



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

**Título**

COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS ENTRE  
LAS ESPECIES ARBÓREAS ESTUDIADAS: PLATUQUERO, PINO CARIBE  
Y PINO PATULA

**Trabajo de Titulación para optar al título de  
Ingeniero Agroindustrial**

**Autor:**

Chicaiza Aucancela Maria Rebeca

**Tutor:**

Mgs. Fabián Patricio Carrillo Flor

**Riobamba, Ecuador. 2022**





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

**Título**

COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS ENTRE  
LAS ESPECIES ARBÓREAS ESTUDIADAS: PLATUQUERO, PINO CARIBE  
Y PINO PATULA

**Trabajo de Titulación para optar al título de  
Ingeniero Agroindustrial**

**Autor:**

Chicaiza Aucancela Maria Rebeca

**Tutor:**

Mgs. Fabián Patricio Carrillo Flor

**Riobamba, Ecuador. 2022**

## DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, María Rebeca Chicaiza Aucancela, con cédula de ciudadanía 1722724729, autor (a) del trabajo de investigación titulado: COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS ENTRE LAS ESPECIES ARBÓREAS ESTUDIADAS: PLATUQUERO, PINO CARIBE Y PINO PATULA, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 25 de febrero de 2022.



---

María Rebeca Chicaiza Aucancela

C.I:1722724729

## **DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL**

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS ENTRE LAS ESPECIES ARBÓREAS ESTUDIADAS: PLATUQUERO, PINO CARIBE Y PINO PATULA**, presentado por Maria Rebeca Chicaiza Aucancela, con cédula de identidad número 1722724729, certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 29 de marzo de 2022

**PhD. Paul Stalin Ricaurte Ortiz**  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE**  
**GRADO**



Firmado electrónicamente por:  
**PAUL STALIN**  
**RICAUURTE**

Firma

**Mgs. Daniel Alejandro Luna Velasco**  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Firmado electrónicamente por:  
**DANIEL**  
**ALEJANDRO LUNA**  
**VELASCO**

Firma

**PhD. Edmundo Bolivar Cabezas Heredia**  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Firmado electrónicamente por:  
**EDMUNDO BOLIVAR**  
**CABEZAS HEREDIA**

Firma

**Mgs. Fabian Patricio Carrillo Flor**  
**TUTOR**



Firmado electrónicamente por:  
**FABIAN**  
**PATRICIO**  
**CARRILLO FLOR**

Firma

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS ENTRE LAS ESPECIES ARBÓREAS ESTUDIADAS: PLATUQUERO, PINO CARIBE Y PINO PATULA”, presentado por Maria Rebeca Chicaiza Aucancela, con cédula de identidad número 1722724729, bajo la tutoría del Mg. Fabian Patricio Carrillo Flor; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 29 de marzo de 2022

**Presidente del Tribunal de Grado**  
PhD. Paul Stalin Ricaurte Ortiz



Firmado electrónicamente por:  
**PAUL STALIN  
RICAURTE**

Firma

**Miembro del Tribunal de Grado**  
Mgs. Daniel Alejandro Luna Velasco



Firmado electrónicamente por:  
**DANIEL  
ALEJANDRO LUNA  
VELASCO**

Firma

**Miembro del Tribunal de Grado**  
PhD. Edmundo Bolivar Cabezas Heredia



Firmado electrónicamente por:  
**EDMUNDO BOLIVAR  
CABEZAS HEREDIA**

Firma



Dirección  
Académica  
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-02.20  
VERSIÓN 02: 06-09-2021

## CERTIFICADO ANTIPLAGIO

# CERTIFICACIÓN

Que, **CHICAIZA AUCANCELA MARÍA REBECA** con CC: **1722724729**, estudiante de la Carrera **INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS ENTRE LAS ESPECIES ARBÓREAS ESTUDIADAS: PLATUQUERO, PINO CARIBE Y PINO PATULA.**", cumple con el **7 %**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND** porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 21 de marzo de 2022



firmado electrónicamente por:  
**FABIAN  
PATRICIO  
CARRILLO FLOR**

---

Mgs. Patricio Carrillo F  
**TUTOR**

## **DEDICATORIA**

A Dios

por haberme dado la vida, la sabiduría y las fuerzas necesarias para poder llevar a cabo el presente trabajo.

A mis padres

por siempre alentarme a ser mejor persona estando conmigo en los buenos y malos momentos demostrando el amor y apoyo incondicional en todo momento, por el esfuerzo diario que han hecho para brindarme lo necesario.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios con todo mi corazón por haberme permitido vivir cumpliendo cada objetivo propuestos dándome la fuerza necesaria para afrontar cada obstáculo presentado en todo en transcurso de mi vida.

A mis padres José Chicaiza y Magdalena Aucancela por transmitirme sus valores alentándome a seguir luchando cada día.

A mi amiga Dorami Q y mi amigo Fabian C, por confiar siempre en mí ya que de una u otra manera me inspiraban a continuar y no desfallecer a lo largo de toda mi vida universitaria.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería por todos los conocimientos compartidos durante el periodo universitario.

Al Mgs. Patricio Carrillo por la dedicación y paciencia que tuvo al guiarme para así poder culminar con éxito el presente trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>                    | <b>16</b> |
| 1.1 Planteamiento del Problema .....                     | 17        |
| 1.2 Justificación .....                                  | 18        |
| 1.3 Objetivos .....                                      | 19        |
| 1.3.1 Objetivo general .....                             | 19        |
| 1.3.2 Objetivos específicos.....                         | 19        |
| <b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....</b> | <b>20</b> |
| 2.1. Madera .....  | 20        |
| 2.1.1. Propiedades físicas de la madera.....             | 20        |
| 2.1.2. Propiedades mecánicas de la madera .....          | 22        |
| 2.2. Descripción taxonómica y dendrológica.....          | 24        |
| 2.2.1. Clasificación taxonómica .....                    | 24        |
| 2.2.2. Características dendrológicas .....               | 25        |
| 2.3. Estado del Arte.....                                | 27        |
| <b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....</b>                    | <b>30</b> |
| 3.1. Tipo de Investigación.....                          | 30        |
| 3.2. Diseño de Investigación.....                        | 30        |
| 3.3. Técnicas de recolección de Datos .....              | 30        |
| 3.4. Población de estudio y tamaño de muestra .....      | 31        |
| 3.4.1. Población.....                                    | 31        |
| 3.4.2. Muestra.....                                      | 32        |
| 3.5. Métodos de análisis, y procesamiento de datos. .... | 32        |
| <b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>         | <b>33</b> |
| 4.1. Comparativa de las propiedades físicas .....        | 33        |
| 4.1.1. Pino patula.....                                  | 33        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.1.2. Pino caribe.....                                 | 34        |
| 4.1.3. Platuquero.....                                  | 36        |
| 4.2. Comparativa de las propiedades mecánicas.....      | 39        |
| 4.2.1. Pino patula.....                                 | 39        |
| 4.2.2. Pino caribe.....                                 | 40        |
| 4.2.3. Platuquero.....                                  | 41        |
| 4.3. Usos .....   | 45        |
| 4.3.1. Pino patula.....                                 | 46        |
| 4.3.2. Pino caribe.....                                 | 47        |
| 4.3.3. Platuquero.....                                  | 48        |
| <b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b> | <b>49</b> |
| 5.1. Conclusiones .....                                 | 49        |
| 5.2. Recomendaciones .....                              | 50        |
| <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>                               | <b>51</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                                     | <b>60</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tabla 1.</b> <i>Clasificación taxonómica de Pino patula y Pino caribe</i> .....   | <b>24</b> |
| <b>Tabla 2.</b> <i>Clasificación taxonómica de Platuquero</i> .....  | <b>25</b> |
| <b>Tabla 3.</b> <i>Diagrama de flujo de revisión sistemática</i> .....   | <b>31</b> |
| <b>Tabla 4.</b> <i>Valores reportados de las propiedades físicas más relevantes de P. patula de acuerdo con varios estudios a nivel nacional y regional</i> .....  | <b>34</b> |
| <b>Tabla 5.</b> <i>Valores reportados de las propiedades físicas más relevantes de Pino caribe de acuerdo con varios estudios a nivel nacional y regional</i> .....  | <b>36</b> |
| <b>Tabla 6.</b> <i>Valores reportados de las propiedades físicas más relevantes de Platuquero de acuerdo con varios estudios a nivel nacional y regional</i> .....   | <b>37</b> |
| <b>Tabla 7.</b> <i>Propiedades físicas de las tres especies arbóreas en estudio</i> .....  | <b>37</b> |
| <b>Tabla 8.</b> <i>Valores reportados de las propiedades mecánicas más relevantes de Pino patula de acuerdo con varios estudios a nivel nacional y regional</i> .....  | <b>40</b> |
| <b>Tabla 9.</b> <i>Valores reportados de las propiedades mecánicas más relevantes de Pino caribe de acuerdo con varios estudios a nivel nacional y regional</i> .....  | <b>41</b> |
| <b>Tabla 10.</b> <i>Valores reportados de las propiedades mecánicas más relevantes de Platuquero de acuerdo con varios estudios a nivel nacional y regional. ScH representa en estado seco al horno; ScA representa en estado seco al aire, y V representa en estado verde</i> ..... | <b>43</b> |
| <b>Tabla 11.</b> <i>Propiedades mecánicas de las tres especies arbóreas en estudio</i> .....   | <b>44</b> |
| <b>Tabla 12.</b> <i>Principales usos de las especies pino patula, pino caribe y platuquero</i> .....   | <b>45</b> |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Anexo 1.</b> <i>Especie arbórea del pino patula (Pinus patula)</i> .....               | <b>60</b> |
| <b>Anexo 2.</b> <i>Especie arbórea del pino caribe (Pinus caribaea)</i> .....             | <b>60</b> |
| <b>Anexo 3.</b> <i>Especie arbórea del Platuquero (Styloceras laurifolium)</i> .....      | <b>61</b> |
| <b>Anexo 4.</b> <i>Clasificación de la madera por su densidad al 12% de humedad</i> ..... | <b>61</b> |
| <b>Anexo 5.</b> <i>Clasificación de la madera por su peso específico</i> .....            | <b>61</b> |
| <b>Anexo 6.</b> <i>Clasificación de la madera por flexión estática</i> .....              | <b>62</b> |
| <b>Anexo 7.</b> <i>Clasificación de la madera por su dureza BRINELL</i> .....             | <b>62</b> |
| <b>Anexo 8.</b> <i>Ensayos para propiedades físicas y mecánicas</i> .....                 | <b>62</b> |
| <b>Anexo 9.</b> <i>Ensayos para propiedades mecánicas</i> .....                           | <b>63</b> |
| <b>Anexo 10.</b> <i>Clasificación para la compresión de las maderas</i> .....             | <b>63</b> |

## RESUMEN

Este estudio realizó la comparación de las propiedades físicas y mecánicas de tres especies arbóreas de la región Sierra del Ecuador (Pino patula, Pino caribe, y Platuquero), con el fin de determinar el uso apropiado de su madera y si son aptas o no para ser aprovechadas como un elemento de uso estructural en cualquier tipo de infraestructura. Se realizó una investigación bibliográfica del estado del arte de las tres especies con el fin de recopilar datos de ambas propiedades y poder realizar cuadros comparativos. Se comparó las propiedades de peso y densidad específica, contracción volumétrica total, contenido de humedad, flexión extática, módulo de elasticidad, compresión paralela, módulo de ruptura, módulo de resistencia a dureza, y cizallamiento radial. Entre los principales resultados se mostró que el platuquero tiene un mayor peso y densidad específica respecto al pino patula y pino caribe. Los valores reportados de contracción volumétrica fueron similares para el pino patula y pino caribe. En la compresión paralela, el Pino caribe tiene un mejor comportamiento en cuanto al módulo de elasticidad y resistencia, respecto a las otras dos especies. Los usos más adecuados son para construcción en general como postes para cerca eléctrica, artesanías, carpintería, pisos, tableros, entre otros. Este trabajo recomienda realizar estudios en laboratorio a base de ensayos en las tres especies para determinar sus diferencias y similitudes de las propiedades físicas y mecánicas proveniente de diferentes lugares.

**Palabras clave:** Especies arbóreas, madera, propiedades físicas, propiedades mecánicas, Platuquero,

## ABSTRACT

This study compared the physical and mechanical properties of three tree species from the Sierra region of Ecuador (Patula Pine, Caribbean Pine, and Platuquero) to determine the appropriate use of their wood and whether or not they are suitable to be used as a structural element in any infrastructure. Bibliographic research of the state of the art of the three species was carried out to compile data on both properties and to be able to make comparative tables. The properties of specific weight and density, total volumetric shrinkage, moisture content, ecstatic bending, modulus of elasticity, parallel compression, modulus of rupture, radial and tangential cleavage, modulus of resistance to hardness, tensile strength, and radial shear were compared. The main results showed that the banana tree has a higher specific weight and density concerning patula pine and Caribbean pine. The reported volumetric shrinkage values were similar for patula pine and Caribbean pine. In parallel compression, Caribbean pine performed better in modulus of elasticity and strength than the other two species. The most practical uses are for construction in general, such as electric fence posts, handicrafts, carpentry, flooring, and boards. This work recommends laboratory studies based on tests on the three species to determine their differences and similarities in physical and mechanical properties from different locations.

**Key words:** Tree species, wood, physical properties, mechanical properties, Platuquero.



Reviewed by:  
Lic. Sofía Freire Carrillo

**ENGLISH PROFESSOR**

C.C. 0604257881

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La madera ha sido uno de los materiales más empleados por el hombre desde tiempos prehistóricos y sus usos han evolucionado junto con la humanidad, siendo un componente imprescindible en la construcción de diferentes infraestructuras como viviendas y edificios (Peris, 2007). Gracias a sus propiedades mecánicas y físicas asociadas a la eficiencia energética, contribuye con la reducción de costos de calefacción o enfriamiento de un determinado espacio o lugar dependiendo del tipo de clima (Cabral y Blanchet, 2021).

El Ecuador cuenta con una gran riqueza forestal de especies nativas y también de especies introducidas, las cuales se han adaptado a lo largo del tiempo a las condiciones medio-ambientales (Pazmiño, 2019). Sin embargo, debido a una falta de conocimiento técnico respecto a las propiedades físicas y mecánicas, el aprovechamiento de las especies arbóreas se encuentra sub o sobre utilizada en el sector industrial. Las propiedades físicas y mecánicas de la madera, aún de origen de una misma especie forestal, puede tener un amplio margen de variabilidad, debido a las condiciones de crecimiento del árbol, relacionados a variables como la latitud, altitud, calidad del suelo y factores climáticos (Soto, 2019).

La madera en el Ecuador se utiliza principalmente como elemento temporal para encofrados, andamios, columnas, entre otras, sin embargo, su uso como elemento estructural en las obras de construcción es mínimo. La presente investigación está enfocada a la generación de información y contribución al estado del arte sobre las propiedades físicas y mecánicas de tres especies arbóreas; Platuquero (*Styloceras laurifolium*), pino patula (*Pinus patula*) y pino caribe (*Pinus caribea*), con el fin de realizar una comparación de las propiedades de cada especie para determinar si son aptas para uso estructural de construcción. La presente investigación ha sido necesaria realizarla debido a que hay poca información relacionada a estas especies a nivel nacional, especialmente en el platuquero.

