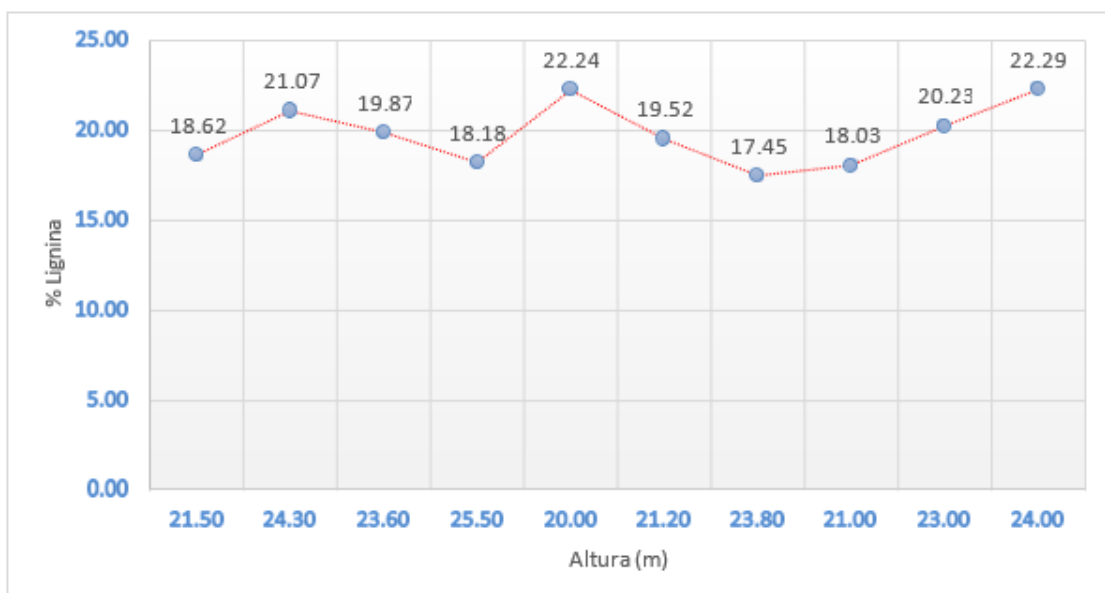


Figura 6. Variación de la lignina en función a la altura de *G. crinita*.

Valor máximo: 22.29

Valor mínimo: 17.45 %

Coefficiente de variación (CV): 8.3 %

La altura de los árboles fluctúa entre 20.00 metros (árbol A5) y 25.50 metros (árbol A4), con una diferencia de 5.5 metros entre el árbol más bajo y el más alto. No obstante, las variaciones en altura no parecen seguir un patrón claro en relación con el contenido de lignina.

No se observa una correlación directa entre la altura del árbol y su contenido de lignina. Por ejemplo, el árbol más alto (A4, 25.50 metros) tiene un porcentaje de lignina de 18.18%, que es menor que el de otros árboles más bajos, como el A10 (altura de 24.00 metros, pero con 22.2857% de lignina, el valor más alto).

Del mismo modo, el árbol con el menor porcentaje de lignina (A7, 17.4503%) tiene una altura relativamente alta (23.80 metros), mientras que árboles con alturas similares, como el A9 (23.00 metros), presentan un contenido de lignina más elevado (20.2332%).

Los resultados obtenidos en la presente investigación presentan una tendencia similar a los reportados por Malpartida (2010), quien en su estudio titulado "Determinación de la composición química de la especie bolaina blanca (*Guazuma crinita Mart.*)" evaluó el contenido de lignina en función del diámetro y la altura del fuste, aplicando el método de Kurscher y Hoffner, con valores que oscilaron entre 18.441% y 23.041%. Dichos hallazgos evidencian la influencia de los parámetros morfológicos en la composición química de la madera, lo que concuerda con la tendencia observada en la presente investigación.

