

PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LA MADERA DE *CHRYSOPHYLLUM ARGENTEUM* JACQ; PROCEDENTE DE LA PARROQUIA SANTA RITA, PROVINCIA ESMERALDAS

TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF WOOD *CHRYSOPHYLLUM* *ARGENTEUM* JACQ; FROM THE SANTA RITA PARISH, ESMERALDAS PROVINCE

Bryan Hernán Garzón Flores ^{1*}

¹ Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, Ibarra-Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4627-9655>. Correo: bhgarzonf@outlook.es

Hugo Orlando Paredes Rodríguez ²

² Universidad Técnica del Norte, FICAYA, Ibarra-Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5880-1607> Correo: hoparedes@utn.edu.ec

Xavier Germán Valencia Valenzuela ³

³ Colegio de Ingenieros Forestales de Imbabura, Ibarra-Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3209-9581> Correo: xgvalenciav@utn.edu.ec

José Fernando Trejo Cuásquer ⁴

⁴ Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, Ibarra-Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3790-7330> Correo: jose.trejo@ambiente.gob.ec

* Autor para correspondencia: bhgarzonf@outlook.es

Resumen

El Caimitillo (*Chrysophyllum argenteum* Jacq.), es una especie forestal nativa muy requerida por madereros locales, debido a su calidad y durabilidad; madera que se utiliza principalmente en construcción de viviendas (pilares y vigas). El objetivo del estudio fue “Determinar las propiedades tecnológicas de la madera de *Chrysophyllum argenteum* Jacq; procedente de la parroquia Santa Rita, provincia Esmeraldas”. La metodología del estudio presenta un enfoque cuantitativo, con un paradigma positivista y un tipo de investigación descriptiva y de campo; con un diseño no experimental, debido a la descripción de características organolépticas, anatómicas y propiedades de trabajabilidad de la madera. Mediante la norma NTE INEN 1158, se realizó un muestreo simple por conveniencia y se seleccionó siete árboles con las mejores características fenotípicas en la parroquia Santa Rita, del cantón San Lorenzo, provincia Esmeraldas; de allí se extrajeron 49 probetas para propiedades físicas y 105 para ensayos de trabajabilidad. Para los ensayos de la investigación se usó las normas NTE INEN,

COPANT y ASTM. La preparación de probetas y determinación de propiedades se realizó en el Campus “Yuyucocha” de la Universidad Técnica del Norte, en la ciudad de Ibarra, en la Central de Innovación de la Madera, en el Laboratorio de Anatomías de la Madera y Xiloteca. Como resultados se obtuvo que el contenido de humedad del caimitillo fue de 43,10%; contracción volumétrica total 9,42% y la relación tangencial/radial de 1,16%, densidad básica de 0,82 gr/cm³; enmarcándose como madera pesada de densidad básica tipo “A” y puede ser usada en estructuras, construcciones, pisos, recubrimientos, tabiquería, ebanistería, y en chapas decorativas. Se recomienda realizar estudios tecnológicos de durabilidad natural, preservación y propiedades químicas y mecánicas de la especie, además mejorar el proceso de secado al ambiente.

Palabras clave: Caimitillo; propiedades anatómicas; físicas; trabajabilidad.

Abstract

Caimitillo (Chrysophyllum argenteum Jacq.), is a native forest species highly sought after by local loggers, due to its quality and durability; wood that is mainly used in housing construction (pillars and beams). The objective of the study was “To determine the technological properties of Chrysophyllum argenteum Jacq wood; “from the Santa Rita parish, Esmeraldas province.” The methodology of the study presents a quantitative approach, with a positivist paradigm and a type of descriptive and field research; with a non-experimental design, due to the description of organoleptic, anatomical characteristics and workability properties of the wood. Using the NTE INEN 1158 standard, a simple convenience sampling was carried out and seven trees with the best phenotypic characteristics were selected in the Santa Rita parish, San Lorenzo canton, Esmeraldas province; From there, 49 specimens were extracted for physical properties and 105 for workability tests. For the research tests, the NTE INEN, COPANT and ASTM standards were used. The preparation of test tubes and determination of properties was carried out at the “Yuyucocha” Campus of the Universidad Técnica del Norte, in the city of Ibarra, at the Wood Innovation Center, at the Wood Anatomy Laboratory and Xiloteca. As results, it was obtained that the moisture content of the star apple was 43.10%; total volumetric contraction of 9.42% and the tangential/radial ratio of 1.16%, basic density of 0.82 gr/cm³; framed as heavy wood of basic density type “A” and can be used in structures, constructions, floors, coatings, partitions, cabinetmaking, and in decorative veneers. It is recommended to carry out technological studies of natural durability, preservation and chemical and mechanical properties of the species, in addition to improving the environmental drying process.

Keywords: Caimitillo; anatomical properties; physical; workability.

Fecha de recibido: 18/12/2023

Fecha de aceptado: 22/02/2024

Fecha de publicado: 23/02/2024

Introducción

La Organización Mundial de las Naciones Unidas (2018), citado por Paredes et al. (2022), mencionan que en el año 2015 existían aproximadamente 40'000.000,00 de kilómetros cuadrados de bosques a nivel mundial. En base a la presente acotación a nivel nacional, el Ecuador es considerado un país megadiverso con cobertura boscosa amplia en el cual se alojan gran variedad de especies forestales, la madera obtenida de dichas especies, es uno de los materiales más demandados por el ser humano (Peralta, 2022); sin embargo, la insuficiente información con respecto a sus propiedades limita su gran variedad de usos, es preciso mencionar que dichas propiedades varían de acuerdo con las condiciones climáticas, edáficas y manejo silvicultural (Vázquez et al, 2015), entre las especies forestales existentes se destaca *Chrysophyllum argenteum* Jacq. (Caimitillo), la cual es una especie apetecida por madereros en el cantón San Lorenzo, ya que la madera proveniente de esta especie es considerada de gran calidad y durabilidad, por lo que es utilizada principalmente para construcción de viviendas (pilares y vigas). El Caimitillo es aprovechado de forma frecuente en Esmeraldas y en otras provincias del Ecuador, debido a su alta demanda. Acerca del aprovechamiento forestal de la especie en mención en la provincia Imbabura, Valencia et al. (2022a) señalan que fue la sexta especie mayormente aprovechada durante el periodo 2015-2019, puesto que el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) autorizó un volumen de 572,09 m³ a través de Licencias de Aprovechamiento Forestal. La estimación correcta del volumen en pie de los árboles promueve un aprovechamiento forestal óptimo, y contribuye a mantener la estructura del bosque y a disminuir la tala ilegal (Valencia et al., 2023).

De acuerdo con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005), citado por Mugmal et al. (2023), la madera es considerada como un servicio de provisión, dentro de la clasificación de servicios ecosistémicos, además, ha existido un deterioro de los ecosistemas debido a la creciente demanda de varios elementos, entre estos la madera, esto ha generado pérdida en la diversidad del planeta. Congo et al. (2023) sugiere realizar nuevos estudios dentro del área forestal, que aporten información para la generación de nueva normativa a nivel nacional. Actualmente, los pobladores de la parroquia Santa Rita la utilizan empíricamente en la construcción de viviendas, postes, entre otros usos, esto evidencia la subutilización de la especie, sin tomar en cuenta el potencial que ofrece (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Santa Rita [GAD-Santa Rita], 2015).

En la provincia Esmeraldas existe una disminución drástica de los bosques, y por ende de especies forestales valiosas. De acuerdo con Valencia Valenzuela (2020) la pérdida de estructura y diversidad arbórea de bosques nativos es consecuencia directa de la tala ilegal de árboles. Es necesario mencionar que, en países desarrollados, es un requisito la clasificación de la madera basándose en sus propiedades mecánicas y físicas, para ofrecer una óptima utilización (Echenique & Robles, 1993), es decir que, las características tecnológicas de la madera son determinantes para su aprovechamiento y posterior aplicación en usos específicos para obtener un beneficio máximo desde el punto de vista económico y técnico (Ecuador Forestal, 2012). En base a lo mencionado Cresspo (2012) detalla que el mercado exige maderas uniformes y de buena calidad, en tal sentido, es necesario profundizar estudios sobre propiedades tecnológicas de la madera de esta especie; por lo tanto, la comprensión de estas propiedades contribuye al aprovechamiento sostenible de la cobertura boscosa (Mediavilla, 2016).

Según Aguilar y Guzowski (2011) exponen que la madera es indispensable para elaborar ciertos productos, debido a sus propiedades, ya que manifiesta un rango mínimo de factores limitantes. Por otra parte, otras

características como la anatomía intervienen en la dureza, penetrabilidad, resistencia e impermeabilidad, esto se da básicamente a su porosidad (Bone 2019; Kollman 1968), parénquima (Turpo, 2015) y radios (Giménez *et al.*, 2014) propios de cada especie. Conjuntamente con lo mencionado intervienen sustancialmente propiedades físicas tales como el contenido de humedad (CH) (Jiménez, 2011; Kollman 1968), peso específico (mayor peso específico – mayor resistencia) (Meneses, 2013; Pique & de Cartagena, 1984), densidad la cual se enmarca directamente en las propiedades mecánicas y durabilidad (Baradit *et al.*, 1984) y contracción que está en función del contenido de lignina y su resistencia (Mediavilla, 2016; Pazos & Sotelo, 1999; Moya *et al.*, 2010). Con lo antes mencionado se deduce que las propiedades físicas proporcionan una comprensión más a detalle del comportamiento de la madera ante diferentes usos (Díaz *et al.*, 2005).

Finalmente, de acuerdo con Mediavilla (2016) y Benetti (2015) mencionan que el grado de dificultad y calidad del producto, determinará el grado de trabajabilidad de algún tipo de madera, por tal motivo es importante conocer sobre las propiedades de trabajabilidad que hace referencia al comportamiento de la madera ante la aplicación de una serie de procesos en los cuales se utiliza maquinaria, mismos que moldean y transforman en un producto final. Dentro de dichas propiedades está el cepillado (obtención de superficies lisas) (Mediavilla, 2016), lijado (obtención de superficies lisas y suaves al tacto) (Meneses, 2013; Norton, 2018), moldurado (dar forma decorativa a una pieza) (Mediavilla, 2016; Manrique, 2015), taladrado (perforación de una pieza) (Meneses, 2013; Puertas *et al.*, 2013) y torneado (evaluar piezas de madera a diferentes figuras) (Moya *et al.*, 2004).

