VARIACIÓN LONGITUDINAL DE LA ANATOMÍA Y DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE *Centrolobium yavizanum* Pittier. PROVENIENTE DEL GUAVIARE, COLOMBIA.

Modalidad Investigación – Innovación

Presentado por:

Paola Andrea Zuñiga Zuñiga 20151010964
Maria Angela Muñoz Pinilla 20151010040

Docente directora: M Sc Esperanza N. Pulido Rodríguez

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
BOGOTÁ D.C

2021

VARIACIÓN LONGITUDINAL DE LA ANATOMÍA Y DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE *Centrolobium yavizanum* Pittier. PROVENIENTE DEL GUAVIARE, COLOMBIA

Trabajo de grado como requisito para optar al título profesional de ingeniería forestal bajo la modalidad de investigación – innovación

Estudiantes

Paola Andrea Zuñiga
Código: 20151010964
Correo: pazunigaz@correo.udistrital.edu.co

Maria Angela Muñoz Pinilla
Código: 20151010040
Correo: mamunozp@correo.udistrital.edu.co

Docente directora:
M Sc. Esperanza N. Pulido R.

Docente Evaluador:
Ingeniero Forestal Ubainer Acero

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Proyecto Curricular de Ingeniería Forestal
Bogotá D.C. 2021.

FRASE CÉLEBRE

"*Nada tiene tanto poder para ampliar la mente como la capacidad de investigar de forma sistemática y real todo lo que es susceptible de observación en la vida*". Marco Aurelio

DEDICATORIA

A mi madre Zully a quien admiro y amo por su gran ejemplo y enseñanzas
A mi padre Alfredo por ser uno de los motores de mi vida
A mi hermano Adrián por su apoyo y amor incondicional
A mi pareja Andrés por su motivación y apoyo constante
A Sheryl, por su amor y compañía constante
A mis amigos Giovanny, Laura y María Fernanda, por brindarme su cariño y apoyo
A mi alma mater la Universidad Distrital Francisco José de Caldas,
por las oportunidades brindadas y el conocimiento adquirido
A todas las personas que hicieron parte de mi proceso de formación académica y personal
Paola Andrea Zuñiga Zuñiga

A *mis padres German y Edilia, por su apoyo incondicional, amor,*
enseñanzas y gran ejemplo en mi vida.
A mis hermanos por su constante apoyo y aprendizajes.
A mis amigos Giovanny, Natalia, María Fernanda, Daniel, David
por su apoyo, y acompañamiento.
A la Universidad Distrital Francisco José de Caldas
por el crecimiento personal y profesional.
Y a todos los que hicieron parte de este proyecto.
Maria Angela Muñoz Pinilla

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Francisco José de Caldas por formarnos profesionalmente permitiéndonos vivir experiencias y hacernos crecer personalmente.

A nuestra directora la ingeniería M.Sc. Esperanza N. Pulido R. por el apoyo y la confianza en las diferentes etapas de la presente investigación orientándonos y motivándonos para ser mejores investigadoras.

Al profesor Ph.D.(c). René López Camacho por el apoyo en las etapas de investigación, su paciencia, orientación y motivación a lo largo del proceso

A los ingenieros Alexandra Quintero, Sergio Mogollón, Jhon Nieto y Juan Solorzano por ayudarnos en las diferentes etapas de investigación y desarrollo del documento.

Al personal técnico del laboratorio de Maderas y carpintería, donde se llevó a cabo parte de la investigación.

Al Patrimonio Natural Fondo para la Biodiversidad y Áreas Naturales, y al Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.

A nuestras familias y amigos por el apoyo incondicional en este proceso.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN 9

ABSTRACT 10

INTRODUCCIÓN 11

OBJETIVOS 13

- Objetivo General 13
- Objetivos específicos 13

METODOLOGÍA 14

- Área de estudio 14
- Selección de individuos 14
- Muestreo 15
- Propiedades mecánicas 16
- Propiedades físicas 17
- Características anatómicas 18

Determinación de usos potenciales 19

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 20

- Propiedades Mecánicas 20
- Propiedades Físicas 22
- Caracterización anatómica macro y micro de C. yavizanum 25
- Variación de propiedades físico-mecánicas y características anatómicas 27
- Usos potenciales 36

CONCLUSIONES 38

RECOMENDACIONES 39

BIBLIOGRAFÍA 40

ANEXOS 44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características generales de los árboles de C. yavizanum colectados para evaluación. Localización, identificación y datos dasométricos (Datos tomados y ajustados del Estudio Anatómico y Tecnológico de 6 Especies Maderables de Importancia Comercial en el Departamento del Guaviare, CSNC. GEF-CA-SNC 010 del 2020)..... 15
Tabla 2. Normas técnicas y especificaciones para los ensayos mecánicos en compresión paralela, cizallamiento y flexión estática. 17
Tabla 3. Normas técnicas y especificaciones para la obtención de pruebas físicas. 18
Tabla 4. Especificaciones para la obtención de datos biométricos: densidad de poros (Dp), espesor de la pared de las fibras (Ef), longitud de las fibras (Lf) de acuerdo a la metodología planteada por Scholz et al (2013). 19
Tabla 5. Propiedades mecánicas compresión paralela, flexión estática radial y tangencial, cizallamiento radial y tangencial de C. yavizanum a lo largo del fuste en las secciones basal (X), media (Y) y apical (XY)..... 20
Tabla 6. Densidad en verde (Dv), densidad anhidra (Da),, densidad básica (Db), densidad seca al aire (Dsa) y el volumen poroso (Vp) de C. yavizanum a lo largo del fuste en las secciones basal (X), media (y) y apical (xy). 22
Tabla 7. Contenido de humedad en el punto de saturación de fibras (CHPSF), Contenido de humedad libre (CHLibre) y contenido de humedad máximo(CHMáx) de C. yavizanum a lo largo del fuste. 22
Tabla 8. Contracciones. Contracción tangencial total (Ctt), contracción tangencial parcial normal (Ctpn), contracción tangencial parcial (Ctp), contracción radial total (Crt), contracción radial parcial normal (Crpn), contracción radial parcial (Crp), y contracción volumétrica total (Cvt), contracción volumétrica parcial normal (Cvpn), contracción volumétrica parcial (Cvp) de *C. yavizanum* a lo largo del fuste. 23
Tabla 9. Hinchazones. Hinchazón tangencial total (Htt), hinchazón tangencial parcial normal (Htpn), hinchazón tangencial parcial (Htp), hinchazón radial total (Hrt), hinchazón radial parcial normal (Hrpn), hinchazón radial parcial (Hrp), y hinchazón volumétrica total (Hvt), hinchazón volumétrica parcial normal (Hvpn), hinchazón volumétrica parcial (Hvp) de C. yavizanum a lo largo del fuste.24
Tabla 10. Coeficiente de estabilidad dimensional de C. yavizanum a lo largo del fuste. 25
Tabla 11. Características biométricas: densidad de poros (Dp), espesor de la pared de la fibra (Ef) y longitud de la fibra de C. yavizanum a lo largo del fuste..... 27
Tabla 12. Estadísticos de las características anatómicas entre secciones de los individuos y secciones dentro de cada individuo, valor del estadístico F para ANOVA, X2 para Kruskal- Wallis significancia: * p< 0,05; ** p< 0,01; *** p< 0,001 28
Tabla 13. Estadísticos de las propiedades físicas entre secciones de los individuos y secciones dentro de cada individuo, valor del estadístico F para ANOVA, X2 para Kruskal- Wallis significancia: * p< 0,05; ** p< 0,01; *** p< 0,001. 30
Tabla 14. Estadísticos de las propiedades mecánicas entre secciones de los individuos y secciones dentro de cada individuo, valor del estadístico F para ANOVA, X2 para Kruskal- Wallis significancia: * p< 0,05; ** p< 0,01; *** p< 0,001. 32
Tabla 15. Valores de R2 para las diferentes variables de las propiedades físicas y mecánicas correlacionadas con las características anatómicas. 33
Tabla 16. Usos potenciales de las secciones de C. yavizanum. 37
Tabla 17. Valores estadísticos entre las secciones. 45

Tabla 18. Matriz de determinación de usos potenciales..... 46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del Área de estudio departamento del Guaviare, estación experimental El Trueno, instituto SINCHI..... 14
Figura 2. Sistema de muestreo y codificación para la obtención de bloques por individuo. 16
Figura 3. Registro fotográfico de estructuras anatómicas en las escalas microscópica y macroscópica. Planos en micro 1) Plano tangencial, tamaño de radios, punteaduras intervasculares areoladas alternas y ornadas . 2)Plano radial, radios con contenidos. 3)Plano transversal, poros solitarios y múltiples radiales, sin patrón de disposición. Planos en macro 5) Plano transversal, anillos de crecimiento definidos por bandas de madera tardía de coloración más oscura. 6) Plano tangencial grano recto, textura fina y homogénea. 7) Plano radial, lustre acentuado..... 26
Figura 4. Registro fotográfico biometría (A1) Densidad de poros en objetivo 5x. (B1) Pared de las fibras para los en objetivo 40x. (C1) Longitud de fibras en objetivo 40x..... 27
Figura 5. Correlaciones significativas entre las variables espesor de la fibra y densidad básica y anhidra, con relación negativa con un R2 mediano..... 35
Figura 6. Análisis de componentes principales, para características anatómicas y propiedades físicas……..36

RESUMEN

El presente estudio evaluó la variación longitudinal de las características anatómica y las propiedades físico mecánicas de *Centrolobium yavizanum* Pittier, proveniente de una plantación forestal establecida en el departamento del Guaviare en Colombia, se determinaron los usos potenciales de la especie en distintas secciones del fuste. Se seleccionaron tres individuos ubicados en la estación experimental El Trueno del Instituto de Investigaciones SINCHI. Para el estudio de la anatomía, biometría y propiedades físicas y mecánicas de la madera se tomaron muestras en la sección basal del fuste (X), sección media (Y) y seccional apical del fuste (XY). Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Maderas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, en Bogotá, utilizando las metodologías y estándares establecidos para cada uno de los procedimientos. Es así como se utilizaron los procedimientos registrados por la IAWA y por las Normas Técnicas para ensayos físico mecánicos de la madera (ASTM, COPANT, NTC). Se encontró que la madera de *C. yavizanum* presenta una porosidad difusa, poros solitarios con contenidos y sin patrón de disposición. Sus anillos están definidos por banda de madera tardía. Las punteaduras intervasculares areoladas poligonales y las punteaduras radiovasculares similares a la intervasculares, mientras que las fibras presentaron punteaduras simples. En cuanto al estudio biométrico se encontró que la longitud de la fibra (Lf) presentó un valor medio de 517,633 µ, disminuyendo su valor desde la sección basal hacia la sección apical. La densidad de poros (Dp) presentó un valor medio de 10,9 poros/mm^2, el espesor de la fibra (Ef), registró un valor medio de 2,098 µ aumentando su valor desde la sección basal hacia la sección apical. Esta madera presentó una densidad anhidra (Da) de 0,638 g/cm^3, densidad básica (Db) de 0,539 g/cm^3, un contenido de humedad en punto de saturación de fibras (CHPSF) de 22, 59% y un coeficiente de estabilidad dimensional (CED) de 2,6. Su variación longitudinal en las propiedades físicas se dio únicamente en el CHPSF. En cuanto a las propiedades mecánicas la especie reportó una resistencia máxima (RM) de 938,39 kg/c m^2, en la compresión paralela de 502,23 kg/cm^2, y en cizallamiento de 160,135 kg/cm^2. La compresión paralela, flexión estática y cizallamiento presentaron variación longitudinal. Se encontraron correlaciones significativas entre el espesor de la pared de las fibras con la densidad básica y la densidad anhidra.

Se determinó que los usos más adecuados para la especie son acabados de interiores, ebanistería, carpintería, madera estructural (durmientes, vigas), pisos, encofrados, artesanías, contrachapados, empaques, implementos agrícolas, juguetería y productos moldurados. Siendo así una especie de alto valor comercial.

Palabras clave: Características anatómicas, madera de latifoliadas, propiedades físico-mecánicas, potencialidad de uso, variación longitudinal.

ABSTRACT

The present study evaluated the longitudinal variation of the anatomical characteristics and physical-mechanical properties of *Centrolobium yavizanum* Pittier, from a forest plantation established in the department of Guaviare in Colombia, establishing the potential uses of the species in different sections of the stem. Three individuals located in the experimental station El Trueno of the SINCHI Research Institute were selected. For the study of the anatomy, biometry and physical and mechanical properties of the wood, samples were taken in the basal section of the trunk (X), middle section (Y) and apical section of the trunk (XY). The tests were carried out at the Wood Laboratory of the Universidad Distrital Francisco José de Caldas, in Bogotá, using the methodologies and standards established for each of the procedures. Thus, the procedures registered by IAWA and by the Technical Norms for physical-mechanical wood testing (ASTM, COPANT, NTC) were used. It was found that the wood of C. yavizanum presents a diffuse porosity, solitary pores with contents and no arrangement pattern. Its rings are defined by latewood banding. The intervessel pits are polygonal areolated intervessel pits and the vs-ray pits are similar to the intervessel pits, while the fibers presented simple pits. Regarding the biometric study, it was found that the fiber length (Lf) presented a mean value of 517,633 µ, decreasing its value from the basal section towards the apical section. The pore density (Dp) presented a mean value of 10.9 pores/mm2, the fiber thickness (Ef), registered a mean value of 2.098 µ increasing its value from the basal section towards the apical section. This wood had an anhydrous density (Da) of 0.638 g/cm^3, basic density (Db) of 0.539 g/cm^3, a fiber saturation point moisture content (CHPSF) of 22.59% and a coefficient of dimensional stability (CED) of 2.6. Its longitudinal variation in physical properties was only in the CHPSF. In terms of mechanical properties, the species reported a mean value in static bending (RM) of 938.39 kg/cm^2, in parallel compression (RM) of 502.23 kg/cm^2, and a mean value in shear stress (EUM) of 160.135 kg/cm^2. Its longitudinal variation occurred in the mechanical properties of parallel compression, static bending and shear. Significant correlations were found between fiber wall thickness with basic density and anhydrous density.

