

IDEA



Construcción y Madera

Volumen 6 - Año: 2024 - ISSN: 2590-4612



Centro de Tecnologías para
la Construcción y la Madera

SENNOVA
Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación



**CTCM
SENNOVA**

Caracterización y análisis de las propiedades anatómicas y físicas de la madera de *Polylepis quadrijuga*; proveniente de Guanentá Alto Río Fonce, Santander

Johan Sebastián Solorzano Leal¹, Valentina Ali Ospina², Luisa Fernanda Betancourt Murillo³.

¹ cjsolorzano@udistrital.edu.co, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

² lvalio@udistrital.edu.co, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

³ lfbetancourt@udistrital.edu.co, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

- Characterization and analysis of the anatomical and physical properties of *Polylepis quadrijuga* wood from Guanentá Alto Río Fonce, Santander

- Caracterização e análise das propriedades anatómicas e físicas da madeira de *Polylepis quadrijuga* de Guanentá Alto Río Fonce, Santander

Artículo de investigación



Fuente: propia

Resumen

Los bosques de *Polylepis* representan una comunidad vegetal de amplia importancia, lo que implica estados de vulnerabilidad considerables de estos bosques frente a la constante pérdida de la cobertura vegetal a la que son sometidos. El principal objetivo de este estudio es proporcionar información acerca de las propiedades físicas: densidad, contenidos de humedad y la caracterización anatómica: macroscópica y microscópica de la madera de ramas principales de siete individuos de *Polylepis quadrijuga*, provenientes de Guanentá Alto Río Fonce, Santander. Se emplearon probetas de dimensiones específicas (Microscopía: 1cmx3cm; microscopia: 1cmx1cm; propiedades físicas: 5cmx1.5cmx1.5cm), orientadas en los tres planos de estudio de la madera. Finalmente, los resultados reflejan que la especie tiene porosidad semicircular, poros solitarios y en múltiples radiales cortos con presencia de gomas. El parénquima es de tipo paratraqueal vasicéntrico escaso. Presenta platinas de perforación simples, punteaduras intervaseculares circulares areoladas y opuestas, con vasos de engrosamiento espiralado. Los radios son uniseriados o con hasta 4 células radiales todas procumbentes, punteaduras radiovasculares similares a las intervaseculares, con contenidos de sílice y células oleíferas. Las fibras son septadas con pared celular delgada y con presencia de punteaduras circulares y areoladas. La densidad anhidra y básica presentaron valores de 0,57 g/cm³ y 0,48 g/cm³ respectivamente y un CHPSF de 32,90%, CH máximo de 142,35% y un CH libre de 109,44%, confirmando una clasificación de madera medianamente pesada.

Palabras clave: Caracterización Anatómica, Contenido de humedad, Densidad, *Polylepis quadrijuga*.

Abstract

Polylepis forests represent a (a far-reaching importance) plant community which implies significant vulnerability states in these forests with regards to constant loss of vegetation coverage to which they are subjected. This study is designed to provide information about physical properties: density, moisture content and anatomical characterization: seven *Polylepis quadrijuga* subjects in the macroscopic and microscopic main branches wood from Guanentá Alto Río Fonce, Santander. Specimens

of specific dimensions were used (macroscopy: 1cmx3cm; microscopy: 1cmx1cm; physical properties: 5cmx1.5cmx1.5cm), focused on the three wood study plans. Finally, the results reflect that the species has semicircular porosity, solitary pores and in short radial multiples with gums. The parenchyma a sparse vasicentric paratracheal type. It presents simple perforation plates, areolate and opposite circular intervessel pits, with spiral thickening vessels. The rays are uniseriate or with up to 4 radial cells all procumbent, similar to the intervessel-ray pits, with silica contents and oleiferous cells. The fibers are septate with thin cell wall and the presence of circular and areolate pits. The anhydrous and basic density presented values of 0,57 g/cm³ and 0.48 g/cm³ respectively and a CHPSF of 32,90%, maximum CH of 142,35% and a free CH of 109,44%, conferring a medium heavy wood classification.

