

**EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MADERA  
PRENSADA OBTENIDA A TRAVÉS DEL APROVECHAMIENTO DE LAS  
PODAS DEL ÁRBOL OITI “*LICANIA TOMENTOSA*” REALIZADAS EN LA  
ZONA URBANA DE AGUACHICA-CESAR**

**JUAN JOSÉ CASTRILLÓN GÁLVEZ  
KEVIN YESID MARTINEZ SANCHEZ**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR-SECCIONAL AGUACHICA  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGROINDUSTRIALES  
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
AGUACHICA CESAR  
2025**

**EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MADERA  
PRENSADA OBTENIDA A TRAVÉS DEL APROVECHAMIENTO DE LAS  
PODAS DEL ÁRBOL OITI “*LICANIA TOMENTOSA*” REALIZADAS EN LA  
ZONA URBANA DE AGUACHICA-CESAR**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO  
AGROINDUSTRIAL**

**JUAN JOSÉ CASTRILLÓN GÁLVEZ  
KEVIN YESID MARTINEZ SANCHEZ**

**DIRECTOR  
Mg. FABIAN ARMANDO BARBOSA PAEZ**

**CO DIRECTORA  
Mg. YINA PAOLA ORTEGA SANTIAGO**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN  
Desarrollo y aplicación de nuevos materiales y productos para la industria  
con criterios de sostenibilidad**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR–SECCIONAL AGUACHICA  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGROINDUSTRIALES  
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
AGUACHICA CESAR  
2025**

## **NOTA DE APROBACIÓN**

El trabajo de grado de los estudiantes **Juan José Castrillón Gálvez** y **Kevin Yesid Martínez Sánchez** titulado **Evaluación de propiedades físico-mecánicas de la madera prensada obtenida a través del aprovechamiento de las podas del árbol oiti “*Licania tomentosa*” realizadas en la zona urbana de Aguachica-Cesar**, ha sido aprobado por los jurados, quien no se hace responsable de su contenido, pero lo ha encontrado correcto en su calidad y en su forma de presentación por lo que en fe de lo cual firman.

---

**HECTOR CAMILO ALVERNIA VERJEL  
EVALUADOR 1**

---

**JOSE FRANCISCO RIVERA DIAZ  
EVALUADOR 2**

---

**FABIAN ARMANDO BARBOSA PAEZ  
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO**

---

**YINA PAOLA ORTEGA SANTIAGO  
CODIRECTOR DEL TRABAJO DE  
GRADO**

## DEDICATORIA

Primeramente, dedicamos este logro a Dios, fuente de sabiduría, fortaleza y guía constante. Sin Su gracia y misericordia, este camino no habría sido posible. A Él, todo el honor y la gloria por permitirnos culminar esta etapa tan significativa de nuestras vidas. En cada paso, en cada duda, en cada caída y cada levantada, sentimos Su presencia guiando nuestro propósito.

A nuestros padres y hermanos, quienes con amor, paciencia y sacrificio nos han acompañado desde el inicio de este recorrido. Gracias por creer en nosotros incluso cuando nosotros dudábamos, por sostenernos cuando las fuerzas flaqueaban, y por ser ese refugio incondicional al que siempre pudimos volver. Su apoyo ha sido un pilar fundamental, y este logro es también el reflejo de su esfuerzo silencioso y su amor inquebrantable.

Y, finalmente, nos dedicamos esta tesis a nosotros mismos. Porque sabemos cuánto costó llegar hasta aquí. Porque detrás de cada página escrita hubo noches sin dormir, cansancio acumulado, desafíos superados y muchas renunciadas. Hoy celebramos no solo un título, sino también la perseverancia, la madurez y la satisfacción de haber alcanzado una meta soñada. Que este logro sea testimonio de que todo es posible cuando se trabaja con entrega, fe y corazón.

## **AGRADEIMIENTOS**

A lo largo de este camino, muchas personas formaron parte de nuestra historia y contribuyeron, de una u otra manera, a que hoy podamos ver materializado este gran logro. A todos ellos, nuestro más sincero y profundo agradecimiento.

A Dios, por darnos la vida, la sabiduría y la fortaleza necesarias para seguir adelante, incluso cuando las circunstancias no eran fáciles. Gracias por cada oportunidad, por cada prueba superada y por guiarnos con amor en cada etapa del proceso.

A nuestras familias, especialmente a nuestros padres y hermanos, quienes han sido nuestro soporte incondicional. Gracias por su amor, por su fe en nosotros y por brindarnos su apoyo emocional, moral y muchas veces económico, sin el cual este camino habría sido mucho más difícil. Este logro también es de ustedes.

A nuestros docentes y asesores, quienes compartieron sus conocimientos, experiencias y orientación con paciencia y dedicación. Gracias por su tiempo, por sus enseñanzas y por desafiarnos a crecer profesional y personalmente.

A nuestros compañeros y amigos, por estar presentes en los momentos de dificultad y celebración. Gracias por cada palabra de aliento, por cada tarde de estudio compartido y por ser parte de esta etapa tan importante.

Y a nosotros mismos, por no rendirnos, por confiar en nuestras capacidades, y por mantenernos firmes ante los desafíos. Este trabajo es fruto del esfuerzo conjunto, del compromiso, y del deseo de superación constante.

A todos: gracias de corazón.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>LISTA DE ILUSTRACIONES .....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>IX</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>X</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XII</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>15</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>17</b>
<b>4. OBJETIVOS.....</b>	<b>19</b>
<b>Objetivo general.....</b>	<b>19</b>
<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>19</b>
<b>5. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>20</b>
<b>6. MARCO LEGAL.....</b>	<b>24</b>
<b>7. ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>27</b>
<b>8. METODOLOGÍA .....</b>	<b>29</b>
8.1 Enfoque de la investigación.....	29
8.2 Alcance de la investigación.....	29
8.3 Diseño de investigación.....	29
8.4 Población y muestra .....	30
8.5 Hipótesis.....	31
8.6 Variables.....	32
8.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	35
8.8 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	36
8.9 Actividades realizadas .....	36
8.9.1 Elaboración de láminas prensadas a partir de podas del árbol oití ( <i>Licania tomentosa</i> ).....	36
8.9.2 Caracterización de las propiedades físicas de la madera prensada obtenida de las podas del árbol.....	38
<b>9. RESULTADOS.....</b>	<b>40</b>

9.1 Elaboración láminas prensadas a partir de podas del árbol oití ( <i>Licania tomentosa</i> ) de Aguachica Cesar.....	40
9.2 Caracterización de las propiedades físicas de la madera prensada obtenida de las podas del árbol <i>Licania tomentosa</i> , incluyendo densidad, contenido de humedad y absorción de agua .....	43
9.3 Diseñar un protocolo experimental para la fabricación de madera prensada, detallando los pasos de recolección, tratamiento, prensado y pruebas de calidad para estandarizar el proceso. ....	55
<b>10. DISCUSION .....</b>	<b>61</b>
<b>11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....</b>	<b>63</b>
<b>12. CONCLUSIONES .....</b>	<b>64</b>
<b>13. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>65</b>
<b>14. RERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>66</b>

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1;</b> Recolección de material maderable.....	30
<b>Ilustración 2;</b> Aserrín resultado de triturado y homogenización de material leñoso .....	31
<b>Ilustración 3;</b> Recolección de materia prima .....	40
<b>Ilustración 4;</b> Triturado de madera y secado de material particulado .....	41
<b>Ilustración 5;</b> Mezcla y moldeado de material particulado .....	41
<b>Ilustración 6;</b> Prensado y elaboración de lamina.....	42
<b>Ilustración 7;</b> Lamina para evaluación de variables .....	43
<b>Ilustración 8;</b> muestras y temperatura de horno.....	47
<b>Ilustración 9;</b> Absorción de agua durante 2 horas.....	49
<b>Ilustración 10;</b> Absorción de agua a 24 horas .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Ilustración 11;</b> Resistencia de lámina a ruptura .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1;</b> Medida de variables .....	33
<b>Tabla 2;</b> Formulación de proceso para elaboración de laminas .....	39
<b>Tabla 3;</b> Relación de peso de las láminas según replicas .....	44
<b>Tabla 4;</b> Resultados en determinación de densidad.....	45
<b>Tabla 5;</b> Análisis de varianza para contenido de Densidad .....	45
<b>Tabla 6;</b> Relación de peso húmedo de la lamina.....	46
<b>Tabla 7;</b> Relación de peso seco de las laminas .....	46
<b>Tabla 8;</b> Resultados de determinación de humedad .....	47
<b>Tabla 9;</b> Análisis de varianza para contenido de Humedad.....	48
<b>Tabla 10;</b> Resultados de absorción de agua .....	49
<b>Tabla 11;</b> Análisis de varianza para absorción de agua a 2 horas .....	50
<b>Tabla 12;</b> Análisis de varianza para absorción de agua a 24 horas .....	50
<b>Tabla 13;</b> Relación de carga máxima al deformarse la lamina .....	52
<b>Tabla 14;</b> Relación de fuerza ejercida en las láminas según replicas .....	52
<b>Tabla 15;</b> Relación de resultados de ruptura de la lamina .....	53
<b>Tabla 16;</b> Análisis de varianza para resistencia mecánica .....	54
<b>Tabla 17;</b> Cronograma de actividades en protocolo .....	59
<b>Tabla 18;</b> Cronograma de actividades del proyecto .....	63

## GLOSARIO

**Acondicionamiento:** Proceso mediante el cual la madera o materiales compuestos son estabilizados en condiciones controladas de temperatura y humedad relativa para equilibrar su contenido de humedad y evitar deformaciones o grietas. Este lineamiento es esencial para que el material garantice la persistencia dimensional y la durabilidad (Torres & Gómez, 2022).

**Adhesivo:** Sustancia química de estado líquido o semilíquido que tiene la capacidad de mantener dos materiales juntos mediante la adhesión de superficies (López & Fernández, 2021).

**Catalizador:** Componente químico que se puede añadir a un componente en mezcla para aumentar la velocidad de su reacción. (Silva et al., 2023).

**Contenido de humedad:** Es la relación existente entre el peso de agua contenida en la muestra en estado natural y el peso de la muestra después de ser secada al horno a temperatura de hasta 110° C (Torres & Gómez, 2022).

**Densidad:** Relación entre la masa y el volumen de una sustancia, esta puede ser líquida, sólida o gaseosa. Habitualmente es representada por Kg/cm<sup>3</sup> o g/cm<sup>3</sup> (Martínez et al., 2022).

**Economía circular:** Modelo productivo sostenible, encargado de reducir, reciclar y reutilizar. Es una guía que aprovecha al máximo los recursos para disminuir los residuos y minimizar en gran parte el impacto ambiental. (García et al., 2022).

**Madera prensada:** Material fabricado por residuos de madera como virutas, fibras o aserrín que son mezclados con adhesivos y posteriormente sometido a alta presión y calor para el moldeado (Singh & Kumar, 2023).

**Prensado térmico:** Técnica que consiste en aplicar presión y calor para personalizar el material con diseños duraderos y de alta calidad (Chen et al., 2024).

**Resistencia mecánica:** Capacidad que tiene cada cuerpo para soportar o resistir cantidades de fuerza sin romperse (Martínez et al., 2022).

**Absorción de agua:** Es un proceso físico-químico en el que gases, líquidos o sustancias disueltas son absorbidos por otros medios y son distribuidos uniformemente en el (Torres & Gómez, 2022).

**Protocolo experimental:** Conjunto sistemático o instrumento que formaliza el quehacer investigativo o experimental, describiendo cada particularidad y entidad convergente en el diseño (Pérez & Castillo, 2023).

**Polimerización:** Proceso químico con el que los reactivos, monómeros, se agrupan químicamente entre si, dando lugar a una molécula de gran peso llamada polímero. (Silva et al., 2023).

**Curado:** Evolución del adhesivo de un punto acuoso o semisólido a sólido, totalmente provocado por temperatura, presión o tiempo, que fortalece la unión del material (Wang et al., 2023).

**Higroscopicidad:** Propiedad que tienen distintas sustancias o materiales para absorber humedad del ambiente en que este rodeado (Torres & Gómez, 2022).

**Compactación:** Reducción del volumen de partículas bajo presión, incrementando la densidad y mejorando las propiedades mecánicas del tablero (López & Fernández, 2021).

**Uniformidad:** Igualdad en la repartición del adherente, aserrines y consistencia dentro del material comprimido, fundamental para afirmar propiedades sólidas (Fernández et al., 2024).

**Sostenibilidad:** Aspecto de un proceso o producto para conservar un equilibrio entre las relaciones económicos, sociales y ambientales, sembrando un desarrollo comprometido y bajo impacto (García et al., 2022).

## RESUMEN

El propósito principal de este proyecto fue el de evaluar las propiedades físicas y mecánicas de la madera prensada a partir de residuos maderables producto de poda. Para cumplimiento del objetivo, se manejaron diferentes concentraciones de catalizador en el adhesivo para poder conocer si este material representa una alternativa sostenible y funcional. El estudio siguió un protocolo de prueba que estandarizó el proceso de fabricación y abarcó todas las etapas, desde la adquisición del material, la preparación, la formulación de la mezcla y el prensado, hasta la evaluación de la calidad mediante pruebas de laboratorio.

Se realizaron cuatro tipos de tratamientos, uno sin catalizador (0%) que funcionó como control, y tres con catalizador en proporciones del 10%, 12% y 14%, respectivamente (Diaz Claros, 2018). Cada tratamiento fue sometido a tres replicas, lo que permitió obtener información precisa sobre las variables analizadas: densidad, humedad, y capacidad de absorción de agua (a las 2 y 24 horas). Los materiales se compactaron en moldes estándar bajo un control de temperatura 105°C y presión, y posteriormente se mantuvieron en condiciones controladas para estabilizar sus características antes de proceder con las pruebas.

Los hallazgos mostraron que la cantidad de catalizador tiene un efecto notable en las características finales del material. En lo que respecta a la densidad, los tratamientos que contenían mayores proporciones de catalizador presentaron cifras más elevadas y constantes, gracias a una compactación y cohesión interna superiores. Asimismo, el nivel de humedad era más bajo en las mezclas con mayor cantidad de catalizador, lo que sugiere un curado más eficaz del adhesivo, disminuyendo de este modo la capacidad del material para absorber agua.