Según resultados obtenidos por Villota Guerrón (2023) en un estudio realizado en el Campus Yuyucocha con la especie forestal Nogal, obtuvo un contenido de Humedad del 78,92% y una densidad básica de 0,42 gr/cm³; en cambio, Garzón Flores (2022) en un estudio similar para madera de Caimitillo (*Chrysophyllum argenteum* Jacq.) obtuvo un contenido de humedad 43,10% y densidad básica de 82 gr/cm³. En lo referente a propiedades Organoléptica y Anatómica de *Juglans Neotropica* Diels (Nogal), Carvajal *et al.* (2023) exponen que dichas características presentan diferencias, esto debido a diferentes condiciones donde crecen los árboles, por lo que no existe una descripción única de la madera de esa especie, cabe señalar que la especie se identificó en El Herbario de la Universidad Técnica del Norte, ya que disponen de muestras dendrológicas de varias especies forestales, por lo que disponen de muestras botánicas que utilizan como material didáctico en la formación de futuros ingenieros forestales del Ecuador (Paredes *et al.*, 2023). El presente estudio, mediante el análisis de las propiedades tecnológicas del Caimitillo, contribuye con lo expuesto por Congo *et al.* (2022) que expone que, los estudios ayudarán a comprender la evolución del aprovechamiento forestal, puesto que en los últimos años varios madereros han puesto interés en el aprovechamiento de los recursos forestales, además indican que el manejo forestal del bosque nativo es muy importante dentro de las fases de aprovechamiento forestal. Con respecto a la distribución y beneficios económicos del aprovechamiento forestal, Mejía y Pacheco (2013) citado por Valencia *et al.* (2022b) mencionan que se obtienen mayores beneficios económicos entre los diferentes actores, con mejor transparencia en varios mercados de la madera, además, es necesario nuevas prácticas de aprovechamiento forestal sostenible.

El presente estudio evidenció que las características anatómicas y propiedades organolépticas de la madera de *Juglans neotropica* Diels presentan diferencias en cuanto a las características analizadas, esto debido a las diferentes condiciones donde se desarrollan los individuos. En base a lo expuesto con anterioridad, en el Ecuador no se registran estudios sobre características anatómicas; propiedades físicas y trabajabilidad de la madera de Caimitillo (*Chrysophyllum argenteum* Jacq.), bajo estas consideraciones, y debido al

desconocimiento es necesario el estudio tecnológico de la especie, el cual está orientado a aportar a las necesidades de los productores; incrementar los usos, así como el manejo técnico apropiado en la parroquia Santa Rita – San Lorenzo brindando así usos alternativos en función de las potencialidades de la especie (Ecuador Forestal, 2012). Con la evaluación de estas características, se estableció los usos en función de resultados esperados. La información científica y técnica obtenida en este estudio servirá de base para que este sector de la cadena forestal potencialice el manejo y aprovechamiento de esta especie.

La presente investigación promueve nuevos usos de la especie hacia el mercado, lo cual diversifica la oferta y demanda de madera dentro de la parroquia Santa Rita y del cantón San Lorenzo, usándose como alternativa frente al uso de otras especies forestales, mejorando así la rentabilidad y sustentabilidad de la cadena de valor forestal a fin de conservar este recurso. Este estudio generó información necesaria para el uso y manejo técnico del recurso forestal en la parroquia Santa Rita y población en general, a partir de los resultados, conclusiones y recomendaciones generados en la investigación.

Materiales y métodos

La presente investigación es de tipo descriptiva, ya que se describió las características organolépticas, macroanatómicas y microanatómicas de *Chrysophyllum argenteum* Jacq. El enfoque metodológico es cuantitativo y el paradigma fue positivista; el estudio no presentó manipulación de variables, sin embargo, se utilizó estimadores estadísticos como: media, error estándar, desviación estándar y coeficiente de variación; por ende, se aplicó un diseño no experimental. El método utilizado es hipotético deductivo.

Ubicación

La investigación se realizó en dos etapas: campo y laboratorio. La etapa de campo se ejecutó en el sector Durango, parroquia Santa Rita, cantón San Lorenzo, provincia Esmeraldas, en la finca de propiedad del señor Oscar Arias, y la etapa de laboratorio se realizó en el Campus “Yuyucocha” de la Universidad Técnica del Norte (ver figura 1 y 2).

Propiedades tecnológicas de la madera de *Chrysophyllum argenteum* Jacq

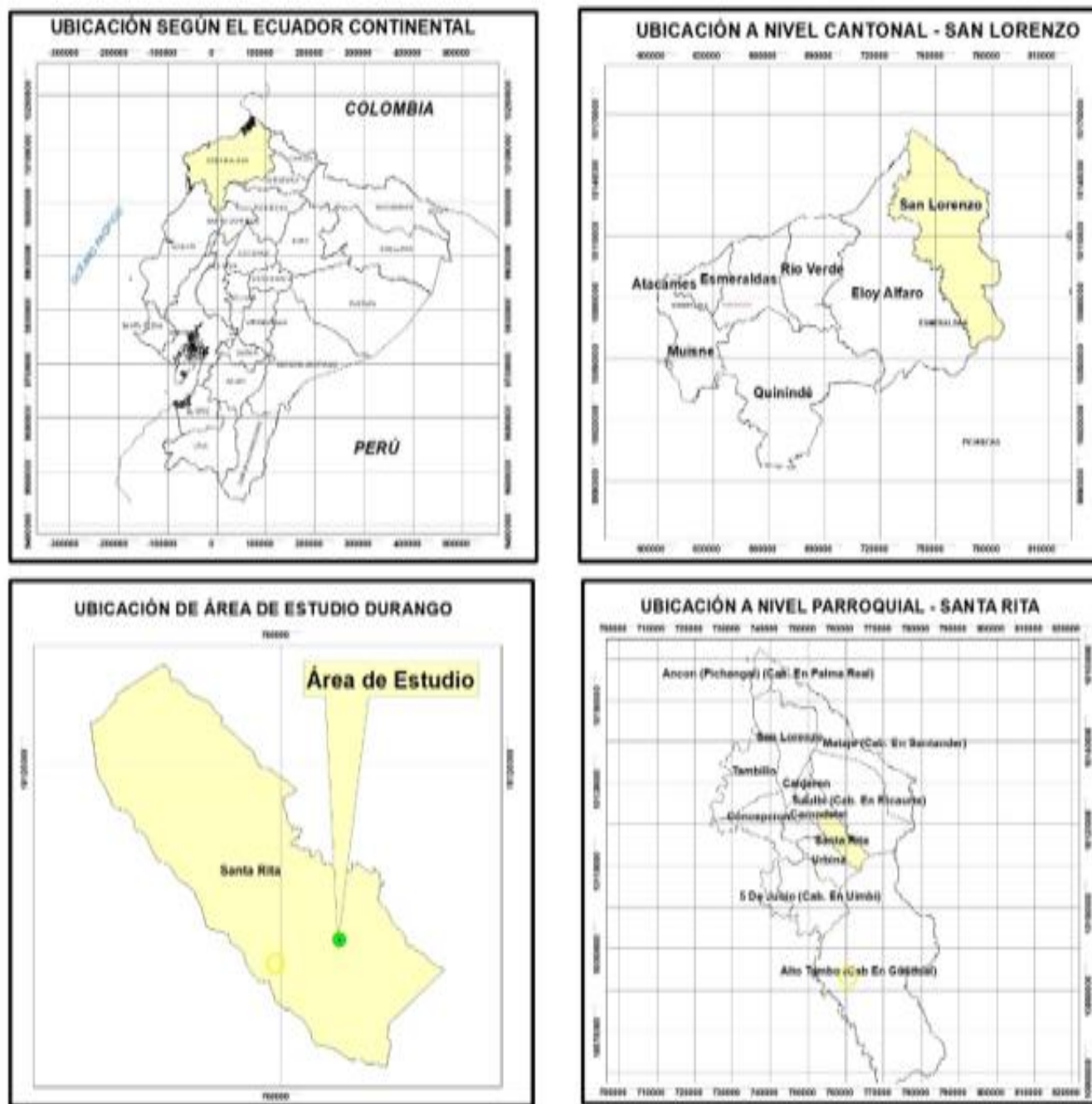


Figura 1. Ubicación de la parroquia Santa Rita

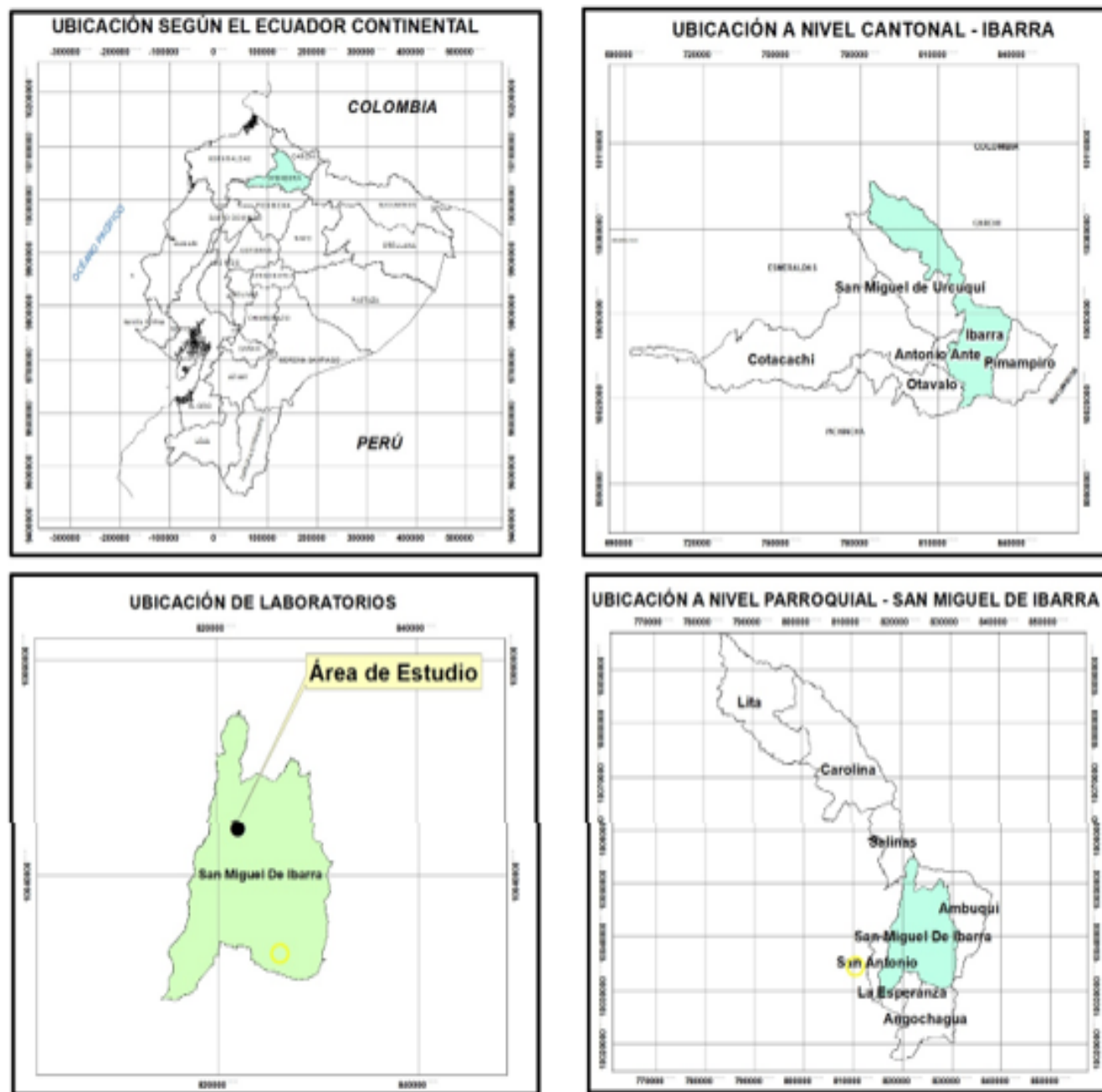


Figura 2. Ubicación del Campus "Yuyucocha"

Características edafoclimáticas

El suelo está conformado por arena, limo y arcilla; predomina el material pétreo, arena, cascajo, especialmente en las cuencas de los ríos; posee de entre 10 a 30 cm de espesor con gran cantidad de materia orgánica en

descomposición. El clima es tropical muy húmedo, constante lluvia en gran parte del año, cuya precipitación se encuentra entre 7.000 mm y 7.500 mm/año, temperatura 25°C, humedad relativa del 90% y velocidad del viento 1,5 m/s (GAD-Santa Rita, 2015).