Asimismo, el estudio de Tribot A. et al. (2018) sobre las propiedades químicas de la madera de *Eucalyptus* y su rendimiento en pulpa determinó que el contenido de lignina se encuentra en un rango de 25-30%, resultado que se encuentra dentro del intervalo reportado en estudios similares, confirmando la variabilidad de la lignina en función de la especie y su destinación industrial. Por su parte, Fonseca (2006), en su investigación sobre la composición química de la madera de *Pinus maximinoi* H.E. Moore, reportó valores de lignina entre 22% y 34%, lo que sugiere que la concentración de este polímero estructural puede estar condicionada por factores genéticos y ambientales, así como por la edad del árbol y su tasa de crecimiento.

En el mismo sentido, el Instituto de Investigación y Desarrollo de Productos Forestales (2005) realizó una caracterización química de la madera y la corteza de diez especies maderables, encontrando variaciones significativas en el contenido de lignina, con

valores que fluctuaron entre 20.76% en *Croton matourensis* (Aucatadijo) y 36.53% en *Brosimum utile* (Panguana). Entre las demás especies analizadas, *Apeiba membranacea* (Maquizapa) presentó un contenido de lignina del 31.46%, *Apuleia leiocarpa* (Anacaspi) 36.26%, *Jacaranda copaia* (Huamanzamana) 35.08%, *Matisia cordata* (Sapote) 29.60%, *Septotheca tessmannii* (Utucuro) 26.60%, *Schizolobium parahyba* (Pashaco) 28.43%, *Simarouba amara* (Marupa) 30.78% y *Terminalia oblonga* (Yacushapana) 34.12%. Estos resultados refuerzan la idea de que la composición química de la madera está fuertemente influenciada por la especie y las condiciones ambientales en las que se desarrolla, afectando sus propiedades estructurales y su potencial uso industrial.

Los porcentajes de celulosa (46.00% – 50.27%) y lignina (17.45% – 22.29%) obtenidos en *Guazuma crinita* (Bolaina Blanca) permiten afirmar que la especie presenta una composición química compatible con los rangos requeridos para su aplicación en la industria. En el caso de la celulosa, los valores registrados evidencian su pertinencia para la fabricación de pulpa y papel, ya que aseguran un nivel de rendimiento adecuado y fibras con buenas propiedades mecánicas. De igual manera, la concentración de este polímero refuerza su potencial aprovechamiento en la producción de biocombustibles lignocelulósicos, en particular bioetanol, lo que posiciona a la especie como una alternativa renovable en el sector energético.

En relación con la lignina, los resultados se sitúan dentro de los rangos comúnmente reportados en otras especies forestales, lo cual respalda su empleo en la generación de energía y en la elaboración de compuestos industriales como resinas, adhesivos y materiales poliméricos. Asimismo, estos niveles de lignina abren nuevas perspectivas para su valorización en la obtención de bioproductos innovadores, entre ellos bioplásticos y fibras de carbono, con potencial en el desarrollo de materiales sostenibles.

De manera global, los hallazgos obtenidos en esta investigación indican que *G. crinita* representa un recurso forestal con alto potencial técnico e industrial, al presentar una composición química que posibilita tanto su incorporación en industrias consolidadas como su aprovechamiento en áreas emergentes vinculadas a la bioeconomía.

En relación con la cuantificación de celulosa, los valores obtenidos en el presente estudio (46.0066% – 50.2706%) se encuentran dentro del rango reportado por Malpartida (2010) (45.950% – 50.092%) y coinciden con los resultados de Tribot et al. (2018), Fonseca (2006) y el Instituto de Investigación y Desarrollo de Productos Forestales (2005), quienes evidencian que el contenido de celulosa en especies maderables fluctúa generalmente entre 44% y 59%.

Por lo tanto, los resultados de celulosa de la especie *Guazuma crinita* “Bolaina Blanca” son aceptados, ya que se ajustan a la tendencia reportada en la literatura científica y confirman la influencia positiva del diámetro en la acumulación de este compuesto estructural.