It was determined that the most suitable uses for the species are interior finishes, joinery, carpentry, structural wood (sleepers, beams), flooring, formwork, handicrafts, plywood, packaging, agricultural implements, toys and molded products. It is a species of high commercial value.

Keywords: Anatomical characteristics, broadleaved wood, longitudinal variation, physico-mechanical properties, use potential.

INTRODUCCIÓN

El mercado nacional de maderas presenta una creciente demanda de productos maderables de alta calidad para diversos usos, ya sea proveniente de plantaciones forestales o de bosque natural. La oferta de este mercado la constituye un escaso número de especies forestales que aportan el mayor volumen de movilización en los últimos tres años en donde 30 especies forestales representan el 70% de maderas provenientes de bosque natural (Blanco, 2020)[1]. Sin embargo, de un número importante de estas especies se desconoce o se encuentra desactualizada su aptitud tecnológica, aun cuando de ellas se tengan consideraciones de uso en la industria de la construcción, la carpintería, la producción de muebles y producción de chapas y contrachapados (Blanco, 2020). Por esta razón es necesario impulsar la investigación y fomentar el aprovechamiento sostenible de especies poco conocidas para así bajar la presión de especies sobreexplotadas y contribuir, de esta manera, a la sostenibilidad del manejo forestal, convirtiéndola en una actividad rentable como lo promulga el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, 2013).

Con ese propósito se documentan diferentes iniciativas, como las desarrolladas por el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI, mediante el establecimiento, adaptación, manejo y productividad en bosque natural y en sistemas agroforestales. Este Instituto estableció una plantación de *Centrolobium yavizanum* Pittier**.** en la estación experimental El Trueno, especie que, por sus propiedades físico-mecánicas y sus potenciales usos están dados por la densidad anhidra, densidad básica, resistencia a la flexión, cizallamiento y compresión paralela, variables que serán confrontadas con los resultados del presente estudio involucrando la caracterización anatómica evaluación longitudinal de las propiedades físicas y mecánicas de la madera.

La madera es un tejido que cumple una función de resistencia dentro de las especies vasculares y dada su ubicación dentro de la planta, es sometido a diferentes esfuerzos, que igualmente están determinados por la composición y estructura anatómica de este tejido xilemático. Sus propiedades mecánicas presentan diferente comportamiento dependiendo de la dirección del plano de estudio de la madera, por esta razón hay diferentes grados de resistencia registradas en sus fibras cuando estas deben soportar presiones o tensiones paralelas, tangenciales o perpendiculares (Spavento et al., 2008), debido precisamente a que la estructura anatómica de la madera cambia dependiendo de la posición dentro del árbol (Gálvez et al., 2020).

Las características anatómicas y propiedades físico-mecánicas se relacionan entre sí. Las fibras determinan la densidad de la madera, fibras con pared celular gruesa y lumen reducido, generan un espacio intercelular pequeño y una densidad alta, mientras que si estas presentan paredes delgadas y espacios intercelulares amplios la densidad será baja (Londoño, 2008). Igualmente, los caracteres anatómicos inciden en las propiedades mecánicas de la madera, Spavento et al., (2008), determinaron que los vasos y el parénquima axial disminuyen la resistencia de la madera al poseer paredes delgadas y lumen amplio. El colapso de una madera con poros más frecuentes y de mayor diámetro, será mayor

[1] De acuerdo con los reportes de movilización consultados por la autora G. Blanco, en la plataforma Ventanilla Integral de Tramites Ambientales en Línea VITAL

frente a una carga impuesta, principalmente cuando es sometida a esfuerzos de flexión y de compresión perpendicular (Spavento et al., 2008).

Ahora bien, diferentes autores han estudiado las variaciones de las propiedades físico-mecánicas y características anatómicas de la madera a lo largo del fuste, (Batista et al., 2020; Pérez, 2019; Huaynayla, 2018; Zaque et al., 2017; Burga, 2017, Aw Mohd & Khairul 2016; Kiaei & Farsi, 2016; Araújo et al., 2016; Melo, 2015; Machado et al., 2014; González et al., 2013). Para las propiedades físicas como el peso específico, la densidad básica y la contracción de la madera los autores Huaynayla, (2018) y Araújo et al., (2016) no encontraron diferencias significativas de estas propiedades a lo largo del fuste, mientras que Batista et al., (2020), Melo, (2015), Zaque et al., (2017), Burga, (2017) y Machado et al., (2014) si encontraron diferencias de las propiedades físicas como la densidad básica, el contenido de humedad, contracción radial, contracción tangencial y volumétrica, a lo largo del fuste. Para las propiedades mecánicas Aw Mohd & Khairul, (2016), Pérez, (2019) y Machado et al., (2014) no encontraron diferencias en la flexión estática, compresión paralela, cizallamiento, y dureza a distintas alturas del fuste, mientras que Kiaei & Farsi, (2016) encontraron diferencias significativas de las propiedades mecánicas de la resistencia a la flexión a lo largo del fuste.

A nivel anatómico Topaloglu y Erisir (2018) y Gálvez et al (2020) evaluaron la variación anatómica a lo largo del fuste encontrando diferencias significativas de aspectos biométricos como la dimensión de las fibras, y el espesor de la pared, a lo largo del fuste. Por su parte, Morgado et al (2010), en el estudio realizado para la especie *Centrolobium paraense,* la madera presentó una disminución del peso específico anhidro conforme aumentaba la altura del fuste. Estos autores muestran que las propiedades de la madera son complejas y no se puede generalizar estas relaciones, debido a que las especies presentan estructuras morfo anatómicas diferentes por la condición de crecimiento, factores genéticos, el clima y el suelo, entre otros, afectando sus propiedades. Se espera que este comportamiento sea diferente si se evalúan las maderas de especies de bosque natural frente al comportamiento de la madera establecida en plantaciones, en donde se toma en consideración las variaciones ambientales que se pueden presentar al establecer una especie en condiciones diferentes a las de su sitio de origen. Es por ello que se pretende dar a conocer los resultados del estudio de una especie nativa establecida en plantación con el propósito de contribuir con la introducción de nuevas especies al mercado con fundamentos científicos que mejoren su aprovechamiento, generen un valor agregado y aporte al fortalecimiento de la industria forestal del País.

Centrolobium Yavizanum **Pittier.** se ubica en los departamentos de Antioquia y Caldas, en una elevación de 40 a 600 msnm, globalmente se encuentra en los países Panamá y Colombia (Ruiz et al, 2015), en el departamento del Guaviare se encuentra introducida como una especie de plantación. Esta especie no presenta estudios recientes, encontrando solo catálogos donde se mencionan sus propiedades tecnológicas como el estudio realizado por Llach (1972) en el cual se establecen algunas propiedades físicas de la especie. Así mismo, Maderas de Panamá de la WWF (2012) describe las características anatómicas a escala macroscópica, las propiedades físico-mecánicas, y cita aspectos de trabajabilidad y secado. Por otra parte, Pastrana et al (2017) realizaron un estudio de análisis estructural de la vegetación arbórea en Córdoba, Colombia, donde mencionan los usos que se registran en el departamento para la especie. Es por ello que el presente estudio tiene como propósito dar a conocer las propiedades físico-mecánicas de esta especie, evaluando la variación longitudinal

de las características anatómicas, y propiedades físico-mecánicas, para aportar al adecuado aprovechamiento y potencial uso como recurso forestal establecido en plantación en el departamento del Guaviare.

OBJETIVOS

Objetivo General

Conocer la variación de las propiedades anatómicas y físico-mecánicas a diferentes longitudes de la especie *Centrolobium yavizanum* Pittier. proveniente del Guaviare.

Objetivos específicos

- Determinar las propiedades mecánicas de la madera a diferentes longitudes dentro del fuste de *C. yavizanum*.
- Caracterizar anatómicamente la madera de *C. yavizanum*.
- Identificar las diferencias y/o similitudes que se presentan en las propiedades físico-mecánicas y anatómicas de la madera de *C. yavizanum* en tres secciones diferentes a lo largo del fuste a nivel interespecífico, entre los individuos y dentro del individuo.
- Establecer los potenciales usos que presente la especie *C. yavizanum*, de acuerdo con las propiedades físico-mecánicas y las características anatómicas de la madera.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El estudio fue realizado en la estación experimental El Trueno del Instituto de investigaciones SINCHI, ubicado en el municipio El Retorno departamento del Guaviare (figura 1), esta estación cuenta con 119 hectáreas, considerado el laboratorio biológico más grande del Guaviare, siendo así un espacio importante para la investigación y transferencia de tecnología e información científica para el manejo forestal sostenible (SINCHI, 2021).

El departamento del Guaviare se encuentra localizado al sur de Colombia, limita al norte con los departamentos del Meta y Vichada, al occidente con los departamentos del Caquetá y Meta, al oriente con los departamentos del Guainía y Vaupés al sur con los departamentos de Vaupés y Caquetá. Presenta un área de aproximadamente 53.460 km^2. La temperatura promedio anual es de 24°C, la precipitación media anual tiene valores de 2.600 mm/anuales con un régimen de lluvia monomodal, con una temporada seca corta. En la zona se presentan tres unidades morfológicas: la altiplanicie que ocupa la mayor extensión del departamento, el lomerío ubicado en el sur – oeste del departamento, y la planicie formada por la acumulación de sedimentos (Gobernación del Guaviare, 2021).

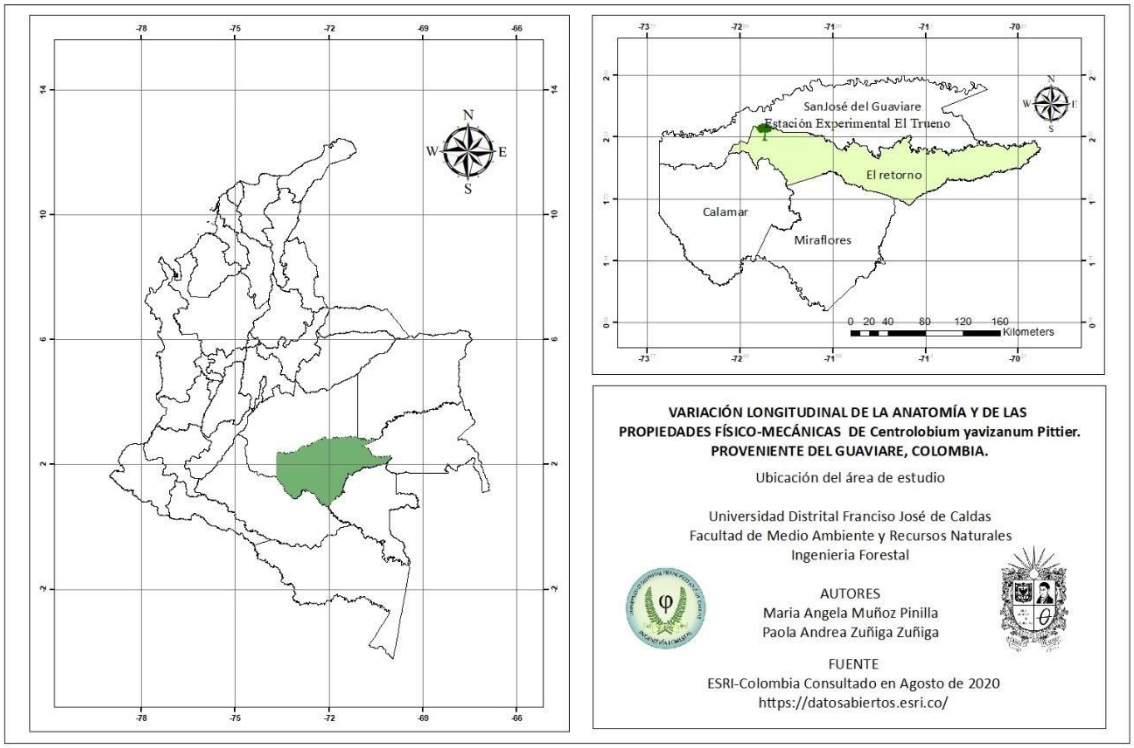


Figura 1. Localización del Área de estudio departamento del Guaviare, estación experimental El Trueno, instituto SINCHI.

Selección de individuos

Se seleccionaron de manera aleatoria tres individuos presentes en la estación experimental EL Trueno, los cuales presentaron datos dasométricos similares. Los individuos fueron georreferenciados y medidos de acuerdo a sus variables dasométricas, estos individuos presentaban una edad de 30 años, con un estado fitosanitario y silvicultural óptimo (tabla 1)

Tabla 1. Características generales de los árboles de *C. yavizanum* colectados para evaluación. Localización, identificación y datos dasométricos (Datos tomados y ajustados del Estudio Anatómico y Tecnológico de 6 Especies Maderables de Importancia Comercial en el Departamento del Guaviare, CSNC. GEF-CA-SNC 010 del 2020).

Código	Coordenadas		Ind.	DAP (cm)	Altura Total (m)	Altura Comercial (m)
	NORTE	OESTE				
4.1	02°22´15,9´´	72°38´40.8´´	1	58,0	35,2	11,9
4.2	02°22´16.0´´	72°38´40.9´´	2	61,3	32,7	13,4
4.3	02°22´15.9´´	72°38´41.0´´	3	58,8	27,0	16,7

Muestreo

Los individuos seleccionados se localizaron en un mismo sector de plantación. Las muestras se colectaron en tres secciones del fuste cada una con una altura de tres metros: sección basal (X), media (Y) y apical (XY) (figura 2), de acuerdo con la metodología planteada por Adebawo et al. (2019). Estos autores establecieron que las propiedades físicas de la madera influyen en el rendimiento y resistencia de la madera usada en aplicaciones estructurales, y que la resistencia depende de la carga aplicada, por lo cual plantearon el estudio de las propiedades físico-mecánicas a lo largo del tallo, en las secciones superior media y basal.