Materiales, equipos y software

En la tabla 1 se evidencia los materiales de campo, laboratorio, equipos y software utilizados en el desarrollo del presente estudio.

Tabla 1 Materiales, equipos y software a emplear en la investigación

Materiales de campo	Materiales de laboratorio	Equipos	Software
Cinta métrica	Calibrador digital	GPS	Office 2019
Hoja de campo	Estufa	Hipsómetro suunto	ArcGIS 10.3
Machete	Lijadora manual	Laptop acer	Infostat
Pintura en aerosol	Cajas Petri	Balanza electrónica	
	Porta y cubreobjetos	Estereoscopio	
	Bálsamo de Canadá	Microscopio eléctrico	
	Alcohol	Micrótopo	
	Agua destilada	Canteadora	
	Safranina	Cepilladora	
	Lija N° 60	Cierra circular	
	Lija N° 100	Motosierra	
	Brocas	Torno	
	Formón	Molduradora	
	Gubias	Taladro	

Población, muestra y tipo de muestreo

La población se encuentra conformada por todos los individuos de Caimitillo (*Chrysophyllum argenteum* Jacq.) de la parroquia Santa Rita. El tamaño de la muestra se conformó por la selección 7 individuos que cumplieran un adecuado estado fitosanitario (tronco recto sin deformaciones); luego se procedió a realizar la tumba y posteriormente se midió 2,5 metros de longitud; después se extrajeron y escuadraron las trozas y se obtuvieron los bloques que fueron embalados y llevados al centro de acopio para su posterior traslado al campus “Yuyucocha”. Se realizó un muestreo simple aleatorio por conveniencia, ya que se escogió los individuos que cumplieran con las características establecidas. Para la extracción de las probetas de madera se utilizó lo establecido en las normas: a) Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización [NTE INEN 1157, 1158, 1159, 1163, 1164] (1984), b) American Society for Testing and Materials [ASTM] (1992) y c) Comisión Panamericana de Normas Técnicas [COPANT 459, 460, 461] (1972) y [COPANT 30:1-19], (1974). Para las propiedades anatómicas, se obtuvieron muestras de xiloteca, cubos y rodajas basándose en la norma [NTE INEN 1163] (1984) (ver tabla 2). Para ensayos de propiedades físicas se obtuvieron las probetas según la norma [COPANT 459] (1972), (ver tabla 3). Para ensayos de trabajabilidad se utilizó la norma [ASTM-D1666-87] (1992), la misma que indica la utilización de probetas (ver tabla 4).

Tabla 2 Muestras de Xiloteca, cubos y rodajas

Muestras	Dimensiones (cm)
Xiloteca	15 x 10 x 2
Propiedades microanatómicas	1,5 x 1,5 x 1,5
Determinación de grano	5 x 5 x 5
Rodaja	5

Fuente: (Comisión Panamericana de Normas Técnicas [COPANT 459], 1972)

Tabla 3 Probetas para ensayos de propiedades físicas

Ensayo	Dimensión probetas (cm)	Orientación	Número de probetas
Contenido de humedad	10 x 5 x 5	T/R	49
Densidad	10 x 5 x 5	T/R	49
Contracción	10 x 5 x 5	T/R	49

Nota. T= Tangencial; R = Radial

Fuente: (Comisión Panamericana de Normas Técnicas [COPANT 459], 1972)

Propiedades de trabajabilidad

Tabla 4 Probetas para ensayos de trabajabilidad

Ensayo	Dimensión probetas (cm)	Orientación	Número de probetas
Cepillado	100 x 5 x 6	T-R-O	105
Lijado	100 x 5 x 5	T-R-O	105
Moldurado	100 x 5 x 5	T-R-O	105
Taladrado	100 x 5 x 5	T-R-O	105
Torneado	15 x 5 x 5	T/R	35

Nota. T = Tangencial; R = Radial; O = Oblicuo

Fuente: (American Society for Testing and Materials [ASTM-D1666-87], 1992).

Características microanatómicas

Preparación de placas: Para la descripción de estas características, se preparó placas transparentes con cortes de madera como se detalla a continuación.

- **Ablandamiento de los cubos de madera:** Los cubos con orientación T/R y transversal; fueron ablandados por medio de cocción en agua a punto de ebullición durante 30 horas, posteriormente se verificó el ablandamiento realizando cortes en el micrótopo.
- **Corte de láminas:** Por medio del micrótopo se cortó láminas con espesores de 10 a 15 micras para los planos tangencial y radial; y alrededor de 20 micras para el corte transversal. Se verificó la calidad y orientación de las láminas, observando en el microscopio eléctrico. Las láminas se colocaron en cajas Petri debidamente codificadas.

- **Lavado de láminas:** Una vez realizado el corte de láminas, los tejidos sufrieron roturas y presentaron pequeñas partículas de tejidos; es necesario eliminarlas, se sumergió cada corte en agua destilada, con la finalidad de eliminar los residuos no deseados.
- **Deshidratación de tejidos:** Se aplicó soluciones alcohólicas al 35°, 50°; 75°, 90°; 95° y alcohol absoluto; los cortes permanecieron durante cinco a diez minutos en cada paso de menor a mayor hasta llegar al alcohol absoluto.
- **Coloración de láminas:** Se suministró gotas de safranina al 1% en solución alcohólica, cubriendo los cortes, posteriormente se dejó en reposo durante 36 horas.
- **Eliminación del exceso de colorante y lavado de cortes:** Se aplicó una solución de alcohol de 95° y se lavó el excedente de colorante de los cortes. Se repitió la operación hasta que la solución esté cristalina, finalmente, se dejó reposar en alcohol absoluto hasta el momento del montaje de placas.
- **Montaje y etiquetado de láminas:** En el costado derecho del portaobjetos se ubicó los tres cortes en el siguiente orden: izquierda corte transversal, medio corte tangencial y derecha corte radial, se agregó una o dos gotas de Bálsamo de Canadá disuelto en alcohol a temperatura alta (+-punto de ebullición). Sobre las láminas se colocó el cubreobjetos y se etiquetó de acuerdo con la normativa (Instituto Nacional de Normalización [NTE INEN 1163], 1984).
- **Secado de las placas:** Se ubicó las placas en la estufa, a temperatura de 45 °C, con un peso de 350 g, con la finalidad de suministrar presión constante mientras se secan las láminas.

Se hizo uso de la lista de las Características Microanatómicas para la Identificación de Maderas Duras de acuerdo con la Asociación Internacional de Anatomistas de Maderas (International Association of Wood Anatomists [IAWA], 1989). Realizando observaciones y mediciones en el laboratorio de anatomía de maderas y xiloteca se empleó un estereoscopio para los cortes transversal, tangencial y radial (ver figura 3).

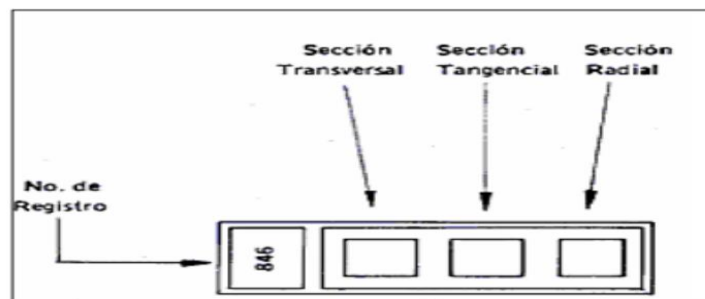


Figura 3. Placa para la descripción y medición de las características microanatómicas

Fuente: NTE INEN 1163 (1984).

Características macroanatómicas

- **Corte transversal:** Se visualizó y describió el tamaño, tipo y forma de poros y porosidad; tipo del parénquima longitudinal y N°poros/mm².
- **Corte tangencial:** Se llevó a cabo mediciones de altura y ancho de radios y se clasificó el tipo de acuerdo con los Kribs.

- **Corte radial:** Se realizó la identificación, medición y clasificación de los radios en base al tipo de células.

Sección transversal del fuste

Por medio de observación directa minuciosa, se procedió a calificar la forma de la rodaja, haciendo referencia a la orientación de los anillos de crecimiento y el N° anillos/cm lineal (ver figura 4).

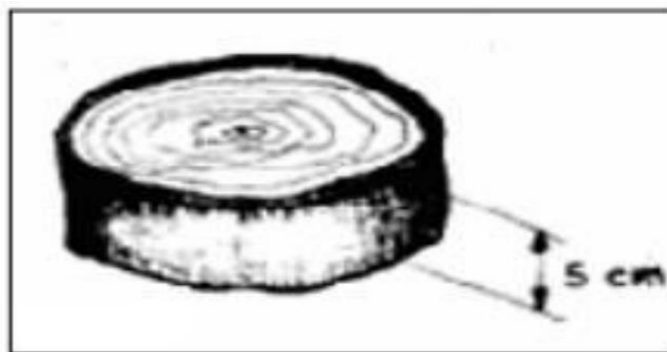


Figura 4 Rodaja para la observación de orientación de anillos de crecimiento y N° anillos/cm lineal

Fuente: NTE INEN 1163 (1984).

Posibles usos de la madera

Con respecto a posibles usos de la madera de Caimitillo (*Chrysophyllum argenteum* Jacq.) se tomó de referencia la norma INEN 2580:2011, citado por Villota et al. (2024); que consideran la densidad el parámetro para clasificar los usos de la madera, mediante comparación de la densidad de otras especies con usos reconocidos, a partir allí se sugirió los usos potenciales.

Estimadores Estadísticos

Los resultados fueron evaluados a través de estimadores estadísticos como la media, desviación y error estándar y coeficiente de variación con la finalidad de determinar y calificar las propiedades físicas y de trabajabilidad.

Resultados y discusión

Descripción de la madera de *Chrysophyllum argenteum* Jacq.

La madera en estado verde presenta un color en la albura pardo – amarillo – rojiza, y el duramen marrón – oscura. Al pasar a la condición seca al ambiente posee un cambio abrupto entre la albura y duramen. El olor de la madera es agradable en condición verde y desagradable en condición anhidra, tiene un brillo alto, sabor astringente, textura media, grano ondulado o crespo y veteado satinado (ver figura 5).



Figura 5. Características organolépticas de *Chrysophyllum argenteum* Jacq. (vista radial)

Características macroanatómicas

Los anillos de crecimiento se pueden observar a simple vista, la especie posee poros solitarios y escasos múltiples; el parénquima es apotraqueal en bandas y son visibles por medio de una lupa de 10X; la porosidad es oblicua – radial y radios poco notorios a simple vista (ver figura 6). Cabe destacar que en la albura se evidencia que el parénquima se encuentra más disperso; mientras que en el duramen se encuentra adherido, mostrando la dureza de la especie.