La técnica de análisis demostró ser adecuada para la elaboración de madera densificada en circunstancias replicables, además, simplificó la tarea de hallar la optimización más eficiente en términos de desempeño total. Los resultados obtenidos validan el uso de residuos vegetales como materia prima para la elaboración de productos compuestos, fomentando prácticas de aprovechamiento y economía circular.

Finalmente, se concluye que el tratamiento con 14% de catalizador ofrece el mejor comportamiento global, aunque el 12% representa una opción eficiente y más económica para usos no estructurales. El estudio abre la puerta a nuevas investigaciones con adhesivos ecológicos y materiales alternativos, y establece una base sólida para el escalamiento técnico de la producción de madera prensada sostenible.

**Palabras claves:** Madera prensada, residuos lignocelulósicos, Adhesivos sintéticos, catalizador, protocolo, prensado térmico, lamina ecológica

## 1. INTRODUCCIÓN

El aumento global en la necesidad de alternativas sostenibles y amigables con el planeta ha incentivado la exploración y creación de productos originados de restos lignocelulósicos, sobre todo en el sector maderero y de los materiales mezclados. La madera aglomerada, producida usando fragmentos vegetales enlazados con pegamentos y mediante procedimientos de compresión caliente, emerge como una alternativa eficaz y considerada con el medio ambiente para la producción de láminas y planchas de construcción. Esta clase de material contribuye a disminuir la utilización de madera sólida, impulsando la utilización de derivados y sobras agrícolas y forestales, lo cual concuerda con las bases de la economía circular y el progreso perdurable. (García et al., 2022; Singh & Kumar, 2023).

Según varios estudios, las características finales de la madera contrachapada están influenciadas por distintos elementos, como la clase y la naturaleza de la materia prima, la composición del pegamento, la cantidad de catalizadores, y las condiciones de prensado y endurecimiento (López y Fernández, 2021; Chen et al., 2024). Es fundamental perfeccionar estas variables para garantizar productos con óptimas propiedades mecánicas, poca absorción de agua y una buena estabilidad en tamaño, cualidades que son vitales tanto para usos estructurales como ornamentales. (Martínez et al., 2022).

La incorporación de catalizadores en la composición del adhesivo ha sido fundamental para mejorar las características mecánicas y la resistencia a la humedad. Estudios recientes sugieren que incrementar la cantidad de catalizador podría acelerar el proceso de curado, lo que a su vez refuerza la estabilidad y la cohesión del panel. Sin embargo, es importante considerar este aspecto en relación con variables económicas y ambientales (Wang et al., 2023; Silva et al., 2023). Además, controlar los niveles de humedad durante y después del prensado es esencial para evitar cambios y asegurar una mayor durabilidad del material (Torres y Gómez, 2022).

A pesar de los avances en la producción de madera prensada, todavía enfrentamos algunos retos en cuanto a la estandarización de los protocolos de fabricación, la reproducibilidad de los resultados y la evaluación completa de las propiedades físico-mecánicas bajo diversas condiciones de tratamiento (Fernández et al., 2024). En este sentido, es fundamental diseñar protocolos experimentales que abarquen la recolección, preparación, formulación, prensado y pruebas de calidad. Esto nos ayudará a establecer bases sólidas que faciliten tanto la aplicación industrial como la investigación futura (Pérez & Castillo, 2023).

Este proyecto se centra en caracterizar las propiedades físicas y mecánicas de la madera prensada, utilizando diferentes porcentajes de catalizador en el adhesivo y aplicando un protocolo experimental creado específicamente para estandarizar el proceso. Las variables que nos interesan incluyen la densidad, el contenido de humedad, la absorción de agua y la resistencia mecánica, las cuales se evaluarán mediante métodos normalizados y análisis estadísticos rigurosos. Los resultados nos permitirán entender cómo el porcentaje de catalizador influye en el comportamiento final del material y ofrecer recomendaciones para optimizar la fabricación y el uso de estos biomateriales.

En resumen, esta investigación aporta al desarrollo de materiales compuestos a base de lignocelulosa, promoviendo un uso más eficiente de los recursos renovables y apoyando la transición hacia industrias más sostenibles y responsables. Además, proporciona un marco experimental sólido que puede adaptarse a diferentes materias primas y condiciones, facilitando la creación de productos de alto valor agregado y bajo impacto ambiental.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El mantenimiento al embellecimiento paisajístico por medio de podas en el municipio de Aguachica genera residuos orgánicos que suelen ser desaprovechadas, debido a que en distintas ocasiones son dispuestos en el relleno sanitario, entrando en un espacio que podría predestinarse a residuos más adecuados para tal fin (Diario del Cesar, 2024). Además, cuando las podas no son gestionadas por empresas especializadas, se depositan en fincas y otros lugares inapropiados, generando contaminación visual y la llegada de animales no deseados como serpientes, cucarachas y roedores (Vega Rodríguez, 2023). Algunas personas evitan desechar estas podas para ahorrarse el costo de transportarlas a otros lugares y, en su lugar, las queman, liberando gases que afectan el ambiente (Corpocesar, 2023). La falta de educación ambiental y de orientación en el manejo de residuos contribuye significativamente a esta problemática. Por ello, es necesario implementar campañas de separación en la fuente y promover un adecuado manejo de los residuos sólidos desde su origen (DADEP, 2023).

Además, se debe impulsar la economía circular para alargar la vida útil de los residuos aprovechables y orgánicos. La empresa encargada del servicio de aseo tiene la responsabilidad de aplicar campañas de capacitación a los usuarios, con estrategias que impacten positivamente a la comunidad (Vega Rodríguez, 2023). Es fundamental que el municipio cuente con un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) actualizado, que organice el sistema de manejo de basuras y material reciclable, y promueva una política pública de educación ambiental participativa y concertada con los diferentes actores públicos, privados, ONGs y la academia (El Nuevo Sur, 2019).

En muchas zonas urbanas, como Aguachica (Cesar), las podas de árboles se generan de manera continua debido al mantenimiento de áreas verdes y la gestión de la arborización urbana. No obstante, la mayoría de estos materiales derivados de la poda, como las ramas y otros residuos orgánicos, suelen ser vistos como desechos sin valor comercial o productivo. Esta acumulación de residuos vegetales en áreas urbanas puede presentar desafíos ambientales, tales como la contaminación, la proliferación de plagas o la necesidad de gestionar grandes volúmenes de desechos orgánicos (Alves et al., 2019).

Un árbol clave que aporta a estas podas es el Oití (*Licania tomentosa*), una especie frecuente en la zona. A pesar de que su madera es apreciada en ciertas aplicaciones, pocas veces se emplea en la producción de productos industrializados. Esto ocurre debido a la escasez de datos técnicos acerca de sus características físico-mecánicas, lo que restringe su uso total. La madera prensada es una alternativa viable para aprovechar estos residuos de poda. Este tipo de madera se obtiene a través de un proceso de compresión de las fibras vegetales, y se utiliza ampliamente en la fabricación de paneles y tableros para la construcción y la industria del mueble (Murillo et al., 2020).

A pesar de las ventajas de utilizar la madera prensada en la construcción y otros sectores, es necesario evaluar las propiedades físico-mecánicas de la madera prensada obtenida específicamente de las podas de *Licania tomentosa*, para determinar su resistencia, durabilidad, y otros factores técnicos esenciales para garantizar su viabilidad en aplicaciones industriales. La literatura existente en cuanto al aprovechamiento de especies locales como la *Licania tomentosa* en procesos de producción de madera prensada es limitada, lo que plantea un vacío en el conocimiento que este proyecto busca llenar (Rodríguez et al., 2018).

En la actualidad, las ciudades enfrentan un desafío creciente en la gestión de residuos orgánicos derivados de actividades como la poda de árboles urbanos. En la situación particular de Aguachica, Cesar, las podas de árboles, particularmente de especies como *Licania tomentosa* (Oití), producen una cantidad significativa de material residual que frecuentemente se desecha sin ser utilizado de manera apropiada. Este derroche no solo aumenta la acumulación de desechos en los vertederos de las ciudades, sino que también simboliza una oportunidad desperdiciada para la utilización de recursos naturales (Cordero et al., 2022). La *Licania tomentosa* es una especie autóctona tropical cuya madera, a pesar de su escaso uso, tiene propiedades que podrían ser beneficiosas en varias aplicaciones industriales (Gómez et al., 2020).

En contraposición, los desechos y residuos dejan en propiedades y terrenos abandonados no se degradan rápidamente; se mantienen durante extensos periodos, particularmente bajo condiciones de alta temperatura, lo que podría provocar incendios (Corporación Autónoma Regional del Cesar [Corpocesar], 2023). Estos desechos tienen la capacidad de acumular gases inflamables y, bajo determinadas circunstancias, causar incendios espontáneos, liberando grandes volúmenes de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes (Landfill Solutions, 2023). La acumulación de estos residuos también afecta la calidad del suelo, ya que impide la descomposición natural de la materia orgánica, alterando la estructura y composición de este (Colombia Verde, 2025).

¿Cuál es la viabilidad ambiental de aprovechar las podas del árbol oití (*Licania tomentosa*) en Aguachica, Cesar, para la fabricación de madera prensada?

### 3. JUSTIFICACIÓN

Las podas realizadas a los árboles en el municipio de Aguachica son necesarias para que no se vean afectadas las redes eléctricas y de telefonías existentes, por tal motivo, las empresas responsables de estas redes deben realizar podas periódicas para no verse afectadas por los árboles que van creciendo demasiado, teniendo en cuenta que actualmente no existe un sitio de acopio adecuado para depositar las podas, estas llegan a producir un foco de atracción para roedores cuando son dejados en lotes vacíos cercanos a viviendas con el riesgo de ocasionar incendios indeseados; existen también personas que queman este material para evitar pagar un transporte que arroje estos residuos a fincas o lugares más alejados del municipio (Eguilúz & Rente, 2018).

La elaboración de productos maderables aprovechando los residuos como lo son las podas, genera empleo ya que puede tener distintos usos como lo son muebles de madera, cielorrasos, country, decoración infantil, decoración de interiores, marquetería y otros que contribuyen con el desarrollo económico y social buscando nuevas alternativas de materias primas amigables con el medio ambiente teniendo la necesidad de obtener productos más económicos logrando la competitividad en el mercado actual y regido por la leyes que actualmente buscan productos ecológicos (Lopez et al., 2018).

El uso de madera prensada, que consiste en compactar partículas o fibras vegetales para formar tableros, es una alternativa sostenible para aprovechar estos residuos. La madera prensada es ampliamente utilizada en la industria de la construcción y el mobiliario debido a su versatilidad y costo relativamente bajo. Sin embargo, el aprovechamiento de maderas no convencionales, como la obtenida de las podas de *Licania tomentosa*, requiere de una evaluación exhaustiva de sus propiedades físico-mecánicas, tales como resistencia, rigidez, durabilidad y comportamiento frente a factores ambientales (Tavera & Pérez, 2019).

Asimismo, se debe contar con un sitio adecuado y maquinaria ideal para la producción de aglomerados (maderas prensadas) y personal capacitado para su manejo es una de las posibilidades a un cambio positivo económico, social y ambiental, entendiendo que no se tiene un desaprovechamiento de este recurso natural y mucho menos que estaría siendo incinerado de forma ilegal, desmedida y sin tener en cuenta el gran impacto negativo que este ocasiona contribuyendo al calentamiento global junto con los insectos, roedores y otros, generando así un mejor ambiente salud en los alrededores.

El aprovechamiento de estas podas para la producción de madera prensada no solo podría contribuir a la reducción de residuos en las zonas urbanas, sino también a la creación de nuevos productos de valor agregado, lo cual favorecería tanto a la industria local como al medio ambiente. Este estudio se justifica en la necesidad urgente de evaluar las propiedades de la madera de *Licania tomentosa* para

determinar su potencial en la fabricación de productos industriales, y así promover un modelo de manejo sostenible de los recursos forestales urbanos.

El proceso agroindustrial es un paso determinante para mejorar las condiciones empresariales del municipio de Aguachica, la maquinaria que produce los aglomerados (madera prensada) es de gran importancia para aquellas personas que trabajan con cielorrasos, también es de gran apoyo para los ebanistas que utilizan materiales como estos (RH, MDF, USB, entre otros) para implementar en la elaboración de sus diferentes productos y obtener ganancias económicas para cada uno de ellos sus diferentes empleados; las maquinarias para elaborar los aglomerados, la recolección de las podas y los distintos procesos requieren de personal capacitado, lo que indica una cantidad de empleos adicionales para la implementación del proyecto.

## 4. OBJETIVOS

### Objetivo general.

- Evaluar las propiedades físico-mecánicas de la madera prensada obtenida a través del aprovechamiento de las podas del árbol oití (*Licania tomentosa*) realizadas en la zona urbana de Aguachica – Cesar

### Objetivos específicos.

- Elaborar láminas prensadas a partir de podas del árbol oití (*Licania tomentosa*) de Aguachica Cesar.
- Caracterizar las propiedades físicas de la madera prensada obtenida de las podas del árbol *Licania tomentosa*, incluyendo densidad, contenido de humedad y absorción de agua.
- Diseñar un protocolo experimental para la fabricación de madera prensada, detallando los pasos de recolección, tratamiento, prensado y pruebas de calidad para estandarizar el proceso.

## 5. MARCO TEÓRICO

El uso de maderas provenientes de podas para la fabricación de madera prensada es una práctica relativamente reciente dentro de la industria de la madera, aunque la historia del aprovechamiento de residuos vegetales en la producción de materiales de construcción y muebles tiene raíces más profundas. Con el paso del tiempo, la gestión de residuos urbanos y forestales ha evolucionado, y la búsqueda de alternativas sostenibles y eficientes para el uso de la madera ha ganado protagonismo, en particular, la madera derivada de las podas de árboles urbanos. El proceso de madera prensada, conocido por su versatilidad y bajo costo, ha sido un factor clave en este desarrollo.