Las principales limitaciones encontradas en el desarrollo de la investigación es la escasez de estudios científicos a nivel nacional e internacional con respecto a las propiedades físicas y mecánicas, de cada una de las especies, especialmente para el platuquero. La mayoría son investigaciones de tesis de pregrado y posgrado las cuales reportan valores tanto de sus propiedades físicas como mecánicas.

La presente investigación está estructurada de la siguiente manera:

Capítulo 1: Aborda la introducción, que incluye el planteamiento del problema y la justificación del estudio, con sus respectivos objetivos general y específicos.

Capítulo 2. Hace referencia al marco teórico relacionado al tema propuesto, en el cual se detalla las características taxonómicas y dendrológicas de cada una de las especies, sus propiedades físicas y mecánicas, sus principales usos en el sector agroindustrial, y estudios previos relacionados a la temática.

Capítulo 3: Aborda el marco metodológico, en el cual se detalla el tipo y diseño de investigación, la unidad de análisis, la población y muestra, las técnicas a utilizar para la recolección de datos, y el análisis e interpretación de resultados.

Capítulo 4: Aborda los principales resultados encontrados a partir de la o las técnicas utilizadas en el marco metodológico, y su respectiva discusión con hallazgos de otros estudios.

Capítulo 5. Se finaliza con las conclusiones producto de los principales resultados obtenidos, y se mencionan recomendaciones y futuras directrices de investigación en base a las conclusiones extraídas.

## **1.1 Planteamiento del Problema**

Con la evolución de la tecnología en todas las áreas, y en particular con los métodos industriales para el procesamiento y mejoramiento de las materias primas provenientes de la naturaleza, el sector maderero a nivel mundial y en el país, ha sufrido una extraordinaria transformación, desde la producción artesanal, hasta grandes empresas que se dedican al diseño y fabricación de una gran variedad de productos derivados y obtenidos de distintos tipos de madera pura. Esta variedad de productos ha permitido que la madera y sus subproductos sean utilizados en los procesos constructivos en exteriores, además de su uso tradicional en interiores.

La búsqueda de soluciones para mitigar el cambio climático a través de formas alternativas de construcción ha generado un mayor interés en el uso de la madera como materia prima, debido a que requiere poca energía para convertirse en componente estructural. Las propiedades físicas y mecánicas de las especies arbóreas son de suma importancia para el diseño estructural, ya que cada una de ellas cuentan con características propias que las diferencian de otros materiales tradicionales, como lo son el acero y el

hormigón. En el Ecuador, aproximadamente 12 millones de hectáreas que representan el 44,7% del área total del país tienen aptitud para uso forestal (Mejía, 2021). Sin embargo, solamente el 0,5% está siendo aprovechado para plantaciones arbóreas con fines comerciales.

El principal aprovechamiento de la madera en el Ecuador se realiza a partir de las plantaciones de especies arbóreas existentes, entre ellas el pino, con el fin de proteger la madera de bosque natural, amenazada principalmente por tala ilegal o procesos de deforestación (Tibanlombo, 2018). La madera en el Ecuador se utiliza principalmente como elemento temporal para encofrados, andamios, columnas, entre otras, sin embargo, su uso como elemento estructural en las obras de construcción es mínimo, y se limita a proyectos privados de diseño exclusivo, y no como elemento estructural de uso público en ningún tipo de infraestructura.

Por ello, el presente trabajo realizó una investigación del estado del arte sobre las propiedades físicas y mecánicas de tres especies arbóreas; platuquero (*Styloceras sp*), pino patula (*Pinus patula*), y pino caribe (*Pinus caribea*), debido a que, a pesar de la existencia de estudios relacionados, hasta el momento no se ha realizado una comparativa de dichas propiedades entre las especies, para determinar si son aptas o no para ser aprovechadas como un elemento de uso estructural en cualquier tipo de infraestructura.

## **1.2 Justificación**

Desde el punto de vista teórico el presente trabajo se justifica ya que, mediante el soporte bibliográfico consultado, se puede realizar las comparaciones de las propiedades físicas y mecánicas de las tres especies arbóreas para determinar el uso más apropiado que se les puede dar.

Desde el punto de vista metodológico se sustenta el presente estudio ya que en base a una revisión bibliográfica sistemática de literatura permite el desarrollo de este, con el fin de obtener información clara, concisa, confiable y relevante, mediante fuentes principales y secundarias como artículos científicos y libros relacionados a la temática.

Desde el punto de vista académico, el presente estudio se justifica ya que permite poner a prueba los conocimientos adquiridos durante mi formación académica, y al mismo tiempo generar nuevos conocimientos para dar respuesta al tema propuesto

Desde el punto de vista práctico, el presente estudio se justifica ya que las especies arbóreas en estudio constituyen especies comerciales de importancia económica en el sector agroindustrial del país. Por lo que conocer las propiedades físicas y mecánicas de las especies y sus aplicaciones como elementos estructurales en la construcción, conlleva a un aumento en su valor agregado.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Comparar las propiedades físicas y mecánicas de las maderas de tres especies arbóreas; Platuquero, Pino caribe, y Pino patula, para determinar su uso y aprovechamiento más adecuado en el sector agroindustrial.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Describir las propiedades físicas y mecánicas de las tres especies arbóreas.
- Elaborar cuadros comparativos de las propiedades físicas y mecánicas de las tres especies arbóreas.
- Identificar el uso más apropiado de las tres especies en estudio en relación con sus propiedades físicas y mecánicas.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE**

### **2.1. Madera**

La madera representa algo muy importante en la vida del hombre por cuanto ha desempeñado un rol verdaderamente significativo en el avance de la civilización. Con ella se han elaborado herramientas, armas y una gran variedad de artículos, desde los más simples hasta verdaderas obras de arte. Se entiende por madera a las partes de un árbol que, económicamente, pueden aprovecharse, siendo éstas, por lo general, troncos y, en un mayor alcance, también, ramas y raíces (Guindos, 2019). La madera de los troncos se puede utilizar de múltiples maneras: como láminas, chapas finas, triturada en tableros y obras en general de construcción y carpintería. Además, se beneficia de ella la industria química para la obtención, sobre todo, de celulosa, nitrocelulosa, aceites y ácidos (Shogren et al., 2019).

#### **2.1.1. Propiedades físicas de la madera**

De acuerdo con Anchundia, (2021), menciona que las propiedades físicas de la madera son las características cuantitativas y su comportamiento frente a influencias externas del entorno. Entre ellas se incluyen a la humedad, propiedades térmicas, eléctricas y químicas, densidad y resistencia a la pudrición. El conocimiento de las propiedades físicas en la madera es de suma importancia porque pueden afectar en gran medida al rendimiento y durabilidad de esta utilizada en aplicaciones estructurales.

##### **2.1.1.1. Contenido de humedad**

Acorde a Augustin, (2018), la madera es un material higroscópico, entendido como un material capaz de absorber agua de la atmósfera. Esta particularidad se manifiesta por dos razones principales: La primera por la atracción que ejercen los grupos polares existentes en la pared celular de la madera sobre aquellas moléculas, de naturaleza polar, que entran en su órbita de acción, en particular con el agua, y debido al efecto de los fenómenos físicos de capilaridad.

El contenido de humedad de la madera se define como el peso del agua en la madera expresado como una porción, generalmente un porcentaje, del peso de la madera secada al horno (Rahimi et al., 2021). El peso, la contracción, la resistencia y otras propiedades dependen del contenido de humedad de la madera. La humedad en los árboles puede variar desde aproximadamente el 30% hasta más del 200% del peso del material de madera (Anchundia, 2021).

En maderas blandas como es el caso de las tres especies bajo estudio, el contenido de humedad de la albura es normalmente mayor que el del duramen. Este porcentaje puede llegar a un contenido de humedad de 150% en albura y 40% en duramen (Murillo, 2018).

#### **2.1.1.2. Contracción de la madera**

La madera es dimensionalmente estable cuando el contenido de humedad está por encima del punto de saturación de la fibra. La madera cambia de volumen a medida que gana o pierde humedad por debajo del punto de saturación. Se encoge cuando se pierde humedad de la pared celular y se hincha cuando se extrae humedad de la pared celular. Acorde a (Ruano et al., 2021) este encogimiento e hinchazón pueden causar deformaciones, grietas, o problemas operativos que reducen la utilidad de los productos de madera. En cuanto a sus propiedades de encogimiento, Chiniforush et al., (2019) mostró que la madera es un material anisotrópico, es decir, se contrae la mayor parte del tiempo en la dirección de los anillos de crecimiento anual (tangencialmente).

#### **2.1.1.3. Peso específico y densidad**

Hay dos factores principales que afectan el peso de un producto de madera: la densidad de la estructura del núcleo de la madera y la humedad. El tercer componente, que son minerales y extractos, tiene un efecto notable solo en un número limitado de especies (Sadrmanesh y Chen, 2019).

La densidad que es una de las características de la madera, varía mucho dentro de las especies y entre ellas. Aunque las densidades para la mayoría de las especies están entre 320 a 720 kg/m<sup>3</sup>, el rango de densidades en realidad se extiende desde aproximadamente 160 kg / m<sup>3</sup>, hasta más de 1040 kg/m<sup>3</sup> de alguna madera importada (Montalvo et al., 2018). Acorde a Peças et al., (2018), la madera se utiliza en muchas condiciones y tiene una amplia gama de usos, en donde la humedad es parte del peso de cada producto utilizado. Por lo tanto, la densidad de la madera a menudo se determina en función del contenido de humedad utilizado.

De acuerdo con Werdin et al., (2020) mostró que las densidades calculadas de la madera, incluida el agua en la madera, a menudo se basan en las características propias de las especies. Este valor siempre debe tomarse como una aproximación debido a las diferencias naturales en la anatomía, contenido de humedad y proporciones de duramen y albura de cada especie.

La definición tradicional de densidad es la relación entre la densidad de la madera y la densidad del agua a una temperatura de referencia específica (4.4 ° C), donde la densidad del agua es (1 g/cm<sup>3</sup>) (Sotomayor et al., 2020). Para reducir la confusión debido a las variables de entrada de humedad, la densidad de la madera generalmente depende del peso seco en el horno y de la magnitud de algún contenido de humedad específico.

Las reglas comúnmente utilizadas para determinar la gravedad específica son el peso seco y el volumen en (a) verde, (b) seco al horno y (c) al 12% de humedad (Peña, 2019). El peso seco al horno y el volumen verde se utilizan a menudo en las bases de datos para describir la gravedad específica de una especie conocida como gravedad específica básica.

### **2.1.2. Propiedades mecánicas de la madera**

Las propiedades mecánicas de la madera son las propiedades de un material en respuesta a fuerzas externas. Según Spavento, Keil y Monteoliva (2008), las propiedades mecánicas de la madera son las que determinan el rendimiento y la capacidad de soportar cargas externas, excluyendo las fuerzas de las tensiones internas provocadas por la variación de la humedad (Ndukwu et al., 2021).

Los valores de las propiedades mecánicas se encuentran en términos de tensión (fuerza por unidad de área) y deformación (como resultado de la tensión aplicada). Los valores de las propiedades mecánicas de la madera se obtienen a partir de ensayos de laboratorio realizados con madera limpia (sin grietas, rajaduras) (Ndukwu et al., 2021).

La orientación de las fibras que componen la madera conduce a la anisotropía en su estructura (Macedo, 2018), por lo que a la hora de determinar sus propiedades mecánicas siempre es necesario distinguir entre las direcciones perpendicular y paralela a las fibras. Este hecho radica en el módulo de resistencia y elasticidad frente a otros materiales como el acero y el hormigón, siendo mucho mayor en la dirección paralela a las fibras que en la dirección vertical.

#### **2.1.2.1. Propiedades elásticas**

Esta propiedad se refiere a la capacidad de un material para resistir la deformación bajo tensión aplicada y su capacidad para volver a su tamaño original cuando se elimina la tensión (Xu et al., 2017). Para materiales con propiedades elásticas ideales que se cargan por

debajo del límite proporcional (elástico), cualquier deformación puede recuperarse y el cuerpo vuelve a su forma original cuando se elimina la tensión.

### **2.1.2.2. Propiedades de esfuerzo**

La característica de tensión indica la resistencia final del material a la carga aplicada. Con la madera, la durabilidad varía mucho según la especie, las condiciones de carga, el tiempo de carga y varios factores ambientales. Según Díaz (2005), una carga es cualquier fuerza externa que actúa sobre una estructura. Las fuerzas que resisten una carga son fuerzas internas que se desarrollan en un objeto y se denominan tensiones internas (Polastri et al., 2017). La tensión interna se denomina unidad de área de la fuerza transportada en una sección transversal del cuerpo y se denomina tensión unitaria. Dentro de las propiedades de esfuerzo, tenemos a varios tipos de fuerzas, entre ellas:

#### **2.1.2.2.1. Compresión**

Acorde a Cuauro y Caldera, (2012) existen dos tipos de compresión: paralela y compresión perpendicular a la fibra. En la compresión paralela a la fibra alcanza valores en la madera entre 16 a 23 N/mm<sup>2</sup>. En el cálculo de los elementos comprimidos se realiza la comprobación de la inestabilidad de la pieza (pandeo), en el que influye decisivamente el módulo de elasticidad (Macedo, 2018). El valor relativamente bajo reduce en la práctica la resistencia a la compresión en piezas esbeltas. Esta propiedad resulta importante en una gran cantidad de tipos de piezas, como, por ejemplo, pilares (Cusihuallpa, 2021).

En la compresión perpendicular a la fibra, es muy inferior a la de la dirección paralela. Sus valores característicos varían entre 4,3 y 5,7 N/mm<sup>2</sup>, lo que representa la cuarta parte de la resistencia en dirección paralela a la fibra (Mansilla Gómez, 2020). Este tipo de esfuerzo es característico de las zonas de apoyo de las vigas, donde se concentra toda la carga en pequeñas superficies que deben ser capaces de transmitir la reacción sin sufrir deformaciones importantes o aplastamiento (Valencia y Sánchez, 2017).

#### **2.1.2.2.2. Flexión estática**

La flexibilidad es la propiedad que tienen algunas maderas, ya que pueden “doblarse” en su dirección longitudinal sin romperse (Báder y Németh, 2018). Si es flexible, recuperará su forma original cuando se detenga la fuerza que lo deformó. La madera tiene una capacidad especial para exceder su límite elástico al doblarse sin causar una rotura inmediata, que es

una propiedad muy útil de la flexión (Báder y Németh, 2018). La madera verde, joven, húmeda o caliente es más flexible que la madera seca o vieja y tiene un límite de tensión más alto.