Keywords: Anatomical Characterization, Moisture Content, Density, Wood, *Polylepis quadrijuga*.

Resumo

As florestas de *Polylepis* representam uma comunidade vegetal de grande importância, o que implica considerável estado de vulnerabilidade dessas florestas à constante perda de cobertura vegetal a que estão sujeitas. O principal objetivo deste estudo é fornecer informações sobre as propriedades físicas: densidade, teor de umidade e caracterização anatômica: macroscópica e microscópica da madeira dos galhos principais de sete indivíduos de *Polylepis quadrijuga*, provenientes de Guanentá Alto Río Fonce, Santander. Foram utilizados espécimes de dimensões específicas (macroscopia: 1cmx3cm; microscopia: 1cmx1cm; propriedades físicas: 5cmx1,5cmx1,5cm), orientados nos três planos de estudo da madeira. Finalmente, os resultados mostram que a espécie tem porosidade semicircular, poros solitários e múltiplos radiais curtos com a presença de gomas. O parênquima é do tipo paratraqueal vasicêntrico esparso. O parênquima tem placas de perfuração simples, circulares, areoladas e fossas circulares opostas entre vasos, com vasos espiralados e espessados. Os raios são unisseriados ou com até 4 células radiais, todas procumbentes, semelhantes às fossas intervaseculares de raios-raios, com conteúdo de

sílica e células oleíferas. As fibras são septadas, com parede celular fina e presença de pontuações circulares e areoladas. A densidade anidra e a densidade básica apresentaram valores de 0,57 g/cm³ e 0,48 g/cm³, respectivamente, e μm CHPSF de 32,90%, CH máximo de 142,35% e CH livre de 109,44%, conferindo uma classificação de madeira média pesada.

Palavras-chave: Caracterização anatômica, Teor de umidade, Densidade, *Polylepis quadrijuga*.

Introducción

Los páramos son ecosistemas propios de la alta montaña los cuales se presentan en específicamente la cordillera de los Andes. El páramo propiamente dicho son extensiones de regiones desarboladas que se presentan por encima de los bosques alto andinos, desde los 3200 msnm hasta los 3800 msnm más o menos y por encima de los 3800 msnm se considera como ecosistema de superpáramo (Cuatrecasas, 1958). En estos ecosistemas se encuentran casi todos los tipos de vegetación, pero generalmente predominan los pastizales, pajonales y frailejones, la vegetación arbustiva y arbórea tiene mucho menos cobertura (Rangel, 2000). Dentro de las especies arbóreas, una de gran importancia corresponde a *Polylepis quadrijuga* la cual crea pequeños parches de bosque pequeños que predominan sobre los otros tipos de vegetación.

Polylepis quadrijuga es una especie de la familia Rosaceae la cual se caracteriza por presentar corteza rojiza laminada, hojas pequeñas, gruesas y cubiertas por resinas. Esta especie tiene una gran adaptación al frío altoandino debido a que su corteza se desprende formando un paquete alrededor del tronco a modo de aislante térmico para protegerlo contra las heladas. Al igual que las otras especies del género, es el único árbol en los andes que crece dentro de la matriz de pastizales de páramo y sobrepasa la línea continua de los bosques (Simpson, 1986, citado en Arellano & Rangel, 2007).

Debido a que es una de las pocas especies maderables de páramo, el uso de su madera para carbón, la tala y la quema de bosques por actividades agrícolas y de pastoreo, los individuos de esta especie son explotados insosteniblemente, no son protegidos en ningún

programa de conservación in situ o ex situ y no se encuentra evaluada en las categorías de la UICN (Arellano & Rangel, 2007).

Por ende, el objetivo de este estudio es realizar la caracterización de las propiedades anatómicas y físicas de la madera de las ramas principales de 7 individuos de la especie *Polylepis quadrijuga*, proveniente de Guanentá Alto Río Fonce, Santander. Con el fin de aportar información de la especie y así tomar acciones de conservación y manejo, en particular, por su uso maderable y por ser una especie endémica en Colombia. (Villarraga, 2018).