En cuanto a las características anatómicas, de acuerdo con Niklas (1993) la longitud de las fibras, el espesor de sus paredes, y el porcentaje de poros, son propiedades directamente relacionadas con las propiedades mecánicas y físicas de la madera, por lo cual se tomaron en cuenta estos tres parámetros para ser relacionados en la variación longitudinal.

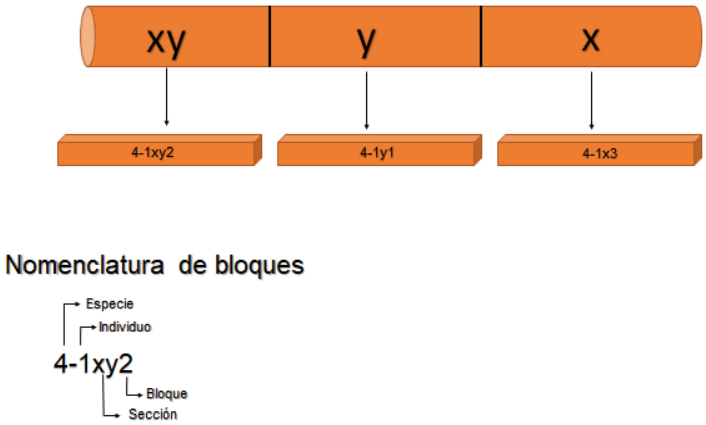


Figura 2. Sistema de muestreo y codificación para la obtención de bloques por individuo.

Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas definen la aptitud y la capacidad para resistir cargas externas en la madera, estas cargas dan lugar a diferentes comportamientos, donde la deformación es proporcional a la carga aplicada por unidad de área (Spavento et al, 2008). La flexión estática la cual mide la resistencia de una viga sometida a una carga puntual, aplicada en el centro de luz o distancia entre los apoyos, el ensayo se realiza en el plano tangencial y radial (Spavento et al., 2008). Esta propiedad permite determinar si la madera se puede utilizar con fines estructurales es una de las propiedades más importantes, ya que resulta de someter la madera a la combinación de esfuerzos como tracción, compresión y cizallamiento (Londoño, 2008). La compresión paralela es la resistencia a la carga aplicada en una columna en el mismo sentido de la dirección de las fibras (Spavento et al., 2008). Esta propiedad permite determinar si la madera se puede utilizar para columnas cortas e intermedias, postes, patas de sillas y mesas, ya que están sometidas a cargas que tratan de acortar las fibras, un exceso en la carga produce fallas en compresión paralela (Londoño, 2008).

Los parámetros para determinar la flexión estática y la compresión paralela fueron la resistencia máxima (RM), que representa la capacidad de carga máxima soportada por la pieza en flexión, es el esfuerzo máximo sobre las fibras hasta la ruptura de la misma (Jiménez & Muñoz, 2007). La resistencia en el límite proporcional (RLP), representa la carga que resiste la madera hasta el límite proporcional, es decir, es el puno en el que la madera cambia de un comportamiento elástico a plástico en donde se producen deformaciones permanentes (Londoño, 2008) y el módulo de elasticidad (MOE) el cual establece la rigidez de la madera, involucra tanto la carga como la deformación de la madera en el límite elástico, entre mayor sea este valor la madera va a ser más rígida (Spavento et al., 2008).

El esfuerzo de cizallamiento es una medida para resistir fuerzas que tienden a realizar un deslizamiento en el plano interno de la madera sobre su plano adyacente, siendo un indicador de la rigidez de la madera. Esta propiedad permite determinar si la madera se puede utilizar para vigas, pernos, pasadores, clavijas, entre otras (Londoño, 2008). El parámetro utilizado para determinar esta

propiedad fue el Esfuerzo Unitario Máximo (EUM) el cual establece la carga máxima sobre la superficie de la falla

En resumen, el procedimiento en laboratorio consistió en la selección, orientación, clasificación y dimensionamiento de las probetas para cada uno de los ensayos, verificando que las probetas se encontraran libres de defectos. Las probetas fueron sometidas a las pruebas mecánicas de forma estandarizada con las normas técnicas, conservando la velocidad del ensayo, el registro fotográfico, registro de falla y correspondiente registro de contenido de humedad, siguiendo los lineamientos de la Norma Técnica Colombiana (NTC) y el Comité Panamericano de Normas Técnicas (COPANT) (tabla 2).

Los ensayos fueron realizados en una Máquina universal de ensayos marca INSTRON de una capacidad de 100 KN, con dispositivo de lectura BLUEHILL, el cual se encuentra programado con las especificaciones dadas por las normas que se citan en la tabla 2.

Tabla 2. Normas técnicas y especificaciones para los ensayos mecánicos en compresión paralela, cizallamiento y flexión estática.

Prueba	Abreviatura	Norma técnica	Dimensión de la probeta	Número de pruebas
Compresión paralela (Kgf/cm^2)	**Cp**	COPANT 464 – NTC 784 – ASTM D 143	2.5 cm x 2.5 cm x 10 cm	45
Cizallamiento (Kgf/cm^2)	**Cz**	COPANT 463 – NTC 775 – ASTM D 143	5 cm x 5 cm 6.5 cm	45
Flexión estática (Kgf/cm^2)	**F**	COPANT 555 – NTC 683 – ASTM D 143	2.5 cm x 2.5 cm x 41 cm	45

Propiedades físicas

Las pruebas físicas se realizaron sobre probetas de sección de 2,5cm X 2,5cm y de longitud de 10 cm., se obtuvieron conservando la trazabilidad establecida para las pruebas físicas, debidamente orientadas y sin ningún daño o defecto presente. Las pruebas físicas se realizaron de acuerdo con la norma NTC, y la norma COPANT. En la tabla 3 se presentan las pruebas realizadas con su respectiva normatividad técnica en donde se obtuvo un total de 40 probetas, para la determinación de las propiedades físicas.

Tabla 3. Normas técnicas y especificaciones para la obtención de pruebas físicas.

Propiedades Físicas	Prueba	Abreviatura	Norma
Contenidos de Humedad (%)	Contenido de humedad punto saturación de fibras	CHPSF	COPANT 460 – NTC 2500 – ASTM D 2016-74
	Contenido de humedad de agua libre	CHLibre	
	Contenido de humedad máximo	CHMAX	
Densidades (g/cm^3)	Densidad Verde	Dv	COPANT 461 – NTC 2500 – ASTM D 2395-69
	Densidad Seca al Aire	Dsa	
	Densidad Anhidra	Da	
	Densidad Básica	Db	
Cambios Dimensionales (%)	Contracción tangencial total, parcial normal, parcial, contracción radial total, parcial normal, parcial, contracción volumétrica total, parcial y normal.	Ctt, Ctpn, Ctp, Crt, Crpn, Crp, Cvt, Cvpn, Cvp	COPANT 462 – NTC2500
	Hinchazón tangencial total, parcial normal, parcial, hinchazón radial total, parcial normal, parcial, hinchazón volumétrica total, parcial y normal.	Htt, Htpn, Htp, Hrt, Hrpn, Hrp, Hvt, Hvpn, Hvp	
	Coeficiente de estabilidad dimensional	CED	

Características anatómicas

La preparación del material se realizó según la metodología de Negret (2016), el procedimiento inicio con la inmersión de la madera en agua hasta su saturación máxima con el fin de facilitar el corte del tejido sobre el plano transversal de la madera, utilizando un micrótomo de rotación marca LEYCA. Una vez se obtuvieron los cortes se tiñeron con safranina, para luego ser lavados en soluciones de alcohol con concentraciones de 50% y 90%. Las variables evaluadas fueron el porcentaje de poros y el espesor de la pared de la fibra, de los cuales se tomaron 5 y 50 medidas respectivamente por estrato dentro de cada individuo, de acuerdo con la metodología planteada por Scholz et al, (2013) (tabla 4).

El desfibrado o disociación del tejido xilemático se realizó de acuerdo con la metodología planteada por Jansen et al., (1998) y Negret, (2016), el procedimiento consistió en la obtención de astillas y cocción de las mismas para la maceración del material, en una solución de ácido acético glacial y peróxido de hidrógeno en proporción 1:1 a temperatura de 60°C en estufa, hasta que se observó la individualización de los elementos del xilema, visto como un precipitado de color blanco, los elementos anatómicos fueron teñidos con safranina (1%), y se mantuvieron en una solución de xilol, para ser dispuestas en un porta objetos dando tiempo para el secado del material y realizar su medición en la cual, de acuerdo con Scholz et al, (2013), se realizaron 50 mediciones por estrato para cada individuo (tabla 4).

La medición de las variables anteriormente mencionadas se realizaron con ayuda de fotografías en forma de barrido, con un microscopio trilocular (Carlzeizz-Primo Star) y una cámara digital adaptada

para microscopia (Zeiss-Referencia Axiocam Erc 5S) con una resolución de 2560 x 1920 megapíxeles utilizando objetivos en 5x para la medición de densidad de poros y 40x para la medición del espesor de la pared de las fibras y la longitud de las fibras, para las biometrías se utilizó el software ImageJ®.

Para el análisis estadístico de las variables se utilizaron las pruebas de Bartlett para identificar la homocedasticidad de los datos. Para identificar la normalidad de los datos se utilizaron las pruebas de Shapiro Wilk y Kolmogorov - Smirnov. Ahora bien, para la comparación de medias en los datos paramétricos se realizó un ANOVA, seguido de una prueba Tukey para las comparaciones múltiples, para los datos no paramétricos se utilizó la prueba Kruskal – Wallis y la Prueba U para las comparaciones múltiples (Ríos & Peña, 2020), mediante el software estadístico R Studio.

Tabla 4. Especificaciones para la obtención de datos biométricos: densidad de poros (Dp), espesor de la pared de las fibras (Ef), longitud de las fibras (Lf) de acuerdo a la metodología planteada por Scholz et al (2013).

Rasgo	Abreviatura	Unidad	Mediciones
Densidad de poros	Dp	No poros * mm^2	45
Espesor de la pared de las fibras	Ef	µm	450
Longitud de fibras	Lf	µm	450

Determinación de usos potenciales

Los usos potenciales se determinaron de acuerdo con la metodología propuesta por Pulido et al., (2018) basada en el documento de Kingler & Talero (2001) que consistió en la construcción de una base de datos donde se consignaron los valores de las propiedades físico-mecánicas estudiadas para la especie, junto con los usos asociados a los a cada propiedad. Posteriormente, se realizó una búsqueda bibliográfica de especies maderables de las cuales se tuviera registro de los valores de las propiedades ya mencionadas, con el fin de establecer los valores mínimos y máximos de las especies que comparten el mismo uso que *C. yavizanum*, de esta manera se lograron establecer los usos potenciales para las tres secciones del fuste.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los valores medios registrados para las pruebas mecánicas y físicas realizadas para el total del fuste con el propósito de confrontar el reporte de dichas propiedades en otros estudios para la especie y entre las secciones X, Y y XY para fines de la investigación realizada, igualmente se presenta la caracterización anatómica realizada a nivel macro y microscópico de la madera, como los aspectos biométricos estudiados, donde igualmente se presentan los valores medios para el total del fuste y para cada una de las secciones.

Propiedades Mecánicas

Como se puede observar, en la tabla 5 se presentó un mayor valor de la flexión estática en el plano tangencial, y la carga máxima promedio entre los planos fue de 938,398 kg/cm^2, lo cual clasifica la madera según las normas de la American Society for Testing and Material (ASTM, 1996) con una resistencia máxima mediana, a su vez, la sección que presentó mayor resistencia fue la sección X, seguida de la sección Y, mientras que los valores de la flexión radial indican que la sección con mayor resistencia es la XY, en comparación con las secciones X y Y, contrastando con lo registrado por Maderas de Panamá, WWF (2012), debido a que mencionan para esta especie una carga máxima de 1217 kg/cm^2, presentando una resistencia máxima mediana. La especie presentó una resistencia en el límite proporcional de 469,939 kg/cm^2, siendo el plano de mayor resistencia el tangencial, lo que permite clasificar esta madera, según las normas (ASTM, 1996), con una resistencia mediana. El módulo de elasticidad es de 10239,121 kg/cm^2, clasificando la especie, en cuanto a su rigidez, como una especie elástica o poco rígida, de acuerdo con la clasificación de las normas (ASTM, 1996).

Tabla 5. Propiedades mecánicas compresión paralela, flexión estática radial y tangencial, cizallamiento radial y tangencial de *C. yavizanum* a lo largo del fuste en las secciones basal (X), media (Y) y apical (XY).