### 2.1.2.2.3. Corte

Cuando se utiliza como viga, la madera se somete a un esfuerzo de compresión en una superficie de la viga y presión en la otra. La oposición de esfuerzos da como resultado la acción de corte a través de la sección transversal de la viga. El acto de cortar en paralelo a la fibra se llama sección transversal. Riaño, (2020), mostró que la capacidad de la madera para resistir fuerzas que tienden a deslizar una parte sobre otra adyacente a la anterior.

### 2.1.2.2.4. Dureza

La dureza es la resistencia de la madera al colapso y la destrucción. La dureza se calcula como la fuerza necesaria para impactar en un vástago de madera de 11,3 mm de diámetro (Zheng et al., 2020). Por su parte, Martínez, (2020), esa dureza determina la resistencia de la madera a la penetración de objetos de mayor resistencia y rigidez. Esta es una propiedad que depende de la cohesión y estructura de las fibras. Esto se evidencia por el hecho de que la madera es difícil de penetrar por otros accesorios como clavos, tornillos. La dureza depende de la especie de árbol, del área del tronco y de la edad. En general, se presenta una mayor dureza en el duramen que en la albura del árbol (Bravo, 2018).

## 2.2. Descripción taxonómica y dendrológica

### 2.2.1. Clasificación taxonómica

Las especies arbóreas de pino patula y pino caribe se clasifican taxonómicamente en:

**Tabla 1.**

*Clasificación taxonómica de Pino patula y Pino caribe*

| <b>Taxonomía</b>  | <b>Pino patula</b>  | <b>Pino caribe</b>    |
|-------------------|---------------------|-----------------------|
| Orden             | Pinales             | Pinales               |
| Familia           | Pinaceae            | Pinaceae              |
| Clase             | Pinopsida           | Pinopsida             |
| Genero            | Pinus               | Pinus                 |
| Nombre científico | <i>Pinus patula</i> | <i>Pinus caribaea</i> |

|                 |                                 |                                |
|-----------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Nombres comunes | Ocote, pino llorón, pino triste | Pino del Petén y Pino de Costa |
|-----------------|---------------------------------|--------------------------------|

**Nota.** Elaboración propia. Fuente (MAE y FAO, 2014).

Por su parte, el platuquero se clasifica taxonómica en:

**Tabla 2.**

*Clasificación taxonómica de Platuquero*

| Taxonomía         | Platuquero  |
|-------------------|---|
| Orden             | Buxales   |
| Familia           | Buxaceae  |
| Clase             | Equisetópsida                                     |
| Genero            | Styloceras  |
| Especie           | laurifolium                                       |
| Nombre científico | <i>Styloceras sp</i>                              |
| Nombres comunes   | Naranjillo, sacha naranjilla, gacho muyu, naranca |

**Nota.** Elaboración propia. Fuente (MAE y FAO, 2014).

**2.2.2. Características dendrológicas**

**2.2.2.1. Pino patula**

Árbol de porte mediano a grande, con ejemplares longevos que pueden alcanzar alturas de hasta 40 m con un diámetro de hasta 120 cm. Su tronco es recto, cilíndrico en un comienzo y bastante cónico en casi toda su longitud (Chasquero, 2019). Posee la corteza rugosa, escamosa y rojiza. Sus ramas se encuentran dispuestas en pisos, lo que le provee una copa en forma piramidal. Sus hojas son de color verde claro, en forma de aguja, y se encuentran en grupos de 2 a 5 con una longitud de entre 15 a 25 cm (Chasquero, 2019). No posee flores ni frutos verdaderos. Sus semillas se encuentran en los conos hembras y el polen en los conos machos (Chasquero, 2019). Sus acículas se encuentran en grupos de tres con un grosor de 1,5 mm. Posee yemas cilíndricas alargadas, con escamas libres, no resinosas.

Es una especie nativa de regiones subtropicales de México. En Ecuador, su distribución va desde los páramos de la región Sierra, centro y sur. Después del eucalipto, es la especie forestal mayormente plantada. Su distribución se concentra en el Parque Nacional El Cajas (Quinto, 2020). Acorde a la Unión Internacional para la Conservación de la

Naturaleza (IUCN) esta especie se encuentra actualmente en un estado de conservación de “Preocupación menor”.

#### **2.2.2.2. Pino caribe**

Es un árbol que puede crecer hasta 45 m de altura, tronco cilíndrico, recto o ligeramente encorvado. El tronco mide en promedio 45 cm de diámetro a la altura del pecho, aunque se puede llegar hasta 100 cm (Acosta, 2019). La copa es cónica e irregular; la corteza es grisácea en árboles jóvenes; en ejemplares adultos, se vuelve rugosa, resquebrajada y formando surcos y de color oscuro en árboles adultos, el crecimiento es más o menos verticilado (Acosta, 2019). Su corteza es bastante delgada comparadas con otras especies del género *Pinus*. Es de color rojizo a café formando gruesas placas con profundas hendiduras verticales y horizontales. Existen por lo regular 3 hojas o agujas por fascículo, de 12 a 33 cm de largo (Acosta, 2019).

Posee vaina en la base del fascículo, su principal característica es que tienen forma triangular en la sección transversal. Los conos o “frutos”, botánicamente llamados estróbilos, son grandes en relación a otras especies de pino, de 4 a 12 cm de largo y de 3.5 a 6 cm de ancho y con pedúnculo de 6 a 14 mm de largo (Acosta, 2019). Las escamas del estróbilo se reducen en tamaño al acercarse al ápice. Los estróbilos no persisten en las ramas una vez que se han liberado las semillas. En Ecuador, de manera similar su distribución va desde los páramos de la región Sierra, centro y sur. (Quiñonez, 2018). Se encuentran plantaciones de esta especie mayormente en el Parque Nacional El Cajas. Acorde a la IUCN se encuentran en un estado de conservación de “Preocupación menor”.

#### **2.2.2.3. Platuquero**

Árboles que alcanzan hasta 30 m de alto, con ramas angulosas. Poseen tallos simples, su tronco es recto y cilíndrico por lo general. Son plantas monoicas con hojas alternas, enteras, coriáceas, de nerviación pinnada, pecíolo acanalado y estípulas ausentes (Castillo, 2013). Tiene flores unisexuales en racimos de pocas flores o flores femeninas solitarias axilares. Sus flores masculinas axilares sin perianto, con varios estambres libres, filamentos cortos, y anteras gruesas y alargadas con dehiscencia longitudinal (Castillo, 2013).

Sus flores femeninas con brácteas, perianto de 3–5 tépalos similares a las brácteas, ovario súpero, bicarpelar con 2 óvulos péndulos en cada lóculo primario y luego dividiéndose en celdas uniovuladas (Castillo, 2013). Tiene 2 estilos largos, estriados,

estigma decurrente, recurvados en el ápice. Su fruto es una cápsula globosa con los estilos persistentes (Castillo, 2013).

En cuanto a su distribución, Paguay, (2013), señala que, el género *Styloceras* consta de cuatro especies distribuidas desde Colombia hasta Bolivia. En el Ecuador se encuentran distribuidas dos especies, una en la Amazonía y *Styloceras laurifolium*, que se encuentra por encima de los 3000 m.s.n.m en la región interandina. Acorde a Jorgensen y León (1999), se distribuye de 2500 a 4000 msnm. en las provincias de Azuay, Bolívar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura y Tungurahua. Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) también está catalogada como una especie de “Preocupación menor”.

### **2.3. Estado del Arte**

En base a la evidencia empírica de la literatura existen varios estudios relacionados a las propiedades físico-mecánicas de las tres especies bajo estudio. Entre las investigaciones se puede destacar el trabajo de Medina y Rivera, (2020) en el cual determinaron las propiedades físicas y mecánicas de las maderas de acacia, eucalipto y pino caribe con el fin de conocer sus características y ver su viabilidad como maderas estructurales. El autor encontró que acorde a las pruebas físicas, el pino caribe es el tipo de madera con las mejores condiciones dado que sus valores de contracción volumétrica total son bajos a comparación del eucalipto y acacia.

De igual manera presenta un contenido de humedad bajo lo que facilita su proceso de secado. De acuerdo con las propiedades mecánicas, el eucalipto y la acacia presentaron mejor condición en cuanto a su elasticidad en las pruebas mecánicas, mientras que el pino caribe presentó los valores más bajos en esta cualidad, pero caso contrario la misma demostró un mejor comportamiento en cizallamiento.

En otro estudio, se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de platuquero, yagual (*Polylepis racemosa*), y nogal (*Juglans neotropica*), evaluando contenido de humedad y densidad, y flexión estática, dureza, cizallamiento, tracción, compresión paralela y perpendicular al grano (Paguay, 2013a). Se evidenció que las maderas de las tres especies presentaron una densidad básica media. De acuerdo con su dureza se clasificaron como: maderas blandas en estado verde y como semi-duras en estados seco al aire y seco al horno. En cuanto a su resistencia mecánica se clasificaron como media a alta las especies del

platuquero y el nogal y resistencia media la especie del yagual. En cuanto al secado de la madera el nogal y el platuquero presentaron un secado muy bueno.

Por otra parte, (Fernández, 2014), caracterizó las propiedades físico-mecánicas del pino caribe en la región central de Cuba. En cuanto a las propiedades físicas se evaluó la densidad, contenido de humedad, contracción radial y tangencial. En cuanto a las mecánicas se evaluó, dureza, resistencia a la compresión paralela y perpendicular a la fibra y flexión estática. Los resultados mostraron que la densidad básica promedio de la madera de pino caribe fue superior en comparación con otras maderas de la misma especie. Además, la contracción tangencial a la orientación de la fibra de la madera fue superior al de la contracción radial. Finalmente, la dureza y la resistencia máxima a la flexión estática obtuvo valores significativamente superiores a las otras maderas de la misma especie.

De manera similar, un estudio determinó las propiedades físico-mecánicas del pino *P. oocarpa* con el fin de determinar posibles alternativas de uso (Ramírez y Garay, 2004). La especie presentó valores promedio en sus propiedades de densidad seca al aire, y peso específico básico, los cuales se consideran como valores promedio diferentes al de *P. caribaeae*. En sus propiedades físicas presentó una estabilidad dimensional de baja a moderada, por consiguiente, requiere de un proceso de secado en estufa con horario moderado. En sus propiedades mecánicas, de resistencia a la flexión en ruptura, resistencia a la compresión paralela en el esfuerzo al límite proporcional, y resistencia a la compresión perpendicular en el esfuerzo al límite proporcional, superan a los valores tabulados para la especie *P. caribaea*.

Por otro lado, Rodríguez y Vergara, (2008), evaluaron las propiedades físicas y mecánicas de otra especie de pino *Pinus canariensis* en la región del Maule, Chile. En su estudio encontró que las propiedades mecánicas fueron inferiores a los obtenidos en países como España y Australia. En cuanto a la madera de *Pinus radiata*, las propiedades tuvieron valores dentro del rango o por encima, excepto para la resistencia a la tensión perpendicular. Los valores de las propiedades físicas y mecánicas que se determinaron confirman la posibilidad de utilizar la madera de *P. canariensis* para elementos estructurales como cerchas, vigas, y embalaje.

En Venezuela, se determinaron las propiedades físicas de *P. caribaea* var. *hondurensis*, sin resinar y resinado (Cuauro y Caldera, 2012). Se evaluó la densidad, peso específico, contracción radial, tangencial, longitudinal, volumétrica, en árboles de diferente

edad en condiciones de humedad verde, seca al aire y seca al horno. Los resultados indicaron que a mayor tiempo de resinación disminuye la densidad y peso específico básico, y a menor tiempo de resinación son mayores los valores de la densidad y peso específico básico. En relación con la contracción radial, tangencial, longitudinal, y volumétrica no se observó un patrón definido, sin embargo, la edad juega un rol fundamental en el comportamiento de las propiedades físicas.

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

### **3.1. Tipo de Investigación**

El tipo de investigación tuvo un enfoque cualitativo ya que persiguió obtener una comparativa de las propiedades físicas-mecánicas de tres especies arbóreas ya estudiadas, más no, la medición y/o observación en campo de una medida cuantitativa de sus propiedades. Este tipo de investigación es netamente de análisis documental. El tipo de investigación cualitativa se refirió al enfoque general utilizado en el proceso de investigación, que es más flexible y abierto, y el curso de acción se modifica según el desarrollo del estudio (Jiménez y Barrio, 2018).

### **3.2. Diseño de Investigación**

El presente trabajo de investigación tuvo un diseño no experimental con un alcance descriptivo ya que se realizó una comparativa de las propiedades físicas y mecánicas de las tres especies arbóreas ya estudiadas. De igual forma, el presente trabajo fue basado en una revisión documental y revisión sistemática de literatura necesaria para recopilar información cuantitativa de las propiedades físicas-mecánicas con el fin de determinar y comprender el uso más adecuado, que se les puede dar a la madera de las tres especies arbóreas. Acorde a Albán et al. (2020) se efectúa el método descriptivo cuando se desea describir, en todos sus componentes principales, una realidad.

### **3.3. Técnicas de recolección de Datos**

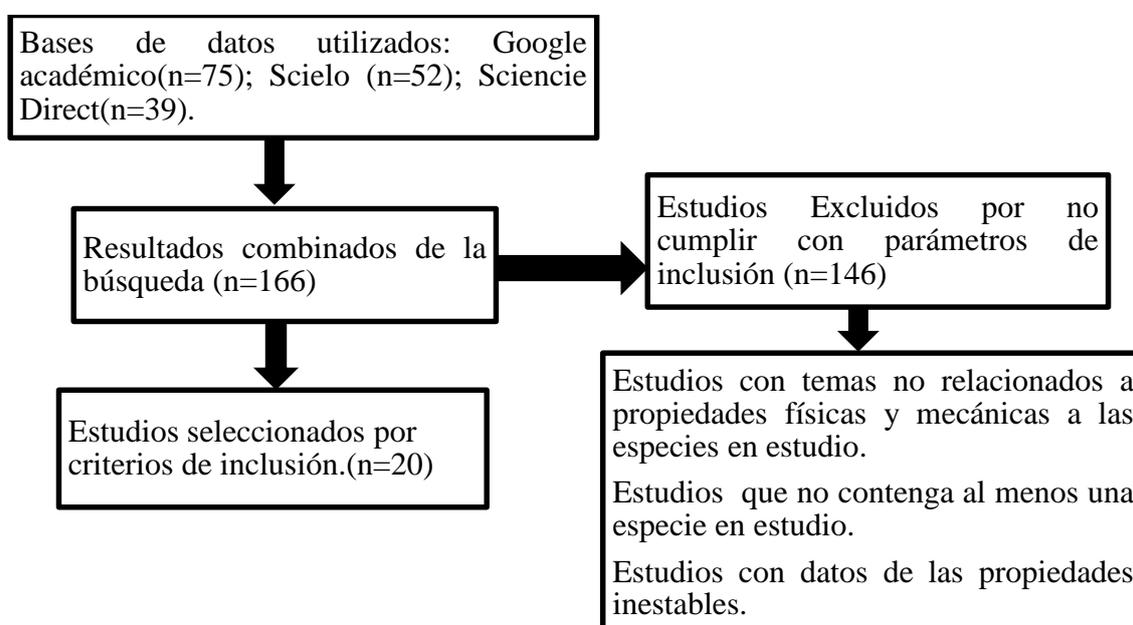
Para la recolección de datos, se utilizó como técnica de investigación la revisión sistemática PRISMA (*Preferred Reported Items for Systematic review and Meta-Analyses*) con el fin de obtener una síntesis de información adecuada mediante un proceso de inclusión y exclusión, que evidencien en sus resultados información cuantitativa de las distintas propiedades físicas y mecánicas de las tres especies. Los estudios para incluir en la revisión bibliográfica fueron aquellos que contuvieron en sus resultados de al menos una de las especies bajo estudio, en la que comparen sus propiedades físicas-mecánicas con otras especies arbóreas.