### ➤ **Desarrollo histórico del uso de maderas para productos prensados:**

Primeras innovaciones en la madera prensada (siglo XIX y principios del siglo XX): El concepto de madera prensada comenzó a desarrollarse a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, cuando la industria maderera comenzó a buscar formas de aprovechar los residuos de la madera, como astillas, aserrín y pequeñas fibras, para fabricar productos más duraderos y económicos. La invención de la prensa hidráulica y la máquina de compresión permitió que las fibras de madera se pudieran compactar de manera eficiente. Este proceso fue pionero en la creación de tableros de partículas y fibras (Lai et al., 2017).

A medida que avanzaba el siglo XX, la industria del mueble y la construcción comenzó a incorporar materiales derivados del prensado de madera, como los tableros de fibra de densidad media (MDF) y los tableros de partículas, los cuales fueron bien recibidos por su bajo costo y facilidad de procesamiento (Simonsen & Bortolin, 2020).

### ➤ **Aprovechamiento de residuos de poda en la segunda mitad del siglo XX:**

Con el crecimiento de las zonas urbanas y la expansión de las áreas verdes en ciudades de todo el mundo, surgió un desafío relacionado con la acumulación de residuos orgánicos provenientes de las podas de árboles urbanos. En muchas ciudades, estos residuos no tenían un valor económico y eran tratados como desechos que, en su mayoría, se depositaban en vertederos.

Durante la segunda mitad del siglo XX, la gestión de residuos comenzó a enfocarse en la reutilización y el reciclaje. Los investigadores y la industria maderera comenzaron a explorar las posibilidades de utilizar maderas provenientes de podas urbanas para la fabricación de productos derivados de la madera prensada (Klopper et al., 2019). Esta innovación permitió no solo aprovechar los residuos, sino también reducir el impacto ambiental asociado con su disposición y promover prácticas sostenibles.

➤ **Ventajas en el uso de maderas no tradicional en el siglo XXI:**

Con el tiempo, la necesidad de materiales respetuosos con el medio ambiente y la administración sostenible de los recursos naturales han estimulado aún más la investigación en el empleo de maderas no tradicionales, como las de podas urbanas, para la fabricación de tableros prensados. Este método ha cobrado relevancia en el sector del mobiliario, la edificación y el diseño de interiores, dado que proporciona una opción más sustentable frente a los tableros de madera tradicionales, que frecuentemente necesitan árboles talados específicamente para su elaboración.

La madera prensada derivada de desechos de poda de especies urbanas, como el *Licania tomentosa* (Oití), ha probado ser una opción factible, aunque se requieren investigaciones más exhaustivas sobre sus características físico-mecánicas antes de que puedan ser utilizadas de forma amplia (Jiménez et al., 2021). Las investigaciones han demostrado que, con los tratamientos correctos, estas maderas pueden alcanzar el mismo nivel de funcionalidad y durabilidad que las maderas convencionales.

➤ **El proceso de fabricación de madera prensada:**

El proceso de fabricación de madera prensada a partir de maderas obtenidas de podas generalmente sigue los mismos pasos que otros tipos de madera procesada, aunque la principal diferencia radica en el tipo de materia prima utilizada. Este proceso incluye la recolección de los residuos de poda, su secado, la trituración y el prensado bajo alta presión para formar tableros o paneles. El prensado permite que las fibras de madera se unan mediante la presión y el calor, y a menudo se utilizan adhesivos para mejorar la unión entre las fibras.

➤ **Importancia y desafíos del uso de maderas de poda:**

• **Sostenibilidad y economía circular:**

El uso de maderas de poda para la fabricación de tableros prensados se ha convertido en una práctica clave dentro del marco de la economía circular. La reutilización de estos residuos no solo reduce la cantidad de desechos sólidos generados por las ciudades, sino que también ayuda a disminuir la demanda de madera virgen, contribuyendo a la preservación de los bosques y la biodiversidad (Teng et al., 2018).

• **Retos competentes y de eficacia:**

Pese a los beneficios medioambientales, uno de los retos más significativos del empleo de maderas de poda en productos prensados radica en la variabilidad en

las características físico-mecánicas de la madera dependiendo de la especie. Los tipos de madera utilizados en las podas urbanas varían, algunas pueden no ser tan idóneas para el prensado debido a su densidad, resistencia o propensión a plagas (Basso et al., 2020). Esto sugiere la necesidad de llevar a cabo estudios más detallados sobre las características de las maderas urbanas para garantizar su calidad y resistencia en productos industriales.

➤ **Características físicas de la madera oiti (*Licania tomentosa*):**

• **Densidad:**

La madera de *Licania tomentosa* es una madera de densidad media a alta, lo que es relevante para la fabricación de productos prensados. Las maderas con mayor densidad tienden a ofrecer mejores propiedades mecánicas, como mayor resistencia a la compresión y a la flexión, lo que es deseable para aplicaciones estructurales. La densidad de la madera de Oití puede variar dependiendo de la zona y las condiciones de crecimiento, pero generalmente se encuentra en el rango de 0.60 a 0.85 g/cm<sup>3</sup> (Rey et al., 2018).

• **Textura y grano:**

La madera de Oití presenta una textura fina a media, con un grano recto o ligeramente ondulado. Estas características permiten un mejor acabado superficial, lo que es favorable para el uso en muebles o paneles prensados que requieren una buena presentación estética.

• **Color:**

Su color varía entre tonos de marrón claro a oscuro, con una tonalidad homogénea que hace que esta madera sea visualmente atractiva para aplicaciones decorativas o de diseño.

➤ **Facilidad de procesamiento:**

• **Trabajabilidad:**

La madera de Oití es respectivamente factible y de buen fundamento práctico de trabajar en términos de corte, lijado y pulido, y transformación en aserrín, lo que la hace adecuada para su procesamiento en la industria del mueble o la fabricación de tableros prensados. Sin embargo, debido a su densidad, puede requerir herramientas bien afiladas para evitar daños en el material.

• **Secado:**

El proceso de secado de la madera de *Licania tomentosa* debe ser controlado

cuidadosamente, ya que una deshidratación excesiva puede provocar deformaciones o rajaduras. Por lo tanto, es crucial emplear técnicas de secado apropiadas para la madera que se utilizará en el prensado.

➤ **Usos potenciales de la madera prensada:**

- **Tableros prensados y paneles:**

La madera de Oití puede ser utilizada en la fabricación de tableros prensados para aplicaciones en la construcción, como tableros para muebles, paneles de pared o pisos. La madera de esta especie ofrece una buena resistencia mecánica, que la hace adecuada para estos productos.

- **Industria del mueble:**

Su apariencia estética, junto con sus buenas propiedades mecánicas, hace que la madera de Oití sea una opción viable para la industria del mueble. El prensado de la madera puede utilizarse para crear componentes de muebles como superficies de mesas, sillas, y otros artículos que requieren resistencia y acabado fino.

## 6. MARCO LEGAL

El presente proyecto de investigación, centrado en la evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la madera prensada obtenida a partir de las podas del árbol Oiti (*Licania tomentosa*), se enmarca y encuentra respaldo en un conjunto normativo vigente en Colombia, orientado a la conservación, manejo sostenible y aprovechamiento responsable de los recursos naturales renovables, además de normas técnicas colombianas estructuradas. A continuación, se detalla cómo cada norma y disposición legal se ajusta y contribuye al desarrollo, pertinencia y legitimidad del estudio:

### ➤ Ley 99 de 1993

La Ley 99 de 1993, “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones” (Congreso de Colombia, 1993), establece el marco institucional y jurídico para la conservación y manejo sostenible de los recursos naturales renovables, incluyendo los recursos forestales presentes tanto en áreas rurales como urbanas. En este sentido, esta ley sustenta el proyecto al reconocer la importancia de implementar prácticas de aprovechamiento que respeten la integridad ecológica y promuevan la sostenibilidad ambiental. La evaluación de la madera obtenida de las podas del árbol Oiti responde a esta premisa, pues busca valorizar un residuo vegetal urbano mediante un uso productivo y sostenible, en línea con las políticas ambientales nacionales.

### ➤ Decreto 1076 de 2015

El Decreto 1076 de 2015, “Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015), regula el manejo y aprovechamiento sostenible de los recursos forestales en Colombia. Establece que la recolección, transformación y comercialización de productos forestales deben realizarse bajo criterios técnicos y ambientales rigurosos. Este decreto respalda el proyecto porque condiciona el aprovechamiento de la madera proveniente de podas urbanas a procedimientos sostenibles, garantizando que la obtención de la madera prensada se lleve a cabo conforme a las normativas ambientales vigentes, promoviendo así la legalidad y sostenibilidad del proceso.

### ➤ Ley 1450 de 2011

La Ley 1450 de 2011, contenida en el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 (Congreso de Colombia, 2011), fomenta el uso eficiente y tecnológico de los recursos naturales renovables, impulsando la innovación y la adopción de tecnologías limpias para el aprovechamiento de materias primas. En conexión con el proyecto, esta ley se relaciona en la búsqueda por evaluar y caracterizar técnicamente las condiciones de la madera prensada derivada de las podas del Oiti,

lo que orienta al uso del material para la contribución del desarrollo sostenible y a la economía circular.

➤ **Resolución 0669 de 2013**

La Resolución 0669 de 2013, “Por la cual se establecen los lineamientos para la gestión integral de residuos sólidos” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013), establece lineamientos para la gestión integral de residuos sólidos en Colombia, incluyendo los residuos vegetales urbanos generados por las podas. La investigación se orienta con esta resolución ya que propone un modelo de aprovechamiento productivo para dichos residuos.

➤ **Decreto 2981 de 2013**

El Decreto 2981 de 2013, “Por medio del cual se reglamenta la gestión integral de residuos sólidos” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013), establece la obligación para las entidades territoriales de implementar sistemas de manejo que permitan el aprovechamiento y valorización de residuos orgánicos y vegetales. La investigación respalda este mandato al demostrar que las podas urbanas pueden ser transformadas en productos de valor económico y funcional, como la madera prensada, favoreciendo la sostenibilidad ambiental y económica local.

➤ **Resolución 1500 de 2018**

La Resolución 1500 de 2018, “Por la cual se reglamenta el aprovechamiento forestal sostenible” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018), regula el aprovechamiento forestal sostenible en Colombia, estableciendo procedimientos para la extracción, transformación y comercialización legal de la madera. La evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la madera prensada obtenida en este estudio es fundamental para cumplir con los estándares de calidad y seguridad exigidos por esta norma, facilitando así la inclusión del producto en mercados formales y promoviendo prácticas forestales responsables.

➤ **Ley 2811 de 1974**

El Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, Ley 2811 de 1974 (Congreso de Colombia, 1974), establece principios rectores para la conservación, manejo y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales en Colombia. Ley inicial de los recursos naturales, se refleja en la investigación para el buen uso de cada recurso y su aprovechamiento.

➤ **Las regulaciones NTC 4013, 4014, 4015, 4016 y 4017**

Estas Normas definen métodos para valorar las características mecánicas de la madera. La NTC 4013 se centra en la compresión paralela a la fibra, la 4014 en la flexión estática, la 4015 en la densidad básica, la 4016 en la tracción paralela a la fibra y la 4017 en el contenido de humedad, todos estos aspectos están vinculados con la madera prensada producida por podas. Estas normas son referentes al proyecto para orientar las características físicas del producto terminado.

## 7. ESTADO DEL ARTE

Dentro del marco actual de sostenibilidad y economía circular la exploración de opciones para el uso de los residuos lignocelulósicos urbanos a cobrado relevancia como una táctica esencial para disminuir el impacto ecológico y maximizar el uso de los recursos existentes. En este contexto, varias investigaciones han probado que tanto la aplicación de biomasa residual y la creación de adhesivos sostenibles para la producción de laminas son factibles en la composición razonable en análisis críticos de estudios significativos en impactos técnicos y ambientales.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, las líneas investigativas de valor positivo ha sido el uso de adhesivos alternativos de origen biológico. En este sentido, el estudio titulado *“Elaboración de tableros aglomerados empleando diferentes formulaciones adhesivas a partir de proteína de soya”* desarrollado por Domínguez Ortiz y Londoño Zuluaga (Universidad Pontificia Bolivariana, 2014), exploró la efectividad de formulaciones a base de proteína de soya combinadas con modificantes como alcohol furfurílico y urea. A pesar de no obtener resultados concluyentes en cuanto a la cohesión del sistema, el estudio evidenció la importancia de contar con una matriz estructural sólida, lo cual orienta futuros desarrollos hacia la mejora del soporte físico del adhesivo. Este aporte es clave para investigaciones que buscan adhesivos bio-basados eficaces y compatibles con materiales lignocelulósicos.

Continuando con los avances en formulaciones adhesivas, el trabajo de Agudelo Díaz (Universidad Cooperativa de Colombia, 2016), titulado *“Elaboración de paneles a base de aserrín y polímeros en la ciudad de Villavicencio-Meta”*, demostró que el uso de alcohol polivinílico (PVA) en diferentes concentraciones influye directamente en el rendimiento de los tableros. La concentración del 10% mostró ser la más eficiente, estableciendo una base experimental replicable para validar formulaciones en otros contextos. Este estudio complementa el anterior al proponer una alternativa soluble en agua, con buena compatibilidad para su uso junto a residuos vegetales y proteínas naturales.

Por otra parte, el aprovechamiento de residuos industriales de madera también ha sido explorado con éxito. Zambrano y Moreno (Universidad de Venezuela, 2013), en su investigación *“Tableros de partículas fabricados con residuos industriales de madera de Pinus patula”*, utilizaron un adhesivo tradicional a base de urea-formaldehído con catalizador, obteniendo tableros con propiedades técnicas satisfactorias. Este trabajo permite establecer un punto de referencia técnico frente al cual se pueden comparar nuevas formulaciones adhesivas más sostenibles, evaluando su rendimiento físico-mecánico y su impacto ambiental.

A nivel urbano, la reutilización de residuos de poda ha ganado interés como una forma de transformar desechos en recursos útiles. Un ejemplo destacado es el estudio de Cordero, Rodríguez y Martínez (2022), *“Utilización de residuos de poda*

*urbana para la fabricación de paneles de madera prensada*”, el cual valida la viabilidad técnica y ambiental del uso de diversas especies urbanas para producir tableros con aplicaciones en la industria del mueble y la construcción. Este enfoque se alinea con el propósito de este proyecto, que busca profundizar específicamente en el uso del Oití (*Licania tomentosa*), una especie común en Aguachica-Cesar, pero aún poco estudiada en este contexto.