Propiedad Mecánica	Variable		TOTAL	SECCIONES		
				X	Y	XY
Compresión Paralela	RM (kgf/cm^2)	MEDIA	502,232	596,017	549,214	361,465
		CV %	29,567	16,173	22,711	29,583
	MOE (kgf/cm^2)	MEDIA	29173,578	29683,663	30689,408	27147,665
		CV %	22,364	25,985	18,231	22,055
	RLP (kgf/cm^2)	MEDIA	408,804	465,959	454,434	306,02
		CV %	29,451	23,718	21,505	26,834
Flexión Radial	RLP (kgf/cm^2)	MEDIA	452,603	434,985	461,569	461,255
		CV %	20,634	26,276	19,093	16,909
	RM (kgf/cm^2)	MEDIA	903,889	911,544	868,821	931,302
		CV %	20,678	24,38	18,505	19,316
	MOE (kgf/cm^2)	MEDIA	10076,841	10529,117	9618,778	10082,628

Propiedad Mecánica	Variable		TOTAL	SECCIONES		
				X	Y	XY
		CV %	14,354	14,738	13,197	14,414
Flexión Tangencial	RLP (kgf/cm^2)	MEDIA	487,276	533,096	468,853	459,879
		CV %	17,383	14,412	14,804	19,942
	RM (kgf/cm^2)	MEDIA	972,907	1046,759	945,855	926,107
		CV %	14,43	14,261	14,136	12,218
	MOE (kgf/cm^2)	MEDIA	10401,401	11395,231	9777,003	10031,969
		CV %	14,125	13,892	11,673	11,594
Cizallamiento Radial	EUM (kgf/cm^2)	MEDIA	147,717	153,623	137,649	151,879
		CV %	14,588	10,839	9,821	19,024
Cizallamiento Tangencial	EUM (kgf/cm^2)	MEDIA	172,554	189,901	161,266	166,497
		CV %	12,295	7,338	9,821	19,024

La compresión paralela presentó un valor de 502,232 kg/cm^2 en la resistencia máxima, clasificando la especie según las normas (ASTM,1996) con una resistencia unitaria máxima mediana, a su vez la sección que presentó mayor resistencia fue la sección X, seguida de la sección Y. Contrastando con lo registrado por Maderas de Panamá, WWF (2012), ya que reportan para esta especie una carga máxima de 640 kg/cm^2, donde la especie igualmente presenta una resistencia máxima mediana. En la resistencia en el límite proporcional se obtuvo un valor de 408,804 kg/cm^2 clasificando la especie según las normas ASTM (1996) con una resistencia al límite proporcional medio. El módulo de elasticidad presentó un valor de 29173,578 kg/cm^2 clasificando la especie según las normas ASTM, (1996) con un valor medio.

En la prueba de cizallamiento el esfuerzo unitario máximo se obtuvo un valor medio de 160,135 kg/cm^2, presentando mayor resistencia en el plano tangencial. La especie se clasifica, según las normas ASTM, (1996) con esfuerzo unitario máximo alto, a su vez la sección que presentó mayor resistencia fue la sección X, seguida de la sección Y.

C. yavizanum presenta una menor resistencia máxima en comparación con *C. paraense,* la cual presenta una resistencia máxima a la flexión de 1167 kg/cm^2, un módulo de elasticidad de 14.989 kg/cm^2, una resistencia a compresión paralela de 599 kg/cm^2, un cizallamiento de 122 kg/cm^2 de acuerdo a lo reportado por la ITTO (2021), se evidencia que los valores son mayores pero siguen siendo especies maderablemente comparables porque son valores cercanos, posicionando a *C. paraense* como una madera de resistencia mediana como *C. yavizanum.*

Propiedades Físicas

La madera de *C. yavizanum* presenta una densidad anhidra (Da) promedio de 0,638 g/cm^3, registrando valores en las tres secciones de 0,628 g/cm^3 a 0,651 g/cm^3. De acuerdo con Guevara (2001), este valor de la Da indica que la madera es medianamente pesada. En cuanto a la densidad básica (Db) para el total del fuste se tiene un valor medio de 0,539 g/cm^3, donde según Aróstegui (1982) la madera es medianamente pesada. Cabe resaltar que en las densidades verde (Dv), seca al aire (Dsa), anhidra (Da) y básica (Db) se genera una disminución los valores de la sección X a XY, mientras que el volumen poroso (Vp) presenta un aumento entre las secciones mencionadas (tabla 6).

Tabla 6. Densidad verde (Dv), densidad anhidra (Da), densidad básica (Db), densidad seca al aire (Dsa) y el volumen poroso (Vp) de *C. yavizanum* a lo largo del fuste en las secciones basal (X), media (y) y apical (xy).

Variable		TOTAL	SECCIONES		
			X	Y	XY
Dv	MEDIA (g/cm^3)	0,840	0,851	0,885	0,797
	CV %	12,669	15,206	11,877	8,299
Da	MEDIA (g/cm^3)	0,638	0,639	0,651	0,628
	CV %	10,013	7,946	8,738	12,763
Dsa	MEDIA (g/cm^3)	0,605	0,601	0,627	0,591
	CV %	11,686	8,605	11,653	14,166
Db	MEDIA (g/cm^3)	0,539	0,549	0,552	0,520
	CV %	10,260	8,487	9,852	11,795
Vp	MEDIA (%)	59,675	59,888	58,189	60,566
	CV %	7,897	5,764	8,373	9,224

Para el contenido de humedad en el punto de saturación de las fibras (CHPSF) la especie presenta un valor promedio de 22,595 % variando a lo largo del fuste con valores de 18,061% a 25,071%, cabe resaltar que las especies latifoliadas tropicales presentan una variación amplia del CHPSF, debido a la presencia, cantidad y tamaño de contenidos o exudados que se ubican en los espacios intermicelares y limitan la higroscopicidad de la madera, generando la disminución del valor del CHPSF (Tamarit & Fuentes, 2003; Rosales, 2020). En cuanto al contenido de humedad libre (CHLIBRE) y al contenido de humedad máximo (CHMAX) se da un aumento de los mismos desde la sección X a la sección XY (tabla 7).

Tabla 7. Contenido de humedad en el punto de saturación de fibras (CHPSF), Contenido de humedad libre (CHLibre) y contenido de humedad máximo(CHMáx) de *C. yavizanum* a lo largo del fuste.

Variable	TOTAL	SECCIONES		
		X	Y	XY

CHPSF	**MEDIA (%)**	22,595	18,061	24,988	25,071
	CV %	30,619	16,711	34,017	25,739
CHLIBRE	**MEDIA (%)**	101,035	100,714	94,924	105,817
	CV %	20,098	13,672	20,567	24,027
CHMAX	**MEDIA (%)**	123,630	118,775	119,912	130,889
	CV %	14,276	11,306	13,465	15,718

En el plano tangencial se da un aumento de las contracciones total, parcial normal y parcial, a lo largo del fuste de *C. yavizanum*, al igual que en las contracciones radial y volumétrica, donde las máximas contracciones se presentan en la sección XY del fuste. Como era de esperarse, se da una mayor contracción total volumétrica en comparación con las contracciones tangencial y radial, respectivamente. Este comportamiento se explica con la anatomía de la madera, la disposición de las células radiales y la presencia de madera temprana y tardía, de baja y alta densidad (tabla 8).

Tabla 8. Contracciones. Contracción tangencial total (Ctt), contracción tangencial parcial normal (Ctpn), contracción tangencial parcial (Ctp), contracción radial total (Crt), contracción radial parcial normal (Crpn), contracción radial parcial (Crp), y contracción volumétrica total (Cvt), contracción volumétrica parcial normal (Cvpn), contracción volumétrica parcial (Cvp) de *C. yavizanum* a lo largo del fuste.

Variable		**TOTAL**	**SECCIONES**		
			X	**Y**	**XY**
Ctt	**MEDIA**	3,552	3,224	3,598	3,823
	CV %	31,075	28,568	32,342	31,494
Ctpn	**MEDIA**	1,249	0,907	1,475	1,403
	CV %	57,457	43,590	59,942	52,798
Ctp	**MEDIA**	0,104	0,076	0,123	0,117
	CV %	57,457	43,590	59,942	52,798
Crt	**MEDIA**	1,640	1,235	1,519	2,106
	CV %	45,485	45,663	49,502	31,580
Crpn	**MEDIA**	0,603	0,344	0,657	0,805
	CV %	74,499	55,231	76,478	60,275
Crp	**MEDIA**	0,050	0,029	0,055	0,067
	CV %	74,499	55,231	76,478	60,275
Cvt	**MEDIA**	10,604	8,613	11,636	11,706
	CV %	28,639	15,871	31,945	24,143

Cvpn	**MEDIA**	4,122	2,551	5,416	4,639
	CV %	71,484	52,722	66,268	65,498
Cvp	**MEDIA**	0,343	0,213	0,451	0,387
	CV %	71,484	52,722	66,268	65,498

Se presenta un aumento de la hinchazón total tangencial, parcial normal y parcial a lo largo del fuste de la especie al igual que en las hinchazones radial y volumétrica. Las máximas hinchazones se presentan en la sección XY del fuste, y de la misma manera que en las contracciones se presenta una mayor hinchazón total volumétrica en comparación con las hinchazones tangencial y radial, aspecto explicado cómo se mencionó anteriormente por la anatomía de la madera, en cuanto a la disposición de las células radiales y la presencia de madera temprana y tardía, de baja y alta densidad (tabla 9).

Tabla 9. Hinchazones. Hinchazón tangencial total (Htt), hinchazón tangencial parcial normal (Htpn), hinchazón tangencial parcial (Htp), hinchazón radial total (Hrt), hinchazón radial parcial normal (Hrpn), hinchazón radial parcial (Hrp), y hinchazón volumétrica total (Hvt), hinchazón volumétrica parcial normal (Hvpn), hinchazón volumétrica parcial (Hvp) de *C. yavizanum* a lo largo del fuste.

Variable		**TOTAL**	**SECCIONES**		
			X	**Y**	**XY**
Htt	**MEDIA**	3,696	3,340	3,746	3,991
	CV %	32,163	29,490	33,354	32,653
Htpn	**MEDIA**	1,299	0,939	1,536	1,462
	CV %	58,040	44,085	60,710	53,065
Htp	**MEDIA**	0,108	0,078	0,128	0,122
	CV %	58,040	44,085	60,710	53,065
Hrt	**MEDIA**	1,673	0,078	1,548	2,025
	CV %	46,031	43,281	50,122	40,145
Hrpn	**MEDIA**	0,616	1,394	0,670	0,790
	CV %	74,931	47,360	76,956	67,544
Hrp	**MEDIA**	0,051	0,387	0,056	0,066
	CV %	74,931	47,360	76,956	67,544
Hvt	**MEDIA**	11,991	9,638	13,352	13,188
	CV %	32,376	15,971	35,827	29,282
Hvpn	**MEDIA**	4,717	2,900	6,291	5,261
	CV %	74,786	48,754	68,676	70,928

Variable		TOTAL	SECCIONES		
			X	Y	XY
Hvp	MEDIA	0,393	0,242	0,524	0,438
	CV %	74,786	48,754	68,676	70,928

El valor promedio del coeficiente de estabilidad dimensional (CED) es de 2,698, lo cual indica que la madera de *C. yavizanum* es inestable, propiedad que se presenta en las tres secciones del árbol ya que en todas ellas el valor del CED es mayor a 1,8 (tabla 10).

Tabla 10. Coeficiente de estabilidad dimensional de *C. yavizanum* a lo largo del fuste.

Variable		TOTAL	SECCIONES		
			X	Y	XY
CED	MEDIA (%)	2,698	2,889	2,86	2,402
	CV (%)	54,022	53,856	49	60,588

Ahora bien, los valores obtenidos para las propiedades físicas contrastan con lo reportado por Maderas de Panamá WWF (2012), donde indican que la densidad básica de la especie es de 0,65 g/cm3, las contracciones tangencial, volumétrica y radial son de 6,4%, 3,6%, 9,7% respectivamente y el CED es de 1,8. De igual manera nuestros valores obtenidos contrastan con los registrados por Llach (1971), donde la densidad básica es de 0,65 g/cm3 y la densidad anhidra es de 0,74 g/cm3; la contracción volumétrica es de 9,7; la contracción radial parcial normal y parcial es de 1,5% y de 3,6% respectivamente; la contracción parcial normal y parcial son de 2,9% y 6,4%; por último, el CED es de 1,8 de acuerdo con lo reportado por el autor.

En comparación con lo registrado por la ITTO (2021) *C. paraense* presenta una densidad básica de 0,69 g/cm^3, densidad seca al aire 0,78 g/cm^3, contracción tangencial de 5,6%, contracción radial de 2,5 %, con una estabilidad dimensional de 2,3. Los valores de densidad son más altos que lo encontrado en el presente estudio, y en cuanto al CED se ratifica el carácter inestable de estas especies puesto que el valor es mayor a 1,5.

Caracterización anatómica macro y micro de C. yavizanum

En la figura 3, se puede observar la anatomía de la madera de *C. yavizanum* en su plano transversal, radial y longitudinal a nivel macro y microscópico. La madera presenta anillos de crecimiento altamente definidos por bandas de madera tardía de coloración oscura. Los poros son solitarios y múltiples radiales (4-5 poros agrupados), son de forma ovalada y de tamaño mediano sin patrón de disposición y porosidad difusa, algunos poros presentan contenidos visibles de tipo gomas y tílides, las platinas de perforación de los vasos son simples, las punteaduras intervasculares son areoladas alternas de forma ovalada con abertura incluida de tamaño mediano, igualmente presentan punteaduras ornadas.

Las fibras presentan punteaduras simples y areoladas diminutas restringidas a la pared radial sin engrosamientos espiralados, fibras con pared celular de espesor mediano. Presentan cristales prismáticos. El parénquima longitudinal es paratraqueal vasicéntrico, el cual se puede observar con lupa de 10x. El parénquima axial es paratraqueal vasicéntrico y aliforme de ala ancha y corta. Los radios presentan visibilidad con lupa de 10x, finos y estratificados, son uniseriados y biseriados, con punteaduras radio-vasculares similares a las intervasculares. Presentan contenidos orgánicos.

En cuanto a la caracterización macroscópica, la madera cuenta con una textura fina y homogénea, grano recto, lustre acentuado. Es una madera pesada y dura, no presenta olor ni sabor característico. Los contenidos orgánicos están constituidos por tílides y gomas.