Metodología

Área de estudio

El Parque Nacional Natural Santuario de Fauna y Flora Guanentá Alto Río Fonce, se encuentra ubicado en jurisdicción de los departamentos de Santander (municipios Encino, Charalá y Gambita) y Boyacá (municipio de Duitama). Su altitud oscila entre los 2150 - 4000 msnm, con una temperatura entre 10°C-18°C, presentando una vegetación de Bosque andino (70%) y Páramo (30%) (Parque Nacionales Naturales de Colombia, 2018).

Recolección del material vegetal

Se recolectaron muestras de ramas principales de 7 individuos en los bosques de *Polylepis* ubicados en el Parque Nacional Natural Santuario de Fauna y Flora Guanentá Alto Río Fonce. Posteriormente se obtuvieron probetas de dimensiones específicas y orientadas en los tres planos de estudio. El excedente de material fue inventariado y guardado en el Laboratorio de Maderas José Anatolio Lastra Rivera de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Fase de laboratorio

Las pruebas de laboratorio para la identificación de las características anatómicas y propiedades físicas se realizaron en el Laboratorio de Maderas José Anatolio Lastra Rivera de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Bogotá.

Microscopía

Se obtuvo para la caracterización anatómica macroscópica 1 muestra de 3cm de altura para cada individuo.

La caracterización macroscópica se realizó mediante la observación de imágenes de cada plano de orientación obtenidas con el scanner del laboratorio de suelos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Microscopia

Las muestras utilizadas para microscopía presentan una forma cuadrada de 1 cm por cada lado. Para lograr su hidratación y facilitar el corte, las probetas son sumergidas en agua durante un periodo aproximado de una semana. Luego de ello, se realizan cortes de cada una de las tres secciones: transversal, tangencial y radial en el micrótopo de rotación Leica RM2255. Dichos cortes son sumergidos en safranina durante 1 minuto para el proceso de tinción. El exceso de safranina es retirado con alcohol al 50% primeramente y luego al 90%. Posteriormente, las muestras son mantenidas en xilol puro hasta el momento del montaje para su fijación. El montaje finaliza dejando caer una gota del pegamento Eukitt sobre una lámina portaobjetos en donde previamente se colocan los cortes de las tres secciones, perfectamente cortados y orientados; para sellar con una laminilla.

Biometría

Las imágenes microscópicas fueron obtenidas por medio del Microscopio Carl Zeiss Primo Star con un aumento de 5X, 10X y 40X, y con la utilización del software ImageJ se realizaron las mediciones biométricas teniendo en cuenta las mediciones estipuladas en la Tabla 1. Por lo tanto, se realizaron 70 mediciones para el diámetro y longitud de los vasos y 19 mediciones para la frecuencia de estos; para diámetro de punteaduras y para grosor de las fibras 50 mediciones; y finalmente para radios se hicieron 25 mediciones de altura y ancho cada una y 10 de número de radios/mm. Para el conteo de número de vasos por superficie (mm²) se tuvo en cuenta a los vasos solitarios y agrupados, y cada vaso que conforma a los vasos agrupados se contó como vaso solitario. Para la medición de los diámetros se realizó de manera perpendicular a los radios.

Para la descripción y el análisis de los caracteres anatómicos de la madera, se siguió la nomenclatura propuesta por la International Association of Wood Anatomists (IAWA, 2007).

Tabla 1.

Número de mediciones para cada variable IAWA (2007).

Elemento	Variable	No. Mediciones	Unidad	Plano
Vasos	Diámetro**	70	µm	Transversal
	Frecuencia*	19	Nro poros/mm ²	Transversal
	Diámetro de punteaduras*	50	µm	Transversal
	Longitud*	50	µm	Transversal
Fibras	Grosor*	50	µm	Transversal
	Longitud*	50	µm	Tangencial
	Altura**	25	µm	Tangencial
Radios	Ancho***	25	µm	Tangencial
	Número**	10	Nro radios/mm	Tangencial / Transversal

Fuente: *Número de mediciones mínimas según Scholz et al. (2013), ** Richter y Dallwitz (2000) en Pulido et al. (2011), *** Pulido Rodríguez et al. (2018), *** López Camacho et al. (2020)