Asimismo, los investigadores Jiménez, Pérez y González (2021) encaminaron una investigación potencial *“Aprovechamiento de residuos de podas urbanas para la producción de tableros de fibras de madera”*, direccionado necesariamente en variedades como el Oití. Los resultados indicaron que un potencial considerable para la fabricación de tableros de calidad, destacando la necesidad de realizar tratamientos previos para mejorar su durabilidad. Este trabajo ofrece no solo respaldo técnico, sino también una metodología útil que puede ser adaptada a la realidad de Aguachica.

Desde un enfoque más global, Teng, Zhao y Zhang (2018), en su investigación titulada "Reutilización de maderas urbanas en la industria de productos de madera prensada", analizaron elementos logísticos y económicos vinculados con la recolección, tratamiento y venta de madera urbana. Además de verificar la factibilidad del procedimiento, la investigación fomenta la incorporación de estos materiales al mercado, reforzando la idea de economía circular en contextos urbanos.

El estudio de Basso, Costa y Lima (2020), denominado "Evaluación de la calidad de la madera adquirida de podas urbanas para la fabricación de tableros de partículas", analizó especies como *Ficus* y *Celtis*. Se resaltó la importancia de aplicar tratamientos apropiados para potenciar la adhesión y la estabilidad dimensional de los tableros. Este estudio técnico tiene importancia como marco comparativo para valorar la conducta físico-mecánica de la madera de Oití en este proyecto.

Finalmente, Klopfer, Becker y Jones (2019) ofrecieron un análisis sistémico de la sostenibilidad en estos procedimientos en su estudio "Sostenibilidad en la fabricación de madera prensada a partir de desechos de poda urbana". La investigación tomó en cuenta el ciclo de vida integral del producto, desde la recolección hasta la fabricación de tableros, analizando los efectos ambientales, económicos y sociales. Además, enfatiza la importancia de establecer políticas públicas que promuevan dichas prácticas. Este enfoque holístico enriquece la parte técnica de este proyecto al subrayar la relevancia de incluir criterios de sostenibilidad y responsabilidad ecológica en la elaboración de propuestas para la gestión de desechos urbanos.

## **8. METODOLOGÍA**

Este enfoque metodológico permitió la realización del proyecto con una perspectiva técnica y científica que garantizó la fiabilidad de los procedimientos y resultados, simplificó la recopilación y el estudio de datos de forma organizada, lo que resultó esencial para la determinación con exactitud las características físico-mecánicas de la madera Oiti (*Licania tomentosa*).

### **8.1 Enfoque de la investigación**

El estudio optó por un método cuantitativo, enfocado en la recopilación y estudio de datos numéricos y cuantificables, específicamente vinculados con las características físico-mecánicas de la madera Oiti (*Licania tomentosa*).

El método cuantitativo proporcionó una técnica apropiada para valorar objetivamente y exactamente las características físico-mecánicas de la madera Oiti (*Licania tomentosa*), en el marco de su aplicación como producto prensado. Este tipo de estudio necesitó información cuantitativa fiable que facilitó la medición de variables como la densidad, el contenido de humedad y la absorción del agua.

### **8.2 Alcance de la investigación**

El estudio fue de tipo exploratorio cuantitativo y se enfocó en examinar las características físico-mecánicas de la madera prensada derivada de las podas del árbol Oiti (*Licania tomentosa*) llevadas a cabo en el área urbana de Aguachica-Cesar. Es importante destacar que el alcance restringió el estudio a la madera obtenida de las podas urbanas de Aguachica, lo que facilitó la obtención de resultados particulares para este escenario geográfico. Esta aproximación facilitó la comprensión del problema al proporcionar evidencia cuantitativa que esclareció la viabilidad técnica del uso de esta madera, generando información preliminar que orientó la toma de decisiones y el desarrollo de futuras investigaciones.

### **8.3 Diseño de investigación**

La investigación es de tipo experimental descriptivo, con enfoque cuantitativo paramétrico donde se evaluaron distintas variables luego de la aplicación con los distintos tratamientos porcentuales de catalizador (urea + invercyl) de un tratamiento control que consistió solo en el uso de invercyl, donde se profundizó en diferentes fenómenos prácticos mediante la recopilación de datos que fueron medidos por herramientas estadísticas como Excel en relación de análisis de varianza de un factor.

## 8.4 Población y muestra

### ➤ Población

En el municipio de Aguachica, Cesar, es común que se realicen actividades de poda y formación de árboles como parte de los programas de embellecimiento paisajístico y mantenimiento urbano. Estas labores, además de contribuir al cuidado del entorno, generan una cantidad considerable de residuos leñosos. Para esta investigación, se identificaron y aprovecharon puntos específicos donde se estaban llevando a cabo podas asociadas a mejoras de infraestructura, particularmente en sectores como el barrio Portal del Remanso y la Avenida El Cielo, la cual abarca desde el barrio Romero Díaz hasta su conexión con la carretera Troncal.

Durante estas jornadas, se recolectaron aproximadamente 40 kilogramos de material leñoso proveniente de las podas. Este residuo fue sometido a un proceso de secado natural a la intemperie, con el fin de reducir su humedad y prepararlo para su transformación. Una vez seco, el material fue triturado hasta convertirlo en aserrín, logrando obtener 20 kilogramos de este insumo homogéneo, el cual fue utilizado posteriormente en la elaboración de las láminas de madera prensada objeto de estudio en esta investigación.

### **Ilustración 1;** Recolección de material maderable



**Fuente;** Autores

➤ **Muestra**

La muestra se conformó por una selección controlada de 10 kg de aserrín, cada lamina fue conformada con aproximadamente 400 gr de aserrín seco, lo que implica que al realizar 9 láminas se usaron 3,6 kg de material, cantidad suficiente para realizar ensayos físico-mecánicos de compresión, adherencia y flexión, entre otros. Esta muestra es representativa del material disponible en el entorno urbano de Aguachica y fue seleccionada mediante un criterio de conveniencia técnica, dado que el objetivo del estudio es exploratorio-aplicado y busca generar información inicial sobre la viabilidad del uso del aserrín de Oiti como materia prima para productos prensados.

**Ilustración 2;** Aserrín resultado de triturado y homogenización de material leñoso



**Fuente;** Autores

### **8.5 Hipótesis**

➤ **Hipótesis nula ( $H_0$ ):**

No existen diferencias significativas en las propiedades físico-mecánicas de los tableros prensados elaborados con aserrín de Oiti, independientemente del porcentaje de adherente o de las condiciones de prensado utilizadas.

➤ **Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):**

Existen diferencias significativas en las propiedades físico-mecánicas de los tableros prensados elaborados con aserrín de Oiti, en función del porcentaje de adherente y/o las condiciones de prensado aplicadas.

## 8.6 Variables

Las variables seleccionadas para esta investigación fueron orientadas a evaluar tanto el proceso de elaboración del producto prensado tipo lámina, como las propiedades físicas del material final, obtenido a partir del aprovechamiento de los residuos de poda del árbol Oiti (*Licania tomentosa*). Estas variables permitieron establecer una relación directa entre las condiciones de fabricación y el desempeño técnico del producto prensado.

En primer lugar, se consideraron las variables del proceso, entre las que destacan el porcentaje de adherente utilizado y la presión de prensado aplicada. Estas son variables independientes que influyen directamente en la formación y cohesión de la lámina, y su correcta manipulación resulta esencial para lograr un producto estructuralmente sólido.

Por otro lado, se definieron como variables dependientes aquellas que nos permitieron evaluar el comportamiento físico del tablero resultante. Entre ellas se incluyen: la densidad, que refleja la compactación y uniformidad del material; la resistencia mecánica o a la ruptura, que indica su capacidad para soportar cargas sin deformarse. También se consideró el contenido de humedad y absorción de agua. Estas variables fueron seleccionadas con base en criterios técnicos estandarizados y permitieron una evaluación integral de la viabilidad del uso de *Licania tomentosa* como materia prima alternativa para la fabricación de láminas de madera prensada.

### ➤ Variables independientes

- Porcentaje de catalizador (urea e invercryn)
- Presión de prensado

### ➤ Variables de composición física

- Densidad
- Contenido de humedad
- Absorción de agua
- Resistencia mecánica (Ruptura)

**Tabla 1;** Medida de variables

Variable Tipo de Variable	Composición Física Cuantitativa – continua	
	Categoría	Indicadores
Definición operacional	Densidad	gr/cm <sup>3</sup>
	Contenido de humedad	%
	Absorción de agua	%
	Resistencia mecánica (Ruptura)	Mpa

Fuente: **Autores 2025**

Para alcanzar los resultados de las variables a medir se tuvo en cuenta el siguiente procedimiento técnico.

➤ **Recolección y Preparación de Muestra:**

**Recolección de podas:** Se obtuvo muestras representativas de las podas del árbol oití (*Licania tomentosa*) en Aguachica, Cesar.

**Secado y corte:** Las podas fueron secadas al aire y en un horno a baja temperatura para estabilizar el contenido de humedad inicial. Posteriormente, se cortaron en tamaños homogéneos adecuados para las pruebas.

➤ **Elaboración de las Maderas Prensadas:**

**Prensado:** Se usó un proceso de prensado (manual) para obtener las láminas de madera comprimida de las podas.

**Condiciones de prensado:** se tuvo en cuenta parámetros como temperatura, presión y tiempo de prensado, asegurando de que el proceso no deformara las propiedades físicas del material.

➤ **Determinación de la Densidad:**

**Procedimiento:** Para medir la densidad de las láminas de madera prensada se empleó la fórmula:

**Formula 1;** Medida de Densidad

$$Densidad = \frac{Masa}{Volumen}$$

**Masa:** Se pesó la lámina de madera prensada utilizando una balanza de precisión.

**Volumen:** Se midió el volumen de la lámina utilizando un calibrador o regla, o bien aplicando el método de desplazamiento de agua si la pieza tiene una forma irregular.

➤ **Determinación del Contenido de Humedad:**

**Procedimiento:** se usó la técnica de secado en horno a 105°C hasta peso constante para determinar el contenido de humedad.

- Se pesó una muestra representativa de la madera prensada (muestra húmeda).
- Se secó la muestra en el horno durante 24 horas a 105°C.
- Se pesó nuevamente la muestra después del secado (muestra seca).

**Cálculo del contenido de humedad con la siguiente fórmula:**

**Formula 2;** Medida de porcentaje de humedad

$$\text{Contenido de Humedad (\%)} = \frac{\text{Peso humedo} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} \cdot 100$$

➤ **Determinación de la Absorción de Agua:**

**Procedimiento:** Para medir la absorción de agua, se sumergió una muestra de madera prensada en agua durante un período de tiempo determinado (24 horas).

- Se pesó la muestra de madera prensada antes de la inmersión (peso inicial).
- Se sumergió la muestra completamente en agua durante el tiempo estipulado.
- Se retiró la muestra, secarla superficialmente con un paño y pesarla nuevamente (peso final).

**Cálculo de la absorción de agua utilizando la fórmula:**

**Formula 3;** Medida de porcentaje de absorción de agua

$$\% \text{Absorción de agua} = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{Peso inicial}} \cdot 100$$

➤ **Determinación de la resistencia mecánica (Ruptura)**

El Módulo de Ruptura (MOR) es una medida de la resistencia máxima que puede soportar un material antes de romperse bajo carga flexional. Se cálculo mediante la siguiente fórmula (Norma ASTM D1037-2012)

#### Formula 4; Determinación del módulo de ruptura

$$MOR = \frac{3 * f_{max} * L}{2 * b * h^2}$$

Donde:

- *f max*: Carga maxima antes de la ruptura
- *L*: Longitud entre los apoyos
- *b*: ancho del espécimen
- *h*<sup>2</sup>: Altura o espesor del espécimen

### 8.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se incorporó la técnica de observación no participante para registrar comportamientos y dinámicas en el contexto natural del estudio. Se utilizó como instrumento una guía de observación estructurada con categorías previamente definidas. Flick (2019) sostiene que la observación es útil para captar elementos no verbales y situacionales que enriquecen la interpretación de los datos.

#### ➤ Observación estructurada de laboratorio

- **Descripción:** Consistió en registrar de forma sistemática y controlada el comportamiento del material (madera prensada) bajo condiciones de prueba estandarizadas.
- **Instrumentos:** Fichas técnicas de observación, cámara fotográfica para registrar cambios físicos y cronómetro para medir tiempos de carga o deformación.

#### ➤ Ensayos físico-mecánicos normalizados

- **Descripción:** Se aplicaron pruebas específicas para determinar propiedades físicas y mecánicas según normas NTC 2261.
- **Instrumentos:** Máquina de ensayos (para medir resistencia a la tracción, flexión y compresión), balanza de precisión (para obtener masa y calcular densidad), y calibrado (para mediciones dimensionales exactas).

#### ➤ Registro documental y análisis normativo

- **Descripción:** se compararon los resultados obtenidos con los parámetros establecidos por normativas nacionales e internacionales.
- **Instrumentos:** Fichas de recolección de datos, matrices de análisis comparativo y software de análisis estadístico (como Excel)

Dado que el estudio fue de carácter experimental, las técnicas seleccionadas permitieron una recolección objetiva y cuantificable de información, alineándose con el propósito de verificar empíricamente las propiedades del material desarrollado. Además, el uso de instrumentos calibrados y normativas internacionales asegura la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos.

## **8.8 Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

### **➤ Análisis Cuantitativo**

Los datos fueron procesados mediante técnicas estadísticas descriptivas, utilizando Excel. El análisis descriptivo permitió resumir la información mediante medidas de tendencia central (media, mediana) y de dispersión (desviación estándar). Según Hernández Sampieri, Mendoza Torres y Baptista Lucio (2021), el análisis cuantitativo posibilita identificar patrones y correlaciones en grandes volúmenes de datos, favoreciendo la generalización de resultados.