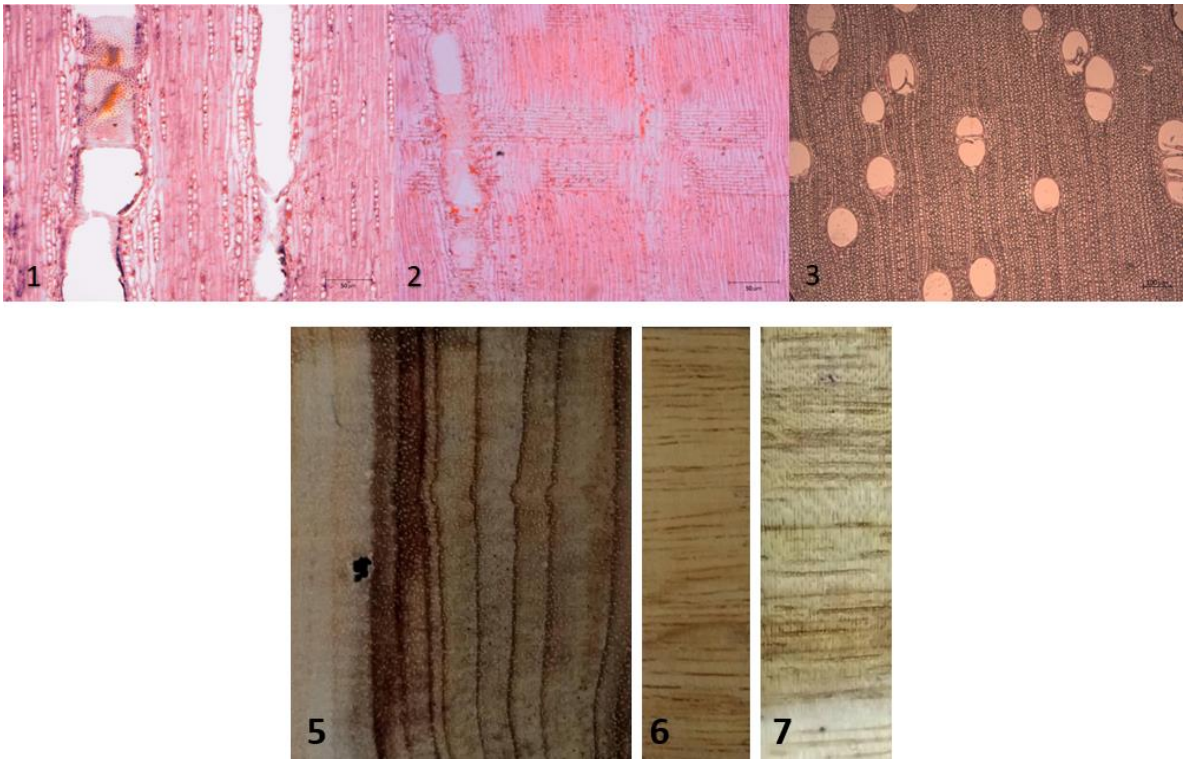


Figura 3. Registro fotográfico de estructuras anatómicas en las escalas microscópica y macroscópica. Planos en micro 1) Plano tangencial, tamaño de radios, punteaduras intervasculares areoladas alternas y ornadas. 2)Plano radial, radios con contenidos. 3)Plano transversal, poros solitarios y múltiples radiales, sin patrón de disposición. Planos en macro 5) Plano transversal, anillos de crecimiento definidos por bandas de madera tardía de coloración más oscura. 6) Plano tangencial grano recto, textura fina y homogénea. 7) Plano radial, lustre acentuado.

Las características anatómicas encontradas en el presente estudio concuerdan con las descritas por Maderas de Panamá de la WWF (2012), donde mencionan que la madera no presenta un olor distintivo, tiene lustre medio a alto, cuenta con grano recto a irregular, la textura es fina a media

Ahora bien, para la especie *C. paraense* en el documento del MAE & FAO (2014) se reportan características similares a *C. yavizanum,* donde los anillos se encuentran definidos por madera de coloración más oscura. Los poros son visibles a simple vista, pequeños a mediados, distribuidos irregularmente, solitarios y múltiplos radiales, y con porosidad difusa. Los vasos son cortos con perforaciones simples, punteaduras intervasculares alternas a medianas y con aperturas incluidas. Los radios son indistinguibles a simple vista en cortes transversal y tangencial, muy finos y uniseriados, numerosos, estratificados, con depósitos de goma y punteaduras intervasculares similares a las

intervasculares. Las fibras son liberiformes con punteaduras simples o areoladas, estratificadas no tabicadas de paredes gruesas, y conductos gomíferos ausentes.

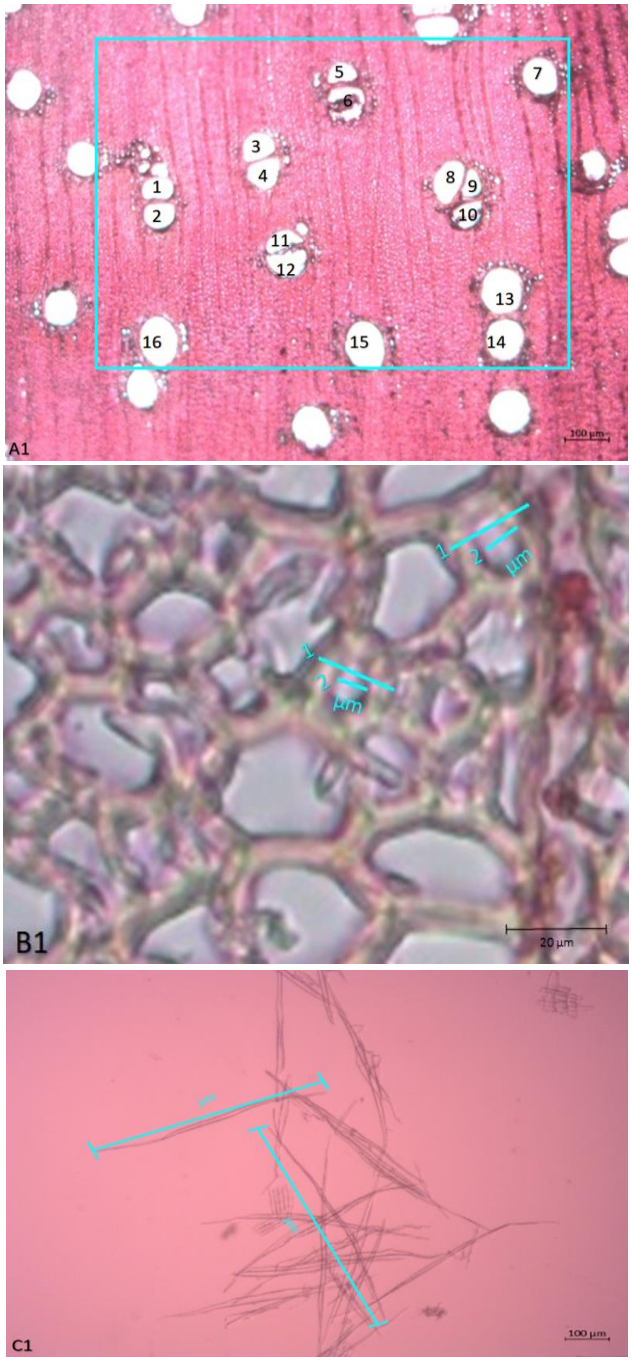


Figura 4. Registro fotográfico biometría (A1) Densidad de poros en objetivo 5x. (B1) Pared de las fibras para los en objetivo 40x. (C1) Longitud de fibras en objetivo 40x.

Tabla 11. Características biométricas: densidad de poros (Dp), espesor de la pared de la fibra (Ef) y longitud de la fibra de *C. yavizanum* a lo largo del fuste.

Variable	Total	Secciones

			X	Y	XY
Dp (Número de poros/mm²)	**Media**	10,978	10,733	9,867	12,333
	Cv %	29,292	29,138	22,293	30,900
Ef (µm)	**Media**	2,098	2,035	2,071	2,188
	Cv %	27,376	28,967	32,401	19,578
Lf (µm)	**Media**	517,633	525,261	538,959	488,680
	Cv %	21,977	22,285	20,309	22,374

En la tabla 11 se puede observar que la Densidad de poros (Dp) presenta un aumento de la sección X a XY pasando de 10,73 poros por mm2, a 12,33 poros por mm2; igualmente el espesor de la pared de las fibras (Lf) aumenta progresivamente en las tres secciones del fuste pasando de 2,035 µm a 2,188 µm; por otro lado, la longitud de las fibras (Lf) disminuye de la sección X a XY con valores de 525,26 µm a 488,68 µm. León (2010) menciona que mayores proporciones de tejido de conducción, bien sea por el diámetro o frecuencia, generan reducciones en el valor de la densidad o peso específico, concordando con los resultados del presente estudio, ya que de la sección X a XY se da un aumento de la Dp como se mencionó anteriormente, y se presentó una disminución de las densidades entre las mismas secciones, a diferencia de lo que menciona el autor sobre la incidencia del aumento en el grosor de la pared de las fibras y su volumen en el incremento en la densidad o peso específico, la especie presentó una relación inversa entre el espesor de la pared de la fibra y la densidad de la madera.

Variación de propiedades físico-mecánicas y características anatómicas

Características anatómicas entre secciones

La densidad de los poros (Dp) no presentó diferencias significativas en las tres secciones del fuste (tabla 12). El espesor de la pared de las fibras (Ef) y la longitud de la fibra (Lf) presentaron diferencias significativas, donde el Ef presentó un $p<0,01$ para las secciones X-XY, y un $p<0,05$ para las secciones Y-XY; mientras que la Lf presentó un $p<0,01$ para las secciones X-XY, y un $p<0,001$ para las secciones Y-XY (tabla 12).

Tabla 12. Estadísticos de las características anatómicas entre secciones de los individuos y secciones dentro de cada individuo, valor del estadístico F para ANOVA, X2 para Kruskal- Wallis significancia: * p< 0,05; ** p< 0,01; *** p< 0,001

Característica anatómica	Secciones	Individuos		
		1	2	3
Dp	2,418	1,551	0,688	5,469*
Ef	10,49**	3,314*	19,238***	52,176***
Lf	8,078***	0,147	10,26**	15,578***

En el estudio realizado por Gálvez et al (2020), no encontraron diferencias significativas del espesor de la pared de la fibra en tres niveles longitudinales, pero sí encontraron diferencias significativas de la frecuencia de poros de la base del fuste al ápice; sin embargo, al igual que en el presente estudio no encontraron diferencias para la longitud de las fibras en la base y la sección media. Los autores señalan que en sentido longitudinal se encuentra una disminución de la longitud de las fibras y elementos del vaso desde el ápice hasta la base. Esta variación se relaciona con la edad juvenil y madura de la madera, igualmente su estudio demostró que existe una tendencia de aumento de la frecuencia de poros hacia el ápice.

La disminución de la longitud de la fibra conforme aumenta la altura fue descrita para *Fagus orientalis* y *Abies nordmanniana* por Topaloglu & Erisir (2018) quienes encontraron diferencias significativas, al igual que en el espesor de la pared de la fibra que presentó diferencias significativas a lo largo del fuste para estas especies.

Ahora bien, los individuos 1 y 2 no presentaron diferencias significativas de la Dp, pero el individuo 3 presentó diferencias entre las secciones X-XY ($p<0,05$). En la Lf, los individuos 2 y 3 presentaron diferencias significativas, el individuo 2 la presentó en la sección Y-XY ($p\leq0,001$) y el individuo 3 las presento entre las secciones X-XY ($p\leq0,001$) y Y-XY ($p<0,01$), mientras que el individuo 1 no presentó diferencias a lo largo del fuste. El Ef presentó diferencias en los tres individuos, para el 1 esta diferencia se dio entre las secciones X-XY ($p<0,05$), para el individuo 2 entre las secciones X-XY ($p<0,001$) y Y-XY ($p<0,001$), y para el individuo 3 entre las secciones X-XY ($p<0,001$) y Y-XY ($p<0,001$).

Propiedades físicas entre secciones

Como se puede observar en la tabla 13, las densidades verde (Dv), densidad anhidra (Da), densidad seca al aire (Dsa), densidad básica (Db), y volumen poroso (Vp) no presentaron diferencias significativas a lo largo del fuste (tabla 15) concordando con lo obtenido por Huaynayala (2018), puesto que para las densidades anteriormente mencionadas en las especies *Caryocar glabrum* y *Brosimum rubescens* no se encontraron diferencias en los tres niveles longitudinales del fuste, por su parte Kiaei & Farsi (2016) si encontró diferencias significativas de la densidad anhidra a distintos niveles longitudinales dentro del fuste en la especie *Albizia julibrissin,*en tanto que Melo (2015), encontró diferencias significativas de la densidad básica a lo largo del fuste de *Pinus taeda*, resaltando que se encontró una relación inversa de la densidad con la altura, la variación de la densidad anhidra no siguió la tendencia descrita por González et al (2013) para la especie *A. alba*, donde se presentaron diferencias significativas, en cuanto a la densidad seca al aire Topaloglu & Erisir (2018) encontraron diferencias a lo largo del fuste para esta propiedad la cual disminuyó al aumentar la altura del árbol en las especies *Fagus orientalis* y *Abies nordmanniana,* esta disminución se explica por la disminución del espesor de la pared de la fibra a mayor altura, aspecto señalado también por Cato et al (2006), por el contrario, los autores Machado et al (2014) en el estudio realizado para la especie *Acacia melanoxylon* encontraron que la densidad seca al aire aumentó del 35 al 65% de altura.

Tabla 13. Estadísticos de las propiedades físicas entre secciones de los individuos y secciones dentro de cada individuo, valor del estadístico F para ANOVA, X2 para Kruskal- Wallis significancia: * p< 0,05; ** p< 0,01; *** p< 0,001.