Las fuentes de información para la recolección de los datos fueron extraídas de motores de búsqueda de literatura como Google Académico, Scielo, y Science Direct, para artículos de revistas académicas de corriente principal. En literatura gris como libros, artículos de conferencias, tesis de posgrado, informes, secciones de libros, se extrajo de Google Académico.

Complementariamente, se realizó un análisis documental en donde la búsqueda de estudios en los distintos motores de búsqueda se lo realizó con palabras clave que tributen a la pregunta de investigación del presente estudio. Se utilizó palabras clave tanto solas y en combinación para recopilar la mayor cantidad de investigaciones.

**Tabla 3.**

*Diagrama de flujo de revisión sistemática*



**Nota.** Elaboración propia.

### 3.4. Población de estudio y tamaño de muestra

#### 3.4.1. Población

Para determinar la población se realizó una búsqueda bibliográfica de estudios relacionados al tema propuesto en los motores de búsqueda Google académico, Scielo y Science Direct, utilizando como palabras clave: propiedades físicas, propiedades mecánicas, especies arbóreas, Platuquero, Pino caribe y Pino patula. Se colocaron las palabras de forma individual y en combinación de ellas (Platuquero + Pino caribe + Pino

patula + propiedades físicas + propiedades mecánicas + madera) para obtener una población total de 166 estudios.

### **3.4.2. Muestra**

Para la determinación de la muestra, se realizó un filtro de la población para los últimos 5 años utilizando las mismas palabras claves. Se aplicaron criterios de selectividad considerando solamente los estudios que tanto dentro del tema general, resumen y resultados contengan información cuantitativa de las propiedades físico-mecánicas de las tres especies estudiadas, así como también de su uso y aprovechamiento de la madera en el sector industrial. Después de realizar el filtro con los criterios de selectividad, la muestra obtenida fue de 20 estudios entre artículos científicos y tesis de posgrado.

### **3.5. Métodos de análisis, y procesamiento de datos.**

Una vez obtenido los estudios a partir de las condiciones de búsqueda, se procedió a recopilar la información cuantitativa de las propiedades físicas (densidad, peso específico, contracción radial, tangencial, longitudinal, volumétrica, entre otras), y propiedades mecánicas (resistencia a la flexión en ruptura, resistencia a la compresión paralela en el esfuerzo al límite proporcional, y resistencia a la compresión perpendicular en el esfuerzo al límite proporcional, entre otras), de las tres especies arbóreas. Así también se recopiló información en relación con el uso y aprovechamiento que se les puede dar a las maderas de cada una de las especies.

Este procesamiento se realizó para los 20 estudios con el fin de obtener la información más relevante del tema propuesto. En base a los 20 estudios obtenidos se elaboró el estado del arte para dar respuesta al objetivo planteado de comparar las distintas propiedades físico-mecánicas en las tres especies arbóreas, para todo esto aplicando la metodología PRISMA ayudando a elegir los estudios con contenido relevantes a cumplir los objetivos del estudio.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En base a la investigación bibliográfica realizada los estudios sobre propiedades físicas y mecánicas de las tres especies en estudio son escasos, especialmente en el Platuquero.

### 4.1. Comparativa de las propiedades físicas

#### 4.1.1. Pino patula

Estudios realizados por Gamonal Horna y Marrufo Goicochea, (2018) menciona que Pino patula (Anexo 1), es una especie ajena a nuestro medio, cultivada con fines industriales, tiene mayor tasa de crecimiento y alto rendimiento. Reportaron que la densidad del pino fue de  $460 \text{ kg/m}^3 = 0.46 \text{ g/cm}^3$  al 12% de humedad. Esta propiedad depende directamente de las fibras en el xilema que están relacionadas con la longitud, el diámetro y el grosor de la pared celular (Córdor y Pardo, 2021). Una de las propiedades físicas de la madera es su baja resistencia, susceptibilidad al ataque de insectos y hongos, y su color ligeramente amarillento (Flores, 2020). Algunos autores afirman que las propiedades físico-mecánicas de la madera de *P. patula* varían con la edad y la localidad (Chura y Muchica, 2020).

Estudios mencionan que en relación a las propiedades físicas tiene un peso específico de entre  $0.40 \text{ g/cm}^3$  a  $0.52 \text{ g/cm}^3$  a un contenido de humedad del 12% (Ovalle, 2010). Otros estudios (Carmona, 2021) han mostrado que la densidad específica obtenida en Ecuador fue de  $0.32 \text{ g/cm}^3$  después de haber sido secada al aire, dato inferior a la obtenida en Colombia debido a que en este estudio se trabajó con madera joven, menor de 12 años. Esto implica que los tejidos no están totalmente endurecidos, respecto a madera madura (mayor de 20 años). Estudios realizados en *P. patula* (Colombia) (Orozco-Jaramillo y Martínez-Nieto, 2009), *P. radiata* (Ecuador) (Cargua et al., 2014) y *P. ayacahuite* (Honduras) (Zamorano et al., 2020) en madera madura (más de 20 años) tuvieron densidades similares, que van desde  $0.43 \text{ g/cm}^3$ ,  $0.39 \text{ g/cm}^3$  y  $0.37 \text{ g/cm}^3$ , respectivamente.

Por otro lado, en un estudio de Vega et al., (2019) encontró que la contracción volumétrica total en *P. patula* encontrada fue de 6,76 %, siendo el plano tangencial el que más contracción se observó con 4,27%, es decir 63,17% más contráctil en relación al plano radial. Con esto se concluye que el Pino patula es de madera joven y más suave, respecto a otras especies de Pino, ensayos basados bajo la Norma COPANT 460 y ASTM D 143-09.

En la Tabla 4, se describen las propiedades físicas más relevantes en términos numéricos de Pino patula, reportados en los distintos estudios.

**Tabla 4.**

*Valores reportados de las propiedades físicas más relevantes de P. patula de acuerdo con varios estudios a nivel nacional y regional*

| <b>Propiedad física</b>       | <b>Valor</b>   |
|-------------------------------|--|
| Peso específico               | 0.40 g/cm <sup>3</sup> – 0.52 g/cm <sup>3</sup>                  |
| Densidad específica           | 0.32 g/cm <sup>3</sup> -0.36 g/cm <sup>3</sup> (en seca al aire) |
| Contracción volumétrica total | 6,76%  |
| Contenido de humedad          | 12%  |

**Nota.** Elaboración propia.

#### **4.1.2. Pino caribe**

Acorde al estudio de Chumbimune, (2017) el Pino caribe (Anexo 2) es el tipo de madera que presenta las mejores condiciones en cuanto a sus propiedades físicas dado que sus valores de contracción volumétrica total, fueron reportados como bajos (3.44%) a comparación de otras especies como eucalipto (20.9%) y acacia (11.9%). De igual forma presenta un contenido de humedad bajo (10%), con lo que el autor sugiere que de las tres especies es la que más estable en cuanto a la conservación de sus dimensiones y se facilita su proceso de secado.

Los resultados de Núñez et al., (2018) reflejaron que densidades altas son proporcionales a valores de las propiedades mecánicas altas, comportándose la dureza, la flexión estática y las compresiones paralela y perpendicular a las fibras mayores en el marco de plantación de 3 x 3. Otros estudios como Rathgeber, (2017) presentaron algunos datos del patrón de variabilidad de la densidad o peso específico, en sentido radial y longitudinal. *P. caribaea* indica un decrecimiento lineal en la densidad de la madera con el nivel de altura en el árbol. Aunque en algunos casos las disminuciones de densidad no son pronunciadas.

En Venezuela, se han realizado estudios sobre la madera de plantaciones de pino *caribaea* var. *hondurensis* y destacan los presentados en el campo de propiedades físico-mecánicas, trabajabilidad y utilización (Araque-Mora et al., 2021). También se han realizado estudios con relación a características de madera de compresión (Lomagno y Rozas, 2000),

periodicidad de anillos de crecimiento (Manzanilla-Quiñones et al., 2021), y determinación de ángulo de orientación de microfibrillas (Fank, 2018).

Estos reportes presentan información de gran valor, pero no incluyen datos correspondientes a la variación del peso específico o densidad dentro de un mismo individuo en sentido longitudinal. Por lo tanto, en el estudio de Gutiérrez-Vázquez y Flores-Montaño, (2019) se encontró una tendencia a la disminución tanto para la densidad en tres condiciones (verde, seca al aire, seca al horno) como para el peso específico básico desde la base del árbol hacia el ápice. Sin embargo, las diferencias encontradas no manifestaron significancia estadística y, desde este punto de vista, se puede considerar que la densidad y peso específico de Pino caribe de 25 años se mantiene constante a diferentes niveles de altura del árbol.

Por otro lado, (Castillo y Aguirre, (2017) ha demostrado que la densidad promedio general de Pino caribe tiene un rango entre  $0.33 \text{ g/cm}^3$  a  $0.64 \text{ g/cm}^3$ . La contracción volumétrica se encontró que va desde de 4.45 a 12.86% con un valor promedio de 8.32% (Vega et al., 2019). La contracción de la madera, de acuerdo al plano tangencial, presentó valor de 6.89% seguido de una contracción radial de 2.5% y contracción longitudinal de 0,1% en el estudio de (Mendez, 2020) . Se evidencio en otro estudio de Calderón y Antonio, (2019) que la estabilidad de la madera es mayor en la periferia de la corteza del árbol, disminuyendo a medida que se acerca a la al centro de la misma.

En un estudio, se encontró que, para el peso específico, la madera de *P. caribaea* presentó los valores más bajos ( $0,344 \text{ g/cm}^3$ ) (Jiménez, 2020). Estos resultados pueden estar relacionados con la menor edad del árbol. Las maderas de *P. caribaea var. caribaea* y *P. caribaea var. hondurensis* pueden clasificarse como maderas muy claras (Chumbimune, 2017).

Acorde a Fank (2018) existe un amplio rango para la masa específica. La principal causa de esta variación está relacionada con las características de la especie, contenido de humedad de la madera, proporción de madera inicial o tardía, anchura de anillos de crecimiento, lugar de crecimiento del árbol y los tramos silvícolas. Los valores disponibles en la literatura de la densidad específica básica para la especie de *P. caribaea* varían entre  $0,321$  y  $0,531 \text{ g/cm}^3$ .

Según los estudios de Loiola et al., (2021) para árboles de 18 a 28 años, la magnitud de la contracción para madera blanda reportan variaciones de 2,1 a 5,1% para la dirección radial, 4,4 a 9,1% para la dirección tangencial y 6,5 a 14% para la contracción volumétrica. Por otro lado, en otro estudio de Leyva et al., (2020) la contracción volumétrica total (suma de la contracción radial y tangencial), presentó valores medios de 8.25, 9.93 y 10.07%, respectivamente para *P. caribaea var. caribaea*, *P. caribaea var. hondurensis* y *P. oocarpa*, destacando los bajos valores de contracción volumétrica.

**Tabla 5.**

*Valores reportados de las propiedades físicas más relevantes de Pino caribe de acuerdo con varios estudios a nivel nacional y regional*

| <b>Propiedad física</b>       | <b>Valor</b>                  |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Peso específico               | 0.344 g/cm <sup>3</sup>       |
| Densidad específica           | 0.33 a 0.64 g/cm <sup>3</sup> |
| Contracción volumétrica total | 4,45-12,86% (promedio 8,32%)  |
| Contenido de humedad          | 10%                           |

**Nota.** Elaboración propia.

#### **4.1.3. Platuquero**

Respecto al platuquero (*S. laurifolium*) (Anexo 3) son escasos los estudios que se han hecho en esta especie en relación con la caracterización de sus propiedades físicas. Se destaca el estudio de (Paguay, 2013b) en el que se reporta un peso específico (0,60 g/cm<sup>3</sup>). En relación con el peso específico se clasifica como mediano, con una dureza blanda, semiblanda o semidura, y con una trabajabilidad muy buena. En el mismo estudio, clasificó al Platuquero con una densidad básica media, con una resistencia con un secado muy bueno, y de grano tipo recto.

En este mismo estudio se reportó mayor contenido de humedad en estado verde con un 67.77% seguido de otras especies como el yagual y del nogal con un 64.98% y 53.12% respectivamente. La madera del Platuquero en estado verde presentó una densidad de 0.98 g/cm<sup>3</sup> clasificándose como madera de tipo pesada en los tres estados.

**Tabla 6.**

*Valores reportados de las propiedades físicas más relevantes de Platuquero de acuerdo con varios estudios a nivel nacional y regional*

| <b>Propiedad física</b>       | <b>Valor</b>           |
|-------------------------------|------------------------|
| Peso específico               | 0.60 g/cm <sup>3</sup> |
| Densidad en verde             | 0.98g/cm <sup>3</sup>  |
| Densidad Sa                   | 0.73g/cm <sup>3</sup>  |
| Densidad Sh                   | 0.72g/cm <sup>3</sup>  |
| Contenido de humedad en verde | 67.7%                  |
| Contenido de humedad Sa       | 12.67%                 |
| Contenido de humedad Sh       | 11.03%                 |

**Nota.** Elaboración propia.

En base a los estudios investigados en la Tabla 6, se compara las propiedades físicas estudiadas en las tres especies. En el Anexo 4 se describe la clasificación de la madera por su densidad con un contenido de humedad del 12%.

**Tabla 7.**

*Propiedades físicas de las tres especies arbóreas en estudio*

| <b>Propiedad física</b>       | <b>Pino patula</b>   | <b>Pino caribe</b>              | <b>Platuquero</b>  |
|-------------------------------|--|---------------------------------|--|
| Peso específico               | 0.40 g/cm <sup>3</sup> – 0.52g/cm <sup>3</sup>                                     | 0.344 g/cm <sup>3</sup>         | 0.60 g/cm <sup>3</sup>                                       |
| Densidad                      | 0,32 -0.36 g/cm <sup>3</sup> (seca al aire) y 0.50 g/cm <sup>3</sup> madera madura | 0,33 a 0.64 g/cm <sup>3</sup>   | 0,98 g/cm <sup>3</sup> en verde<br>0,73 g/cm <sup>3</sup> Sa |
| Contracción volumétrica total | 6,76%  | 4,45-12,86%<br>(promedio 8,32%) | 4.04-6.96%   |
| Contenido de humedad          | 12%  | 10%                             | 67.7% en verde<br>12.67% en Sa                               |

**Nota.** Elaboración propia.

Comparando las propiedades físicas de las tres especies arbóreas, se observa que el Platuquero tiene un mayor peso específico respecto al Pino patula y Pino caribe. Esto está relacionado con el contenido de humedad, ya que especies con un peso específico de hasta 1,00 gr/cm<sup>3</sup> al aumentar el contenido de humedad también se aumenta el peso específico

aparente. La madera del Platuquero se clasifica como una madera Pesada de acuerdo con su peso específico, mientras que la del Pino caribe y Pino patula, como liviana y moderadamente liviana, respectivamente. En el Anexo 5, se describe la clasificación de la madera de acuerdo con su peso específico.