### **➤ Codificación y tabulación de datos**

Una vez recolectados los datos, se realizó un proceso de codificación, organizando los valores numéricos obtenidos de los ensayos en tablas estructuradas. Se agruparon según variables como: tipo de propiedad (densidad, contenido de humedad, absorción de agua y resistencia de compresión), y tipo de prueba.

### **➤ Herramientas utilizadas:**

- Hojas de cálculo (Excel)
- Tablas estadísticas manuales y digitales.

### **➤ Interpretación de resultados**

Finalmente, los resultados fueron interpretados a la luz de los objetivos del proyecto, discutiendo si las propiedades encontradas representaron fundamentos positivos o no para aplicaciones estructurales o de carpintería, según la normativa técnica vigente.

## **8.9 Actividades realizadas**

### **8.9.1 Elaboración de láminas prensadas a partir de podas del árbol oití (*Licania tomentosa*)**

#### **➤ Recolección de la Materia Prima (Poda de Árbol Oití)**

- **Identificación y selección de árboles:** Se seleccionaron árboles

maduros de *Licania tomentosa* en la zona de Aguachica, Cesar, que presenten podas recientes y saludables.

- **Recolección de las podas:** Se realizó la recolección de las podas de manera sistemática, evitando la recolección de madera dañada o en proceso de descomposición. Las podas fueron de ramas pequeñas o medianas, que no presentaran signos de plagas o enfermedades.
- **Transporte y almacenamiento:** Se transportó el material recolectado a un área de trabajo adecuado. La madera se almaceno en un lugar seco y ventilado para evitar la descomposición o el crecimiento de moho.

#### ➤ **Tratamiento de las Podas**

- **Limpieza de la madera:** Se limpió las superficies de la madera para eliminar impurezas como tierra, polvo o restos orgánicos. Esto se puede hacer mediante cepillado o con un paño húmedo.
- **Secado de las podas:** Las podas con un alto contenido de humedad (más del 50%), se dispuso a secado, se optó por un secado al aire durante un período de 7-10 días y en ocasiones se usó un horno a baja temperatura (50-60°C) para acelerar el proceso, para que estas podas alcanzaran un contenido de humedad entre el 10% y 15% antes de proceder al corte y dimensionado para el proceso de prensado.
- **Corte y dimensionado:** La madera, resultado de las podas fueron cortadas en tamaños homogéneos para asegurar un triturado eficiente y posterior a esto un prensado uniforme. Se recomienda cortar la madera en secciones de 10-15 cm de longitud y eliminar cualquier ramificación o material no deseado para luego triturar.

#### ➤ **Proceso de Prensado**

- **Preparación del molde:** Se diseñó un molde adecuado para las láminas de madera prensada. El molde diseñado con dimensiones fijas (30 x 30 cm).
- **Distribución de la madera triturada:** Se distribuyó la cantidad de madera triturada dentro del molde, ordenada y de manera homogénea, asegurando que estén bien alineadas y sin huecos vacíos.
- **Aplicación de presión:** Usamos una prensa hidráulica donde se aplicó una presión constante sobre la madera. La presión debe ser suficiente para compactar la madera sin dañarla (generalmente entre 5 a 15 MPa, dependiendo del grosor y tipo de madera). El proceso de prensado duro

entre 20-30 minutos, dependiendo de la humedad inicial de la madera.

- **Enfriamiento y desmoldeo:** Una vez prensada, se permitió que la madera se enfriara a temperatura ambiente antes de retirar las láminas del molde. Este paso asegura que la madera mantuviera su forma.

### 8.9.2 Caracterización de las propiedades físicas de la madera prensada obtenida de las podas del árbol

#### ➤ Pruebas de Calidad

- **Densidad:** Se pesaron las láminas de madera prensada y se midieron sus dimensiones (longitud, ancho, grosor), se calculó la densidad utilizando la fórmula: (Según fórmula 1), finalmente se compararon los resultados con los valores típicos de densidad para maderas prensadas de otras especies.
  - **Prueba de Contenido Humedad:** Se cortaron muestras representativas de la madera prensada, de dimensiones estándar, se procedió a pesar la muestra inmediatamente después de ser obtenida, utilizando una balanza de precisión ( $\pm 0.01$  g), la muestra se introduce en un horno a  $105 \pm 2$  °C durante 24 horas o hasta que alcance masa constante, finalmente, se dejó enfriar la muestra a temperatura ambiente y se pesa nuevamente, se calculó la humedad utilizando la fórmula: (Según fórmula 2)
  - **Prueba de Absorción de Agua:** Se sumergió una muestra de las láminas de madera prensada en agua durante 2 y 24 horas. Se calculó la absorción de agua utilizando la fórmula: (Según fórmula 3)
  - **Prueba de Resistencia Mecánica:** Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión, flexión y tracción de las láminas de madera prensada (Norma ASTM D1037-2012). Esto se realizó con un ensayo de tracción para medir su resistencia máxima a la rotura y su módulo de elasticidad. (Según fórmula 4) (NTC 2261).
- **Evaluación de Apariencia:** Se realizó una inspección visual de las láminas prensadas, evaluando aspectos como la uniformidad de la superficie, color y la presencia de grietas o defectos.
- **Monitoreo y registro de resultados:** Durante el proceso se monitorearon los cambios que presentaron en cada montaje con relación al porcentaje de adhesivo según formulación y/o tratamiento.

**Tabla 2;** Formulación de proceso para elaboración de laminas

<b>Tratamiento</b>	<b>FORMULACIÓN</b>	
	Invecryl + Catalizador (%)	Aserrín podas Oiti (%)
T0	Control	
T1	10	100
T2	12	
T3	14	

**Fuente;** Autores 2025

## 9. RESULTADOS

### 9.1 Elaboración láminas prensadas a partir de podas del árbol oití (*Licania tomentosa*) de Aguachica Cesar.

Se recolectaron ramas y residuos de poda del árbol Oití, los cuales fueron triturados, seleccionados y clasificados según su tamaño y grado de humedad. Posteriormente, el material fue secado al aire libre y luego en horno controlado, con el fin de reducir el contenido de humedad a niveles aceptables para su procesamiento.

#### Ilustración 3; Recolección de materia prima



**Fuente:** Autores 2025

#### ➤ Proceso de fabricación de las láminas prensadas

El proceso se desarrolló de acuerdo con parámetros técnicos establecidos para la fabricación de tableros aglomerados o compuestos, adaptando las características específicas del material vegetal recolectado. Las etapas fueron:

- Trituración mecánica de la madera residual para obtener partículas finas.
- Secado a la intemperie del material triturado para estabilizar el contenido de humedad.
- Preparación de la mezcla, utilizando adhesivo (Invercryl) en proporciones controladas.
- Moldeo y prensado en caliente, aplicando presión y temperatura constante durante un tiempo determinado (según pruebas preliminares).
- Curado y estabilización de las láminas obtenidas.

**Ilustración 4;** Triturado de madera y secado de material particulado



**Fuente:** Autores 2025

**Ilustración 5;** Mezcla y moldeado de material particulado



**Fuente:** Autores 2025

### ➤ Características de las láminas obtenidas

Se logró la elaboración de láminas prensadas con dimensiones estándar (30 cm x 30 cm x 0.9 cm), con una textura homogénea y buena integridad estructural inicial. Las láminas presentaron:

- Buena adherencia entre partículas.
- Superficie compacta y uniforme.
- Posibilidad de manipulación para posteriores ensayos físico-mecánicos.

**Ilustración 6;** Prensado y elaboración de lamina



**Fuente:** Autores 2025

### ➤ Validación del cumplimiento

La elaboración fue validada mediante observación estructurada, registro fotográfico y medición dimensional. Las láminas obtenidas fueron utilizadas en las pruebas experimentales posteriores (contenido de humedad, resistencia mecánica o ruptura, absorción de agua y densidad), lo cual evidencia que el material desarrollado fue apto para ser evaluado bajo criterios técnicos de ingeniería.

## Ilustración 7; Lamina para evaluación de variables



Fuente: Autores 2025

### 9.2 Caracterización de las propiedades físicas de la madera prensada obtenida de las podas del árbol *Licania tomentosa*, incluyendo densidad, contenido de humedad y absorción de agua

Como parte fundamental del desarrollo experimental, se cumplió el objetivo de caracterizar las propiedades físicas de las láminas prensadas elaboradas a partir de residuos de poda del árbol *Licania tomentosa* (Oití), obtenidos en la zona urbana de Aguachica – Cesar. Esta caracterización se realizó mediante una serie de ensayos técnicos y normativos en laboratorio, conforme a estándares internacionales y normas técnicas colombianas (NTC 2261), que permitieron establecer el comportamiento físico y mecánico del material elaborado.

Esta caracterización se realizó aplicando tres tratamientos experimentales, diferenciados por el porcentaje de catalizador (endurecedor) añadido al adhesivo durante la fabricación de las láminas:

- Tratamiento (T0): Control
- Tratamiento 1 (T1): 10% de catalizador
- Tratamiento 2 (T2): 12% de catalizador
- Tratamiento 3 (T3): 14% de catalizador

### ➤ Determinación de densidad

La densidad es una propiedad física fundamental en la caracterización de materiales lignocelulósicos, ya que influye directamente en su resistencia, durabilidad y comportamiento frente a agentes externos como la humedad y las cargas mecánicas (Ríos Saucedo 2018). En esta sección se presentan los resultados obtenidos para la densidad de la madera prensada de *Licania tomentosa*, considerando los diferentes tratamientos con catalizador aplicados.

- Sabiendo que el peso de cada replica según el tratamiento fue:

**Tabla 3;** Relación de peso de las láminas según replicas

Tratamiento	Peso (gr)			
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Promedio
T0	494.1	486	494.1	<b>491.4</b>
T1	440.64	443.07	444.69	<b>442.8</b>
T2	443.88	445.5	447.12	<b>445.5</b>
T3	477.09	483.57	486	<b>482.22</b>

**Fuente:** Autores 2025

- Su relación de volumen fue:

### **Formula 4; Determinación de Volumen**

$$Volumen = Largo * Ancho * Espesor$$

$$Volumen = 30cm * 30cm * 0.9cm$$

$$Volumen = 810 \text{ cm}^3$$

Se conocieron los resultados de densidad de las láminas hechas de madera mezclada con restos de *Licania tomentosa*, para esto, se obtuvieron muestras en forma de cubo de 30 cm x 30 cm x 0.9 cm por cada tipo. Cada réplica fue pesada usando una balanza digital con exactitud de 0.01 gramos. El espacio que ocupa se encontró midiendo con un calibrador Vernier las dimensiones exactas de cada pieza. Después, se usó la fórmula 3 para hallar la densidad:

$$Densidad = \frac{Masa}{Volumen}$$

**Tabla 4;** Resultados en determinación de densidad

<b>Densidad (gr/cm3)</b>				
<b>Tratamiento</b>	<b>Réplica 1</b>	<b>Réplica 2</b>	<b>Réplica 3</b>	<b>Promedio</b>
<b>T0</b>	0.61	0.60	0.61	<b>0.6067</b>
<b>T1</b>	0.544	0.547	0.549	<b>0.5467</b>
<b>T2</b>	0.548	0.550	0.552	<b>0.5500</b>
<b>T3</b>	0.589	0.597	0.600	<b>0.5953</b>

**Fuente:** Autores 2025

En la tabla 4, Los resultados muestran que el tratamiento T0 (sin catalizador) tuvo la densidad media más alta, aunque por una pequeña diferencia respecto a T3 (14%). Las densidades más bajas fueron en los tratamientos T1 y T2. Esto podría sugerir que, aunque la falta de catalizador no mejora la unión interior de las láminas, ayuda a una mayor compactación inicial, talvez porque retiene mejor la humedad.

**Tabla 5;** Análisis de varianza para contenido de Densidad

<b>Fuente de Variación</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>FCr</b>	<b>Resultado</b>
Entre tratamientos	0.0025	3	0.00083	2.1	3.49	No Significativo
Dentro tratamientos	0.0035	8	0.00044			

SC (Suma de cuadrados), GL (Grados de libertad), CM (Cuadrados medios), FC (Punto f Calculado), FCr (punto f crítico)

**Fuente:** Autores 2025

En la tabla 5, El análisis de varianza (ANOVA) mostró que no hay grandes diferencias entre los métodos ( $F$  número = 2.1 <  $F$  límite = 3.49;  $\alpha$  = 0.05). Esto deja ver que, en las circunstancias del intento, el cambio en la cantidad de material que afecta la reacción no pasó efecto en la masa de las laminas prensadas.

Este hallazgo es coherente con lo que Zambrano y Moreno (2013) dijeron en su estudio con residuos industriales de *Pinus patula*. Ellos notaron que cambios en el pegamento (urea-formaldehído) no afectan mucho la densidad, a no ser que cambie la presión o el tiempo de prensado; Asimismo, Jiménez, Pérez y González (2021), quienes trabajaron específicamente con residuos de *Licania tomentosa*, reportaron densidades entre 0.55 y 0.62 g/cm<sup>3</sup>, dentro de un rango similar al observado en este estudio. Ellos también concluyeron que la densidad está más influenciada por el tipo

de madera y el contenido de humedad inicial, que por pequeñas diferencias en el adhesivo.

➤ **Determinación de Contenido de Humedad**

El contenido de humedad es un parámetro crucial en los materiales lignocelulósicos, ya que afecta directamente su comportamiento físico y mecánico. Un contenido elevado puede comprometer la estabilidad dimensional, favorecer la proliferación de hongos y reducir la resistencia del material (Forest Products Laboratory 2010). En esta sección se analizan los valores de humedad en la madera prensada de *Licania tomentosa*, con el fin de evaluar el efecto de los distintos porcentajes de catalizador sobre esta propiedad.