Figura 6. Corte transversal en la muestra de xiloteca de *Chrysophyllum argenteum* Jacq.

Nota. círculo: duramen; **cuadrado:** albura

Características microanatómicas

Se muestra la comparación de la microanatomía de *Chrysophyllum argenteum* vs *Chrysophyllum sanguinolentum* (ver tabla 5). La comparación presenta semejanzas y diferencias (ver figura 7).

Tabla 5 Descripción microanatómica de *Chrysophyllum argenteum* vs *Chrysophyllum sanguinolentum*

Cortes	Características	<i>Chrysophyllum argenteum</i> Jacq.	<i>Chrysophyllum sanguinolentum</i> (Suasnabar & Monge, 2019)
Transversal	Poros	Solitarios y múltiples radiales cortos de dos a tres células principalmente redondeados y ovales; diámetro promedio de 175,56 μm (150 - 250 μm), número de poros por mm^2 promedio 39 unidades (35 - 55 unidades).	Múltiples radiales, de forma oval con un diámetro promedio de 182,6 μm (252 - 117 μm), número de poros por mm^2 promedio 45 unid. (55 - 33 unid.).
	Porosidad	Oblicua – radial.	Difusa
	Parénquima	Apotraqueal en bandas (presencia de tílides).	Apotraqueal reticulado (presencia de tílido esclerótica)
Tangencial	Radios	Multiseriados de tipo II y III de Kribs, presencia superior de biseriados.	Multiseriados heterogéneos
Radial	Radios	Heterogéneos con presencia de células erguidas y procumbentes, número de radios por 5 mm 5 (4 - 9 unidades), número de células por longitud de radio 18 (17 - 25 unidades), ancho de radio 27,56 μm (17 - 35 μm).	Heterogéneos con células procumbentes y cuadradas, nro. de radios por 5 mm 6 (9 - 4 unid.), longitud de radio 408 μm (548 - 274 μm), nro. de células por longitud de radio 21 (28 - 16 unid.), ancho de radios 28 μm (38,5 - 17,5 μm).

En la comparación realizada con *Chrysophyllum sanguinolentum*, las muestras de madera fueron colectadas del bosque siempreverde piemontano del norte, con temperatura promedio de 25° C y altitud de 1100 msnm, a diferencia del presente estudio, que se colectó muestras en bosque húmedo premontano tropical a una temperatura promedio de 21° C y altitud de 320 msnm.

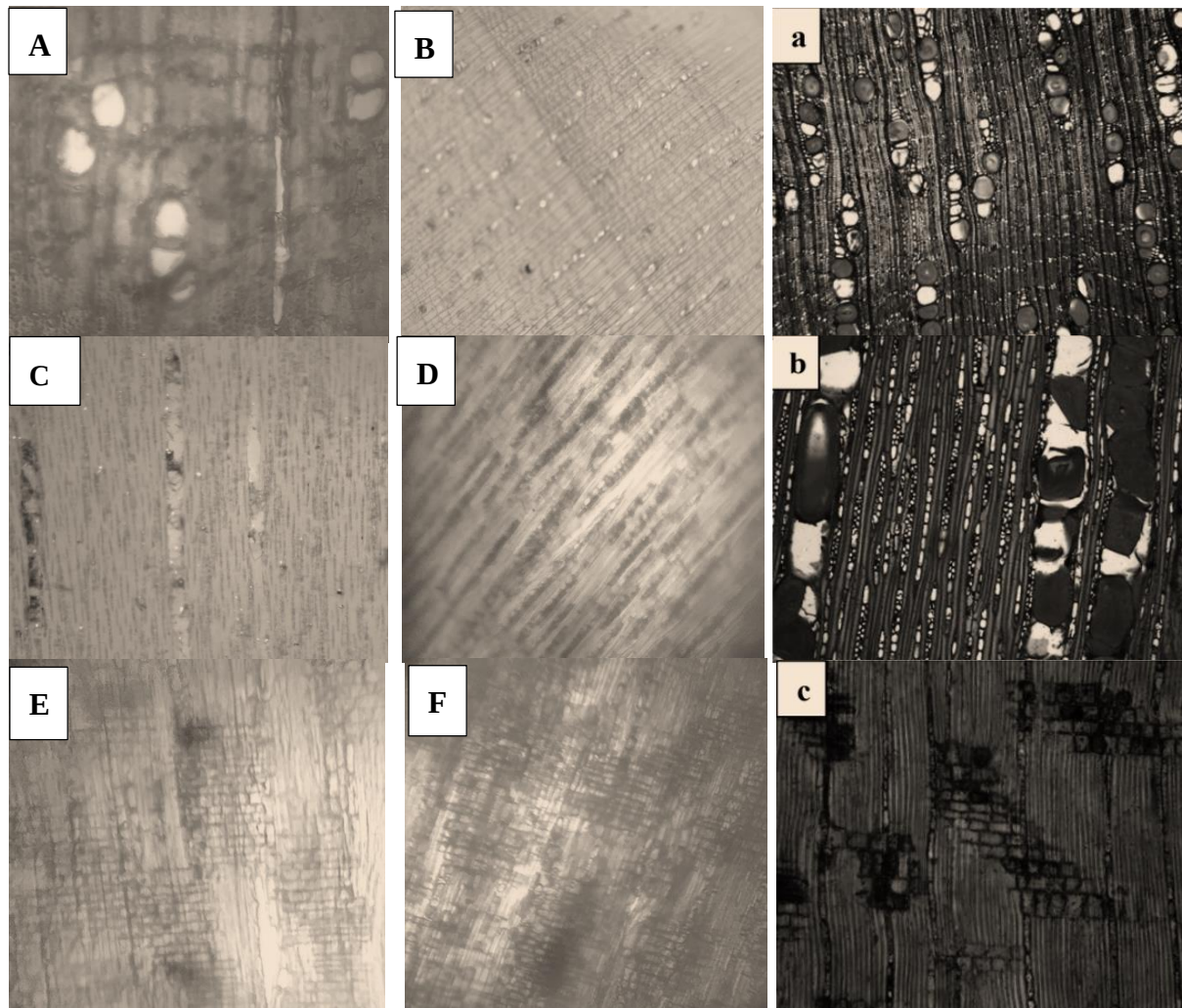


Figura 7. Vista microscópica en distintas caras de la madera de *Chrysophyllum argenteum* Jacq.

Nota. características microanatómicas de *Chrysophyllum argenteum* vs *Chrysophyllum sanguinolentum* (A, B, a) poros solitarios y múltiples radiales, parénquima apotraqueal en bandas y reticulado; (C, D) radios tipo II y III de Kribs (b) radios multiseriados; (E, F, c) radios heterogéneos con presencia de células erectas y procumbentes.

Fuente: A–B–C–D–E–F, imágenes del presente estudio; a – b – c, Suasnabar y Monge (2019).

De acuerdo con Pérez et al. (2015), Gonzales (2008), Knigge y Koltzemburg (1965); el diámetro de los poros presenta una gradiente radial, la cual asciende de médula hasta la corteza, esto quiere decir que el diámetro crece hasta cierta edad del árbol, una vez alcanzada dicha edad, el diámetro de los poros decrece, lo cual evidencia la variación de diámetros entre *Chrysophyllum argenteum* y *Chrysophyllum sanguinolentum*, teniendo en cuenta que se desconoce la edad de ambos ejemplares.

Al respecto, Honorato (2002) citado por Ruiz et al. (2016), afirman que la consideración del diámetro y la cantidad de poros/mm², es importante en operaciones de acabado y pegado, ya que, a mayor cantidad de poros/mm², es más difícil darle un acabado de calidad a la madera y la adhesión de la superficie es menor. Además, también tiene relevancia en procesos de impregnación la presencia de numerosos vasos los cuales facilita el movimiento y distribución uniforme de preservantes. La especie de la presente investigación posee gran cantidad de poros/mm² lo cual dificulta su acabado, en tal caso para procesos de impregnación, la misma cantidad es idónea para la uniformidad de los preservantes.

Acerca de los poros Bone (2019), Moglia y Giménez (1998) y Bissing (1982); mencionan que son indicadores de eficiencia y seguridad en la conducción del agua, esto evidencia la alta producción de poros solitarios y múltiples en lugares con mayor disponibilidad de agua, en base a lo mencionado se demuestra la gran producción de poros en la especie en investigación.

Propiedades físicas

Contenido de humedad: El peso en verde inicial de *Chrysophyllum argenteum* fue 282,16 gr; secándose al ambiente por un lapso de 42 días se redujo a 226,42 gr, finalmente al colocarlas en el horno por 7 días a temperaturas de 30, 60, 85, 90 y 102 °C alcanzó un peso final de 197,90 gr; mostrando una disminución del 30% en comparación a su peso inicial (ver figura 8).

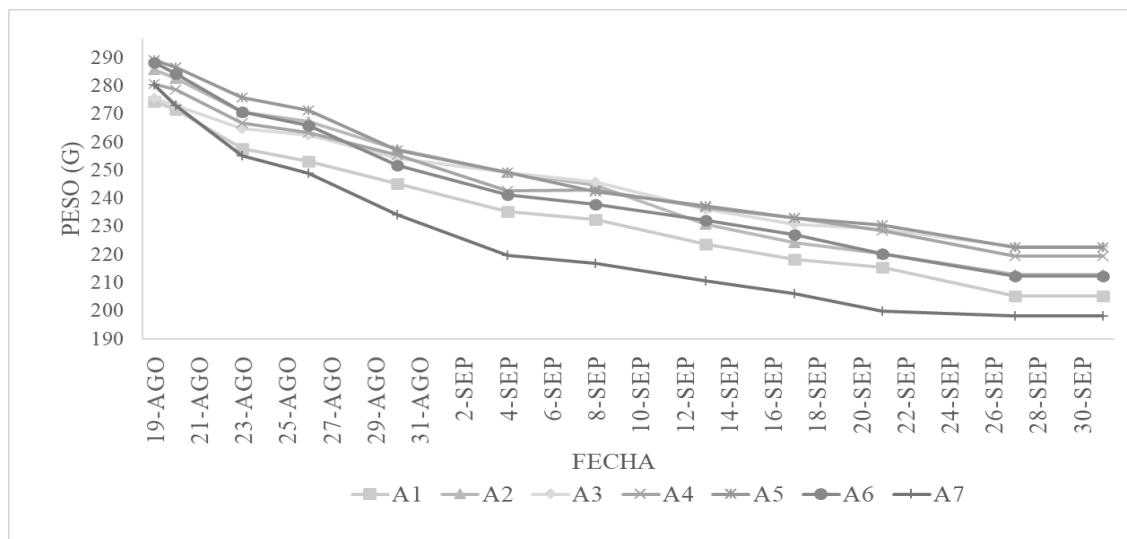


Figura 8. Curva de desorción del peso de probetas de *Chrysophyllum argenteum* (agosto – octubre).