En contraste en las especies con peso específico mayor que  $1,20 \text{ g/cm}^3$  al aumentar el contenido de humedad el peso específico disminuye. Esto se debe a que el valor de coeficiente de hinchamiento volumétrico en las maderas más pesadas es superior (Serrano, 2019). Este comportamiento es diferente al de las maderas más livianas hasta el punto de saturación de las fibras, a partir de ahí todas tienen el mismo comportamiento, aumentando el peso específico con el aumento del contenido de humedad (Rosales-Solórzano, 2020).

El peso específico de las tres especies reportados son menores a  $1,00 \text{ gr/cm}^3$  por lo que se considera madera liviana para el Pino patula y caribe, y semipesada para el Platuquero (Peña, 2019). En un estudio de Suirezs, (2009) se encontró que Pino patula tuvo un peso específico entre 0,38 a 0,47 valores que se asemejan a los reportado en el presente estudio.

Respecto a la densidad, el Platuquero mostró una densidad mayor respecto a las otras dos especies de pino. Carro (2021) menciona que, de todas las propiedades de la madera, la densidad es la más significativa en la determinación del uso final y tiene una estrecha relación con la dureza y la contracción. Acorde a Carmona (2021) los valores reportados en este estudio, se clasifican como madera ligera en cuanto al Pino patula, ligera pero también madera de peso medio para pino caribe, y madera muy pesada para el caso del Platuquero. En un estudio de Rodríguez-Soto, (2019) se reportó que la densidad específica de especies de pinos ronda entre  $0,37$  a  $0,41 \text{ gr/cm}^3$  a un 15% de humedad. Estos valores se alinean a los reportados en el presente estudio para Pino caribe y Pino patula.

En cuanto a la contracción volumétrica se reportaron valores porcentuales similares para el Pino patula y Pino caribe con 6,76% y 8,32%, respectivamente. La contracción volumétrica es la contracción del polímero debida al cambio de la temperatura de masa fundida a la temperatura ambiente (Rodríguez, 2020). Una contracción volumétrica alta puede provocar deformación de la pieza, rechupes, dimensiones críticas demasiado pequeñas y vacíos internos. En un estudio de Medina et al., (2018) se reportaron contracciones volumétricas medianas (10-12%) para tres especies de álamo en Argentina. En el Anexo 6 se describe la clasificación de la madera por flexión estática.

La estabilidad dimensional de la madera caracteriza a las maderas con contracciones volumétricas medianas su buena adaptación a cambios de humedad y tiene especial importancia en construcciones de marcos de puertas y ventanas, hojas de ventanas y revestimientos en general (Botero, 2019). Para el presente estudio, las contracciones reportadas para los pinos caribe y patula son bajas. Sin embargo, en otras especies como *P. radiata*, *P. silvestris* y *P. pinaster*. se reportaron valores entre 10,7 a 13,8%.

De acuerdo a Alvarado et al., (2018) sugieren que contracciones volumétricas medianas (<10%) son menos estable dimensionalmente frente a los cambios de humedad. Finalmente, para el Platuquero se reportan valores de contracción volumétrica de 4.04 y 6.96% en estado verde, seco al aire y al horno, respectivamente (MAE y FAO, 2014).

## **4.2. Comparativa de las propiedades mecánicas**

### **4.2.1. Pino patula**

La propiedad mecánica de la madera de Pino Patula más estudiada ha sido la flexión estática: Esta propiedad se aplica ampliamente a las maderas para techos, pisos (Sequeira y Gutiérrez, 2017). En esta propiedad, la resistencia a la flexión estática reporta una fuerza para esta especie es de 72 MPa (Megapascuales) ( $1 \text{ MPa}=10.1972\text{kg/cm}^2$ ) (Ibarra López, 2018) y en el estudio de (Cóndor Mango y Pardo Navarro, 2021) cuenta con una flexión estática de  $474.99 \text{ kg/cm}^2$  (MOR) también con la compresión paralela  $185.76 \text{ kg/cm}^2$  y a compresión perpendicular de  $49.94 \text{ kg/cm}^2$  de cizallamiento de  $105.81 \text{ kg/cm}^2$ . La resistencia a la compresión de la madera muestra su comportamiento cuando se aplica una fuerza que tiende a provocar una deformación axial (Artaza y Olivos, 2021). Esta cualidad (resistencia por compresión) es importante para la construcción de pilares de puertas, balcones y terrazas.

La deformación lateral como otra propiedad ocurre cuando se aplica una fuerza externa a la madera, la cual determina la calidad del producto final. La fuerza alcanzable reportada es de 10 MPa (Flores, 2020). Otros estudios mencionan que el módulo de ruptura o flexión estática fue de 41 a 83 Newtons por  $\text{mm}^2$ , módulo de elasticidad de 5,860 a 9,660 Newtons por  $\text{mm}^2$  con una dureza (BRINELL) de  $449 \text{ kg/cm}^2$  (Sotomayor et al., 2019). En el Anexo 7 se describe la clasificación de la madera por su dureza BRINELL.

En el estudio de Rodríguez y Vergara, (2008) se reportaron diferencias destacables en relación a flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular y dureza, con valores menores, con respecto a la información obtenida en Colombia. Estas diferencias se

dan en virtud de la edad de madera, es decir joven y madura. Con madera joven cuya estructura anatómica se encuentran en proceso de crecimiento, esto hace que sus propiedades tanto físicas como mecánicas sean muy bajas (Rodríguez y Vergara, 2008).

**Tabla 8.**

*Valores reportados de las propiedades mecánicas más relevantes de Pino patula de acuerdo con varios estudios a nivel nacional y regional*

| <b>Propiedad mecánica</b> | <b>Valor</b>   |
|---------------------------|--|
| Flexión estática          | 72MPa= 734.20 kg/cm <sup>2</sup>                                 |
| Módulo de ruptura         | 41 - 83 Newtons por mm <sup>2</sup> (418.08 kg/cm <sup>2</sup> ) |
| Módulo de elasticidad     | 5,860 - 9,660 Newtons por mm <sup>2</sup>                        |
| Compresión paralela       | 185.76 kg/cm <sup>2</sup>  |
| Compresión perpendicular  | 49.94 kg/cm <sup>2</sup>   |
| Dureza                    | 449 kg/cm <sup>2</sup>   |
| Cizallamiento radial      | 105.81 kg/cm <sup>2</sup>  |

**Nota.** Elaboración propia

#### **4.2.2. Pino caribe**

En las pruebas mecánicas, para la flexión estática, se reportó en un estudio de Céspedes y Gaitán, (2020) que comparando el Eucalipto y la Acacia presentaron mejor condición en cuanto a su elasticidad. en mientras que *P. caribaea* presentó valores más bajos en esta cualidad. Específicamente en resistencia en límite proporcional (RLP) se reportó un valor de 431.676 kg/cm<sup>2</sup>, en resistencia máxima (RM) fue de 792.4 kg/cm<sup>2</sup>, y en el Módulo de elasticidad (MOE) fue de 106438.91 kg/cm<sup>2</sup>. En las pruebas de compresión paralela, el *P. caribaea* demostró un mejor comportamiento en cuanto al módulo de elasticidad (102400 kg/cm<sup>2</sup>) y resistencia a tracción (160 kg/cm<sup>2</sup>) (Céspedes y Gaitán, 2020) . Para la prueba de compresión perpendicular, la madera de Eucalipto fue la que menor resistencia presentó (48.92 kg/cm<sup>2</sup>) y *P. caribaea* fue la que presentó mayor resistencia máxima (100.50 kg/cm<sup>2</sup>) y compresión paralela de 480 kg/cm<sup>2</sup>. En la prueba de cizallamiento, tanto radial como tangencial, no se encontró gran diferencia entre ambas variables, siendo así *P. caribaea* la que presentó mejores cualidades (81.39 kg/cm<sup>2</sup>), seguido por el Eucalipto (76.18 kg/cm<sup>2</sup>) y Acacia (69.29 kg/cm<sup>2</sup>).

**Tabla 9.**

Valores reportados de las propiedades mecánicas más relevantes de Pino caribe de acuerdo con varios estudios a nivel nacional y regional

| Propiedad mecánica       | Valor  |
|--------------------------|--|
| Flexión estática         | RLP = 431.676 kg/cm <sup>2</sup> ; RM=792.4 kg/cm <sup>2</sup> ;<br>MOE=106438.91 kg/cm <sup>2</sup> |
| Resistencia a tracción   | 160 kg/cm <sup>2</sup>   |
| Módulo de elasticidad    | 102400 kg/cm <sup>2</sup>  |
| Compresión perpendicular | 100.50 kg/cm <sup>2</sup> (carga de 2513 kg)   |
| Compresión paralela      | 480 kg/cm <sup>2</sup> (carga de 3000 kg)  |
| Cizallamiento radial     | 81.39 kg/cm <sup>2</sup>   |

**Nota.** Elaboración propia

### 4.2.3. Platuquero

En cuanto a las pruebas mecánicas realizadas y evaluadas bajo tres estados (verde, seco al aire y seco al horno) se reportó que la madera secada al horno (120°C / 20 días) tuvo mayor resistencia a la flexión de 749.02 kg/cm<sup>2</sup> a un peso de (650,15 kg) que la madera secada al aire (13.8°C / 155 días) 748.63 kg/cm<sup>2</sup> a un peso de (644.67 kg) y que en estado verde 487.26 kg/cm<sup>2</sup> a un peso de (440.90 kg) (Paguay, 2013a).

En relación en base a un ensayo realizado de resistencia a flexión estática se encontró que la especie del Platuquero mostró mayor resistencia en estado seco al horno con 749.02 kg/cm<sup>2</sup>. Esta especie se reporta una resistencia muy baja en estado verde, y baja en estado seco al aire y en seco al horno (Paguay, 2013a). Estos resultados obtenidos en el ensayo en relación flexión estática en los tres estados (seco al horno, al aire y verde) de la madera indicaron que no pueden ser utilizadas en trabajos donde las cargas aplicadas produzcan esfuerzos que sobrepasen el límite de proporcionalidad.

Por otro lado, en la prueba de resistencia a dureza en el Platuquero para el plano radial en estado verde, seco al aire y seco al horno se reportaron valores de 265.08, 345,81, y 357,77 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Mientras que en el plano tangencial se reportaron valores de 248.83, 321.15, y 334.78 kg/cm<sup>2</sup> en estado verde, seco al aire y seco al horno, respectivamente. Finalmente, en el plano longitudinal se reportaron valores de 249.14, 327.45 y 352.43 kg/cm<sup>2</sup> para los tres estados. Por lo tanto, a la madera del Platuquero se la clasifica como blandas en estado verde y semi dura en estado seco al aire y seco al horno.

En relación a la prueba de cizallamiento la mayor resistencia para el Platuquero se observó con probetas secas al horno ( $531.20 \text{ kg/cm}^2$ ) a la carga de 1619.14 kg y los más bajos con las probetas en estado verde ( $503.46 \text{ kg/cm}^2$ ) a la carga de 1550.14 kg, por lo que se puede sugerir que, de acuerdo a la anatomía y secado de la madera, a menor contenido de humedad, mayor resistencia (Rodríguez et al., 2007). Esto es debido ya que a medida que las maderas se secan las paredes celulares se vuelven más duras y rígidas lo cual trae consigo un aumento de las propiedades mecánicas (Alvarado y Medina, 2019).

En relación a un ensayo de resistencia a la compresión paralela, el Platuquero tuvo un comportamiento siguiendo lo establecido por la Ley de Hooke, en el cual manifiesta que la deformación que experimenta un cuerpo es directamente proporcional al esfuerzo producido (Spotts, 2021). Pudiendo determinar que la especie del Platuquero presenta una clasificación baja en estado seco al aire y seco al horno y muy baja en estado verde (Morejón Moreta, 2018). Se reportaron valores de  $268,35 \text{ kg/cm}^2$  en estado verde,  $392,07 \text{ kg/cm}^2$  en estado seco al aire, y  $531.20 \text{ kg/cm}^2$  en estado seco al horno. Valores superiores al de las otras especies como el nogal y yagual.

En cuanto a un ensayo de resistencia a la compresión perpendicular los valores más bajos reportados se registraron para el Platuquero, respecto al yagual y nogal en estado seco al horno  $149,2 \text{ kg/cm}^2$  a la carga de 3664,30 kg, en estado seco al aire  $144,27 \text{ kg/cm}^2$  a la carga de 3546,20 kg y en estado verde  $105,82 \text{ kg/cm}^2$  a la carga de 2598,90 kg (Paguay, 2013a). La madera del Platuquero por lo tanto presenta una clasificación media en estado verde y moderadamente alta a la madera seca al aire y seca al horno (Paguay Peña, 2013a). En relación con un ensayo de resistencia a la tracción, la resistencia más baja la presentó el Platuquero en estado verde con  $204,96 \text{ kg/cm}^2$  a la carga de 516,50 kg y una mayor resistencia en estado seco al horno (Paguay, 2013a).

Finalmente, para prueba de trabajabilidad se puede indicar que la madera del Platuquero se clasifica como muy bueno para trabajos de aserraderos, muy bueno para trabajos de cepillado, y muy bueno para torneados (Paguay, 2013a). ensayos elaborados bajo las Normas (Anexo 8).