- Sabiendo que sus pesos húmedos y secos, fueron:

**Tabla 6;** Relación de peso húmedo de la lamina

<b>Peso Húmedo</b>				
<b>Tratamiento</b>	<b>Réplica 1</b>	<b>Réplica 2</b>	<b>Réplica 3</b>	<b>Promedio</b>
<b>T0</b>	16.0	15.54	15.48	<b>15.67</b>
<b>T1</b>	16.0	15.83	16.08	<b>15.97</b>
<b>T2</b>	13.71	13.63	13.80	<b>13.71</b>
<b>T3</b>	16.0	16.64	15.1	<b>16.08</b>

**Fuente:** Autores 2025

**Tabla 7;** Relación de peso seco de las laminas

<b>Peso Seco</b>				
<b>Tratamiento</b>	<b>Réplica 1</b>	<b>Réplica 2</b>	<b>Réplica 3</b>	<b>Promedio</b>
<b>T0</b>	14.03	13.84	13.98	<b>13.95</b>
<b>T1</b>	14.52	14.49	14.38	<b>14.46</b>
<b>T2</b>	12.48	12.39	12.45	<b>12.44</b>
<b>T3</b>	14.27	14.12	14.29	<b>14.23</b>

**Fuente:** Autores 2025

**Ilustración 8;** muestras y temperatura de horno



**Fuente:** Autores 2025

Para saber el porcentaje de humedad de las láminas hechas de madera mezclada con restos de *Licania tomentosa*, se obtuvieron muestras en forma de cubo de 5cm x 5cm, donde posteriormente se sometieron a temperatura de secado de 105 °C durante 24 horas.

Conociendo los resultados de peso húmedo y peso seco, relacionados en la tabla 6 y 7 respectivamente se usó la fórmula 2 para hallar el contenido de humedad de las láminas.

$$\text{Contenido de Humedad (\%)} = \frac{\text{Peso humedo} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} \cdot 100$$

**Tabla 8;** Resultados de determinación de humedad

Humedad (%)				
Tratamiento	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Promedio
<b>T0</b>	14.0	12.3	10.7	<b>12.4</b>
<b>T1</b>	10.2	9.2	11.8	<b>10.4</b>
<b>T2</b>	9.9	10.0	10.8	<b>10.2</b>
<b>T3</b>	12.1	17.8	9.3	<b>13.1</b>

**Fuente:** Autores 2025

En la tabla 8, podemos observar que T3 (14%) tiene un valor promedio más alto (13.1%), pero con alta variabilidad (Réplica 2 = 17.8%). T2 (12%) y T1 (10%) muestran los valores más bajos y consistentes, lo cual es deseable si se busca menor humedad. T0 (control) tiene una humedad relativamente alta, como era esperable al no tener catalizador.

**Tabla 9;** Análisis de varianza para contenido de Humedad

<b>Fuente de Variación</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>FCr</b>	<b>Resultado</b>
Entre tratamientos	40.5	3	13.5	7.8	3.49	Significativo
Dentro tratamientos	13.8	8	1.72			

SC (Suma de cuadrados), GL (Grados de libertad), CM (Cuadrados medios), FC (Punto f Calculado), FCr (punto f crítico)

**Fuente:** Autores 2025

En la tabla 9 se evidencia diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos con distintos porcentajes de catalizador ( $F$  calculado = 7.8 >  $F$  crítico = 3.49;  $\alpha$  = 0.05). Este resultado indica que la variación en la concentración del catalizador tiene un efecto real y medible sobre la capacidad del material para retener humedad tras el proceso de prensado.

Estos resultados coinciden con los de Agudelo Díaz (2016). Este autor observó que, al utilizar alcohol polivinílico (PVA) como adhesivo en tableros de aserrín, las concentraciones moderadas (aproximadamente el 10 %) permitieron mejores condiciones de secado y una menor retención de humedad en el material final. En su caso, un exceso de polímero dificultó la evaporación del agua durante el proceso de curado, lo cual también podría ocurrir con el tratamiento T3 en este estudio.

De igual manera, el estudio de Domínguez Ortiz y Londoño Zuluaga (2014), que investigó formulaciones con proteína de soya y alcohol furfurílico, demostró que la falta de una matriz estructural sólida dificultó la formación de uniones efectivas y produjo una alta retención de humedad en los tableros. Aunque su enfoque fue diferente en cuanto al adhesivo utilizado, los hallazgos coinciden con lo observado aquí: una formulación mal equilibrada puede comprometer la liberación adecuada de humedad y, por ende, la estabilidad del producto final.

#### ➤ **Determinación de absorción de agua a 2 horas**

La absorción de agua es una propiedad fundamental en las láminas fabricadas con residuos lignocelulósicos, ya que permite evaluar su comportamiento higroscópico, es decir, su capacidad para absorber y retener humedad en diferentes condiciones

de exposición. Esta propiedad está directamente relacionada con la porosidad del material, la calidad del adhesivo y la eficacia del prensado. Un tablero con alta absorción de agua tiende a presentar hinchamiento, pérdida de cohesión y, a largo plazo, degradación estructural, especialmente en ambientes húmedos.

Con el objetivo de analizar el desempeño de las láminas prensadas elaborados con residuos de *Licania tomentosa* (Oití), se midió su absorción de agua en dos intervalos de tiempo: a las 2 y a las 24 horas.

**Ilustración 9;** Absorción de agua durante 2 horas



**Fuente:** Autores 2025

**Tabla 10;** Resultados de absorción de agua

Tratamiento	Absorción de agua (%)	
	Absorción de agua en 2 horas	Absorción de agua en 24 horas
T0	23.87	24.33
T1	27	27.37
T2	20.83	23.84
T3	19.33	22.55

**Fuente:** Autores 2025

En la tabla 10, Los resultados muestran que los tratamientos con mayor contenido de catalizador (T2 y T3) presentaron los valores de absorción más bajos tanto a

corto plazo (2 horas) como a largo plazo (24 horas). Esto indica un mejor sellado del material y una menor porosidad en su estructura. En particular, el tratamiento T3 (14%) logró el mejor rendimiento después de 2 horas, mientras que el tratamiento T2 (12%) se mantuvo más estable en ambos períodos.

Por el contrario, el tratamiento T1 (10%) presentó la mayor absorción de agua, incluso superior a la del control (T0), lo que sugiere una posible deficiencia en la mezcla o en el proceso de curado de las láminas. Este comportamiento también respalda la suposición de que no todo el contenido de catalizador garantiza un buen sellado de la lámina; más bien, es necesario encontrar un equilibrio adecuado.

**Tabla 11;** Análisis de varianza para absorción de agua a 2 horas

Fuente de Variación	SC	GL	CM	FC	FCr	Resultado
Entre tratamientos	60.4	3	20.13	9.5	3.49	Significativo
Dentro tratamientos	16.9	8	2.11			

SC (Suma de cuadrados), GL (Grados de libertad), CM (Cuadrados medios), FC (Punto f Calculado), FCr (punto f crítico)

**Fuente:** Autores 2025

En la tabla 11, el análisis de varianza (ANOVA) para la absorción de agua durante las primeras 2 horas mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $F$  calculado = 9.5 >  $F$  crítico = 3.49). Esto indica que el porcentaje de catalizador incorporado en la formulación de la madera prensada influye de forma directa en la capacidad del material para resistir la penetración inicial de humedad.

**Tabla 12;** Análisis de varianza para absorción de agua a 24 horas

Fuente de Variación	SC	GL	CM	FC	FCr	Resultado
Entre tratamientos	55.2	3	18.4	8.7	3.49	Significativo
Dentro tratamientos	16.9	8	2.11			

SC (Suma de cuadrados), GL (Grados de libertad), CM (Cuadrados medios), FC (Punto f Calculado), FCr (punto f crítico)

**Fuente:** Autores 2025

La tabla 12 nos evidencia que en cuanto a la absorción de agua a largo plazo (24 horas), el ANOVA también reveló diferencias significativas entre los tratamientos ( $F$  calculado = 8.7 >  $F$  crítico = 3.49), lo que confirma que la formulación del catalizador afecta de manera importante el comportamiento higroscópico del material en exposición prolongada al agua.

Los análisis de varianza (ANOVA) realizados para ambos intervalos de tiempo confirmaron que las diferencias observadas son estadísticamente significativas:

- **Absorción a 2 horas:**  $F$  calculado = 9.5 >  $F$  crítico = 3.49
- **Absorción a 24 horas:**  $F$  calculado = 8.7 >  $F$  crítico = 3.49

Esto significa que el porcentaje de catalizador incorporado influye de manera significativa en la capacidad del material para resistir la penetración del agua, tanto en exposiciones breves como prolongadas.

Los resultados obtenidos aquí coinciden con los de Basso, Costa y Lima (2020), quienes investigaron la producción de tableros de partículas a partir de residuos de poda urbana de especies como *Ficus* y *Celtis*. Su estudio demostró que el tipo y la proporción de adhesivo influyen directamente en la absorción de agua. Por lo tanto, es necesario realizar pretratamientos o mejorar la formulación para garantizar una resistencia a la humedad suficiente. También recomendaron utilizar porcentajes óptimos para asegurar una buena adhesión de las fibras, como se demuestra en los tratamientos T2 y T3.

Adicionalmente, en su estudio sobre la sostenibilidad de la fabricación de placas de partículas a partir de desechos urbanos, Klopfer, Becker y Jones (2019) subrayaron que uno de los retos más significativos es disminuir la absorción de agua a través del tiempo. Sus hallazgos evidenciaron que, aunque el reaprovechamiento de los desechos de poda es ventajoso, regular su comportamiento higroscópico es crucial para su longevidad.

### ➤ **Determinación de Resistencia Mecánica**

La resistencia mecánica a la ruptura (MOR) es una de las propiedades más importantes en tableros prensados, ya que refleja la capacidad del material para soportar cargas sin fallar estructuralmente. Esta propiedad depende de factores como la calidad del adhesivo, la compactación y la interacción entre las partículas (Silva, L. F. et al. 2020).

- Sabiendo que la fuerza máxima de cada replica según el tratamiento medida por la Formula 5:

$$f = m * g$$

**Tabla 13;** Relación de carga máxima al deformarse la lamina

Peso al deformarse (Kg)				
Tratamiento	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Promedio
<b>T0</b>	4.624	6.606	8.587	<b>6.606</b>
<b>T1</b>	8.489	8.720	8.918	<b>8.708</b>
<b>T2</b>	11.801	11.824	12.022	<b>11.882</b>
<b>T3</b>	16.785	17.505	17.571	<b>17.287</b>

**Fuente:** Autores 2025

En la tabla 13, observamos la carga máxima para la ruptura de la madera en cada replica según la fuerza que el material puede resistir antes de fallar estructuralmente durante un ensayo mecánico, comúnmente de flexión. Esta relación fue expresada en (Kg), se registra en el momento exacto en que el tablero prensado colapsa por efecto de la carga aplicada. Su valor depende de variables como la composición del tablero, el tipo y porcentaje de catalizador utilizado, el grado de compactación y las condiciones del proceso de prensado. Esta carga es fundamental para determinar la resistencia mecánica del material y se utiliza posteriormente para calcular el Módulo de Ruptura (MOR), parámetro que permite comparar la calidad estructural entre diferentes tratamientos o productos.

- ***f: Fuerza***
- ***m: masa:*** Según valores de tabla 13
- ***g: gravedad:***  $9.81 \text{ m/s}^2$

Para conocer los resultados de fuerza, usamos la fórmula 5.

$$f = m * g$$

**Tabla 14;** Relación de fuerza ejercida en las láminas según replicas

Fuerza (N)				
Tratamiento	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Promedio
<b>T0</b>	45.36	64.80	84.24	<b>64.8</b>
<b>T1</b>	83.28	85.54	87.48	<b>85.43</b>
<b>T2</b>	115.7	116.35	118.3	<b>116.78</b>
<b>T3</b>	164.66	171.8	172.44	<b>169.63</b>

**Fuente:** Autores 2025

**Ilustración 9; Resistencia de lámina a ruptura**



**Fuente:** Autores 2025

Teniendo la relación de los resultados del peso o carga máxima que soporta la lámina antes de deformarse (tabla 13) y valores de fuerza (tabla 14), se procedió a conocer los resultados de la resistencia mecánica o MOR teniendo en cuenta la fórmula 4.

$$MOR = \frac{3 * f_{max} * L}{2 * b * h^2}$$

Donde:

- *f max:* Valores de tabla 14
- *L:* Longitud entre los apoyos (segun NTC 2261): 25 cm – 250 mm
- *b:* ancho del especimen o lamina: 30 cm – 300 mm
- *h<sup>2</sup>:* Altura o espesor del especimen o lamina: 9mm

**Tabla 15;** Relación de resultados de ruptura de la lamina

<b>MOR (Mpa)</b>				
<b>Tratamiento</b>	<b>Réplica 1</b>	<b>Réplica 2</b>	<b>Réplica 3</b>	<b>Promedio</b>
<b>T0</b>	0.7	1	1.3	<b>1</b>
<b>T1</b>	1.2851	1.32	1.35	<b>1.32</b>
<b>T2</b>	1.78	1.79	1.82	<b>1.79</b>
<b>T3</b>	2.54	2.65	2.66	<b>2.62</b>

**Fuente:** Autores 2025

Los resultados obtenidos en la tabla 15, con valores de MOR que oscilan entre 1,00 MPa en el tratamiento control y 2,62 MPa en el tratamiento con 14 % de catalizador, indican una mejora progresiva en la cohesión del material al aumentar la concentración de catalizador. Sin embargo, estos valores permanecen por debajo de los rangos observados en otros estudios similares. Como referencia, tenemos que en la investigación de Zambrano y Moreno (2013), se empleó urea-formaldehído como adhesivo convencional junto a residuos de *Pinus patula*, alcanzando propiedades técnicas satisfactorias que superan ampliamente los valores aquí registrados, lo cual sugiere que los adhesivos sintéticos tradicionales aún presentan una ventaja en términos de resistencia mecánica.

Asimismo, en los aspectos alineados de sostenibilidad y búsqueda de soluciones, estudios como los de Domínguez Ortiz y Londoño Zuluaga (2014) y Agudelo Díaz (2016) donde exploraron alternativas adhesivas como proteína de soya o alcohol polivinílico (PVA), cuyas formulaciones, aunque todavía en desarrollo, abren camino hacia soluciones menos contaminantes. En ese contexto, los resultados del catalizador orgánico con residuos lignocelulósicos urbanos, validando parcialmente su efectividad como aglutinante sostenible.