Nota. A1: Árbol 1, A2: Árbol 2, A3: Árbol 3, A4: Árbol 4, A5: Árbol 5, A6: Árbol 6, A7: Árbol 7.

El contenido de humedad promedio registrado del Caimitillo (*Chrysophyllum argenteum* Jacq.) es 43,10%; lo que permite interpretar que la madera tiene una capacidad higroscópica representativa a la media, la desviación estándar indica que los datos están agrupados y homogéneos según el coeficiente de variación calculado, con un error estándar bajo (ver tabla 6).

Tabla 6 Estadística descriptiva del CH de la madera de *Chrysophyllum argenteum* Jacq.

Estimador estadístico	Contenido de humedad
Unidad	%
Media	43,10
Suma	301,36
Desviación estándar	1,08
Error estándar	0,75
Coeficiente de variación	4,33

En la investigación realizada por Suasnabar y Monge (2019) en Huancayo – Perú, establecieron el contenido de humedad para *C. sanguinolentum* de 58%, a diferencia de *C. argenteum* de 43,10%; Ganzhi (2006) en Loja – Ecuador determinó el 30% para *C. lanatum*; esta diferencia se da debido a la humedad relativa de cada sitio lo cual certifica dichos porcentajes. *C. sanguinolentum* a 90%, *C. argenteum* a 80% y *C. lanatum* a 78%.

Según Pérez et al. (2011) y Morales (2003) indican que la humedad relativa del ambiente influye directamente en el contenido de humedad, por lo cual es necesario considerar dicha variable al momento de llevar procesos de secado e impregnación en la madera. Por otra parte, el Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE] (2014) determinó un contenido de humedad para *Minquartia guianensis* Aubl., de 60,9%; a pesar de ser una especie que se clasifica dentro del tipo de densidad de la especie estudiada, presenta una mayor retención de agua debido a su composición estructural como lo establece Jiménez (2011).

Además, Jr. Pérez (2011) y Berger (2009) indican que, en maderas duras en la cual se enmarca la especie Caimitillo el contenido de humedad oscila entre 45% y 80% lo cual corrobora el contenido de humedad determinado para *C. argenteum*; esto debido a que las maderas duras contienen menos humedad que las blandas y mayor lignificación por su crecimiento lento, requiriendo mayor tiempo para su producción y además son especies escasas por su alta demanda (Organización Internacional de las Maderas Tropicales [OIMT], 2012).

Densidad: La densidad básica promedio obtenida fue 0,82 gr/cm³, así como su comportamiento (ver figura 9); según la clasificación de maderas del (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2011) se encuentra en el rango de las maderas pesadas tipo “A”.

Por otra parte, al calcular los parámetros estadísticos requeridos para la densidad, se obtuvo que la desviación estándar afirma la agrupación de los datos y la homogeneidad según el coeficiente de variación calculado, además el error estándar muestra un valor muy bajo para los resultados obtenidos (ver tabla 7).

Tabla 7 Estadística descriptiva de la densidad de la madera de *Chrysophyllum argenteum* Jacq.

Estimador estadístico	Densidad
Unidad	gr/cm ³
Media	0,82
Suma	39,99
Desviación estándar	0,02
Error estándar	0,01
Coeficiente de variación	1,85

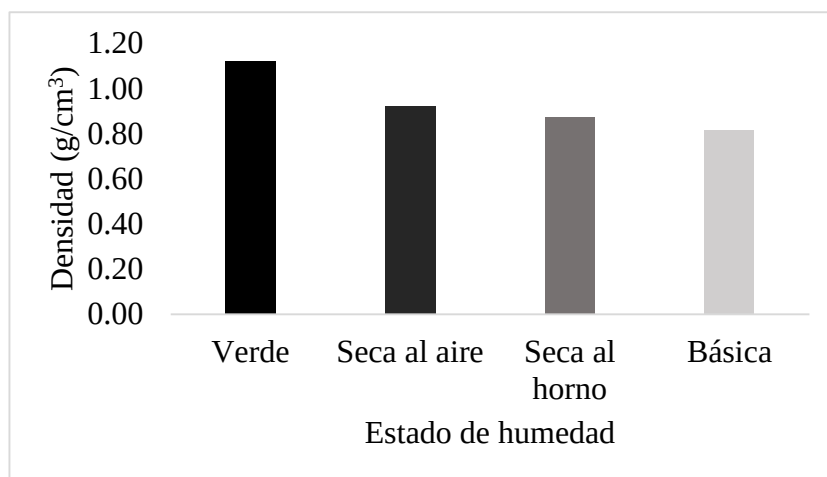


Figura 9. Densidad de *Chrysophyllum argenteum* Jacq. en base a distintos estados de la humedad

Para el caso de *C. argenteum*, se determinó una densidad básica de 0,82 gr/cm³, mientras que en *C. sanguinolentum* 0,64 gr/cm³ (Suasnabar & Monge, 2019); *C. lanatum* 0,63 gr/cm³ (Ganzhi, 2006); *Chrysophyllum spp.* 0,50 gr/cm³ (Ordoñez *et al.*, 2015); y *C. cainito* 0,74 gr/cm³ (Global Forest y Trade Network [WWF], 2013). Las especies mencionadas poseen una densidad básica similar, por lo que se categorizan como maderas semipesadas tipo “B”, a diferencia de la especie en investigación *C. argenteum*, que se categoriza en maderas pesadas tipo “A”.

Lo mencionado según, Goche *et al.* (2011) y Carmona *et al.* (1997) evidencian que, a pesar de ser especies del mismo género la variedad de especies, factores ambientales e inclusive si se desarrollan en sitios y condiciones similares o distintas, influyen en la densidad básica lo cual demuestra la diferenciación de categorías entre especies (Vázquez *et al.*, 2015).

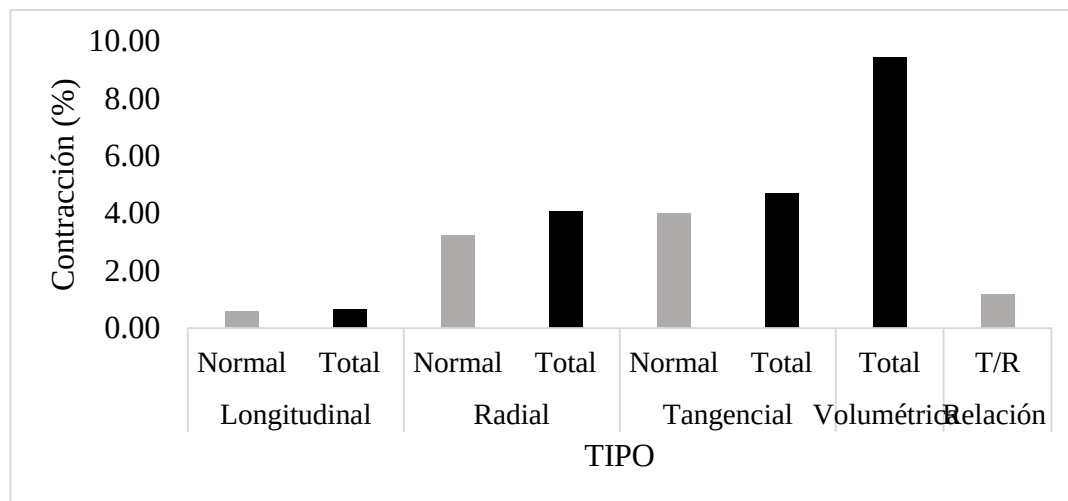
Además, de acuerdo con Carmona *et al.* (1997), fundamentan que cuando la densidad aumenta también sus propiedades de resistencia, lo que es evidenciado en densidades de 0,80 a 1 gr/cm³ (maderas pesadas) (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2011), rango en el que se halla la especie en investigación corroborando lo antes citado (Berger, 2009).

Contracción: Respecto al análisis del parámetro se debe mencionar que la madera de la especie investigada tiende a contraerse mayoritariamente en la cara tangencial (4,70%) con respecto al resto de las caras.

En base a la clasificación de contracciones de la madera y rangos de clasificación de contracción relación T/R de Moya (2010), la contracción de *Chrysophyllum argenteum* Jacq. presenta: contracción radial mediana (4,07%), tangencial baja (4,70%), relación volumétrica total mediana (9,42%) y relación T/R baja (1,16%), lo cual evidencia que la especie en investigación no tiende a contraerse de forma masiva por el proceso de secado (ver figura 10). En cuanto a la desviación estándar indica que los datos están agrupados y homogéneos, según el coeficiente de variación calculado y el error estándar muestra que la media es relativamente representativa por sus valores bajos (ver tabla 8).

Tabla 8 Estadística descriptiva de la contracción de la madera de *Chrysophyllum argenteum* Jacq.

Estimador estadístico	Longitudinal		Radial		Tangencial		Volumétrica total	Relación T/R
	Normal	Total	Normal	Total	Normal	Total		
Media	0,58	0,65	3,23	4,07	4,00	4,70	9,42	1,16
Suma	28,34	32,08	158,41	199,20	195,96	230,14	461,41	59,63
Desviación estándar	0,13	0,13	0,54	0,54	0,43	0,57	1,06	0,14
Error estándar	0,05	0,05	0,20	0,20	0,16	0,22	0,40	0,05
Coefficiente de variación	3,04	9,29	6,82	3,25	10,00	2,23	1,23	1,75


Figura 10. Contracción normal y total de la madera de *Chrysophyllum argenteum* Jacq.

Suasnabar y Monge (2019), para *C. sanguinolentum* establecieron una contracción radial muy alta (6,07%), tangencial muy alta (9,79%), volumétrica muy alta (15,79%) y relación T/R baja (1,70%) lo cual indica que es un tipo de madera inestable frente a cambios de humedad enmarcada como “nerviosa” (Infomadera, 2010); a diferencia de la especie en investigación que presenta una mayor estabilidad en todas sus contracciones, mostrando un mejor comportamiento ante la variación de humedad.

Por otra parte, el Global Forest y Trade Network (WWF, 2013) determinó para *C. cainito* una contracción tangencial muy alta (11,1%), radial muy alta (7,90%), volumétrica muy alta (19%) y relación T/R baja (1,40%) enmarcándose como madera inconsistente y no es recomendable utilizarla en exteriores debido a su fácil capacidad de absorber o liberar agua.

Propiedades de trabajabilidad

Cepillado: Con respecto al ensayo de cepillado se realizó dos repeticiones a favor y en contra del grano con una velocidad de alimentación promedio de 11,38 m/s, dando como resultado lo siguiente: A favor del grano se obtuvo resultados entre excelente-regular con valores en grado uno, dos y tres en grano arrancado,

levantado y velloso (ver figura 11). En contra del grano se obtuvo grados entre dos y tres en grano arrancado y levantado con una leve presencia de grado uno en tipo de grano velloso (cara tangencial). En base a lo expuesto, se demuestra que la madera de la especie en investigación no es muy eficiente al momento de cepillarla.