**Tabla 10.**

Valores reportados de las propiedades mecánicas más relevantes de Platuquero de acuerdo con varios estudios a nivel nacional y regional. ScH representa en estado seco al horno; ScA representa en estado seco al aire, y V representa en estado verde.

| Propiedad mecánica                  | Valor                             |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Flexión estática                    | ScH = 749.02 kg/cm <sup>2</sup>   |
|                                     | ScA = 748.63 kg/cm <sup>2</sup>   |
|                                     | V = 487.26 kg/cm <sup>2</sup>     |
|                                     | Plano radial:                     |
|                                     | ScH = 357.77 kg/cm <sup>2</sup>   |
|                                     | ScA = 345.81 kg/cm <sup>2</sup>   |
| Resistencia a dureza                | V = 265.08 kg/cm <sup>2</sup>     |
|                                     | Plano tangencial                  |
|                                     | ScH = 334.78 kg/cm <sup>2</sup>   |
|                                     | ScA = 321kg/cm <sup>2</sup>       |
|                                     | V = 248.83 kg/cm <sup>2</sup>     |
|                                     | Plano longitudinal                |
| Módulo de resistencia a la tracción | ScH = 352.43 kg/cm <sup>2</sup>   |
|                                     | ScA = 327.45kg/cm <sup>2</sup>    |
|                                     | V = 249.14 kg/cm <sup>2</sup>     |
| Compresión perpendicular            | ScH = 290,98 kg/cm <sup>2</sup>   |
|                                     | ScA = 260,05 kg/cm <sup>2</sup>   |
|                                     | V = 204,96 kg/cm <sup>2</sup>     |
| Compresión paralela                 | ScH = 149,2 kg/cm <sup>2</sup> ,  |
|                                     | ScA = 144,27 kg/cm <sup>2</sup>   |
|                                     | V = 105,82 kg/cm <sup>2</sup>     |
| Cizallamiento                       | ScH = 394,64 kg/cm <sup>2</sup> , |
|                                     | ScA = 392,07 kg/cm <sup>2</sup>   |
|                                     | V = 268,35 kg/cm <sup>2</sup>     |
| Cizallamiento                       | ScH = 531.20 kg/cm <sup>2</sup>   |
|                                     | ScA = 526.92 kg/cm <sup>2</sup>   |
|                                     | V = 503.46 kg/cm <sup>2</sup>     |

**Nota.** Elaboración propia.

En base a los estudios investigados en la Tabla 10, se compara las propiedades mecánicas estudiadas en las tres especies arbóreas. En el Anexo 9 se describen los ensayos para propiedades mecánicas. Mientras que en el Anexo 10 se describen la clasificación para la compresión de las maderas

**Tabla 11.**

*Propiedades mecánicas de las tres especies arbóreas en estudio*

| <b>Propiedad mecánica</b>           | <b>Pino patula</b>                              | <b>Pino caribe</b>   | <b>Platuquero</b>   |
|-------------------------------------|---|--|---|
| Flexión estática                    | 734.20 kg/cm <sup>2</sup>                       | RLP = 431.676 kg/cm <sup>2</sup> ;<br>RM=792.4 kg/cm <sup>2</sup> ;<br>MOE=106.438.91 kg/cm <sup>2</sup> | ScH = 749.02 kg/cm <sup>2</sup><br>ScA = 748.63 kg/cm <sup>2</sup><br>V = 487.26 kg/cm <sup>2</sup>                     |
| Compresión perpendicular            | 49.94 kg/cm <sup>2</sup>                        | 100.50 kg/cm <sup>2</sup> (carga de 2513 kg)   | ScH = 149,2 kg/cm <sup>2</sup> ,<br>ScA = 144,27 kg/cm <sup>2</sup><br>V = 105,82 kg/cm <sup>2</sup>                    |
| Compresión paralela                 | 185.76 kg/cm <sup>2</sup>                       | 480 kg/cm <sup>2</sup> (carga de 3000 kg)  | ScH = 394,64 kg/cm <sup>2</sup> ,<br>ScA = 392,07kg/cm <sup>2</sup><br>V = 268,35 kg/cm <sup>2</sup>                    |
| Resistencia a dureza                | 449 kg/cm <sup>2</sup> (condición seca al aire) | 276 kg/cm <sup>2</sup> (condición seca al aire)  | Plano radial:<br>ScH = 357.77 kg/cm <sup>2</sup><br>ScA = 345.81 kg/cm <sup>2</sup><br>V = 265.08 kg/cm <sup>2</sup>    |
|                                     |   |  | Plano tangencial<br>ScH = 334.78 kg/cm <sup>2</sup><br>ScA = 321kg/cm <sup>2</sup><br>V = 248.83 kg/cm <sup>2</sup>     |
|                                     |   |  | Plano longitudinal<br>ScH =352.43 kg/cm <sup>2</sup><br>ScA = 327.45kg/cm <sup>2</sup><br>V = 249.14 kg/cm <sup>2</sup> |
| Módulo de resistencia a la tracción |   | 160 kg/cm <sup>2</sup>   | ScH =290,98 kg/cm <sup>2</sup><br>ScA = 260,05 kg/cm <sup>2</sup><br>V = 204,96 kg/cm <sup>2</sup>                      |
| Cizallamiento radial                | 105.81 kg/cm <sup>2</sup>                       | 81.39 kg/cm <sup>2</sup>   | ScH= 531.20 kg/cm <sup>2</sup><br>ScA = 526.92 kg/cm <sup>2</sup><br>V = 503.46 kg/cm <sup>2</sup>                      |

**Nota.** Elaboración propia.

De acuerdo con la Tabla 10, en el estudio del Platuquero se analizó bajo tres estados (en verde, seco en el horno y seco en el aire), mientras que, en el estudio de pino caribe, se analizó bajo un módulo de elasticidad en flexión, resistencia en el límite proporcional, y resistencia máxima. las pruebas de flexión estática son utilizadas para determinar los módulos de elasticidad y de ruptura. Según un estudio de Contreras et al., (2007) la flexión

reportada en pino caribe fue de  $17.80 \text{ N/mm}^2 = 181.51 \text{ kg/cm}^2$  para esfuerzo en el límite proporcional (ELP),  $19,780 \text{ N/mm}^2 = 201.7 \text{ kg/cm}^2$  para Módulo de Ruptura (MOR) y  $3.123,875 \text{ N/mm}^2 = 3.185 \times 10^4 \text{ kg/cm}^3$  para (MOE) módulo de elasticidad. menores a los reportados en el presente estudio.

En un estudio de Triana et al., (2007) se reportó que la comprensión paralela del Pino caribe registro valores entre 11.000 y 13.000  $\text{kg/cm}^2$  para módulo de elasticidad MOE, mientras que para Módulo de Ruptura MOR se registraron valores entre 158 a 210  $\text{kg/cm}^2$ .

Los valores de módulo de elasticidad MOE reportados en la Tabla 10, fueron similares a los obtenidos por Weber (2005) para *P. taeda* de 6 años de edad. La diferencia de los valores con los encontrados aquí ( $77.14 \text{ kg/cm}^2$ ), puede deberse, en parte, a la edad del árbol, debido que a una edad mayor (10 años) existe una proporción de madera madura. Por lo que el valor reportado en el presente estudio puede ser de un árbol de edad joven (entre 5 a 10 años). Garcia (2017) sugiere que las propiedades de comprensión perpendicular son determinadas a temprana edad y demuestran que en especies de pino su diámetro y altura no compromete las propiedades de resistencias mecánicas de la madera, y estas mejoran con la edad del árbol.

#### 4.3. Usos

En la Tabla 12, se describen y se comparan el uso y aprovechamiento que se les puede dar a cada una de las maderas de las especies arbóreas bajo estudio, siendo las más principales; para construcción en general, postes para cerca eléctrica, artesanías, cajones, muebles, carpintería.

**Tabla 12.**

*Principales usos de las especies pino patula, pino caribe y platuquero*

| Uso   | Pino patula | Pino caribe | Platuquero |
|---|-------------|-------------|------------|
| Construcción en general                     | X           | X           |            |
| Muebles, caballetes, encofrados             |             |             | X          |
| Cajas, cajones, techos                      | X           |             |            |
| Aglomerados, pulpas                         | X           | X           |            |
| Postes telefonía, cercas, energía eléctrica | X           | X           | X          |
| Biombos, abanicos, puertas                  |             | X           |            |
| Estructuras, kioskos, parques               | X           |             |            |
| Papel kraft                                 | X           | X           |            |

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| Tableros, madera-cemento- fibra-<br>cemento | X |   | X |
| Mango de herramientas                       |   |   | X |
| Juguetería, vigas                           |   |   | X |
| Carpintería, ebanistería, pisos             |   | X | X |
| Artesanías                                  | X | X | X |

**Nota.** Elaboración propia.

#### 4.3.1. Pino patula

Esta especie se cultiva comúnmente como una variedad industrial de rápido crecimiento y alto rendimiento (Holguín, 2020). La madera tiene menor densidad y resistencia que muchas coníferas de clima templado por lo que se convierte en una especie apta para la construcción en general (Flores, 2020). La fuerza y la densidad de la madera de esta especie aumentan significativamente desde el centro del tronco hacia el exterior, por lo que la madera exterior es adecuada para trabajos pesados en construcción de casas, mientras que la madera succulenta interior es menos resistente por lo cual es más adecuada para cajas grandes, cajones, techo (Caro, 2017). La madera se procesa fácilmente, no contiene resina y es relativamente inodora, apta tanto para aglomerado como para pulpa (Holguín, 2020).

Además, la madera es inmunizada con sales de cromo-cobre-arsénico (CCA) o boro-cromo arsénico (BCA), que son preservantes hidrosolubles con formulaciones de sales de diferentes metales (arsénico, cobre) que actúan como insecticidas, fungicidas, y fijadoras de materias activas en la madera (Urrutia, 2013). La función de estos químicos (CCA y BCA) es que mediante el tratamiento de la madera con presión/vacío, proteja a esta del ataque de hongos que producen pudrición y de posibles insectos. La efectividad del CCA y BCA permite aplicaciones eficientes en aquellas maderas que por su uso deben estar en contacto directo con el suelo o someterse a condiciones desfavorables como agua de mar (Urrutia, 2013).

Por ello, son utilizada para postes de telefonía rural, energía eléctrica o para postes de cercas (Rojas et al., 2018). Igualmente, se utiliza para la elaboración de construcciones rústicas, con un alto grado de estabilidad, en estructuras para juegos infantiles, parques, sitios de recreación, kioscos, casas de perros y de muñecas, módulos, pilotes y puntales para minas (Prezi, 2021).

La madera redonda, los orillos y las ramas de buen grosor, se utilizan para la obtención de pulpa de fibra larga, que es la materia prima para elaboración de papel Kraft y cartón (Speranza et al., 2020). El papel Kraft es utilizado para elaboración de empaques(sacos) para cemento, azúcar, harina y concentrado para animales, entre otros, ya que presenta alta resistencia al rasgado (Speranza et al., 2020). La madera es liviana, con buena estabilidad dimensional, no es muy durable y susceptible a mancha azul e insectos xilófagos; es fácil de secar, tanto al aire libre como al horno, tiende a presentar torceduras cuando hay un mal secado o nudo en la madera (Speranza et al., 2020). Cuando está verde o recién aserrada presenta un olor agradable a resina.

Algunos usos adicionales son las chapas decorativas, depresores linguales, tableros contrachapados, módulos a base de madera como el tablex, madera-cemento, fibra-cemento (Prezi, 2021). En forma de madera laminada y densificada. Uno de los usos que mayor valor agregado tiene y que además permite la utilización de piezas pequeñas, es en artesanías. La leña que se extrae de ella es de excelente calidad (Suárez et al., 2019).

#### **4.3.2. Pino caribe**

El uso que se le puede dar a esta especie incluyen embalajes (cajas, cajones, huacales, cestas, entre otros) (Martínez et al., 2018). Otros usos son para chapas para gavetas, recubrimientos interior de paredes como chapillas, como material aislante, tapa de apagadores, bastidores, rellenos para puertas, artesanías, abanicos, juegos didácticos, biombos, porta tubo de ensayos, persianas, bastidores, muebles livianos, elementos flotantes, bases para carteleras, bases para lima de uñas, paletas para pintores, caballetes para pintores, rodapiés, cortineros, repisas, rejillas para puertas y ventanas (Martínez et al., 2018).

A comparación del Pino patula, la madera del Pino caribe puede ser apta para usos más livianos como los mencionados. Esto debido a que producto de la resinación, la madera del pino va perdiendo peso y densidad específica. Mientras más tiempo sea la campaña de resinación, mayor será la disminución del peso y densidad, y por ende también de la contracción radial, tangencial, longitudinal, volumétrica.

Otros estudios mencionan que sus usos potenciales son los estructurales y de construcción en los que se incluyen vigas, escaleras y techos; muebles, pilones y entarimado (Céspedes y Gaitán, 2020). El uso de la especie depende de la calidad de la madera, la cual

no sólo está determinada por la genética y el manejo, sino también por el ambiente en los que se desarrolla (Rodríguez-Vásquez et al., 2021).

Esta especie también es utilizada en construcción general, especialmente para ventanas, muebles de cocina, artesanías, postes para tendido de redes telefónicas y eléctricas, pulpa para papel, parquet para pisos, laminas para contrachapados, puentes, carpintería, pisos, ebanistería, pilotes, estructuras de barcos, carrocerías, mangos para herramientas, encofrados, tableros de fibras y partículas, papel kraft, cartón corrugado y papel periódico (Páez, 2017). Además presenta usos adicionales para leña y carbón, resinas de la cual pueden obtener pinturas, barnices, plásticos aceites, gomas, resinas sintéticas, productos químicos y farmacéuticos (Céspedes y Gaitán, 2020). En la vegetación natural, sirve de refugio y alimento para la fauna silvestre (Flores-Pacheco et al., 2019).

#### **4.3.3. Platuquero**

En el caso del *Styloceras sp*, tiene usos para obras de carpintería, encofrados, para obras civiles, muebles livianos (Shipunov et al., 2020; Cruz et al., 2021). Además, tiene otros usos para carpintería en general, duelas, medias duelas, postes, tablones, mango de herramientas, jugueterías, vigas, artesanías, y escritura tallada (Paguay, 2013a). Generalmente la madera se utiliza para la fabricación de muebles y su fruto es comestible (De la Torre et al. 2008).

Estos usos que se le confiera a la madera del Platuquero es debido a su densidad básica media y a su dureza que es de naturaleza blanda en estado verde y semiduras en estado seco al aire y seco al horno. Adicionalmente, su resistencia mecánica que es media a alta y su buena trabajabilidad con máquinas de carpintería le otorga un comportamiento muy bueno para trabajos de carpintería, mueblería, tableros y artesanías, entre otras (Paguay,2013a). .

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

En base a los objetivos planteados inicialmente y a los resultados extraídos en la presente investigación, se dedujo las siguientes conclusiones.

Se logró comparar las propiedades físicas de peso específico, densidad, contracción volumétrica total y contenido de humedad, y las propiedades mecánicas de flexión extática, compresión perpendicular, compresión paralela al grano, módulo de ruptura, módulo de resistencia a dureza, y cizallamiento radial de las tres especies arbóreas bajo estudio en base al estado del arte consultado en la literatura, con el fin de determinar si son aptas o no para ser aprovechadas como un elemento de uso estructural en cualquier tipo de infraestructura.

Se determinó que el Platuquero tiene un mayor peso específico respecto al Pino patula y Pino caribe, también mostró una densidad mayor respecto a las otras dos especies de pino. Esto tiene una estrecha relación con la dureza y la contracción de la madera. En el presente estudio, se puede clasificar como madera ligera en cuanto al Pino patula; ligera y también madera de peso medio para pino caribe, y madera pesada para el caso del Platuquero.

Los valores reportados de contracción volumétrica fueron similares para el Pino patula y Pino caribe. Ambos con contracciones bajas. Una contracción volumétrica alta puede provocar deformación de piezas, rechupes, dimensiones críticas demasiado pequeñas y vacíos internos. Para el Platuquero no se registran numerosos estudios relacionados a esta cualidad.