En cuanto a la cuantificación de lignina, los valores determinados en este estudio (17.4503% – 22.2857%) muestran correspondencia con lo reportado por Malpartida (2010) (18.441% – 23.041%), ubicándose además dentro del intervalo observado en especies estudiadas por otros autores, aunque con valores ligeramente inferiores a los reportados en *Eucalyptus* (Tribot et al., 2018) y *Pinus maximinoi* (Fonseca, 2006). En consecuencia, los resultados de lignina también se aceptan, puesto que se encuentran respaldados por investigaciones previas, aun cuando no se observa una correlación directa con los parámetros morfológicos (diámetro y altura), lo que coincide con la variabilidad señalada en los antecedentes revisados.

V. CONCLUSIONES

- La cuantificación de celulosa mediante el método de Kurscher y Hoffner evidenció contenidos entre 46.0066% y 50.2706%. Se determinó una relación directa entre el diámetro del fuste y el contenido de celulosa, confirmando que los árboles de mayor grosor presentan una acumulación más alta de este compuesto. En relación con la altura, aunque se registraron valores ligeramente superiores en árboles más altos, no se estableció una correlación significativa. Estos resultados demuestran que el diámetro constituye un factor determinante en la composición química de la madera y en su potencial de aprovechamiento en la industria papelera y en la generación de bioproductos.
- La cuantificación de lignina mediante el método de Klason arrojó valores comprendidos entre 17.4503% y 22.2857%. A diferencia de la celulosa, no se identificó una correlación definida entre el contenido de lignina y el diámetro ni con la altura de los árboles, evidenciándose variaciones incluso en muestras de tamaño similar. Esta dispersión indica que la distribución de lignina en la madera responde principalmente a factores genéticos y estructurales, más que al crecimiento dimensional del árbol. En consecuencia, resulta imprescindible incorporar variables adicionales como la edad del árbol y las condiciones edafoclimáticas para explicar su influencia sobre la resistencia y la aplicabilidad de la madera en distintos sectores industriales.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Se sugiere investigar métodos de manejo silvícola y mejoramiento genético que permitan incrementar la producción de celulosa en *G. crinita*, con el fin de optimizar su uso en la industria papelera y en la producción de bioproductos.
- Realizar estudios comparativos con otras especies maderables de rápido crecimiento utilizadas en la industria, como *Eucalyptus* spp. y *Pinus* spp., para determinar la competitividad de la Bolaina Blanca en términos de producción de celulosa y rendimiento industrial.
- Incorporar tecnologías como la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) para una evaluación más precisa y rápida de la composición química de la madera.
- Uniformizar la toma de muestras en plantaciones de *G. crinita*, estableciendo protocolos estandarizados que consideren el diámetro, la altura y la edad de los árboles, con el fin de reducir la variabilidad en los resultados y garantizar datos comparables y representativos en estudios futuros.

VII. REFERENCIAS

- Berrocal A. et al (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. *Kurú: Revista Forestal (Costa Rica)*, 1(1).
- Boerjan, W., Ralph, J., & Baucher, M. (2003). Lignin biosynthesis. *Annual Review of Plant Biology*, 54, 519–546.
<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.54.031902.134938>
- Boerjan, W., Ralph, J., & Baucher, M. (2003). Lignin biosynthesis. *Annual Review of Plant Biology*, 54, 519–546.
- Bonawitz, N. D., & Chapple, C. (2010). The genetics of lignin biosynthesis: connecting genotype to phenotype. *Annual Review of Genetics*, 44, 337–363.
- Budjiashvil, C. (2019) uso de celulosas y derivados de la madera en la construcción. *Universitat Politècnica de Catalunya*.
<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/335410>
- Cruz Ambicho, M. A. (2018). Morfometría, germinación y estimación de constantes de emergencia en semillas de bolaina blanca (*Guazuma crinita* C. Mart.) para la producción de plantones en Tingo María [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva].
- Donaldson, L. (2001). Lignification and lignin topochemistry—an ultrastructural view. *Phytochemistry*, 57(6), 859–873.
- Donaldson, L. (2008). Microfibril angle: measurement, variation and relationships – a review. *IAWA Journal*, 29(4), 345–386.
- Ebringerová, A., & Heinze, T. (2000). Xylan and xylan derivatives—biopolymers with valuable properties, 1. Naturally occurring xylans structures, isolation procedures and properties. *Macromolecular Rapid Communications*, 21(9), 542- 556.
- El Mansouri, N.-E. (2006). Despolimerización de lignina para su aprovechamiento en adhesivos para producir tableros de partículas [Tesis doctoral, Universitat Rovira i Virgili]. *Universitat Rovira i Virgili*. ISBN: 978-84-690-7626-2.
- Flores, Y. (2007). Bolaina blanca (*Guazuma crinita* mart.). INIA. Estación Experimental Agraria Pucallpa - Ucayali, 2–3.