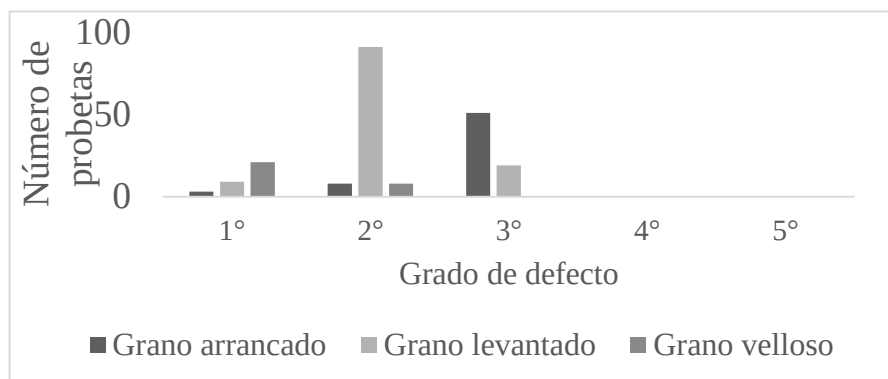


Figura 11. Defectos evidenciados en el ensayo de cepillado

En la investigación realizada por Richter et al. (2009) en Colombia establecieron en la especie *Manilkara zapota* (sapotaceae) resultados similares a los de la presente investigación puesto que, muestran que la especie por su alta densidad es difícil de trabajar con herramientas como la cepilladora ocasionando defectos de levantamiento de fibra por su estructura anatómica como lo menciona Zobel y Van Buijtenen (1989).

Los daños más comunes ocasionados por la cepilladora al momento de trabajar con especies de densidad alta como la especie en investigación son: corte por contacto con la herramienta, atrapamiento, proyección de partículas y caídas de objetos por tal motivo, es necesario el uso del equipo de protección personal (EPP).

Lijado: Se realizó con lija gruesa Nro. 60 y con lija delgada Nro. 100 con las cuales se realizó dos repeticiones a favor y en contra del grano. En el ensayo realizado con la lija Nro. 60 a favor del grano presenta valores de grado uno con tipo de grano velloso y levantado, mientras que, en contra del grano, en grados uno y dos con tipo de grano velloso y levantado que permite inferir una clasificación de excelente a buena, además, el grano levantado es el más frecuente en el ensayo (ver figura 12).

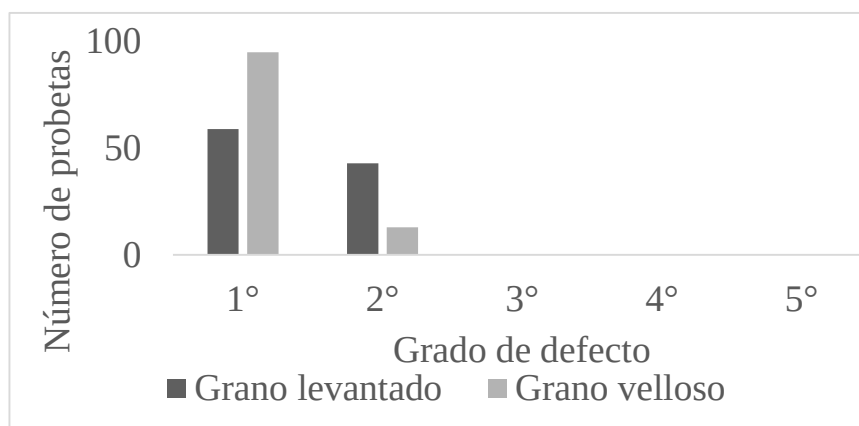


Figura 12. Defectos evidenciados en el ensayo de lijado, lija 60

Por su parte, en el ensayo realizado con lija número 100 se obtuvo un resultado excelente a favor del grano con valores representativos en grado uno y con tipo de grano velloso, mientras que, en contra del grano se obtuvo un resultado de excelente a bueno con grados uno y dos en tipo de grano velloso y levantado (ver figura 13). En base a lo expuesto la madera de *Chrysophyllum argenteum* Jacq., posee buena trabajabilidad en procesos con maquinaria de lijado la cual no presenta defectos severos.

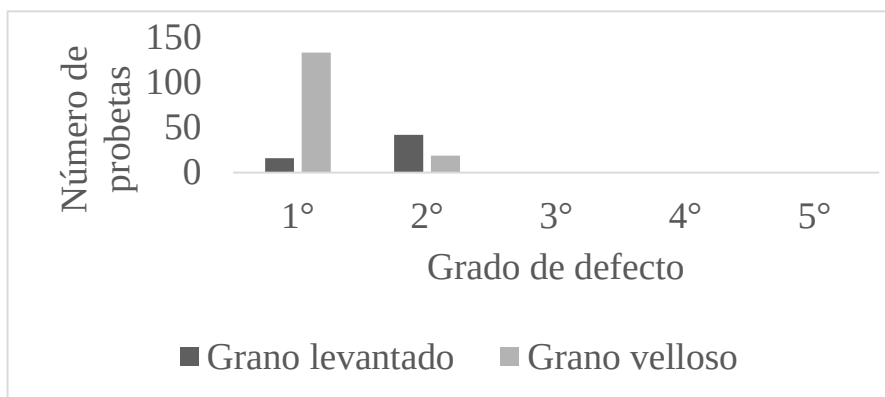


Figura 13. Defectos evidenciados en el ensayo de lijado, lija 100

Según Ornelas (2015), en su estudio con la especie *Manikara bidentata* (A.D.C) Chev. (sapotaceae) indica que la función de la lija 60 es eliminar la astilla levantada o irregularidades de la superficie surgidas durante el desbaste de la madera, lo cual se presentó en la especie en investigación comúnmente por su rigidez y resistencia. Además, la función de la lija 100 es pulir la superficie dando una cara de calidad con el acabado que en conjunto con las características organolépticas de la especie dan un valor agregado a su importancia (Puertas, Guevara & Espinoza, 2013).

Por otra parte, en la investigación de Cordero (2000) para *Chrysophyllum spp.* menciona que es moderadamente difícil de trabajar a causa de la presencia de sílice que produce un mellado rápido de las herramientas, pero en cuanto a lijado se logró superficies planas libres de defectos de la madera aserrada tangencialmente, pero las superficies radiales muestran grano mechudo.

Moldurado: Con la fresadora marca Dewalt modelo DW616 de 24,500 revoluciones por minuto y una broca curva de $\frac{3}{4}$ de pulgada se realizó dos repeticiones a favor y en contra del grano a los extremos laterales de cada probeta. Los resultados obtenidos de la especie investigada son de excelente a bueno a favor del grano con grados uno y dos en tipo de grano velloso y levemente en levantado (ver figura 14). Por otra parte, en contra del grano los resultados coinciden con los anteriores ya que, la clasificación es de excelente a bueno con grados uno y dos en tipo de grano velloso y levemente en levantado, en base a la evaluación tanto a favor como en contra del grano se da un rango general muy alto de grado uno mostrando la eficacia de la especie frente a este proceso con maquinaria.

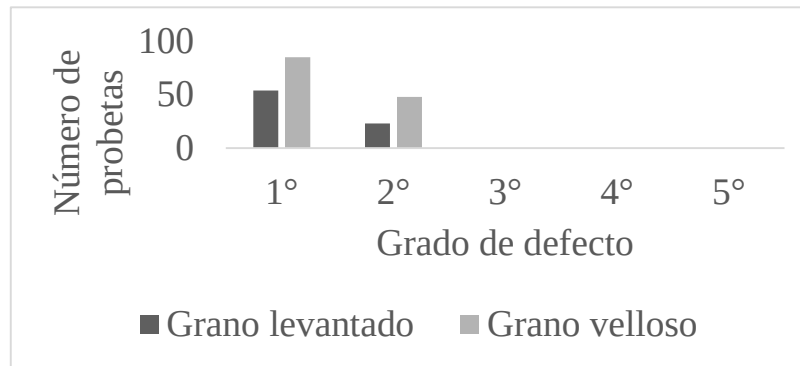


Figura 14. Defectos evidenciados en el ensayo de moldurado

Richter et al. (2009) en su investigación con *Manilkara zapota* determinaron que la especie muestra muy buena trabajabilidad en todas las operaciones de maquinado con herramientas provistas de filos reforzados y, además, posee muy buen comportamiento al escopleado y moldurado.

Finalmente, la Confederación Peruana de la Madera (CPM, 2008) plantearon para *Lucuma dolichophylla* Standley (sapotaceae) una trabajabilidad excelente, cepillado y torneado buenos, taladrado regular y moldurado bueno. Las semejanzas de las especies citadas son característica principal de la familia *Sapotaceae*, que a pesar de poseer una resistencia mecánica alta (Oshiro, 2016) proporcionan buena trabajabilidad en las especies.

Taladrado: En el ensayo se utilizó un taladro fijo y una broca de media pulgada en el cual se observó que la madera de la especie estudiada presenta resultados de excelente a bueno en la entrada de la broca con grados de uno a dos en tipo de grano velloso y levantado (ver figura 15). Por su parte, en la salida de la broca la mayor incidencia se obtuvo en cuanto a tipo de grano levantado en grados dos y tres, presencia leve de grado uno (cara tangencial). La presencia de grano levantado se debe directamente a que la madera de esta especie en específico posee una densidad alta lo que provoca que al momento de entrar y salir la broca se generen rupturas de la fibra y se evidencie en gran cantidad estos defectos.

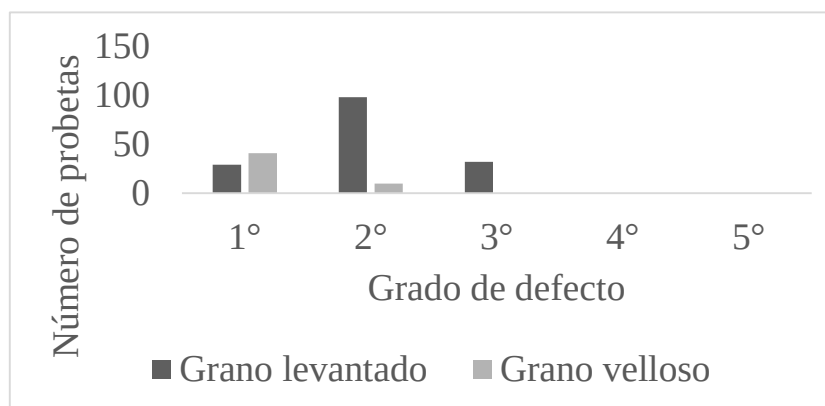


Figura 15. Defectos evidenciados en el ensayo de taladrado

En su investigación, la Comisión de Biodiversidad en Bosques de Producción y Mercados Certificados (2012) indica que *Manilkara zapota* presenta una mediana trabajabilidad para el taladrado por su dureza y resistencia, mientras que, para Richter et al. (2009) para la misma especie establece que para atornillar es imprescindible perforarla previamente corroborando lo mencionado por el autor respecto a su dureza.

Por otra parte, para la Confederación Peruana de la Madera (CPM, 2008) para *Lucuma dolichophylla* Standley exponen que el taladrado es regular, a diferencia del Centro para el Desarrollo Agropecuario y Ambiental [CEDAF] (2008) para *Manilkara bidentata* (A. DC.) Chev. que estableció excelencia para el taladrado, moderado para cepillado y pobre para torneado, esto debido a la estructura anatómica de cada especie y factores ambientales (Zobel & Buijtenen, 1989). Lo expuesto tiene similitud al presente estudio con la especie en investigación ya que presentó rupturas de fibra y gran cantidad de defectos.