Se determinó que en la madera del Platuquero secada al horno (120°C / 20 días) tiene una mayor resistencia que la madera secada al aire (13.8°C / 155 días) y en estado verde.

Se determinó que los usos más adecuados que se les puede dar a las tres especies son para construcción en general como, postes para cerca eléctrica, artesanías, cajones, puertas, muebles, carpintería, ebanistería, pisos, tableros, biombos, papel Kraft entre otros.

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda realizar estudios en laboratorio a base de ensayos en estas tres especies para determinar sus diferencias y similitudes de las distintas propiedades físicas y mecánicas.

Se recomienda realizar mayor número de investigaciones especialmente en la especie del Platuquero, concretamente en la propiedad física de contracción volumétrica total, y en las propiedades mecánicas de módulo de ruptura y hendidura radial y tangencial, ya que no se registra información en estas cualidades para esta especie.

Se recomienda investigar otras propiedades físicas (como porosidad, flexibilidad, veteado) y mecánicas (anisotropía, tenacidad) en el pino Patula y Caribe a parte de las revisadas en las tres especies arbóreas, para obtener un análisis más completo de las características de las maderas.

Se recomienda realizar estudios de campo orientadas en la comparación de las propiedades físicas y mecánicas de una misma especie proveniente de diferentes lugares o sectores, para determinar la influencia ambiental.

Se recomienda el uso y el aprovechamiento racional de las maderas de estas tres especies para construcción en general, postes de energía eléctrica, artesanías, cajones, puertas, muebles, carpintería, ebanistería, pisos, tableros, biombos, papel Kraft, entre otros.

## BIBLIOGRAFÍA

- Albán, G. P. G., Arguello, A. V., y Molina, N. E. C. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO: Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento*, 4(3), 163-173.
- Alvarado Flores, J. J., Rutiaga Quiñones, J. G., Alvarado Flores, J. J., y Rutiaga Quiñones, J. G. (2018). Estudio de cinética en procesos termogravimétricos de materiales lignocelulósicos. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 20(2), 221-238.
- Araque-Mora, H., Valero, S., León-Hernández, W., Ninin-Jeandrain, F., y Betancourt-Moreno, J. (2021). Nota Técnica. Variación longitudinal de densidad y peso específico básico en *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* de 25 años de edad, proveniente de las plantaciones de Uverito, (Monagas, Venezuela). *Revista Ingeniería UC*, 28(3), 434-441.
- Báder, M., & Németh, R. (2018). The Effect Of The Relaxation Time On The Mechanical Properties Of Longitudinally Compressed Wood. *Wood Research*, 63, 16.
- Cabral, M. R., & Blanchet, P. (2021). A State of the Art of the Overall Energy Efficiency of Wood Buildings—An Overview and Future Possibilities. *Materials*, 14(8), 1848.
- Cargua, F. E., Rodríguez, M. V., Recalde, C. G., y Vinueza, L. M. (2014). Cuantificación del Contenido de Carbono en una Plantación de Pino Insigne (*Pinus radiata*) y en Estrato de Páramo de Ozogoche Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador. *Información tecnológica*, 25(3), 83-92.
- Chiniforush, A. A., Akbarnezhad, A., Valipour, H., & Malekmohammadi, S. (2019). Moisture and temperature induced swelling/shrinkage of softwood and hardwood glulam and LVL: An experimental study. *Construction and Building Materials*, 207, 70-83.
- Cobas, A. C., y Monteoliva, S. E. (2018). Duramen y propiedades físicas de la madera de *Robinia pseudoacacia* en relación a su potencial uso en la industria de la madera sólida. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 117, 1.
- Contreras M, W., Valero, S. W., Thomson, E., Owen de C, M. E., y Barrios, E. (2007). Determinación de los esfuerzos de diseño de vigas laminadas de Pino Caribe (*Pinus Caribaea* Var. *Hondurensis*) encoladas con adhesivo de isocianato (MDI). *Maderas. Ciencia y tecnología*, 9(3), 285-298.

- Flores-Pacheco, J. A., Knight Santiago, E. G., y Obregón Hernández, A. J. (2019). Caracterización del estado ecológico del recurso forestal en la Reserva Natural Llanos de Karawala. *Wani*, 75, 38-61.
- Gutiérrez-Vázquez, B. N., y Flores-Montaña, A. (2019). Patrón y magnitud de la variación de la densidad de la madera en rodales semilleros de *Pinus oocarpa*. *Madera y bosques*, 25(3).
- Jadán, O., Cedillo, H., Pillacela, P., Gualpa, D., Gordillo, A., Zea, P., Díaz, L., Bermúdez, F., Arciniegas, A., Quizhpe, W., Vaca, C., Jadán, O., Cedillo, H., Pillacela, P., Gualpa, D., Gordillo, A., Zea, P., Díaz, L., Bermúdez, F., ... Vaca, C. (2019). Regeneración de árboles en ecosistemas naturales y plantaciones de *Pinus patula* (Pinaceae) dentro de un gradiente altitudinal andino (Azuay, Ecuador). *Revista de Biología Tropical*, 67(1), 182-195.
- Leyva Miguel, I., Álvarez Lazo, D., La O Mundis, Y., Céspedes Correa, G., Segurado Gil, Y., Leyva Miguel, I., Álvarez Lazo, D., La O Mundis, Y., Céspedes Correa, G., y Segurado Gil, Y. (2020). Rendimiento y calidad dimensional de la madera aserrada de *Samanea saman* Jacq. En el Aserradero de la Empresa Agroforestal Guantánamo. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(3), 507-518.
- Loiola, P. L., Klitze, R. J., Rocha, M. P., & Vidaurre, G. B. (2021). Physical properties of wood *Pinus caribaea* var. *Caribaea*, *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* and *Pinus oocarpa* for pencil production. *Floresta*, 51(2), 354-362.
- Lomagno, J., y Rozas, C. (2000). Determinación de la madera de compresión en *Pinus radiata* D. Don. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 3.
- Manzanilla-Quñones, U., Aguirre-Calderón, O. A., Villanueva-Díaz, J., Martínez-Sifuentes, A. R., y Delgado-Valerio, P. (2021). Anillos de crecimiento de *Pinus hartwegii* como indicadores de fluctuaciones climáticas y de la influencia de fenómenos océano-atmósfera en la Faja Volcánica Transmexicana. *Madera y Bosques*, 27(3), e2732276-e2732276.
- Martínez López, Y., Paes, J. B., Martínez Rodríguez, E., Martínez López, Y., Paes, J. B., y Martínez Rodríguez, E. (2018). Propiedades ignífugas de tableros de madera plástica producidos con diferentes especies forestales y termoplásticos reciclados. *Madera y bosques*, 24(2).
- Medina, A. A., Baucis, A. G., Catalán, M. A., Andía, I. R., Trangoni, F., Razquin, M., Pampiglioni, A., y Vuillermet, A. (2018). Características y propiedades físicas de la

- madera de álamos cultivados en Río Negro, Patagonia Argentina. *Madera y bosques*, 24(1), 3.
- Montalvo, J., Minga, D., Verdugo, A., López, J., Guazhambo, D., Pacheco, D., Siddons, D., Crespo, A., y Zárate, E. (2018). Características morfológico-funcionales, diversidad arbórea, tasa de crecimiento y de secuestro de carbono en especies y ecosistemas de Polylepis del sur de Ecuador. *Ecología austral*, 28(1), 249-261.
- Ndukwu, M. C., Bennamoun, L., Simo-Tagne, M., Ibeh, M. I., Abada, U. C., & Ekop, I. E. (2021). Influence of drying applications on wood, brick and concrete used as building materials: A review. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 6(1), 24.
- Núñez, C. N. V., Moncayo, G., Muñoz, C. N., y Melo, J. G. (2018). Caracterización de las propiedades mecánicas de la madera de balsa (*Ochroma Pyramidale*) Ecuatoriana. *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*, 13(1), Article 1.
- Orozco-Jaramillo, C., y Martínez-Nieto, P. (2009). Evaluación de la inoculación con microorganismos fijadores de nitrógeno asimbióticos aislados de la rizósfera de *Pinus patula* en Colombia. *Bosque (Valdivia)*, 30(2), 70-77.
- Páez, R. G. (2017). Arcos con madera laminada del pino caribe venezolano. Una propuesta para procesos de arquitectura ecosustentable. *Revista Gestión I+D*, 2(1), 95-125.
- Peças, P., Carvalho, H., Salman, H., & Leite, M. (2018). Natural Fibre Composites and Their Applications: A Review. *Journal of Composites Science*, 2(4), 66.
- Peris Mora, E. (2007). Life cycle, sustainability and the transcendent quality of building materials. *Building and Environment*, 42(3), 1329-1334.
- Polastri, A., Giongo, I., & Piazza, M. (2017). An Innovative Connection System for Cross-Laminated Timber Structures. *Structural Engineering International*, 27(4), 502-511.
- Rathgeber, C. B. K. (2017). Conifer tree-ring density interannual variability – anatomical, physiological and environmental determinants. *The New Phytologist*, 216(3), 621-625.
- Riaño, A. F. G. (2020). Comportamiento a flexión de vigas de madera reutilizada unida con bambú (*Guadua angustifolia* Kunth) para uso estructural. *Ciencia*, 22(1), 11-33.
- Rodríguez, A. T. P., Aguilera, Y. V., Y Tapia, C. P. (2007). Influencia del contenido de humedad en equilibrio en sorción y desorción sobre la dureza de cuatro especies maderables plantadas en Colombia. *Colombia forestal*, 10(20), 226-237.
- Rodríguez, C., y Vergara, E. (2008). Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus canariensis* crecido en el secano de la Región del Maule, Chile. *Bosque (Valdivia)*, 29(3), 192-196.

- Rojas, J. C. C., Castro, L. M., y Fernández, F. G. (2018). Estudio de la conicidad de postes de madera de eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill) y pino amarillo (*Pinus* sp) utilizados en el Perú para la electrificación rural. *Ingeniería Industrial*, 36, 109-122.
- Rosales-Solórzano, E.-R. (2020). Ecuaciones de niveles de humedad relacionada a la densidad básica de la madera de especies forestales tropicales en Madre de Dios, Perú. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 17(40), 33-43.
- Ruano, A., García de Ceca, J. L., Cabrero, J. C., & Hermoso, E. (2021). Shrinkage pattern assessment for black pine juvenile wood delimitation. *European Journal of Wood and Wood Products*.
- Sadrmanesh, V., & Chen, Y. (2019). Bast fibres: Structure, processing, properties, and applications. *International Materials Reviews*, 64(7), 381-406.
- Shogren, R., Wood, D., Orts, W., & Glenn, G. (2019). Plant-based materials and transitioning to a circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 19, 194-215.
- Sotomayor Castellanos, J. R., Adachi, K., Ryuichi, I., & Hayashi, T. (2019). Módulos de elasticidad y de ruptura de madera laminada de tres especies tropicales. *Acta universitaria*, 29.
- Sotomayor Castellanos, J. R., Ávila Calderón, L. E. A., Sotomayor Castellanos, J. R., y Ávila Calderón, L. E. A. (2020). Densidad y módulo dinámico de tres maderas mexicanas impregnadas con boro. Evaluación con vibraciones transversales. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(1), 176-190.
- Suárez, J. C. P., Vergara, K. L., Campos, L., y Navarrete, F. (2019). Programa de fortalecimiento de la productividad forestal difusión y transferencia en torno a especies forestales alternativas. Principales resultados. *Ciencia & Investigación Forestal*, 25(3), 93-112.
- Triana Gómez, M. A., González Roso, G., y Paspur Posso, S. D. (2007). Estudio de las Propiedades Mecánicas de la Madera de Palosangre (*Brosimum Rubescenstaub.*), Procedencia: Leticia, Amazonas. *Colombia Forestal*, 11(0), 149.
- Vega Britez, G., Dacosta, L., Duarte, J., Duarte, N., y Ferreira, M. (2019). Propiedades físicas de la madera de *Pinus taeda* en el Distrito de Pedro Juan Caballero, Paraguay. 27, 37-37.
- Weber, E. (2005). Densidad básica de madera de *Pinus taeda* L. Marion de diferentes edades, misiones, Argentina. *Floresta*, 35(3), Article 3.

- Werdin, J., Fletcher, T. D., Rayner, J. P., Williams, N. S. G., & Farrell, C. (2020). Biochar made from low density wood has greater plant available water than biochar made from high density wood. *Science of The Total Environment*, 705, 135856.
- Xu, G., Wang, H., & Zhu, H. (2017). Rheological properties and anti-aging performance of asphalt binder modified with wood lignin. *Construction and Building Materials*, 151, 801-808.
- Zheng, W., Li, Y., Zhou, Y., Zhu, Y., Lu, W., Liu, W., & Wang, H. (2020). Experimental investigation on the behavior of plybamboo sheathing-to-framing screwed connections. *Construction and Building Materials*, 262, 120856.
- Acosta Trinidad, E. Y. (2019). Caracterización dendrológica de siete especies forestales del bosque residual, fundo San Alberto UNCP – Oxapampa. *Universidad Nacional del Centro del Perú*.
- Alvarado Alvarado, F. A., Y Medina Peña, M. (2019). *Madera sustentable como material de construcción de edificaciones contra el cambio climático*.
- Anchundia García, J. J. (2021). *Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de ochroma pyramidale (cav. Ex lam.) urb. (Balsa) de tres años de edad*. [Universidad Técnica Estatal de Quevedo].
- Artaza Coro, F. Y., y Olivos Solís, S. R. (2021). Determinación del comportamiento estructural del perfil en I elaborado de fibra de madera de densidad media (MDF) y fibra de vidrio aplicado a un invernadero de Camposol. *Universidad Privada Antenor Orrego*.
- Augustin, N. (2018). *Motion with Moisture: Creating Passive Dynamic Envelope Systems Using the Hygroscopic Properties of Wood Veneer* [Universidad de Waterloo].
- Botero, G. J. (2019). *Materiales de construcción*. 115.
- Bravo Cámara, P. (2018). Análisis comparativo de las propiedades físicas de la madera de *Dialium guianense* (Aubl.) Sandwith (tamarindo), en el sentido longitudinal y transversal de cuatro porciones del árbol y sus probables usos, Las Piedras – Tambopata. *Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios - UNAMAD*.
- Calderón, C., y Antonio, C. (2019). *Efecto del contenido de humedad de un estrato de combustible forestal sobre el retardo del tiempo de ignición*.
- Carmona Moreno, M. (2021). *Durabilidad de la madera de cuatro especies forestales, en Tetela de Ocampo, Puebla*.
- Caro Gómez, E. (2017). *Efecto de la interacción *Lactarius deliciosus* – nanotubos de carbono en el desempeño de *Pinus patula**.