Prueba	Secciones	Individuos		
		1	2	3
CHPSF	7,5076*	3,4261	11,35**	16,64***
CHLibre	1,1943	8,54*	1,1152	3,0752
CHMAX	2,164	7,22*	1,1846	0,689
Dv	3,8464	9,56**	0,8154	3,6297
Dsa	0,403	8,06*	0,5404	3,0174
Da	0,822	12,4**	1,1154	3,0857
Db	1,475	8,04*	0,8077	0,22
Vp	0,822	12,3**	1,1154	3,0857
Ctt	1,087	0,422	5,678*	0,477
Ctpn	4,7716	4,421*	6,687*	1,829
Ctp	4,7716	4,421*	6,687*	1,829
Crt	6,613**	0,12	5,935*	10,96**
Crpn	7,1134*	3,242	5,996*	7,744*
Crp	7,1134*	3,242	5,996*	7,744*
Cvt	7,4262*	3,4261	11,54**	16,78***
Cvpn	3,9104	6,32*	3,3923	6,453*
Cvp	3,9104	6,32*	3,3923	6,453*
CED	4,0644	0,008	0,223	7,636*
Htt	1,105	10,22**	5,634*	0,484
Htpn	4,6445	9,38**	6,97*	1,752
Htp	4,6445	9,38**	6,97*	1,752
Hrt	5,853**	0,123	4,565*	10,73**
Hrpn	7,972*	3,199	4,813*	6,474*
Hrp	7,972*	3,199	4,813*	6,474*
Hvt	7,897*	3,426	9,296**	13,82**
Hvpn	5,242	6,32*	3,268	5,372*
Hvp	5,242	6,32*	3,268	5,372*

Por su parte Batista et al, (2020) hallaron una disminución en la densidad básica en dirección base copa del árbol, para las especies *Mimosa tenuiflora, Aspidosperma pyrifolium, Oncocaliz auxemma, Mimosa ophthalmoocentra* pero para la especie *Mimosa caesalpiniifolia* no se encontró una relación significativa entre las variables, de hecho Araújo et al, (2016) mencionan igualmente que para la densidad básica en la especie *Calycophyllum spruceanum* no mostró variaciones significativas a lo largo del fuste, pero resaltan que otros factores como la edad del árbol, edad de intercambio, factores genéticos, tasa de crecimiento del árbol, condiciones climáticas, tratamientos silvícolas, el sitio, el muestreo del tronco entre otros, contribuyen a la variación de dicha densidad. Para la especie *Araucaria angustifolia* Zaque et al (2017) encontraron diferencias significativas para la densidad básica dentro del fuste y una correlación directa entre esas variables.

El contenido de humedad en el punto de saturación de las fibras (CHPSF) presentó diferencias significativas con un $p<0,05$, esta diferencia se dio entre las secciones X-XY, en cuanto al contenido de humedad máximo y libre (CHMAX y CHLIBRE), no se presentaron diferencias entre las secciones. Ahora bien, como se mencionó anteriormente se presentó un aumento de los contenidos de humedad conforme aumenta la altura del fuste indicando que el contenido de humedad es inverso a la densidad de la madera, aspecto señalado igualmente en el estudio hecho por Batista et al, (2020) donde las especies estudiadas también presentaron aumento del contenido de humedad verde, conforme aumentaba la altura. Por otro lado, Burga (2017) encontró diferencias significativas del contenido de humedad en el punto de saturación de las fibras, ya que en el nivel apical se dio un valor inferior en comparación con los niveles medio y basal.

La contracción tangencial total, parcial normal y parcial no presentó diferencias significativas en las tres secciones del fuste, mientras que las contracciones radial total, parcial normal y parcial si presentaron diferencias significativas entre las secciones X-XY con $p<0,05$; la contracción volumétrica total presentó un $p<0,05$ pero las contracciones volumétricas parcial normal y parcial no presentaron diferencias significativas, a su vez la hinchazón tangencial total, parcial normal y parcial no presentaron diferencias significativas en las secciones del fuste pero las hinchazones radiales sí presentaron diferencias significativas con $p<0,05$ en las secciones X-XY, mientras que la hinchazón volumétrica total cuenta con diferencias significativas en las secciones X-XY, pero en las hinchazones parcial normal y parcial no hay diferencias. Por último, el coeficiente de estabilidad dimensional no mostró diferencias significativas en las tres secciones del fuste estudiadas.

La tendencia de disminución de la contracción volumétrica en el fuste fue análoga a la obtenida por González et al. (2013) para *Abies alba*, el autor menciona que se puede presentar debido a la longitud de las traqueidas ya que el tamaño de las traqueidas es directamente proporcional a la disminución del en ángulo de microfibrillas, presentando una relación decreciente la contracción tangencial y radial. A su vez Topaloglu & Erisir (2018) reportaron que los porcentajes totales de contracción e hinchazón disminuyeron en una altura de 1,30 m a 12,30 m, donde los mayores valores se encontraron a la altura de 1,30 m, la prueba Duncan realizada confirmó que existían diferencias significativas entre las contracciones e hinchazones de las especies a lo largo del tallo.

Por su parte, Araújo et al. (2016) hallaron que tanto la contracción volumétrica y radial no presentaron diferencias significativas a lo largo del fuste, pero la contracción tangencial si presentó diferencias significativas, para esta contracción los valores en la base fueron más altos que los de la parte superior. Huaynayala (2018) no encontró diferencias significativas para la contracción tangencial, radial y volumétrica de *Caryocar glabrum, Diplotropis racemosa* y *Brosimum rubescens* a lo largo del fuste deduciendo que el contenido de humedad máximo de la madera es similar a lo largo del fuste. Burga (2017) encontró que los niveles longitudinales no influyen sobre los valores de contracción volumétrica para *Tachigali setifera* y *Hymenolobium pulcherrimum.*

Los individuos 2 y 3 no presentaron diferencias significativas en las densidades verde, anhidra, seca al aire y básica, pero el individuo 1 si presentó diferencias significativas en las densidades verde, anhidra, seca al aire y en la densidad básica, en cuanto al volumen poroso el individuo 3 presento diferencias significativas, en cuanto a los contenidos de humedad el contenido de humedad libre y máximo no presentaron diferencias entre los individuos y el contenido de humedad en el punto de saturación de fibras presento diferencias en el individuo 2.

En cuanto a las contracciones e hinchazones, para el individuo 1 la contracción volumétrica parcial normal y parcial, la hinchazón tangencial total, parcial normal y parcial presentaron diferencias en el fuste, el individuo 2, las contracciones tangenciales y radiales total, parcial normal y parcial, la hinchazón tangencial total, parcial normal y parcial presentaron diferencias en el fuste, el individuo 3 las contracciones radial y volumétrica total, parcial normal y parcial, la hinchazón radial total, parcial normal y parcial y el CED presentaron diferencias en el fuste.

Propiedades mecánicas entre secciones

La compresión paralela presentó diferencias significativas para la resistencia máxima (RM) y la resistencia en el límite proporcional (RLP) a lo largo del fuste. Para la RM entre las secciones X-XY dicha diferencia presentó un p<0,001 y entre las secciones Y-XY un p<0,001, en la RLP las secciones X-XY se dio un p<0,001 al igual que en las secciones Y-XY. En el módulo de elasticidad (MOE) no se presentaron diferencias significativas. En cuanto a la flexión estática, solamente el MOE presentó diferencias significativas, en las secciones X-Y con un p<0,01, mientras que la RM y RLP no presentaron diferencias estadísticamente significativas. Por último, el cizallamiento presentó diferencias significativas entre las secciones X y XY con un p<0,05 y entre las secciones X y Y con un p<0,01 (tabla 14).

Tabla 14. Estadísticos de las propiedades mecánicas entre secciones de los individuos y secciones dentro de cada individuo, valor del estadístico F para ANOVA, X2 para Kruskal- Wallis significancia: * p< 0,05; ** p< 0,01; *** p< 0,001.

Prueba		Secciones	Individuos		
			1	2	3
F	RM	1,35	1,228	0,1629	0,265
	MOE	5,84**	3,835	0,59	4,072*
	RLP	0,653	0,78	0,4764	0,007
CP	RM	19,11***	15,51***	10,82**	8,517**
	MOE	1,184	2,037	3,279	10,86**
	RLP	12,56***	8,732***	11,58**	11,36**
C	EUM	16,494***	8,056**	4,279*	4,5

Se observa que el comportamiento de la flexión estática a lo largo del fuste de *C. yavizanum* concuerda con lo encontrado por Kiaei y Farsi (2016) en cuanto al MOE, ya que registraron diferencias significativas a lo largo del fuste, pero difieren de nuestro estudio en que para la RM encontraron diferencias significativas en las secciones del fuste. Para la compresión paralela de *Abies alba* González et al. (2013) no encontraron diferencias significativas para el MOR y MOE y resistencia al impacto, mencionando que, debido a la alta dispersión de los datos, no se logró un ajuste de los mismos a ningún modelo, concluyendo que no existe un patrón definido de estas tres propiedades a lo largo del tallo del árbol. Mientras que Topaloglu & Erisir (2018), encontraron diferencias significativas de la resistencia a la compresión paralela a lo largo del tallo, y observaron una tendencia decreciente de 1,30 m a 12,30 m en la resistencia a la compresión para las dos especies estudiadas. En el estudio realizado por Machado et al. (2014), no identificaron diferencias

significativas de las propiedades mecánicas de la madera de *Acacia melanoxylon* (resistencia a la flexión MOE y compresión paralela) a lo largo del tallo.

Por su parte, Pérez (2019) menciona que no hay diferencias significativas para la flexión estática, compresión paralela y cizallamiento en la especie *Septtheca tessmannii.* Para la especie Jelutong se encontraron variaciones consistentes en los valores de MOR y MOE en flexión estática a lo largo del fuste, donde los valores más altos se dieron en la parte basal, mientras que los valores más bajos se dieron en la parte media, para la especie Khaya los valores de MOR y MOE en flexión estática no fueron significantes, pero tres árboles mostraron valores de MOR bajos en la zona media. Para la especie Jelutong los valores más bajos de compresión paralela se dieron en la zona media del fuste y los más altos en la zona baja y para la especie Khaya la compresión paralela no mostró diferencias significativas. En cuanto al cizallamiento la especie Khaya tuvo menor resistencia en la zona baja del tronco mientra que la especie Jelutong registró los valores más altos en la zona baja (AW Mohd & Khairul, 2016).

La compresión paralela en el individuo 1 y 2 se presentaron diferencias en la RM y la RLP, y en el individuo 3 se presentó diferencias en la RM, RLP y MOE. En cuanto a la flexión estática se presentaron diferencias significativas en el individuo 3 en el MOE. Por ultimo, para el esfuerzo de cizallamiento se presentaron diferencias significativas en el individuo 1 en las secciones X-XY (tabla 14).

En cuanto a la variación longitudinal de las propiedades físico-mecánicas y características anatómicas, la variación de las características anatómicas fue evidente dentro de cada individuo, demostrando así la importancia del análisis de estas características de la madera. Por su parte, para las propiedades físico-mecánicas, los tres individuos estudiados demostraron una mayor cantidad de comportamientos similares entre los individuos a lo largo del fuste.

Es de anotar que la amplia variación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera muestran la complejidad de su comportamiento que se da por factores genéticos y ambientales, haciendo que los análisis de este comportamiento sean realizados con base en la especificidad de cada especie y de su procedencia y/o manejo silvicultural.

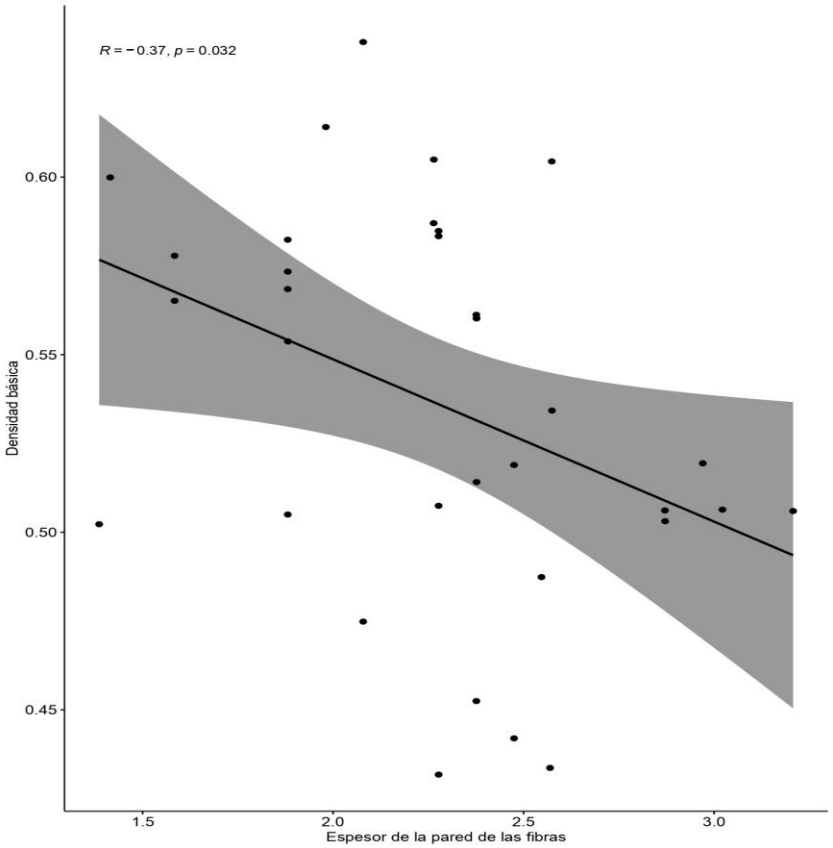
Análisis de la incidencia de las características anatómicas sobre las propiedades físicas y mecánicas.