<http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/135>

- Flores-Córdova, M., Cruz-Cárdenas, G., & Vílchez-Alvarado, B. (2019). Caracterización química de maderas tropicales peruanas. *Revista Forestal del Perú*, 44(2), 45– 58.
- Fonseca Maldonado, M. R. (2006). Determinación de la composición química de la madera de pino candelillo (*Pinus maximinoi* H. E. Moore) procedente de la finca Río Frío, Tactic, Alta Verapaz.[Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería].
- HIRATA, T. Y NISHIMOTO, T. 1991. DSC, DTA and TG of Cellulose Untreated and Treated With Flame Retardant, *Thermochimica*. Amsterdam.
- Instituto de Investigación y Desarrollo de Productos Forestales. (2005). Estudio de la composición química de la madera de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales en Ucayali, Perú. Informe técnico, ITTO (International Tropical Timber Organization).
- J. (2021). A review on trends in lignin extraction and valorization of lignocellulosic biomass for energy applications.
- Javier Astete, R. E. (2021). Validación de la metodología para la determinación de lignina, celulosa y hemicelulosa por espectroscopía infrarroja en árboles [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina].
- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H.-P., & Bohn, A. (2005). Cellulose: Fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angewandte Chemie International Edition*, 44(22), 3358–3393.
- Kollmann, F. F. P., Côté, W. A., & Geimer, R. L. (1968). Chemical composition of wood.
- Li, X., Sun, C., Zhou, B., & He, Y. (2015). Determination of Hemicellulose, Cellulose and Lignin in Moso Bamboo by Near Infrared Spectroscopy. *Scientific Reports*,5(1). doi:10.1038/srep17210
- Li, X., Weng, J. K., & Chapple, C. (2008). Improvement of biomass through lignin modification. *Plant Journal*, 54(4), 569–581.
- Loaiza de la Pava, J. K. (2016). Evaluación del contenido de amilosa en arroz mediante espectroscopia de infrarrojo cercano-NIRS [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia.

- Lobato-Peralta, D. R., Hernández-Mendoza, H., González-Peña, M. M., & Ramírez-Salgado, Malpartida C. (2010) Determinación de la composición química de la especie bolaina blanca (*Guazuma Crinita mart.*) procedente del sector cadena- Tingo María [Tesis título profesional, Universidad Nacional Agraria de la Selva].
- Monteoliva S. (2009). La madera: propiedades y productos forestales. https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/19010/mod_resource/content/1/Clase%201%20Xilo.%20Propiedades%20madera.pdf
- Moon, R. J., Martini, A., Nairn, J., Simonsen, J., & Youngblood, J. (2011). Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. *Chemical Society Reviews*, 40(7), 3941–3994.
- Niebla, A., García, M., & Peña, R. (2015). Determinación de celulosa en residuos agrícolas mediante métodos gravimétricos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 16(1), 10–16.
- Nishiyama, Y., Langan, P., & Chanzy, H. (2002). Crystal structure and hydrogen-bonding system in cellulose I β from synchrotron X-ray and neutron fiber diffraction. *Journal of the American Chemical Society*, 124(31), 9074–9082.
- Palomino Yamamoto, J., & Barra Castro, M. (2003). Especies forestales nativas con potencial para reforestación en la provincia de Oxapampa y fichas técnicas de las especies de mayor prioridad. PRONATURALEZA - The Nature Conservancy (TNC).
- Pauly, M., & Keegstra, K. (2008). Cell-wall carbohydrates and their modification as a resource for biofuels. *The Plant Journal*, 54(4), 559-568.
- Peng, F., Ren, J. L., Xu, F., Bian, J., Peng, P., & Sun, R. C. (2012). Fractionation and characterization of hemicelluloses from different botanical origins by alkali extraction. *Carbohydrate Polymers*, 87(1), 96-101.
- Petterson, R. C. (1984). The chemical composition of wood. En R. M. Rowell (Ed.), *The chemistry of solid wood* (pp. 57-126). American Chemical Society.
<https://doi.org/10.1021/ba-1984-0207.ch002>
- Principles of Wood Science and Technology* (pp. 56-75). Springer-Verlag.
- Ragauskas, A. J., Beckham, G. T., Biddy, M. J., Chandra, R., Chen, F., Davis, M. F., ... & Wyman, C. E. (2014). Lignin valorization: improving lignin processing in the biorefinery. *Science*, 344(6185), 1246843.