- Carro Llorente, S. (2021). *Caracterización elasto-mecánica de probetas sin termotratar y termotratadas para uso estructural de madera de Eucaliptus nitens H. Deane and Maiden*.
- Céspedes Medina, J. A., y Gaitán Rivera, J. N. (2020). *Caracterización de las propiedades físico-mecánicas de las especies de madera de acacia, eucalipto y pino caribe*.
- Chasquero Ocaña, J. A. (2019). Determinación de funciones de ahusamiento y de volumen para *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. Et Cham por segmentos del fuste en Cajamarca—Perú. *Universidad Nacional de Cajamarca*. <https://doi.org/10/C81-T>
- Chumbimune Vivanco, S. Y. (2017). Caracterización anatómica y propiedades físicas de la madera de Ulcumano (*Retrophyllum rospigliosii*) de una plantación de 32 años asociada con café en Villa Rica, Perú. *Instituto Nacional de Innovación Agraria*.
- Chura Quispe, N. S., y Muchica Sillo, J. (2020). *Factibilidad del uso de la madera Pinus*
- Cóndor Mango, J. A., y Pardo Navarro, O. Y. (2021). *Caracterización de la anatomía, propiedades físico-mecánicas y químicas de Pinus radiata D.Don y Pinus patula Schiede ex Schltdl. & Cham. – Cajamarca*.
- Cruz, J. F., Castañeda, E. S., Noboa, V., & Cabezas, E. (2021). Mechanical Properties of Three-layer Boards of Pine (*Pinus radiata*) and Pigue (*Piptocoma discolor*) Owned by the PISMADE S.A. Company. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, 1187-1195.
- Cuauro, E. C. R., y Caldera, M. M. (2012). *Propiedades físicas de la madera de Pinus caribaea var. Hondurensis, resinado y no resinado de las plantaciones de Uverito (Monagas, Venezuela)*. 8.
- Cusihualpa Mamani, R. E. (2021). *Comparación entre el módulo de elasticidad, en tracción y compresión paralela a las fibras; de especies de madera latifoliada, tipo A, B y C comercializadas en la provincia del Cusco, 2017*.
- Díaz A, A., Huanay C, J., Medina H, R., Aylas M, A., y Paucar C, J. (2019). Anatomía y propiedades físicas de la madera de dos especies del departamento de Puno. *Arnaldoa*, 26(2), 595-606.
- Fank, P. Y. (2018). *Caracterización físico-mecánica del pino resinoso (Pinus taeda y Pinus elliotti) cultivado en el nordeste argentino para uso estructural*.
- Fernández, J. M. (2014). *Título: Caracterización físico mecánica del Pino Caribaea de la región central de Cuba*. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- Flores Méndez, O. (2020). *Propiedades de madera del pino ponderosa Douglas De La Sierra Tarahumara*. [Masters, UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CHIHUAHUA].

- Gamonal Horna, K. A., y Marrufo Goicochea, R. H. (2018). *Efecto de la Poda y Limpieza del Sotobosque para la Producción y Calidad del Hongo (Suillus Luteus), en Plantaciones de Pino (Pinus Patula L.), Distrito de Cutervo, Provincia de Cutervo, Región Cajamarca.*
- García Meza, H. A. (2017). Propiedades mecánicas del Ulcumano (*Retrophyllum rospigliosii*) procedente de una plantación de 32 años de edad asociado a cultivo de café, en Villa Rica—Perú. *Instituto Nacional de Innovación Agraria.*
- Guindos, P. (2019). *Conceptos avanzados del diseño estructural con madera: Parte II: CLT, modelación numérica, diseño anti-incendios y ayudas al cálculo.* Ediciones UC.
- Holguín Zanipatín, G. D. (2020). *Acumulación de carbono y rendimiento económico de plantaciones de pino en el cantón Otavalo, 2019.*
- Ibarra López, A. A. (2018). *Desempeño de tres adhesivos en elementos laminados de madera de pinus radiata (D.Don), reforzada con fibras de carbono.*
- Jiménez, A., y Barrio Fraile, E. (2018). *Guía para implementar el método de estudio de caso en proyectos de investigación.*
- Jiménez González, L. R. (2020). *Amarillamiento del pino híbrido (Pinus elliottii var. Elliottii x Pinus caribaea var. Hondurensis) por Lasiodiplodia sp. Y su relación con factores edáficos en Veracruz, México.*
- Macedo Alquicira, I. (2018). *Diseño y determinación de flexión estática en piezas estructurales de madera* [UMSNH]. [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB\\_UMICH/227](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/227)
- Mansilla Gómez, K. (2020). Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la madera *Eucalyptus glóbulus* procedente de la localidad de Ollantaytambo, en estado seco tratada con aceite de linaza por inmersión prolongada para uso estructural. *Universidad Andina del Cusco.* <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/3599>
- Martínez Lacruz, R. (2020). *Evaluación mediante técnicas no destructivas de la madera del género pinus de uso estructural* [Universidad Politécnica de Valencia].
- Medina, J. A. C., & Rivera, J. N. G. (2020). *Proyecto de investigación caracterización de las propiedades físico-mecánicas de las especies de madera de acacia, eucalipto y pino caribe.* Universidad Santo Tomás.
- Mejía Alcívar, E. G. (2021). *Caracterización de los sistemas agroforestales tradicionales en la finca “El Rubí” de recinto Santa Rita, en el cantón Quevedo.* [Universidad Técnica Estatal de Quevedo].

- Mendez Fasabi, A. P. (2020). Comportamiento higroscópico de la madera aserrada de ocho especies forestales de uso estructural en Pucallpa—Perú. *Universidad Nacional de Morejón*
- Moreta, C. E. (2018). *Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de tres especies forestales: Piptocoma discolor (Kunth.) pruski (pigüe), iriartea deltoidea ruiz & pav. (Chonta) y pouteria glomerata (Intachi)*.
- Murillo Vergara, V. E. (2018). *Determinación de las propiedades físicas de tres especies forestales del bosque seco tropical de Manabí* [Universidad Estatal del Sur de Manabí].
- Ovalle López, J. L. (2010). *Trabajo de graduación realizado en la Empresa “Pilonos de Antigua S.A”, Antigua Guatemala con énfasis a: Evaluación de concentraciones de auxinas para la propagación vegetativa comercial de 4 especies forestales: melina (Gmelina arborea ), eucalipto (Eucalyptus urograndis ), pino(Pinus patula) y pinabete (Abies guatemalensis )*. [Other, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Paguay Peña, I. P. (2013a). *Determinación de las Propiedades Físicas y Mecánicas de tres Especies Forestales Andinas: Platuqueo (Styloceras sp), Yagual (Polylepis racemosa), Nogal (Juglans neotropica)* [Escuela Superior Técnica de Chimborazo].
- Pazmiño Valencia, D. J. (2019). *Análisis del desarrollo de la exportación de madera teca, caso de estudio empresa privada «La Madera»* [Universidad de Guayaquil].
- Peña Reyes, M. P. (2019). *Incidencia del secado artificial en las propiedades físicas y mecánicas de la madera de la especie forestal Triplaris cumingiana Fisch* [Universidad Estatal del Sur de Manabí].
- Prezi. (2021). *Generalidades y sistema de cultivo del pino patula*. prezi.com. [https://prezi.com/zti0g\\_txvkkv/generalidades-y-sistema-de-cultivo-del-pino-patula/](https://prezi.com/zti0g_txvkkv/generalidades-y-sistema-de-cultivo-del-pino-patula/)
- Quinto Moreno, G. E. (2020). *Análisis de vegetación del páramo conservado e intervenido por plantaciones de Pinus radiata en el macizo del volcán Antisana* [Universidad Central del Ecuador].
- Quiñonez Hurtado, K. S. (2018). *Desarrollo inicial en plantaciones de Ziziphus thyrsoiflora Benth, Geoffroea spinosa Jacq y Handroanthus chrysanthus Jacq. En Jipijapa, Manabí, Ecuador*. [Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1336>
- Rahimi, S., Avramidis, S., & Lazarescu, C. (2021). Estimating moisture content variation in kiln dried Pacific coast hemlock. *Holzforschung*. <https://doi.org/10.1515/hf-2021-0080>

- Ramírez, M., y Garay, D. (2004). *Estudio de las Propiedades Físicas y Mecánicas de la Especie Pinus oocarpa proveniente de Aclareos en la Plantación “Emilio Menotti Sposito” de 35 Años de Edad con Fines Protectores, Mérida, Edo. Mérida (Venezuela)*. 35, 21-36.
- Rodríguez Alliende, M. S. (2020). *Estudio inicial para el uso de materiales compuestos de resina epóxica y fibras de cobre con el fin de crear moldes de inyección para producciones cortas o pre—Series*. <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/48245>
- Rodríguez-Soto, M. (2019). *Consumo de madera aserrada en los últimos seis años en las municipalidades inscritas al Sistema Integrado de Compras Públicas de Costa Rica*.
- Rodríguez-Vásquez, M. E., Rodríguez-Ortiz, G., Enríquez-Del, J. R., Campos-Ángeles, G. V., Velasco-Velasco, V. A., & Hernández, A. (2021). *Ensayos de progenies y huertos semilleros de especies forestales en México [Trials of progenies and seed orchards of forest species in Mexico]*. 8, 10.
- Sequeira Gutiérrez, A. A., y Gutiérrez Parrales, F. G. (2017). *Diseño estructural de una nave industrial en madera para el taller-escuela del programa Institucional de la madera (PIMA), UNI-RUPAP 2015* [Other, Universidad Nacional de Ingeniería].
- Serrano Delgado, S. P. (2019). *Influencia del contenido de humedad sobre las propiedades físicas, densidad y contracción de tres especies forestales*.
- Soto Sánchez, S. R. (2019). *Influencia de la calidad de sitio en la producción maderable del pinus radiata d. Don, en el parque forestal cumbe mayo—Cajamarca. Universidad Nacional de Cajamarca. Repositorio institucional - UNC, 155*.
- Speranza, F., Cosimi, L., y Badinier, C. (2020). *Guía de aptitud de especies forestales en Yungas*.
- Spotts, M. F. (2021). *Proyecto de elementos de máquinas 2a. Ed. Reverte*.
- Suirezs, T. (2009). *Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera*. 56.
- Tibanlombo Illanes, D. M. (2018). *Tala y Comercio Ilegal de la madera en la Comunidad de Río Blanco, Provincia de Napo, año 2016* [Universidad Central del Ecuador].
- Valencia Pezo, J. D., y Sánchez Quispe, B. (2017). *Evaluación comparativa de los efectos que produce el aceite requemado automotriz y cola sintética blanca en las propiedades físico mecánicas*.
- Zamorano, E. A. P., Pedraza, W. J., y Nuñez, J. M. (2020). *Biblioteca Digital Escuela Agrícola Panamericana Zamorano* [Biblioteca Digital]. <https://bdigital.zamorano.edu>; Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.

## ANEXOS

### Anexo 1.

*Especie arbórea del pino patula (Pinus patula)*



Fuente. Cardenas C.

### Anexo 2.

*Especie arbórea del pino caribe (Pinus caribaea)*



Fuente. Morales X.

### Anexo 3.

*Especie arbórea del Platuquero (Styloceras laurifolium)*



Fuente. Nolana T.



Fuente. Fuentes A.

### Anexo 4.

*Clasificación de la madera por su densidad al 12% de humedad*

| Clasificación | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) |
|---------------|-------------------------------|
| Muy ligeras   | Menores a 0.50                |
| Ligeras       | Entre 0.5 a 0.70              |
| Pesadas       | 0.80                          |

**Nota.** Elaboración propia. Adaptado de (Paguay, 2013b)

### Anexo 5.

*Clasificación de la madera por su peso específico*

| Clasificación         | Peso específico kg/m <sup>3</sup> |
|-----------------------|-----------------------------------|
| Livianas              | Menores a 360                     |
| Moderadamente pesadas | Entre 360 a 500                   |
| Pesadas               | Mayores a 500                     |

**Nota.** Elaboración propia. Adaptado de (Paguay, 2013b)

## Anexo 6.

### *Clasificación de la madera por flexión estática*

| <b>Clasificación</b> | <b>Resistencia a Flexión</b> |
|----------------------|------------------------------|
| Mu bajo              | ≤481                         |
| Bajo                 | 481 – 750                    |
| Moderadamente bajo   | 750 – 1092                   |
| Mediano              | 1092 – 1458                  |
| Moderadamente alto   | 1458 – 1787                  |
| Muy alto             | 1787 – 2138                  |

**Nota.** Elaboración propia. Adaptado de (Paguay, 2013b)

## Anexo 7.

### *Clasificación de la madera por su dureza BRINELL*

| <b>Clasificación</b> | <b>DUREZA (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> |
|----------------------|-----------------------------------|
| Muy duras            | Mayor a 600                       |
| Duras                | Entre 450 a 600                   |
| Semiduras            | Entre 300 a 450                   |
| Blandas              | Menor a 300                       |

**Nota.** Elaboración propia. Adaptado de (Paguay, 2013b)

## Anexo 8.

### *Ensayos para propiedades físicas y mecánicas*

| <b>ENSAYO</b>            | <b>PROBETA (código)</b> | <b>DIMENSIONES (cm)</b> | <b>NORMAS</b>            |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Contenido de humedad     | P1                      | 3x3x10                  | DIN 52182                |
| Densidad                 | P2                      | 3x3x10                  | DIN 52182                |
| Flexión                  | P3                      | 2.5x2.5x20.5            | ASTM D 143/45-252        |
| Dureza                   | P4                      | 5x5x5                   | ASTM D 143/83-87         |
| Cizallamiento            | P5                      | 1.90x24                 | MAQUINA UNIVERSAL AMSLER |
| Compresión paralela      | P6                      | 5x5x20                  | ASTM D43                 |
| Compresión perpendicular | P7                      | 5x5x20                  | ASTM D143/77-82          |
| Tracción                 | P8                      | 2.5x2.5x45              | ASTM D 143               |
| Trabajabilidad           | P9                      | -                       | -                        |

**Nota.** Adaptado de (Paguay, 2013b)

## Anexo 9.

### *Ensayos para propiedades mecánicas*

| <b>Ensayo</b>            | <b>Norma</b>       |
|--------------------------|--------------------|
| Dureza                   | COPANT 465-NTC 918 |
| Compresión perpendicular | COPANT 466-NTC 785 |
| Compresión paralela      | COPANT 464-NTC 784 |
| Flexión estática         | COPANT 555-NTC 663 |
| Cizallamiento            | COPANT 463-NTC 775 |

**Nota.** Adaptado de ( Céspedes Medina, J. A., y Gaitán Rivera, J. N. (2020)

## Anexo 10.

### *Clasificación para la compresión de las maderas*

| <b>Clasificación</b> | <b>Resistencia máxima en compresión (paralela) kg/cm<sup>2</sup>.</b> | <b>Esfuerzo al L.P. en compresión (perpendicular) kg/cm<sup>2</sup>.</b> |
|----------------------|---|--|
| Muy bajo             | ≤246  | ≤21  |
| Bajo                 | 246 – 391   | 21 – 39  |
| Moderadamente bajo   | 391 – 547   | 39 – 64  |
| Mediano              | 547 – 774   | 64 – 105   |
| Moderadamente alto   | 774 – 955   | 105 – 142  |
| Muy alto             | 955 – 1143  | 142 – 192  |

**Nota.** Adaptado de (Carrillo, 2020)