Densidad

En el estudio de las propiedades físicas se utilizaron probetas libres de defectos con 5cmx1.5cmx1.5 cm de dimensión, con 4 repeticiones por individuo; se llevó a cabo el proceso metodológico de determinación de densidad mediante desplazamiento de agua, en el cual se mide el volumen de la probeta de madera en función del peso del líquido desplazado por su inmersión (IRAM, 2011), donde se busca estimar el volumen verde y posteriormente, el peso seco, con el peso constante después de la pérdida de agua por secado en estufa a 103 ± 2 °C. Para el análisis estadístico se utilizó el software SPSS, encontrando los parámetros estadísticos para los 28 datos de las respectivas densidades (básica y anhidra).

Resultados y discusión

Microscopía

La madera presenta anillos de crecimiento visibles a simple vista Figura 1E, con porosidad semicircular, los poros son pequeños difícilmente observables con lupa de 10X, su agrupación va desde poros solitarios (Figura 1B) a múltiples radiales cortos (Figura 1A). Se evidencia la presencia de parénquima axial paratraqueal vasicéntrico escaso (Figura 1A). Los radios presentan un

tamaño fino sin estratificación, y no se evidencia canales o floema incluido.

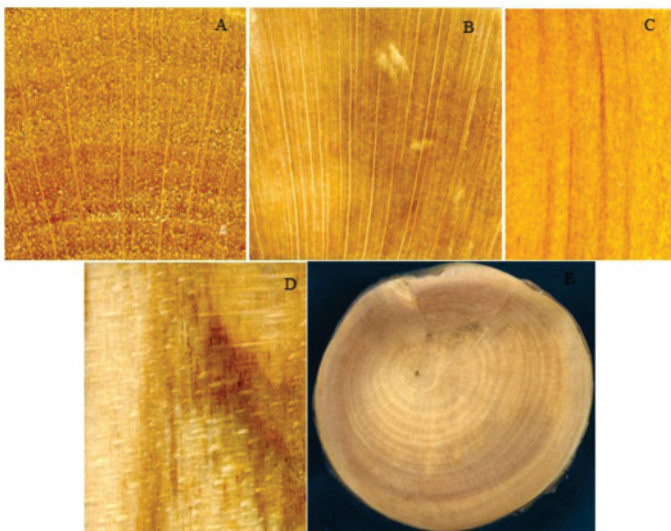
Microscopia

Poros

Como se evidencia en la figura 2 en la sección transversal, los poros presentan una porosidad semicircular, ubicados en disposición radial y su agrupación corresponde a múltiples radiales cortos y solitarios, el parénquima axial es de tipo paratraqueal vasicéntrico escaso y presenta engrosamiento espiralado en los vasos. Su tamaño fluctúa entre 12 y 34 μm y la frecuencia de estos representa una cantidad de 153.08 poros en un área de 1 mm². Teniendo en cuenta la clasificación según IAWA Committee (2007) el diámetro de los poros al ser de >50 μm se clasifican como poros diminutos o muy pequeños, y en cuanto a su frecuencia al ser >100 vessels mm² se clasifica como poros muy numerosos.

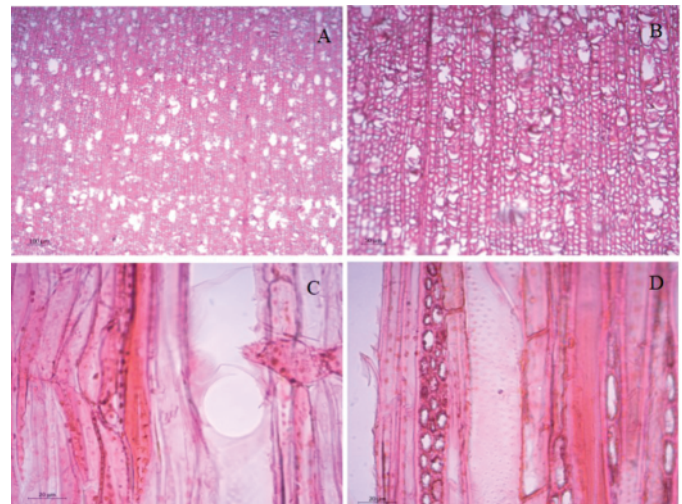
Los vasos presentan platinas de perforación simple en el plano radial y punteaduras intervasculares circulares, areoladas y opuestas las cuales tiene un diámetro promedio de 2.41 μm que las clasifica como diminutas siendo estas <4 μm .