- Ralph, J., Lundquist, K., Brunow, G., Lu, F., Kim, H., Schatz, P. F., ... & Boerjan, W. (2004). Lignins: natural polymers from oxidative coupling of 4- hydroxyphenylpropanoids. *Phytochemistry Reviews*, 3(1-2), 29–60.
- Reynel C.; Pennington T.; Penington T. D.; Flores C.; Daza A., 2003. Árboles Útiles de la Amazonía Peruana y sus Usos.509p
- Rodríguez, J. L., Pérez, H., & Tineo, D. (2021). Evaluación química de residuos lignocelulósicos en especies forestales tropicales. *Bosque Nativo*, 28(3), 112– 120.
- Rosenau, T., Potthast, A., Sixta, H., & Kosma, P. (2001). The chemistry of side reactions and byproduct formation in the system NMMO/cellulose (Lyocell process). *Progress in Polymer Science*, 26(9), 1763–1837.
- Ruiz, (2018). Optimización del proceso etanosolv para la obtención de celulosa biomásica y valoración de diferentes rutas de acetilación del material n [Tesis de Doctorado, Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.].<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/2243/1/Tesis%20Karla%20Ruiz%20Culty.pdf>
- S. Jin, H. Chen (2007). Análisis infrarrojo cercano de la composición química de la paja de arroz, Laboratorio Nacional Clave de Ingeniería Bioquímica, Instituto de Ingeniería de Procesos-China.
- Sakurada, I., Nukushina, Y., & Ito, T. (1962). Experimental determination of the elastic modulus of crystalline regions in oriented polymers. *Journal of Polymer Science*, 57(165), 651–660.
- Scheller, H. V., & Ulvskov, P. (2010). Hemicelluloses. *Annual Review of Plant Biology*, 61, 263–289.
- Somerville, C. (2006). Cellulose synthesis in higher plants. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 22, 53–78.
- Terashima, N., Fukushima, K., He, L. F., & Takabe, K. (2009). Comprehensive model of the lignified plant cell wall. *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 38(2), 81–86.
- Theander, O., & Westerlund, E. (1986). Determination of lignin in plant materials using acid hydrolysis (Klason method). *Carbohydrate Research*, 145, 105–112.
[https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(00\)90197-1](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(00)90197-1)

- Tribot, A. et al (2018). Wood-lignin: Supply, extraction processes and use as bio based material, *European Polymer Journal*(2019),doi:
<https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.01.007>
- Vallejos, M. E., Felissia, F. E., & Area, M. C. (2012). Biorefinería de materiales lignocelulósicos: oportunidades tecnológicas y ambientales. *BioResources*, 7(4), 4972–4990.
- Vanholme, R., Demedts, B., Morreel, K., Ralph, J., & Boerjan, W. (2010). Lignin biosynthesis and structure. *Plant Physiology*, 153(3), 895–905.
- Vidaurre, H. (1992). Silvicultura y manejo de Guazuma Crinita Mart. Instituto nacional de investigación Agraria y Agroindustrial, 1(1).
http://200.123.25.5/bitstream/20.500.12955/357/1/Silvicultura_y_manejo_de_Guazuma.pdf
- Watkins, D., Nuruddin, M., Hosur, M., Tcherbi-Narteh, A., & Jeelani, S. (2015). Extraction and characterization of lignin from different biomass resources. *Journal of Materials Research and Technology*, 4(1), 26-32.}
- Zakzeski, J., Bruijninx, P. C., Jongerius, A. L., & Weckhuysen, B. M. (2010). The catalytic valorization of lignin for the production of renewable chemicals. *Chemical Reviews*, 110(6), 3552–3599.
- Zhang, N., Li, S., Xiong, L., Hong, Y., & Chen, Y. (2015). Cellulose-hemicellulose interaction in wood secondary cell-wall. *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 23(8), 085010. doi:10.1088/0965-0393/23/8/085010.