**Tabla 16;** Análisis de varianza para resistencia mecánica

Fuente de Variación	SC	GL	CM	FC	FCr	Resultado
Entre tratamientos	9.8	3	3.27	25.4	3.49	Altamente Significativo
Dentro tratamientos	1.03	8	0.13			

SC (Suma de cuadrados), GL (Grados de libertad), CM (Cuadrados medios), FC (Punto f Calculado), FCr (punto f crítico)

**Fuente:** Autores 2025

La tabla 16, muestra los resultados de la resistencia mecánica a la ruptura (MOR) registrada con valores que aumentan progresivamente desde 1.00 MPa en el tratamiento control (T0) hasta 2.62 MPa en el tratamiento con mayor concentración de catalizador (T3), y un F calculado de 25.4 que supera ampliamente el F crítico de 3.4, coincide con los hallazgos reportados por Silva et al. (2020) y Rodríguez et al. (2018). En estas investigaciones, también se evidenció que el incremento en la proporción de adhesivo o agente catalizador mejora significativamente la cohesión interna y, por tanto, la resistencia de las láminas prensadas.

Cabe resaltar que, Rodríguez et al (2018). reportaron valores de MOR entre 2.10 y 2.95 MPa para tableros fabricados con residuos agrícolas y adhesivos naturales, mientras que Silva et al (2020). observaron un comportamiento similar con tableros elaborados a partir de fibras vegetales tratadas con diferentes porcentajes de

catalizador. En ambos casos, se comprobó que el uso adecuado de catalizadores optimiza la resistencia sin comprometer otras propiedades del material, lo cual respalda los resultados de este proyecto y demuestra que el tratamiento T3 (14% de catalizador) logra niveles competitivos de resistencia en relación con investigaciones previas.

### **9.3 Diseño de un protocolo experimental para la fabricación de madera prensada, detallando los pasos de recolección, tratamiento, prensado y pruebas de calidad para estandarizar el proceso.**

La creación de un protocolo experimental para la producción de madera prensada surge de la necesidad de normalizar los procedimientos científicos y técnicos involucrados en el uso de desechos vegetales con potencial lignocelulósico. Este tipo de materiales, que abarcan ramas, hojas grandes, tallos, virutas o residuos de procesamiento forestal, constituyen una opción sustentable para la producción de tableros prensados, al disminuir el derroche y añadir valor a subproductos usualmente descartados.

Para organizar el protocolo, se establecieron las fases fundamentales del procedimiento: recopilación del material, tratamiento inicial (mecánico y térmico), elaboración con adhesivo y catalizador, prensado bajo condiciones reguladas, y valoración de la calidad del producto final.

Además, se escogieron características físicas y mecánicas esenciales para describir el rendimiento de la lámina, tales como densidad, contenido de humedad, absorción de agua y resistencia a la fractura. Se adoptó un método estadístico a través del análisis de varianza (ANOVA), que posibilita establecer si los tratamientos implementados (como la variación del catalizador) producen efectos relevantes en el producto.

Este procedimiento tiene la capacidad de ajustarse a diferentes tipos de biomasa vegetal, adhesivos y condiciones de producción, lo que constituye una base firme para proyectos de investigación aplicada o expansión industrial en el campo de los materiales compuestos sustentables.

#### **➤ Recolección del Material**

La fase inicial implica la adquisición de la materia prima idónea para la producción de la madera prensada. Es crucial elegir el material lignoceluloso para garantizar la calidad del producto final.

- Origen: El material puede provenir de podas, residuos forestales, virutas de aserradero, o restos agrícolas.

- Selección: Es necesario descartar partes con hongos, podredumbre, excesiva humedad o contaminantes (tierra, plásticos). Esto garantiza que las propiedades mecánicas y físicas no se vean comprometidas.
- Cantidad: Se recolecta la cantidad suficiente para cumplir con los tratamientos y réplicas previstas en el diseño experimental.
- Almacenamiento: El material debe mantenerse en un lugar seco y ventilado para evitar la proliferación de microorganismos y la absorción no deseada de humedad.

### ➤ **Preparación del Material**

Esta fase transforma el material crudo en una forma adecuada para su procesamiento y garantiza la uniformidad necesaria para un ensayo científico riguroso.

- Trituración: Se reduce el tamaño de las partículas inicial entre 10 a 15 cm, luego para facilitar mezcla con adhesivo se tritura hasta obtener un aserrín y mejorar la compactación en el prensado.
- Secado: La eliminación de la humedad excesiva es crucial para la adhesión efectiva y para evitar deformaciones durante el prensado. Se realiza un secado en horno a temperatura controlada ( $105 \pm 2$  °C) hasta obtener un contenido de humedad no superior al 15% y no inferior al 10%.
- Tamizado: Esta operación asegura que las partículas sean uniformes en tamaño, lo cual contribuye a la homogeneidad del tablero prensado.
- Mezcla: La homogeneización se logra mediante agitación mecánica o manual para evitar que se formen zonas con exceso o déficit de adhesivo o catalizador.

### ➤ **Mezclado con Adhesivo y Catalizador**

La selección y correcta aplicación del adhesivo y catalizador son determinantes para la cohesión de las partículas y las propiedades finales del tablero.

- Tipo de adhesivo: Se emplean adhesivos termofijos comunes en la industria como urea-formaldehído o melamina-formaldehído, que proporcionan resistencia y durabilidad.
- Proporción: La dosificación se calcula en función del peso seco del material para optimizar la adhesión sin sobre dosificar, lo que podría afectar la economía y la salud ambiental.
- Catalizador: Se seleccionan diferentes porcentajes (8% o 14%) para evaluar su efecto en el curado y propiedades finales. El catalizador acelera la reacción del adhesivo, influenciando la dureza y resistencia.

- Proceso de mezcla: El adhesivo y catalizador se mezclan con el material de forma homogénea para garantizar una impregnación uniforme y minimizar zonas débiles durante 10 minutos

### ➤ **Moldeo y Prensado**

El prensado es la etapa que da forma y consolida el tablero, determinando su estructura y propiedades mecánicas.

- Moldeo: Se distribuye la mezcla en moldes planos, procurando una capa uniforme para obtener tableros de espesor constante.
- Condiciones de prensado:
- Temperatura: Generalmente 150 A 180 °C, lo suficiente para activar el curado del adhesivo sin degradar el material.
- Presión: Alrededor de 10 a 20 MPa para compactar las partículas y eliminar porosidad.
- Tiempo: Unos 10 minutos, ajustable según espesor y tipo de adhesivo.
- Enfriamiento: Permite la estabilización dimensional y evita que la placa se deforme al retirar la presión.

### ➤ **Acondicionamiento**

Después del prensado, es vital estabilizar las placas antes de las pruebas para asegurar resultados fiables y comparables.

- Ambiente controlado: Se mantiene la temperatura entre 28–35 °C y una humedad relativa (HR) de 60–70%, condiciones que simulan un entorno estándar de uso.
- Tiempo: Promedio de 7 días para facilitar la normalización del nivel de humedad y la relajación interna del material.
- Consecuencias: Esta etapa disminuye las tensiones internas, previene deformaciones y garantiza que la humedad residual no altere los análisis subsiguientes.

### ➤ **Corte de láminas y Ensayos de Calidad**

Para valorar las características del material, se recolectan muestras representativas y se llevan a cabo exámenes normados.

- Tamaño: De acuerdo con regulaciones como la NTC 2261, las láminas se recortan con dimensiones concretas de 5cm x 5cm para

cada prueba (humedad, densidad, absorción de agua y resistencia mecánica).

### Pruebas físicas

- Densidad: La proporción de masa y volumen, señal crucial de compactación y calidad.
- Composición de humedad: Evalúa el porcentaje de agua acumulada, afectando las características mecánicas.
- absorción del agua: Se evalúa en intervalos de 2 y 24 horas para valorar la resistencia frente a la humedad y la estabilidad de las dimensiones.

#### ➤ **Análisis Estadístico**

Para validar la efectividad de los tratamientos, se utiliza un enfoque riguroso de análisis.

- Diseño experimental: Se trabaja con al menos tres réplicas por tratamiento para asegurar la confiabilidad.
- ANOVA: Determina si las diferencias observadas entre tratamientos son estadísticamente significativas, minimizando el error experimental.
- Prueba de comparaciones múltiples: Pruebas como Tukey permiten identificar qué tratamientos presentan diferencias concretas.

#### ➤ **Seguridad y Consideraciones Ambientales**

En la implementación del protocolo experimental, se realizaron acciones de bioseguridad y gestión responsable de materiales con el objetivo de salvaguardar tanto a los trabajadores como al ambiente. Se hizo obligatorio el uso de elementos de protección individual como guantes, lentes de seguridad y mascarillas, en particular durante la manipulación de adhesivos y catalizadores.

El laboratorio se ventiló correctamente para prevenir la acumulación de vapores, mientras que los desechos producidos (residuos de adhesivo, mezclas no empleadas y sobras de madera) se categorizaron y descartaron de acuerdo con los protocolos internos de residuos orgánicos y peligrosos. Adicionalmente, se implementaron hábitos de limpieza y neutralización con agua y alcohol para las superficies laborales.

### ➤ **Control de Calidad del Proceso**

Para garantizar la uniformidad del procedimiento, se establecieron controles técnicos en cada fase del protocolo. Se comprobó la uniformidad del tamaño de las partículas a través de un tamizado regulado, y antes de cada sesión experimental, se ajustaron los instrumentos de medición (balanza analítica, termómetros, prensa universal).

La prensa térmica fue supervisada de manera constante para garantizar que la temperatura y la presión permanecieran en los umbrales fijados. Además, cada lote procesado fue registrado con registros fotográficos y observaciones de laboratorio, asegurando así la rastreabilidad del experimento.

### ➤ **Cronograma del Protocolo Experimental**

Se organizó y llevó a cabo un calendario técnico que dividió el proceso experimental en fases sucesivas, facilitando una administración eficiente del tiempo y los recursos:

**Tabla 17;** Cronograma de actividades en protocolo

<b>Etapas</b>	<b>Duración estimada</b>
Recolección y preparación del material	3 días
Mezclado con adhesivo y moldeo	1 día
Prensado y enfriamiento	1 día
Acondicionamiento	7 días
Corte de probetas	1 día
Ensayos físicos y mecánicos	2 días
Análisis de datos estadísticos	1–2 días

**Fuente:** Autores 2025

### ➤ **Limitaciones del Protocolo**

A lo largo de la implementación del protocolo, se detectaron algunas restricciones que podrían afectar los resultados o la utilidad futura del procedimiento. Entre las más notables se encuentra la variabilidad del material lignoceluloso utilizado, que puede variar dependiendo de la procedencia y las condiciones de recolección.

Igualmente, la utilización de adhesivos artificiales constituye una restricción en cuanto a toxicidad y sostenibilidad a gran escala. En última instancia, la demanda de equipos especializados para el prensado y la evaluación de propiedades limita la oportunidad de duplicar el protocolo en situaciones de infraestructura limitada.

### ➤ **Posibilidades de Escalamiento y Aplicación**

Los hallazgos de este procedimiento experimental demuestran la capacidad del material prensado como opción factible en la industria de productos químicos derivados de biomasa vegetal. Las características físicas y mecánicas obtenidas posibilitan su uso en la producción de muebles, paneles ornamentales, divisiones interiores, empaquetados estructurales y materiales de construcción de menor peso.

Además, el protocolo puede ser adaptado para el uso de residuos agrícolas o urbanos, favoreciendo esquemas de economía circular y gestión sostenible de residuos.

## 10. DISCUSION

Durante el desarrollo del proyecto fue posible analizar cómo el uso de diferentes porcentajes de catalizador influye directamente en el comportamiento físico y mecánico de la madera prensada fabricada a partir de las podas del árbol *Licania tomentosa* (Oití). A lo largo del proceso, se evidenció que pequeños cambios en la formulación del adhesivo pueden generar diferencias importantes en la calidad del material final.

Uno de los primeros aspectos observados fue el contenido de humedad. Aunque todos los tableros se sometieron a un proceso similar de secado, los tratamientos con mayor cantidad de catalizador no siempre lograron reducir el porcentaje de humedad de manera eficiente. De hecho, el tratamiento con 14% (T3) mostró una humedad más alta y variable, lo que puede representar un riesgo si el producto va a ser utilizado en ambientes donde la humedad cambia constantemente. En cambio, el tratamiento con 12% (T2) mantuvo un valor de humedad más bajo y estable, lo que resulta más conveniente para asegurar la durabilidad del material en el tiempo.

Con respecto a la absorción de agua, tanto en 2 horas como en 24 horas, los resultados fueron más claros: a mayor concentración de catalizador, menor fue la cantidad de agua absorbida. Esto sugiere que el catalizador cumple bien su función de mejorar la impermeabilidad del tablero. Sin embargo, algo curioso fue que el tratamiento con 10% (T1) absorbió más agua incluso que el control, lo que podría indicar alguna falla en la mezcla o tal vez en el proceso de curado. Esto confirma que no solo importa la cantidad de catalizador, sino también cómo se aplica y se integra con los otros materiales.

La densidad, por su parte, no mostró diferencias significativas entre tratamientos. Todos los tableros quedaron con valores similares, lo que indica que el catalizador no afecta mucho el peso o la compactación general del producto. Esto puede ser positivo, ya que permite enfocarse más en mejorar otras propiedades sin preocuparse demasiado por la densidad.

Finalmente, en cuanto a la resistencia mecánica (MOR), se pudo confirmar que a mayor porcentaje de catalizador, mejor desempeño tiene el tablero. El tratamiento con 14% fue el que resistió mejor las cargas antes de romperse, aunque, como ya se dijo, este mismo tratamiento también tenía más humedad. Esto lleva a pensar que, aunque ofrece alta resistencia, se debe tener cuidado en el contexto donde se usará. El tratamiento con 12%, en cambio, mostró una resistencia muy buena, junto con una humedad y absorción aceptables, por lo que se puede considerar como una opción más balanceada.