Torneado: Los resultados obtenidos evidencian que la madera de *C. argenteum*, tiene un comportamiento de excelente a levemente regular a favor del grano en los grados uno, dos y tres en tipo de grano velloso y levantado (ver figura 16). A diferencia de en contra del grano que el comportamiento es distinto con resultados de excelente a bueno y leve presencia de regular con grados uno, dos y bajo en grado tres en tipo de grano velloso y levantado.

Los resultados se dan debido a la densidad de la madera y su dureza, si bien el resultado del proceso de torneado es bueno, es necesario pulir o eliminar los defectos por lo que se recomienda usar lija número 60 y posteriormente número 100 para mejorar el acabado de esta, en caso de que se realice algún tipo de trabajo artesanal o de mueblería en específico.

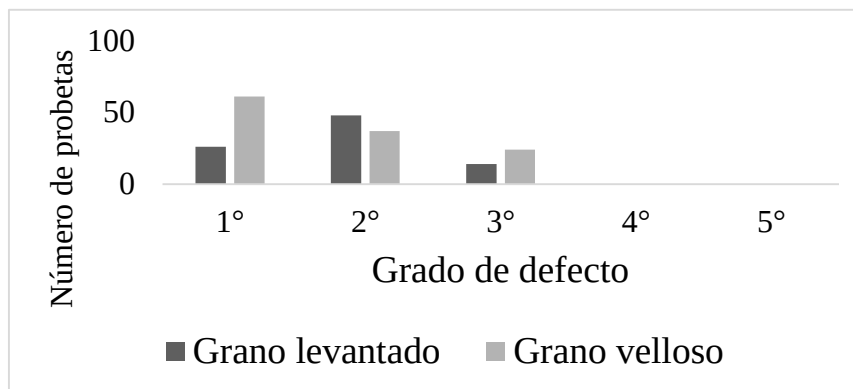


Figura 16. Defectos evidenciados en el ensayo de torneado

La especie en investigación presenta una valoración buena de torneado, estos resultados concuerdan con Oshiro (2016) en Perú en el cual exponen para *Pouteria torta* que la madera es abrasiva, con una resistencia mecánica alta, buena trabajabilidad, cepillado y torneado buenos, taladrado regular y moldurado bueno.

Posibles usos de *Chrysophyllum argenteum* Jacq.

En la tabla 5 se observa el análisis de comparación de la especie estudiada con los usos de otras especies que poseen propiedades similares.

Tabla 9 Usos de especies, densidad tipo “A”

País	Autor	Especie	Densidad básica (gr/cm ³)	Usos
Colombia	Ministerio del Medio Ambiente de Colombia (2002)	<i>Minquartia guianensis</i> Aubl.	0,93	Construcciones pesadas (Puentes, durmientes de ferrocarril), muebles, pisos y postes.
Colombia	Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas [SINCHI] (2002)	<i>Osteophloeum platyspermum</i> (Spruce ex A.DC.) Warb.	0,76	Fabricación de chapas desenrolladas, triplex, chapas decorativas, cajonería y carpintería.
Perú	Ministerio del Medio Ambiente de Colombia e Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas [SINCHI] (2002)	<i>Platymiscium pinnatum</i> (Jacq.) Dugand	1,02	Fabricación de muebles, en ebanistería, carpintería, remos y canoas, como usos potenciales se tienen la fabricación de traviesas, construcciones pesadas, pisos, chapas decorativas, tornería, carrocerías, instrumentos musicales (marimbas y violines), artículos deportivos, mangos para herramientas, esculturas, parquet y vigas.
Brasil	Ministerio del Medio Ambiente de Colombia e Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas [SINCHI] (2002)	<i>Terminalia amazonia</i> (J.F. Gmel.) Exell	0,75	Chapas decorativas, artesanías, parquet, encofrados, construcciones de botes, tornería, construcciones exteriores, vigas, tableros de partículas, plataformas de carga, postes y construcciones generales.
Brasil	Ministerio del Medio Ambiente de Colombia (2002)	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	1,10	Tornería, construcciones, pisos, parquet, chapas decorativas, revestimiento de interiores y muebles finos.
Ecuador	Garzón Flores (2022)	<i>Chrysophyllum argenteum</i> Jacq.	0,82	Estructuras como pilotes, elementos de puentes, durmientes, vigas, columnas, puntales, pisos (duelas, tablones, tabloncillos, parquet), soleras y travesaños, para recubrimiento en: puertas, ventanas, pasamanos, y molduras; en tabiquería, ebanistería, muebles tallados y en chapas decorativas.

Conclusiones

- La madera de *Chrysophyllum argenteum* Jacq., de acuerdo con sus propiedades físicas, se considerada madera pesada tipo “A”; con una estabilidad baja en lo referente a la contracción según sus caras tangencial y radial, la cual permitiría utilizarse en construcciones y en elementos estructurales como: vigas, columnas, techos, postes, pisos; debido a su alta densidad básica.
- En base a ensayos de trabajabilidad, la madera de *Chrysophyllum argenteum* Jacq., muestra excelente calidad y puede utilizarse en recubrimientos, tabiquería, ebanistería, muebles tallados y en chapas decorativas.

Recomendaciones

- Mejorar el proceso de secado al ambiente de la madera para minimizar los defectos generados por el alto contenido de humedad y así disminuir el sesgo al momento de realizar el secado anhidro.
- Difundir la especie como una alternativa en la industria de mueblería por el color, dureza, belleza, entre otros., ya que, es excelente en el tipo de trabajo generado.

Agradecimientos

Un agradecimiento especial a la Carrera de Ingeniería Forestal de la Universidad Técnica del Norte (UTN), por el apoyo brindado para el uso de la Xiloteca, equipos y maquinaria de la Central de Innovación de la Madera, durante la ejecución del proyecto de investigación; además agradecer a los técnicos del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica por la asesoría brindada en el desarrollo del presente estudio.

Referencias

- Aguilar, J., & Guzowski, E. (2011). *Madera, materiales y materia prima*.
- American Society for Testing and Materials (ASTM-D1666-87). 1992. Annual book of ASTM standards. Construction section 04 wood. ASTM-D1666-87 Standard methods for conducting machining test of Wood and Wood-base materials. Philadelphia. PA USA.
- Baradit, Erik, Niemz, Peter, & Fernández-Pérez, Arturo. (2013). Propiedades físico-mecánicas de algunas maderas nativas chilenas coníferas y latifoliadas por ultrasonido. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 15(2), 235-244. Epub 25 de abril de 2013. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2013005000019>
- Benetti, F. (2015). *Estudio de la durabilidad natural y de las propiedades tecnológicas de la madera de Ligustrum lucidum WT Aiton*. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/70851>
- Berger, T. (2009). *Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera*. Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones
- Bone, B. (2019). *La madera*. Obtenido de: <https://es.slideshare.net/cofibone/la-madera-143115713>

- Carmona, R., Espinoza, F., y Bull, C. (1997). *Influencia de la densidad de la madera en la encolabilidad de Pinus radiata D.DON*.
- Carvajal Benavides , J. G. ., Sono Toledo , D. D. ., Arcos Unigarro , C. R. ., Basantes Vizcaíno , T. F. ., Paredes Rodríguez , H. O. ., & Varela Jácome , G. D. . (2023). Caracterización de las propiedades organoléptica y anatómica de juglans neotropica diels, (nogal) en la provincia de Imbabura . *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 5(6), 647–659. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v5i6.883>
- Centro para el Desarrollo Agropecuario y Ambiental [CEDAF]. (2008). Reproducción asexual o multiplicación vegetativa artificial: Injerto. En Guía de técnica, métodos y procedimiento de reproducción asexual o vegetativa de las plantas (págs. 20-30)
- Comisión de Biodiversidad en Bosques de Producción y Mercados Certificados (2012). *Productos forestales certificados*. <http://www.gob.mx/conafor/es/documentos/biodiversidad-en-bosques-de-produccion-y-mercados-certificados-27692?state=published>
- Comisión Panamericana de Normas Técnicas [COPANT 459]. (1972a). Norma Técnica Nro 459. *Acondicionamiento de las maderas destinadas a los ensayos físicos y mecánicos*. Buenos Aires. Argentina.
- Comisión Panamericana de Normas Técnicas [COPANT 460]. (1972b). Norma Técnica Nro 460. *Método de determinación de la humedad*. Buenos Aires. Argentina.
- Comisión Panamericana de Normas Técnicas [COPANT 461]. (1972c). Norma Técnica Nro 461. *Cálculo del peso específico en maderas*. Buenos Aires. Argentina.
- Comisión Panamericana de Normas Técnicas [COPANT 30:1-19]. (1974). Norma Técnica Nro 30:1-19. *Descripción de las características generales, macroscópicas y microscópicas de la madera*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/449540462/COPANT-30-1-19>
- Confederación Peruana de la Madera [CPM] (2008). *Compendio de información técnica de 32 especies forestales*. Lima, Perú
- Congo Espinosa, M. G. W., Valencia Valenzuela , M. X. G., Jaramillo Vallejos , M. J. R., Jaramillo Paredes , I. F. J. A., & Garrido Aguilar , I. F. L. F. (2022). Autorizaciones administrativas de productos forestales maderables en los ecosistemas de la provincia de Napo. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(5), 4204-4216. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3388
- Congo Espinosa , G. W., Valencia Valenzuela, X. G., Paredes Rodríguez, H. O., Carvajal Benavides, J. G., Yépez Duque, E. S., & Revelo Ruiz, S. V. (2023). Manejo forestal sostenible del Pambil en la amazonia ecuatoriana. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 5251-5277. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6548
- Cordero, L. (2000). *Propiedades físicas y mecánicas de ciento trece especies*. Turrialba, Costa Rica.
- Cresppo, J. (2012). *Notas sobre anatomía de maderas en relación al secado*. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, (1), 42-53.