Figura 1.
Descripción macroscópica.



Nota: a y b) Plano transversal. c) Plano tangencial. d) Plano radial. e) Muestra de la descripción macroscópica. Elaboración propia

Figura 2.
Descripción microscópica.



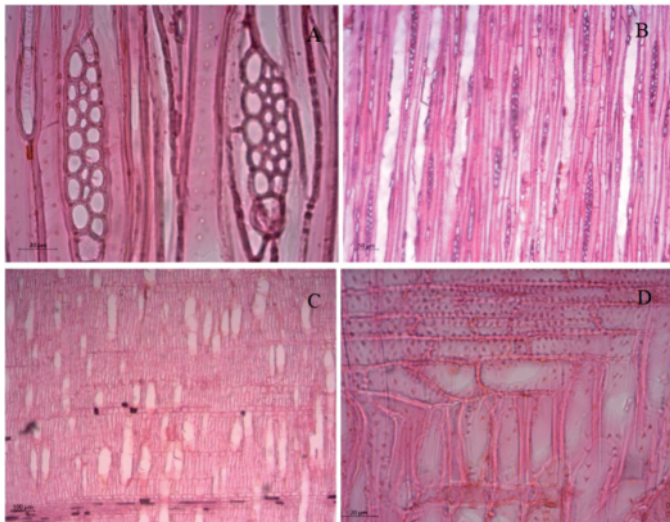
Nota: a) Porosidad semicircular. b) Poros múltiples radiales y solitarios c) Platina de perforación simple. d) Punteaduras intervasculares circulares areoladas opuestas. Elaboración propia

Radios

En la sección tangencial se pueden identificar radios desde uniseriados hasta de 4 células, todas de tipo procumbente. En la sección radial se identificaron punteaduras radiovasculares similares a las intervasculares, y se distinguieron células oleíferas y contenidos de goma y sílice en los radios.

La altura de los radios presenta un promedio de 116,37 μm que los clasifica como bajos estando estos en un rango de 50 a 300 μm , en cuanto a su ancho presentan un promedio de 12.37 que los clasifican en el rango de (10 - 30) los cuales corresponden a una clasificación de radios finos (IAWA Committee, 2007).

Figura 3.
Descripción microscópica.

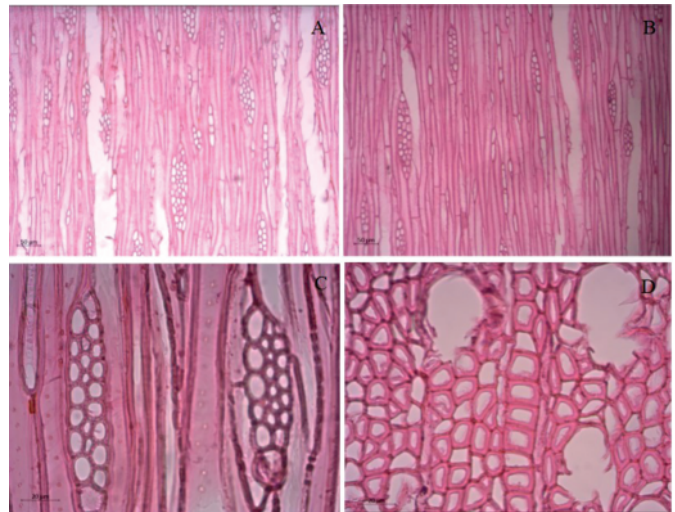


Nota: a) Grosor de los radios b) Radios uniseriados y multiseriados en plano tangencial c) Presencia de células oleíferas y de contenido en los radios. d) Contenido de sílice en los radios. Elaboración propia.