En la tabla 15 se observa los valores de R^2, en donde se encuentran resaltadas las correlaciones que fueron significativas, las cuales fueron densidad básica con el espesor de la fibra y densidad anhidra con el espesor de la fibra, obteniendo relación negativa, con un valor de R^2 mediano, indicando que a medida que aumenta el espesor de la fibra la densidad disminuye (figura 5).

Tabla 15. Valores de R2 para las diferentes variables de las propiedades físicas y mecánicas correlacionadas con las características anatómicas.

Variables	Ef		Lf		Dp	
	R^2	P	R^2	P	R^2	P

Db	**-0,37**	**0,032**	0,063	0,73	0,25	0,16
Da	**-0,35**	**0,046**	0,083	0,65	0,18	0,32
CHPSF	-0,1	0,57				
F RM	0,14	0,43	0,058	0,75	-0,01	0,58
F MOE	0,084	0,64	0,01	0,96	0,045	0,8
C	0,064	0,72	0,093	0,61	-0,2	0,27
Cp RM	0,089	0,62	0,26	0,15	0,061	0,74



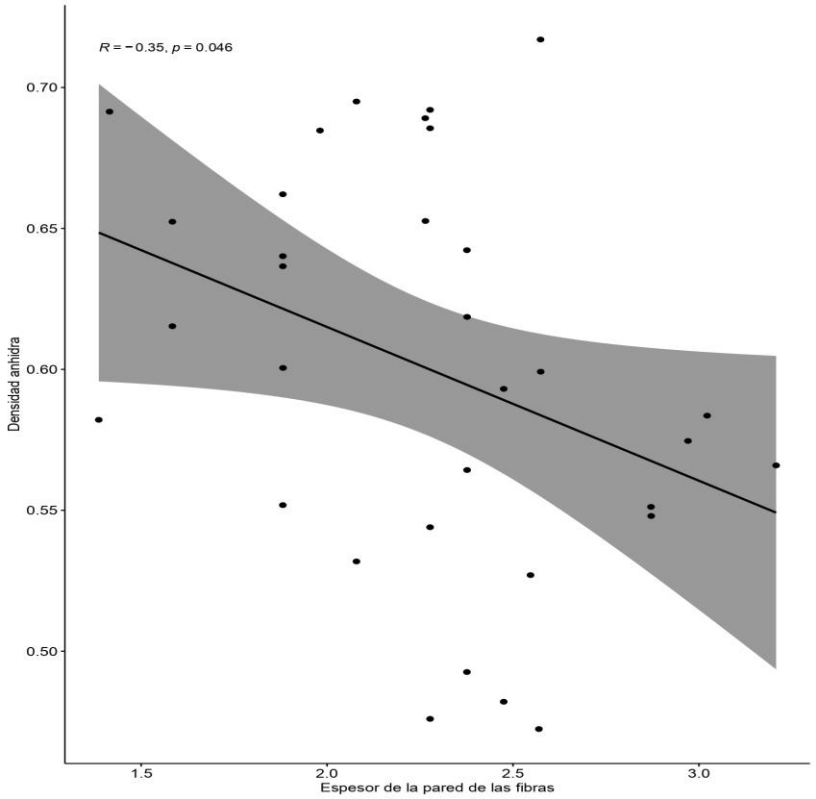


Figura 5. Correlaciones significativas entre las variables espesor de la fibra y densidad básica y anhidra, con relación negativa con un R2 mediano.

Debido a los valores obtenidos no se encontró una relación significante en las demás variables anatómicas, lo que impide explicar el comportamiento de las demás propiedades físico- mecánicas con las características anatómicas, por lo cual se realizó un análisis de componentes principales para observar el comportamiento de todas las variables estudiadas y especificar la variación de cada una.

El análisis de componentes principales (ACP) (figura 6) mostró en sus dos componentes una explicación de la varianza total del 49,7%, el componente 1 explica el 34,5% de la varianza total, siendo la densidad seca al aire (Dsa) y densidad anhidra (Da) quienes más aportan de manera positiva al componente, en el sentido negativo, las variables que más aportan a la varianza son el volumen poroso (Vp) y contenido de humedad libre (CHLIBRE). Por otro lado, componente 2 explica el 15,2% de la varianza, donde las hinchazones radiales parcial normal y parcial aportan en gran medida en el sentido positivo del componente, mientras que en el sentido negativo las variables que más aportan son el coeficiente de estabilidad dimensional (CED) y el contenido de humedad en el punto de saturación de fibras (CHPSF).

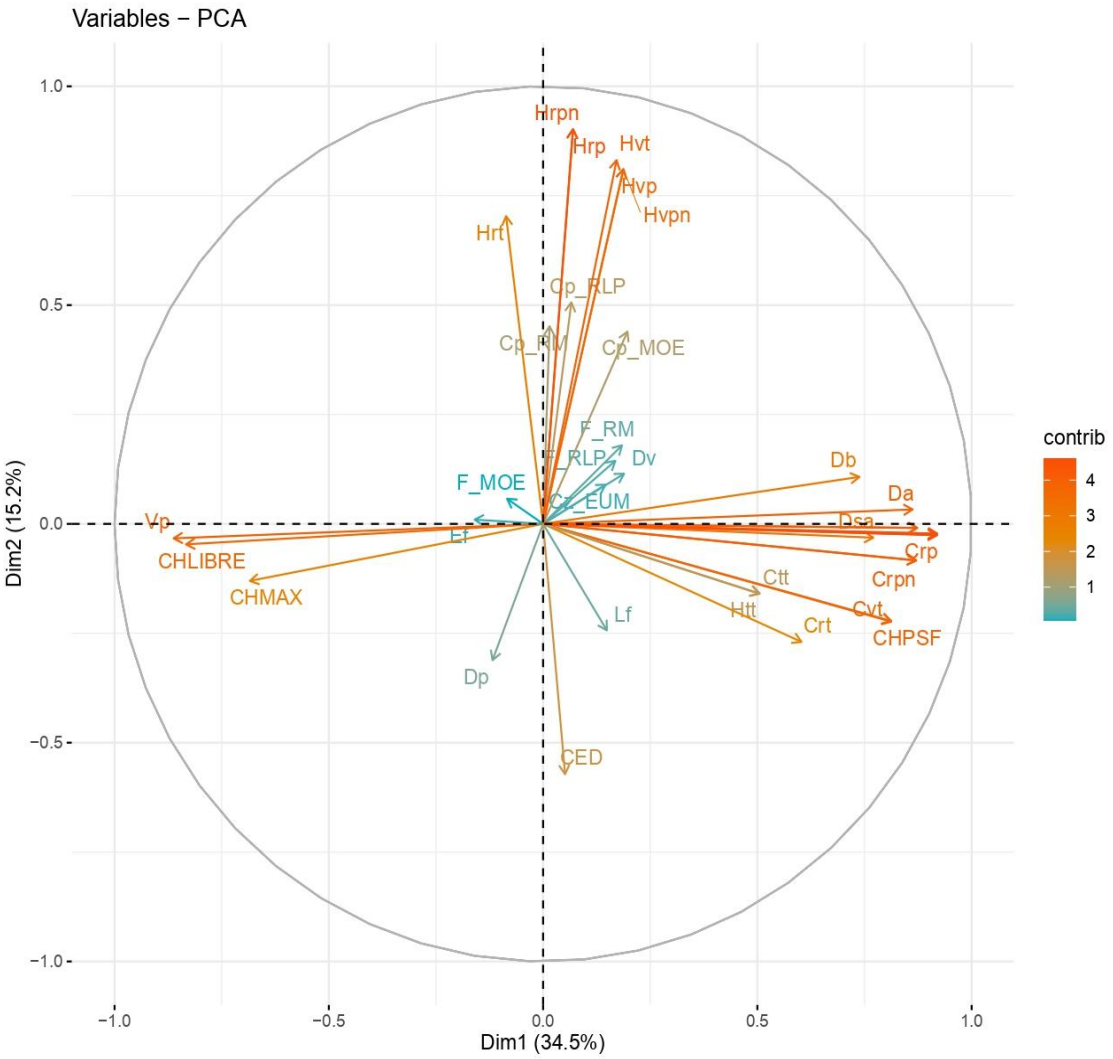


Figura 6. Análisis de componentes principales, para características anatómicas y propiedades físicas.

Usos potenciales

En la tabla 16 se encuentran los usos potenciales determinados para *C. yavizanum,* se pueden observar los usos potenciales de cada sección, los cuales se establecieron mediante una jerarquización, de acuerdo con los valores mínimos y máximos obtenidos para la sección en las propiedades físico-mecánicas y los distintos usos asociados a estas propiedades, donde el color azul oscuro representa la secciones de uso primario, en azul cielo la sección de segundo orden y en azul más claro las secciones que presentaron características óptimas para ese uso pero no es primario, por las propiedades obtenidas para esta sección.

Es así como se establece que la especie en general se puede utilizar para acabados de interiores, sillas, artesanías, cabos de herramientas, contrachapados, carpintería, durmientes, construcción en general,

ebanistería, empaques, encofrado, escaleras, implementos agrícolas, juguetería, muebles, pisos, productos moldurados y vigas. Para la sección X se determinaron los usos anteriormente descritos como prioritarios debido a las propiedades mecánicas y físicas obtenidas, para la sección Y se establece como uso prioritario el acabado de interiores, cabos para herramientas, contrachapados, carpintería, ebanistería, encofrados, pisos, productos moldurados y vigas, y finalmente para la sección XY se establecen como usos prioritarios carpintería y ebanistería.

Tabla 16. Usos potenciales de las secciones de *C. yavizanum*.

Secciones / **Usos**	**X**	**Y**	**XY**
acabado de interiores			
armazón para silla			
artesanías			
Cabos para herramientas			
Contrachapados			
Carpintería			
Durmientes			
Construcción			
Ebanistería			
Empaques			
Encofrados			
Escaleras			
Implementos agrícolas			
Juguetería			
Muebles			
Pisos			
Productos moldurados			
Vigas			

uso primario	
uso secundario	
uso terciario	

En comparación con la especie *Centrolobium paraense* donde la ITTO (2021) reporta que es utilizada para vigas, tableros, pisos, muebles, contrachapados, muebles, sillas, palos del golf, mangos de herramientas, herramientas agrícolas, contenedores, construcción naval, botes, la especie *C. yavizanum* de acuerdo con lo obtenido anteriormente para los usos prioritarios y con los valores de las propiedades físicas y mecánicas, se convierte en una especie con potencial comercial para ser utilizada al mismo nivel de *Centrolobium paraense.* Según lo reportado por Pastrana et al., (2017) la especie es utilizada en Córdoba principalmente para postes de corral y alambrados, vigas para la construcción de casas y ebanistería, usos que concuerdan con los resultados obtenidos en el presente estudio.

CONCLUSIONES

Centrolobium yavizanum presenta una resistencia mediana en las propiedades mecánicas en flexión estática y compresión paralela a lo largo del fuste, permitiendo establecer los usos potenciales de la especie. En cuanto a las propiedades físicas, los valores de densidad anhidra y básica indicaron que es una madera medianamente pesada, también se determinó que el espesor de la pared de la fibra incide en los valores de estas densidades a lo largo del fuste.

En cuanto a las características anatómicas de la especie se encontró una semejanza con la especie *Centrolobium paraense* en sus características macro y microscópicas, en cuanto a la variación lognitudinal de las características biométricas *C. yavizanum* presentó un comportamiento similar a otras investigaciones realizadas para otras especies, ya que la densidad de poros y el espesor de la pared de las fibras aumentan desde la sección basal a la apical, mientras que la longitud de las fibras disminuye desde la sección basal a la apical.

Conforme a los análisis estadísticos realizados se pudo determinar que entre las secciones del fuste la densidad de poros no presentó diferencias significativas, pero la longitud de las fibras y el espesor de la pared si presentaron diferencias a lo largo del tallo.

Las variaciones longitudinales de las propiedades físicas se presentaron únicamente para el CHPSF, mientras que, para las densidades, el volumen poroso y los cambios dimensionales no se presentaron diferencias significativas. En cuanto a las propiedades mecánicas se presentaron diferencias a lo largo del fuste para la compresión paralela, el MOE para la resistencia a la flexión y el cizallamiento.

Los usos potenciales determinados para *C. yavizanum* indican que la especie cuenta con un alto valor comercial, ya que puede ser utilizada tanto en la construcción como en la elaboración de muebles y artesanías, mostrando que la especie tiene la capacidad de ser posicionada en el mercado al mismo nivel de las especies *C. paraense, Tabebuia rosea, Vitex cooperi, Carapa guianensis, Cariania pyriformis, Couma macrocarpa, Calophyllum mariae,* y *Schizolobium parahyba.*

RECOMENDACIONES

Se recomienda para futuras investigaciones incluir las variables analizadas en el presente estudio y otros aspectos anatómicos y mecánicos, que permitan ampliar la información técnica de la especie para que cuente con un mayor espacio en el mercado, permitiendo a la industria enriquecer la oferta maderera. Además de la necesidad de realizar estudios de secado, procesamiento y trabajabilidad de la madera de tal manera que permitan a la especie posicionarse comercialmente.

BIBLIOGRAFÍA

Adebawo, F., Ajala, O., & Aderemi, T. (2019). Variation of physical and mechanical properties of Boscia angustifolia (A. RICH) wood along radial and axial stem portion. Pro Ligno, vol 15. pag 34-42.

Araújo, B., Sousa, M., Nascimiento, H., Zanuncio, A., Sousa, D., & Guedes, M. (2016). Physical properties of Calycophyllum spruceanum Benth. wood according to the diameter and position (base and top) in the stem. Scientia Forestalis, Vol 44. 11. 759-768.

Aróstegui, A. (1982). Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas. Lima.