- Díaz, J., Lira, N., & Muñoz, S. (2005). *Análisis de conservación y estructura celular de la madera de seis canoas monóxilas del centro sur de Chile*. Magallania.
- Echenique, M., & Robles, F. (1993). *Ciencia y tecnología de la madera I*. Universidad Veracruzana.
- Ecuador Forestal (2012). *Planificación estratégica, transformación y comercialización de madera en el Ecuador*. Quito – Ecuador.
- Ganzhi, J. (2006). *Estudio anatómico de las especies arbóreas del bosque nublado de la estación científica san francisco*. Loja – Ecuador.
- Garzón Flores, B. H. (2022). *Determinación de las características anatómicas, propiedades físicas y de trabajabilidad de Chrysophyllum Argenteum Jacq., parroquia Santa Rita, provincia de Esmeraldas* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12773>
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Santa Rita [GAD-Santa Rita]. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Cantón San Lorenzo-Provincia de Esmeraldas.
- Giménez, A., Moglia, J., Hernández, P., y Gerez., R. (2014). *Anatomía de madera*. Universidad Nacional de Santiago del Estero – Facultad de Ciencias Forestales. 2da edición.
- Global Forest y Trade Network [WWF]. (2013). *Maderas de Colombia*. WWF-Colombia - Programa Subregional Amazonas Norte & Chocó Darién. 88
- Goche Télles, José Rodolfo, Velázquez Martínez, Alejandro, Borja de la Rosa, Amparo, Capulín Grande, Juan, & Palacios Mendoza, Celina. (2011). Variación radial de la densidad básica en *Pinus patula* Schltdl. et Cham. de tres localidades en Hidalgo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 2(7), 71-78. Recuperado en 31 de enero de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322011000500006&lng=es&tlng=es.
- Gonzales, E. (2008). *Guía de Contenidos “Identificación Organoléptica y Macroscópica de Maderas Comerciales” Serie I Competencias Básicas para la Producción Industrial de Muebles de Madera*. Lima, Primera edición.
- Infomadera. (2010). *Preservación de la madera*. <http://www.fadu.edu.uy/tesinas/files/2015/12/PRESERVACI%C3%93N-DE-LA-MADERA-ENTREGA-FINAL-CIANCIARULO-LLAMB%C3%8DAS.pdf>
- International Association of Wood Anatomists. (1989). *List of Microscopic Feature for Hardwood Identification*. Netherlands.
- Jiménez, J. (2011). *Influencia de la humedad de la madera en la evaluación de las propiedades mecánicas del pino silvestre mediante técnicas no destructivas*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Jr. Pérez. (2011). *Humedad*. <http://jrperez.webs.uvigo.es/servicios-madera-humedad>
- Kollman, F. (1968). *Principles of Wood Science and Technology*. Vol. I: Solid Wood. Springer Verlag. New York.

- Knigge W.; Koltzemburg, C. (1965) *The influence of timber qualities and biological conditions on the cells sizes and on the proportions of types of cells in hardwoods in temperate zones*. IUFO Sect 41 Comm Fiber Char Melbourne, Australia, Vol 2, 51 p.
- Manrique, J. (2015). *Maquinado de la madera de (lonchocarpus rugosus benth) kanatzín en el sur de Quintana Roo*. Quintana Roo. http://www.itzonamaya.edu.mx/web_biblio/archivos/res_prof/for/for-2015-5.pdf
- Mediavilla Mediavilla, F. V. (2016). *Propiedades físicas, químicas y de trabajabilidad de la madera de alnus nepalensis d. don en Intag, zona Andina del Ecuador* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5352>
- Meneses Tirira, O. S. (2013). *Identificación de usos probables de Pinus patula schlect. et cham. Con base en la determinación de las propiedades físico- mecánicas y de trabajabilidad de la madera en Iltaquí- Cotacachi- Imbabura*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1982>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE]. (2014). *Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales*. Quito – Ecuador. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/03d7d6e9-76a4-41bf-b16a-d05e06f0be0b>
- Moglia, J. G. & Giménez, A. M. (1998). *Rasgos anatómicos Característicos del Hidrosistema de las principales especies arbóreas de la Región Chaqueña Argentina*. *Revista de Investigación Agraria Sistema y Recursos Forestales*. ISSN 1131-7965. Vol. 7. N°1 y 2. 53-71.
- Suasnabar, C. & Monge, W. (2019). “*Características anatómicas y propiedades físico – mecánicas de tres especies forestales, Iscozacín, Oxapampa y Pasco*”. Huancayo – Perú. 127
- Morales, E. (2003). *Humedad de equilibrio higroscópico y sus valores característicos*. Boletín de información técnica N° 226
- Moya, R. (2010). *Efecto de las propiedades físicas y químicas del suelo en algunas propiedades de la madera de teca (Tectona grandis)*. *Revista Árvore*, 34(6), 1109- 1118.
- Mugmal Cancán , L. D., Revelo Ruiz , S. V., Congo Espinosa , G. W., Valencia Valenzuela , X. G., Trejo Cuásquer , J. F., & Benalcázar Villalba , S. M. (2023). *Servicios Ecosistémicos del bosque protector “Loma de Guayabillas”, del cantón Ibarra. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 6247-6265. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6626
- Norton. (2018). *La importancia del lijado de madera*. <https://www.nortonabrasives.com/es-es/resources/expertise/la-importancia-de-lijado-de-madera>
- Ordoñez, J., Galicia, A., Venegas, N., Hernández, T., Ordoñez, M. y Dávalos, R. (2015). *Densidad de las maderas mexicanas por tipo de vegetación con base en la clasificación de J. Rzedowski: compilación*. Madera y Bosques. 77 – 126
- Organización Internacional de Maderas Tropicales [OIMT]. (2012). *Plan de Acción de la OIMT 2008 – 2012*.
- Ornelas, A. (2015). *Defectos mas frecuentes en la trabajabilidad de la madera Guasuma ulmifolia Lam (Pixoy), a un contenido de humedad del 18%*. Juan Sarabia, Quintana Roo

- Oshiro, M. (2016). *Ficha estándar de familia del catálogo de bienes, servicios y obras del MEF*. Perú
- Paredes Rodríguez, M. H. O., Valencia Valenzuela, M. X. G., Carvajal Benavides, M. J. G., Yépez Placencia, M. R. de L., & Jaramillo Paredes, I. J. A. (2022). Potencial forestal del territorio Awa, una zona en la mirada de muchos. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 5192-5213. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.3009
- Paredes Rodríguez, H. O., Varela Jácome, G. D., Rosales Enríquez, O. A., Carvajal Benavides, J. G., & León-Espinoza, M. E. (2023). Herbario universidad técnica del norte HUTN, un laboratorio para conocer la diversidad de especies forestales del Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 1167-1184. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6262
- Peralta, K. M. C. (2022). *Caracterización de la madera de 95 especies forestales del sur de Ecuador con base a sus propiedades físicas, organolépticas y anatómicas* (Tesis inédita de doctorado). Universidad Nacional de Loja, Loja. Ecuador. Recuperado de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/24554>
- Pérez Olvera, Carmen de la Paz, Dávalos-Sotelo, Raymundo, Limón Godina, Roberto, & Quintanar Isaías, Paz Alejandra. (2015). Características tecnológicas de la madera de dos especies de *Quercus* de Durango, México. *Madera y bosques*, 21(3), 19-46. Recuperado en 31 de enero de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712015000300002&lng=es&tlng=es.
- Pérez, N., Valenzuela, L., Diaz, J., & Ananías, R. (2011). Predicción del contenido de humedad de equilibrio de la madera en función del peso específico de la pared celular y variables ambientales. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 13(3), 253-266. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2011000300002>
- Piqué, J., & de Cartagena, J. d. A. (1984). *Manual de diseño para maderas del grupo andino*. Bissing, D.R. (1982). *Variation in qualitative anatomical features of xylem of selected dicotyledonous woods in relation to water availability*. Bulletin of the Torrey Botanical Club 109: 371-384.
- Puertas, P., Guevara, C., & Espinoza, M. (2013). *Manual de Transformación de la Madera*. Lima.
- Richter, H., Silva, J., Fuentes, F., Rodríguez, R., y Torres, P. (2009). *Fichas de Propiedades Tecnológicas de las Maderas*. México
- Ruiz-Aquino, Faustino, González-Peña, Marcos M., Valdez-Hernández, Juan I., & Romero-Manzanares, Angélica. (2016). Estructura anatómica de la madera de dos encinos de Oaxaca. *Madera y bosques*, 22(1), 177-189. Recuperado en 31 de enero de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712016000100177&lng=es&tlng=es.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización [NTE INEN]. (1984a). Norma 1158:1984. Maderas Selección y colección de muestras. Ecuador. Recuperado de <https://archive.org/details/ec.nte.1158.1984>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización [NTE INEN]. (1984b). Norma 1159:1984. Madera rolliza y aserrada. Medición y cubicación. Ecuador. Recuperado de <https://archive.org/details/ec.nte.1159.1984>

- Servicio Ecuatoriano de Normalización [NTE INEN]. (1984c). Norma 1163:1984. Maderas. Método para la descripción de las características generales, macroscópicas y microscópicas. Ecuador. Recuperado de <https://archive.org/details/ec.nte.1163.1984/page/n1/mode/2up>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización [NTE INEN]. (1984d). Norma 1164:1984. Maderas. Determinación de la contracción. Ecuador. Recuperado de <https://archive.org/details/ec.nte.1164.1984>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización [NTE INEN]. (1984e). Norma 1157:1984. Anatomía de la madera, Terminología. Ecuador. Recuperado de <https://archive.org/details/ec.nte.1157.1984>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización [NTE INEN]. (2011). Norma 2580:2011. Sistema de clasificación y calificación de madera aserrada proveniente de bosques húmedos tropicales. Ecuador. Recuperado de https://drive.google.com/file/d/1V-M7EKN_a6i0pkNqN6k_7m9mOzI-45pV/view
- Turpo, J. (2015). *Glosario de anatomía de la madera*. Obtenido de: <https://www.monografias.com/trabajos87/glosario-anatomia-madera/glosario-anatomia-madera.shtml>
- Valencia Valenzuela, X. G. (2020). *Análisis estructural y diversidad de la vegetación arbórea, en las comunidades brillasol y chontal alto de la parroquia García Moreno, cantón Cotacachi* [Tesis de maestría, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9759>
- Valencia Valenzuela, X. G., Paredes Rodríguez, H. O., Rosero Mier, M. M., Pozo Andrade, V. M., & Yépez Duque, E. S. (2022). Variabilidad del aprovechamiento forestal en la provincia Imbabura, periodo 2015-2019. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 2863-2981. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2806
- Valencia Valenzuela, X. G., Paredes Rodríguez, H. O., Trejo Cuasquer, J. F., & Mullo Ramírez, K. E. (2022). Aprovechamiento forestal en la parroquia García Moreno de la provincia Imbabura, periodo 2015-2019. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(3), 4379-4395. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i3.2566
- Valencia Valenzuela, X. G., Revelo Ruiz, S. V., Congo Espinosa, G. W., Montenegro Verdugo, R. B., Yépez Duque, E. S., & Trejo Cuásquer, J. F. (2023). Determinación del factor de forma de copal (*Dacryodes olivifera* Cuatrec.), en la parroquia Lita, cantón Ibarra. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6), 3299-3326. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.8920
- Vázquez-Cuecuecha, Oscar G., Zamora-Campos, Eunise M., García-Gallegos, Elizabeth, & Ramírez-Flores, Juan Alberto. (2015). Densidad básica de la madera de dos pinos y su relación con propiedades edáficas. *Madera y bosques*, 21(1), 129-138. Recuperado en 16 de enero de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712015000100010&lng=es&tlng=es.
- Villota Guerron, E. L., Rosero Chamorro, E. G., Farias Mejía, E. A., Valencia Valenzuela, X. G., Carvajal Benavides, J. G., & Benalcázar Villalba, S. M. (2024). Propiedades Tecnológicas de la Madera de Nogal Juglans Neotropica Diels, en la Provincia Carchi Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(1), 1543-1573. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.9549

Zobel, J.B.; Bujtenen, J.P. (1989). *Wood variation: its causes and control*. New York: Springer-Verlag, 363p.

Villota Guerrón, E. L. (2023). *Análisis de las propiedades físicas, anatómicas y trabajabilidad de la madera de Juglans Neotropica Diels. Carchi, Ecuador* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14389>