ANEXO

Tabla 2. Porcentaje de celulosa en relación al diámetro a la altura del pecho del individuo evaluado.

N.º Árbol	% Celulosa	DAP (cm)
A1	46.7049	24.19
A2	48.2237	27.06
A3	48.6563	27.06
A4	50.2706	28.65
A5	46.0066	23.55
A6	46.5382	24.51
A7	47.7263	25.78
A8	46.7772	25.46
A9	48.1238	26.74
A10	48.7218	27.69

Tabla 3. Porcentaje de celulosa en relación a la altura total del individuo evaluado.

N.º Árbol	% Celulosa	Altura (m)
A1	46.7049	21.5
A2	48.2237	24.3
A3	48.6563	23.6
A4	50.2706	25.5
A5	46.0066	20
A6	46.5382	21.2
A7	47.7263	23.8
A8	46.7772	21
A9	48.1238	23
A10	48.7218	24

Tabla 4. Porcentaje de lignina en relación al diámetro a la altura del pecho del individuo evaluado.

N.º Árbol	% Lignina	DAP (cm)
A1	18.617	24.19
A2	21.0682	27.06
A3	19.8659	27.06
A4	18.1818	28.65
A5	22.2358	23.55
A6	19.5161	24.51
A7	17.4503	25.78
A8	18.0307	25.46
A9	20.2332	26.74
A10	22.2857	27.69

Tabla 5. Porcentaje de lignina en relación a la altura total del individuo evaluado

N.º Árbol	% Lignina	Altura (m)
A1	18.617	21.5
A2	21.0682	24.3
A3	19.8659	23.6
A4	18.1818	25.5
A5	22.2358	20
A6	19.5161	21.2
A7	17.4503	23.8
A8	18.0307	21
A9	20.2332	23
A10	22.2857	24



Figura 7. Perforación del árbol de Guazuma Crinita con el taladro de Pressler en la representativa del árbol a 1.3 metros de altura.



Figura 8. Recolección de la muestra con la ayuda del taladro de Pressler



Figura 9. Total, de muestras recolectadas de Guazuma Crinita “Bolaina Blanca”



Figura 10. Pesado de las muestras recolectada para la determinación de fracción de masa seca (k).



Figura 11. Extracción de la muestra por reflujo en alcohol y benceno.



Figura 12. Muestra en la cámara central del equipo de soxhlet.



Figura 13. Preparación de la concentración de los ácidos para la determinación de celulosa y lignina.



Figura 14. Trituración de muestras secas con la ayuda de un mortero.



Figura 15. Preparación de 10 ml del ácido nítrico y 40 ml de alcohol para agregar a un balón de 250 ml con la muestra para la determinación de celulosa.



Figura 16. Ebullición de la muestra con ácido nítrico y alcohol en el balón de 250 ml para la determinación de celulosa



Figura 17. Filtración al vacío con la ayuda de un crisol filtrante para la determinación de celulosa.



Figura 18. Secado del crisol filtrante con la celulosa en la estufa.



Figura 19. Crisol con la celulosa en la mufla.



Figura 20. Enfriamiento de mezcla homogénea (muestra seca + ácido sulfúrico(H_2SO_4) al 72 %) en agua y hielo para la determinación de lignina



Figura 21. Ebullición de 10 minutos del contenido para la determinación de lignina.



Figura 22. Filtración del contenido de lignina sobre un embudo Buchner provisto de dos filtros superpuestos



Figura 23. Incineración de la lignina con el papel filtro.