ASTM (American Society for Testing and Materials) (1996). Annual Book of ASTM Andards. Section 4 Construction. Volume 04. 10 Wood. Pennsylvania, United States. P. 23-39, 556-559.

AW Mohd, J., & Khairul, M. (2016). Variations of mechanical properties in plantation timbers of Jelutong (Dyera costulata) and Khaya (Khaya ivorensis) along the radial and vertical positions. Forest Science, 114-120.

Bárcenas, G., Ortega, F., Angeles, G., & Ronzón, P. (2005). Relación estructura - propiedades de la madera angiospermas mexicanas. Universidad y Ciencia, 21 (42): 45-55.

Batista, F., Melo, R., de Madeiros, D., dos Santos, A., Freitas, C., da Silva, E., & Pimenta, A. (2020). Longitudinal variation of wood quality in the five forest species from Caatinga. Brasileira de Ciências Agrárias, 15 (4) 1-9.

Blanco, J. (2020). CARACTERIZACIÓN DE LAS 30 ESPECIES FORESTALES maderables más Movilizadas en Colombia provenientes del bosque natural. Bogotá.

Burga, V. (2017). Influencia de los niveles longitudinales del fuste en los coeficientes de contracción y en el punto de saturación de las fibras de la madera de dos especies forestales del bosque de Macuya-UNU, región Ucayali. Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali.

Cato, S., McMillan, L., Donaldson, L., Richardon, T., Echt, C., & Gardner, R. (2006). Wood formation from the base to the crown in Pinus radiata: gradients of tracheid wall thickness, wood density, radial growth rate and gene expression. Plant molecular biology, 60 (4). 565-581.

Gálvez, G., Da Rocha, M., Klitzke, R., & Mora, H. (2020). Caracterización anatómica y variabilidad de los componentes de la madera de Calycophyllum spruceanum (Benth). Ciencia de Madeira, 11.

Gobernación del Guaviare (19 de octubre del 2021). Información General del Departamento. Tomado de: https://www.guaviare.gov.co/

González, B., Esteban, L., Palacios, P., García, F., & Guindeo, A. (2013). Variación de las propiedades físico-mecánicas de la madera de Abies alba Mill. de los Pirineos españoles, a lo largo del tronco del árbol. Madera de bosques, vol 19.

Guevara, H. (2001). Propiedades físico - mecánicas de la madera, Bogotá D.C. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Huaynalaya, F. (2018). Evaluación de las propiedades físicas de la madera de tres especies forestales y su variación por niveles longitudinales del fuste, provenientes de la cuenca del río Utuquinia-Provincia Coronel Portillo-Región Ucayali. Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali.

ITTO. (2 de 10 de 2021). Centrolobium paraense. Obtenido de tropicaltimber: http://www.tropicaltimber.info/es/specie/arariba-centrolobium-paraense/#lower-content

Jansen, D., Kitin, P., De Pauw, H., Idris, M., Beeckman, H. & Smets, E. (1998). Preparation of wood specimens for transmitted light microscopy and scanning electron microscopy. Belgian Journal of Botan, 131 (1), 41–49.

Jiménez, J., & Muñoz, V. (2007). Metodología del Estudio de las propiedades físico - mecánica,y usos posibles de las especies florísticas Castaño (Scleronema Nº 2) y Creolino (Clathrotropis cf macrocarpa), de los bosques naturales del corregimiento de Tarapacá. Tarapacá: CORPOAMAZONIA.

Kiaei, M., & Farsi, M. (2016). Variación longitudinal en densidad, resistencia a flexión y rigidez de la madera 'de seda' persa. Madera bosques, vol 22.

Klinger, W., & Talero, Y. (2001). Propuesta metodológica para la identificación de usos potenciales de la madera a partir de parámetros fisiomecánicos cuantitativos. Colombia Forestal, vol 7. 14.

León, W. (2010). Anatomía y densidad o peso específico de la madera. Revista Forestal Venezolana, 54 (1) 67-77.

Llach, L. (1971). Propiedades físicas y mecánicas de ciento trece especies. Informe Técnico. Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.

Londoño, A. (2008). Anatomía de Maderas. Tolima: Universidad del Tolima.

Machado, J., Louzada, J., Santos, A., Nunes, L., Ofélia, A., Rodriguez, J., . . . Pereira, H. (2014). Variation of wood density and mechanical properties of blackwood (Acacia melanoxylon R. Br.). Materials & Design, 975-980.

MAE; FAO. (2014). Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales – Ecuador. Quito.

Melo, R. (2015). Radial and longitudinal variation of Pinus taeda. wood basic density in different ages. Amazonia.

Morgado, R., Gutiérrez, L., García, P., Tairis, A., Toro, M. E., Gómez, L., & & Velásquez, J. (2010). Variación longitudinal del peso específico en la madera de Centrolobium paraense Tul.(Fabaceae).

Negret, B. (2016). La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Niklas, K. (1993). Influence of Tissue Density-specific Mechanical Properties on the Scaling of Plant Height. Annals of Botany, vol 72. p 173-179.

Pastrana, J., Lezcano, C., & Muskus, M. (2017). Análisis estructural de la vegetación arbórea de la vereda la Corocita perteneciente al municipio de Sahagún, departamento de Córdoba, Colombia. Córdoba.

Peraza, L. (2016). Madera Generalidades. Obtenido de infomadera: https://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_2_Maderageneral.pdf

Pérez, S. (2019). Determinación de algunas propiedades mecánicas de la madera de la especie Septotheca tessmannii Ulbr (Utucuro), y su variabilidad en tres niveles longitudinales del fuste, procedentes de los distritos de Callería e Iparia-Ucayali. Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali.

Pulido E., Otavo. E., Solórzano J., Mogollón S., Quintero A., Amado S., Suarez S., & Ariza J. C. (2018). Propiedades físico-mecánicas y uso de 17 especies forestales. Unidad de Ordenación Forestal Yarí-Caguán, municipio de Cartagena del Chairá, departamento del Caquetá. . Bogotá D.C: Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia (Corpoamazonia) y Universidad Distrital Francisco.

Ríos, A., & Peña, A. (2020). Estadística inferencial. Elección de una prueba estadística no paramétrica en investigación científica. Horizonte de la Ciencia, 10 (19). 191-208.

Rosales, E. (2020). Ecuaciones de niveles de humedad relacionada a la densidad básica de la madera de especies forestales tropicales en Madre de Dios, Perú. Forestal Mesoamericana Kurú, 33-43.

Ruiz, L., Gradstein, R., & Bernal. (2015). Centrolobium yavizanum Pittier. Bogotá: Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia.

Scholz, A., Klepsh, M., Karimi, Z., & Jansen, S. (2013). How to quantify conduits in wood? Frontiers in Plant Science.

SINCHI. (2 de septiembre de 2021). Sinchi. Obtenido de Estación Experimental El Trueno: https://sinchi.org.co/estacion-experimental-el-trueno1

Spavento, E., Keil, G., & Monteoliva. (2008). Propiedades Mecánicas de la Madera, curso de xilotecnología. La Plata: Universidad de La Plata.

Tamarit, J., & Fuentes, M. (2003). Parámetros de humedad de 63 maderas latifoliadas mexicanas en función de su densidad básica. Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 155-164.

Topaloglu, E., & Erisir, E. (2018). Longitudinal variation in selected wood properties of oriental beech and caucasian fir. Maderas, Ciencia y Tecnología, vol 20.

WWF. (2012). Catálago de Maderas de Panamá . Panamá: Maderas de Panamá.

WWF. (2013). Maderas de Colombia. Amazonas Norte y Chocó Darién: WWF.

Zaque, L., Ferreir, M., & Melo, R. (2017). Variação radial e longitudinal da massa especí□ca básica da madeira de Araucaria angustifolia com diferentes idades. 38: Pesquisa Florestal Brasileira.

Zhang, S. (1996). Wood specific gravity-mechanical property relationships at species level. Wood Science and Technology, 30: 181-191.

ANEXOS

Tabla 17. Valores estadísticos entre las secciones.

Entre Secciones									
Propiedades	Variable	ANOVA	Tukey			Kruskal-Wallis	Prueba U		
			XY-X	Y-XY	X-Y		XY-X	Y-XY	X-Y
Anatómicas	Dp	2,418							
		0,101							
	Ef					10,49	0,0061	0,034	0,489
						0,0052			
	Lf	8,078	0,014	0,0003	0,54				
		3,58E-04							
Físicas	Dv					3,8464			
						0,1461			
	Da	0,822							
		0,447							
	Dsa	0,403							
		0,671							
	Db	1,475							
		0,242							
	Vp	0,822							
		0,447							
	CHPSF					7,5076	0,02	0,96	0,15
						0,02343			
	CHLIBRE					1,1943			
						0,5504			
	CHMAX	2,164							
		0,129							
	Ctt	1,087							
		0,348							
	Ctpn					4,7716			
						0,09201			
	Ctp					4,7716			
						0,09201			
	Crt					6,613	0,0029	0,076	0,537
						0,0035			
	Crpn					7,1134	0,018	0,413	0,331
						0,02853			
	Crp					7,1134	0,018	0,413	0,331
						0,02853			
	Cvt					7,4262			
						0,0244			
	Cvpn					3,9104			
						0,1415			
	Cvp					3,9104			
						0,1415			
	Htt	1,105							
		0,342							
	Htpn					4,6445			
						0,09805			
	Htp					4,6445			
						0,09805			
	Hrt	5,853	0,00472	0,272	0,306				

		0,0067							
	Hrpn					7,972 0,0186	0,026	0,861	0,056
	Hrp					7,972 0,0186	0,026	0,861	0,056
	Hvt					7,897 0,0193	0,025	0,676	0,082
	Hvpn					5,242 0,0727			
	Hvp					5,242 0,0727			
	CED					4,0644 0,131			
Mecánicas	Cp_RM	19,11 1,25E-06	2,00E-06	8,86E-05	0,48				
	Cp_MOE	1,184 0,316							
	Cp_RLP	12,56 5,30E-05	1,58E-04	4,31E-04	0,944				
	Fr_RM	1,35 0,27							
	Fr_MOE	5,84 5,74E-03	0,0565	0,616	0,0052				
	Fr_ RLP	0,653 0,526							
	Cz					16,49 2,62E-04	0,047	0,106	2,00E-05

Tabla 188. Matriz de determinación de usos potenciales.

Usos	Propiedades físicas			Propiedades mecánicas				
	Db	CED	Contracción v	Cizallamiento	Flexión RM	Flexión MOE	CP	Usos
Valores Total	0,539	2,69	10,604	160,1355	938,398	10239,121	502,23	
Sección x	0,549	2,889	8,613	173,262	979,1515	10962,17	596,017	
Sección y	0,552	2,86	11,636	149,4575	907,338	9697,8905	549,214	
Sección xy	0,52	2,4	11,706	159,188	928,7035	10057,2985	361,465	
Vitex cooperi	0,54	2.2			914	10700	562	La madera se utiliza para construcción en general e interna, durmientes de ferrocarril, pisos, carpintería, muebles, chapados y contrachapados y mangos de herramientas.
Tabebuia roseae	0,54	1,5			1130	12150		Contrachapado decorativo y de uso general, mueble finos, puertas, acabados interiores, pisos, artículos deportivos, mangos para

								implementos agrícolas y para construcciones en genera
Carapa guianensis	0,49	1,83	11,9			12959	765	Carpintería, ebanistería en general, muebles, productos para revestimientos de interiores, construcciones normales, carretería, botes, pisos (parquet) y gabinetes. Potencial: Uso especial en vigas y mástiles, chapas, productos moldurados, crucetas, postes, pulpa e instrumentos musicales Nariño
Cariniana pyriformis	0,5		11		1040	13469		Construcción general y carpintería, componentes de muebles, acabados interiores, construcción naval, pisos, chapas para contrachapado, carretería y tornería
Couma macrocarpa	0,56	1,6	10,4		1170	9316		Construcción (vigas, viguetas, pisos, escaleras), muebles, chapas y contrachapados, empaque liviano, artesanías, tableros aglomerados y enlistonados, molduras, juguetes (
Calophyllum mariae	0,51	1,65	16,8		900	12653		Construcciones interiores, traviesas, minería, carrocerías, canoas, partes de barcos, carpintería, pisos, muebles, cabos de herramientas, armarios y encofrados (WWF, 2013), Chapas en general, ebanistería, construcciones normales preferiblemente en interiores, muebles, productos moldurados, postes para líneas férreas, carretería y pisos

Schizolobium parahyba	0,48	2,3	12,5		910	11734		La madera se utiliza en la elaboración de instrumentos musicales de percusión y parquet. Se emplea en la fabricación de canoas y artesanías y para pulpa de papel.
Centrolobium paraense	0.69	2.3		122	1167	149897	599	VIVIENDA GENERAL, vigas, viguetas, tableros, pisos, marcos, MUEBLES Y ARMARIOS, muebles de lujo, CONTRACHAPADOS Y CHAPA, caras, Chapas decorativas, TORNEADO, adornos, muebles torneados, cubiertos, hormas, CURVADO, sillas, raquetas de tenis, DEPORTES, golf palos de polo, tenis de mesa, HERRAMIENTAS, mangos de herramientas, herramientas agrícolas, CONTENEDORES, tonelería, carrocerías de camiones, pisos de camiones, CONSTRUCCIÓN NAVAL, aletas de botes, cubierta de botes
acabado de interiores	x		x					
armazon para silla					X	X	X	
artesanías	X		X					
Cabos para herramientas	X							
Contrachapados	x							
Carpintería			X		X			
Durmientes					X			
Construcción					X		X	
Ebanistería					X			
Empaques		X	X					
Encofrados		X	X					
Escaleras			X		X			
Implementos agrícolas							X	
Juguetería	X							
Muebles		X	X		X		X	

Pisos		X	X		X			
Productos moldurados	X	X	X					
Vigas					X	X	X	