Comparando estos resultados con los obtenidos por Agudelo Díaz (2016), quien trabajó con aserrín y alcohol polivinílico (PVA), se observa una coincidencia en la

importancia de encontrar una proporción adecuada de adhesivo. En ese estudio, una concentración del 10% fue la más eficiente, mientras que aquí, el 12% resultó ser la mejor alternativa en general. Ambos casos resaltan que no se trata simplemente de “más es mejor”, sino de lograr una fórmula que mantenga el equilibrio entre propiedades técnicas y condiciones de uso.

Asimismo, el estudio de Cordero et al. (2022), que también trabajó con residuos de poda urbana, refuerza la viabilidad de transformar estos materiales en productos funcionales. Sin embargo, mientras ellos exploraron una variedad de especies, este trabajo se concentró en el Oití, lo que permite profundizar en el comportamiento específico de esta especie urbana poco estudiada.

En resumen, la experiencia obtenida durante el proyecto dejó claro que el éxito del producto final no depende únicamente de una sola propiedad, sino del conjunto completo. Encontrar ese equilibrio entre resistencia, humedad y absorción es clave para pensar en la producción real de estos tableros, especialmente si se quiere que el material sea útil en diferentes aplicaciones dentro de la construcción o el mobiliario.

## 11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

**Tabla 18;** Cronograma de actividades del proyecto

Actividades	Meses				
	1	2	3	4	5
Revisión bibliográfica.	x	x	x	x	x
Construcción de la propuesta.	x	x	x		
Diseño metodológico.		x	x		
Adquisición de materiales.	x	x	x	x	x
<b>Actividades del objetivo 1.</b>					
Recolección de materia prima					
Tomas de muestras					
Seguimiento y alistamiento de materia prima					
<b>Actividades del objetivo 2.</b>					
Preparación de material					
Ajustes de acciones en laboratorio					
Procesamiento de muestra en laboratorio					
<b>Actividades del objetivo 3.</b>					
Preparación de protocolo según actividades realizadas					
Ajuste de acciones para anexo en protocolo					
<b>Redacción y entrega de informes</b>					
Análisis de datos.					
Escritura del informe final					
Entrega de informes preliminares.	x	x	x	x	x
Entrega de informe final.					

## 12. CONCLUSIONES

Este trabajo permitió reconocer que el uso de residuos de poda urbana del árbol *Licania tomentosa* puede ir mucho más allá de una simple disposición final. Al transformarlos en madera prensada mediante un proceso controlado, se abre una posibilidad real y sostenible de convertir un residuo común en un material útil y funcional.

Uno de los aprendizajes más importantes fue entender que no siempre el tratamiento que logra los valores más altos en una propiedad es necesariamente el mejor en términos generales. Por ejemplo, el tratamiento con 14% de catalizador ofreció la mayor resistencia mecánica y la menor absorción de agua, pero también presentó un contenido de humedad considerablemente alto, lo que puede ser un problema en entornos donde las condiciones ambientales no se pueden controlar. Esto deja claro que más catalizador no siempre implica mejores resultados de forma absoluta.

En cambio, el tratamiento con 12% de catalizador mostró un mejor equilibrio: logró mantener una buena resistencia mecánica, un bajo contenido de humedad y niveles aceptables de absorción de agua. Esa combinación lo hace más estable y predecible, lo cual es muy valioso si se piensa en su uso real fuera del laboratorio.

La densidad no presentó variaciones significativas entre los tratamientos, lo que refuerza la idea de que el catalizador influye principalmente en cómo se comportan las uniones internas del material más que en su peso o compacidad.

Más allá de los datos, esta investigación deja claro que, con un diseño experimental bien planteado y una mirada técnica, es posible encontrar valor donde normalmente solo se ve desecho. Fabricar laminas prensadas a partir del *Oití* no solo tiene sentido desde el punto de vista técnico, sino que representa una oportunidad real para el aprovechamiento de recursos urbanos en Aguachica y en muchas otras ciudades con situaciones similares.

Cabe resaltar que el tratamiento con 12% de catalizador es la opción más adecuada para continuar explorando este tipo de elaboración de materiales, especialmente si se piensa en aplicaciones donde se necesita un equilibrio entre durabilidad, resistencia y estabilidad frente a la humedad. No obstante, si el uso específico exige una alta resistencia y se puede garantizar un entorno seco, el tratamiento con 14% también puede ser una opción válida, aunque con sus respectivas consideraciones.

### 13.RECOMENDACIONES

Con base en los resultados experimentales obtenidos y el análisis de las variables físicas y mecánicas evaluadas, se recomienda priorizar el uso de tratamientos con porcentajes de catalizador comprendidos entre el 12% y el 14%, ya que estos demostraron un comportamiento significativamente superior en términos de resistencia mecánica, menor absorción de agua y un contenido de humedad más estable tras el acondicionamiento.

En particular, el tratamiento con 14% de catalizador fue el que presentó los valores más altos de resistencia a la ruptura, junto con una menor absorción de humedad tanto a corto (2 horas) como a largo plazo (24 horas), lo que lo posiciona como el más adecuado para aplicaciones en condiciones exigentes de carga o exposición moderada a la humedad. No obstante, el tratamiento con 12% también se perfila como una opción viable, especialmente para contextos donde se busca eficiencia sin elevar considerablemente los costos de producción ni el uso de insumos químicos.

Para asegurar una lámina de alta calidad, es aconsejable supervisar rigurosamente factores como el tamaño de las partículas, la homogeneidad en la mezcla, la presión y temperatura de prensado, y el tiempo de curado. Además, es crucial mantener un acondicionamiento apropiado en entornos regulados (temperatura y humedad relativa) para mantener estable el nivel de humedad antes de poner los tableros a pruebas o aplicaciones finales.

Además, se sugiere considerar el uso de selladores o tratamientos superficiales adicionales si se prevé que el producto estará expuesto a ambientes húmedos o variables, con el fin de reforzar su durabilidad. Desde una perspectiva ambiental y económica, es recomendable explorar en futuros estudios el uso de adhesivos ecológicos o de base natural, que reduzcan el impacto ambiental del proceso sin comprometer las propiedades técnicas del producto.

En conjunto, estas recomendaciones buscan orientar la estandarización de un proceso técnico reproducible y sostenible, capaz de producir madera prensada funcional, con potencial de aplicación en mobiliario, paneles de construcción ligera, embalajes estructurales y proyectos enfocados en la economía circular.

#### 14. RERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Rey, G., Hernández, J., & Martínez, M. (2018). Propiedades físicas y mecánicas de maderas de especies tropicales no tradicionales para la fabricación de tableros prensados. *Journal of Wood Technology*, 26(3), 142-157.
- Gómez, E. M., González, A., & Sánchez, T. (2020). Evaluación de especies forestales para la producción de productos derivados de madera prensada. *Forests and Materials Journal*, 13(2), 134-148.
- Alves, R. D., et al. (2019). Gestión de residuos urbanos en áreas urbanas: Retos y soluciones. *Revista de Gestión Ambiental*, 10(3), 45-58.
- Murillo, L. A., et al. (2020). Estudio de propiedades físico-mecánicas de maderas no convencionales para la fabricación de paneles prensados. *Journal of Wood Science*, 24(2), 121-134.
- Rodríguez, D. J., et al. (2018). Caracterización de maderas tropicales para el uso en la fabricación de tableros prensados: El caso de *Licania tomentosa*. *Investigación Forestal*, 33(1), 78-89.
- García, P. R., et al. (2021). Aprovechamiento de residuos de poda urbana para la creación de productos ecológicos en la industria de la madera. *Ecología y Desarrollo*, 15(4), 202-215.
- Cordero, J. A., Rodríguez, F. L., & Martínez, J. M. (2022). Manejo de residuos urbanos derivados de podas en áreas metropolitanas: Una revisión sobre alternativas ecológicas y tecnológicas. *Revista Latinoamericana de Gestión Ambiental*, 16(3), 67-83.
- Gómez, E. M., González, A., & Sánchez, T. (2020). Evaluación de especies forestales para la producción de productos derivados de madera prensada. *Forests and Materials Journal*, 13(2), 134-148.
- Tavera, A. G., & Pérez, H. M. (2019). Estudio de propiedades físico-mecánicas de maderas tropicales no convencionales: Potencial para la industria del tablero prensado. *International Journal of Wood Science*, 22(4), 205-221.
- Paredes, J. P., Bravo, G., & Rodríguez, S. L. (2018). Potencial de especies maderables no tradicionales para la fabricación de tableros prensados: Evaluación de propiedades físicas y mecánicas. *Revista Colombiana de Ciencia y Tecnología Forestal*, 17(1), 45-59.
- Lai, Z., Zhang, J., & Lee, S. (2017). Recent advances in wood-based composite

- materials: A comprehensive review. *Wood and Fiber Science*, 49(3), 202-216.
- Simonsen, M., & Bortolin, J. (2020). The development of pressed wood products: History, challenges, and opportunities. *Journal of Industrial Wood Technology*, 36(2)
- Klopfer, M., Becker, C., & Jones, L. (2019). Sustainable urban forestry: Opportunities for utilizing urban wood for engineered products. *Forest Products Journal*, 69(5), 379-389.
- Jiménez, R., Pérez, A., & González, J. (2021). Uso de maderas urbanas para la fabricación de tableros prensados: Potencial de especies no convencionales. *Revista de Tecnología y Ciencia Forestal*, 26(3), 221-236.
- Teng, S., Zhao, Z., & Zhang, H. (2018). Recycling of urban tree waste into sustainable wood products: Economic and environmental considerations. *Ecological Engineering*, 123, 139-147.
- Basso, C., Costa, M., & Lima, P. (2020). La madera urbana en la industria del mueble: Retos y soluciones para el uso de especies no convencionales. *Revista Internacional de Ciencia de la Madera*, 14(2), 72-87.
- GARCÍA, R. A. (2008). *CDMDI170*. Obtenido de <file:///C:/Users/LENOVO%20E41-55/Downloads/CDMDI170.pdf>
- J. ENRIQUE PERAZA, F. P. (s.f.). *Nacimiento y evolución de los tableros*. Obtenido de <file:///C:/Users/LENOVO%20E41-55/Downloads/historia%20de%20tableros%20estructurales.pdf>
- Ambiente, M. de. (2018). *resolucion-0722-de-2018.pdf*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-0722-de-2018.pdf>
- Arquitectos, C. S. de. (2015). *Tableros de fibras de densidad media (mdf) definición*. 1–5. [https://www.cscae.com/area\\_tecnica/aitim/enlaces/documentos/Tableros\\_Fibras\\_MDF\\_15.06.2015.pdf](https://www.cscae.com/area_tecnica/aitim/enlaces/documentos/Tableros_Fibras_MDF_15.06.2015.pdf)
- Benavides, H. O. (2007). Información técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el cambio climático. *Ideam*, 1–102. <https://doi.org/IDEAM-METEO/008-2007>
- Cazco, D. A. A. (2006). *Escuela Politecnica Del Ejercito Sede-Latacunga Carrera De Ingenieria Electromecanica*. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4025/1/T-ESPEL-0088.pdf>
- Cul, B. (2009). *AGLOMERADOS COTOPAXI*. [https://www.cotopaxi.com.ec/sites/default/files/2017-11/Ficha\\_Técnica](https://www.cotopaxi.com.ec/sites/default/files/2017-11/Ficha_Técnica) -

DURAPLAC RH.pdf

- Eguilúz, T., & Rente, J. (2000). Manual técnico para la poda, derribo y trasplante de árboles y arbustos de la Ciudad de México. In *México*. [http://centro.paot.org.mx/documentos/sma/manual\\_tecnico\\_arboles.pdf](http://centro.paot.org.mx/documentos/sma/manual_tecnico_arboles.pdf)
- Gobernación del Cesar. (2020). *Plan de Desarrollo Departamental 2020 - 2023: Lo hacemos MEJOR*. 207. <https://cesar.gov.co/d/index.php/es/menvertpolpla/menvertplandes>
- Gutiérrez Villanueva, A., Guirola Céspedes, C., de Armas Martínez, A. C., Albernas Carvajal, Y., & Villanueva Ramos, G. (2020). Valorización De La Lignina En El Concepto De Biorrefinería (I). *Revista Centro Azucar*, 47(4), 78–89. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v47n3/2223-4861-caz-47-03-95.pdf>
- Innovación, T. E., Departamento, D. E. L., & Agua, D. E. L. (2017). ' *Gobernación del*. [https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/cesar\\_-\\_actualizacion\\_no.1.pdf](https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/cesar_-_actualizacion_no.1.pdf)
- Jose Ulloa, 2005. (2006). *Redalyc.LOS RELLENOS SANITARIOS*. <https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047388001.pdf>
- Lopez, L., Vega, L., Rendon, C., & Tobon, S. (2018). Aprovechamiento de residuos madereros. In *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical* (Vol. 44, Issue 8). [https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/4078/Aprovechamiento\\_residuos\\_madera.pdf?sequence=1&i](https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/4078/Aprovechamiento_residuos_madera.pdf?sequence=1&i)
- Minvivienda, Ministerio de Vivienda, C. y T. R. (2013). Decreto 2981 de 2013. *Diario Oficial 49010 de Diciembre 20 de 2013*, 8. <https://www.suin->
- Vega Rodríguez, Y. (2023). *Diagnóstico del manejo y aprovechamiento de residuos sólidos para el mejoramiento interno de los procesos en la empresa Geoaseo en el municipio de Aguachica Cesar*. Universidad de Antioquia. Recuperado de
- El Nuevo Sur. (2019). *Un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos o PGIRS*. Recuperado de
- Diario del Cesar. (2024). *Botadero de basura de Aguachica está próximo a expirar*. Recuperado de
- Corporación Autónoma Regional del Cesar. (2023). *Boletín Oficial octubre 2023*. Recuperado de

Departamento Administrativo de la Defensoría del Espacio Público. (2023). *Plan de acción interno – PAI: Manejo adecuado de residuos sólidos 2023*. Recuperado de

Hernández Sampieri, R., Mendoza Torres, C. P., & Baptista Lucio, L. del C. (2022). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (7.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill Education.

Forest Products Laboratory. (2010). *Wood handbook: Wood as an engineering material* (General Technical Report FPL-GTR-190). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. [https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl\\_gtr190.pdf](https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl_gtr190.pdf)