Fibras

Las fibras son septadas con pared celular delgada e igualmente con traqueidas circulares, areoladas y opuestas, de similar tamaño a las traqueidas que presentan los vasos. Estas fibras presentan un grosor entre 1.05 y 1.78 μm , lo cual según IAWA (2007) lo clasifica como fibras de diámetro fino.

Figura 4.
Descripción microscópica.



Nota: a y b) Fibras septadas. c) Punteaduras en fibras. d) Grosor de fibras en plano transversal. Elaboración propia.

Biometría

Tabla 2.
Clasificación de estructuras anatómicas IAWA (1989).

Rasgo anatómico	Medición	Clasificación (IAWA 1989)
Diámetro de poros/vasos	17 a 27 μm	Poros diminutos
Frecuencia de poros/vasos	153,08 und/mm ²	Poros muy numerosos
Grosor de Fibras	5.3 μm	Grosor fino
Altura de radios	116,37 μm	Bajo
Ancho de radios	12.37 μm	Fino
Diámetro de punteaduras	2.4 μm	Diminutas

Fuente: IAWA (2007)

A los elementos microscópicos se les aplicó análisis paramétrico de la varianza ANOVA para medidas repetidas con un alfa $\alpha = 0.05$ para determinar patrones anatómicos entre las imágenes analizadas, correlación y diferenciación de variables.

Tabla 3.

Análisis de ANOVA. A: Frecuencia de los poros. B: Diámetro de los poros. Fuente: Autores.

A	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Selección	5	9649	1929,8	1,948	0,154
Residuales	13	12877	990,5		
B	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
					0,000307
Selección	5	527,7	105,55	5,374	***
Residuales	70	1374,7	19,64		

Elaboración propia.

Se obtuvo según la tabla 3, que los datos de frecuencia de los poros (A) no se tiene diferencias significativas dado a que su valor de Pr es mayor al 0,05 correspondiente al factor de nivel de confiabilidad α . Dado este resultado podemos tomar la hipótesis nula la cual corresponde a que no existen diferencias significativas entre los valores de frecuencia entre cada uno de los individuos, esto se correlaciona a que no hay cambios significativos de las medianas de la frecuencia de los poros dentro de los diferentes individuos evaluados.

Por otro lado, en la tabla 3, el valor de Pr para los datos de diámetros de los poros es cercanos a 0 menor al factor de nivel de confiabilidad $\alpha = 0.05$ por lo tanto esta medición corresponde a una hipótesis alterna lo

cual representa que hay diferencias significativas de los diámetros de los poros dentro de los diferentes individuos, significando esto que el diámetro de los poros si es una variable que puede tener cambios altos dentro de cada individuo.

Para corroborar la distribución y los resultados obtenidos en el ANOVA se realizaron de igual manera la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk tanto para la frecuencia de los poros (A) como para el diámetro de los poros (B), también dado el resultado del ANOVA para el diámetro de los poros (B) se aplicó la prueba de Tukey para verificar y determinar que individuos presentan las diferencias significativas dentro de la medición.

Tabla 4.

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. A: Frecuencia de los poros. B: Diámetro de los poros.

Prueba de normalidad Shapiro-Wilk	
A	W = 0,95205, p-value = 0,4279
B	W = 0,9818, p-value = 0,3468

Elaboración propia.

Como se evidencia en la tabla 4. Para ambas variables, Frecuencia de poros (A) y diámetro de poros (B), el valor de p-value es mayor a 0,05 correspondiente al factor de nivel α , esto nos indica que para ambas variables los resultados tienen una distribución normal de sus mediciones.

Tabla 5.

Prueba múltiple de Tukey para comparación de variables para diámetros de poros entre los diferentes individuos.

Prueba múltiple de Tukey para comparación de variables				
95% family-wise confidence level				
Diferencias entre Individuos				
	Diff	Lwr	Upr	P adj
2-1	5,0804769	-0,3813538	10,542308	0,082923
3-1	-1,1941789	-6,1572178	3,87886	0,9825355
4-1	4,3024	-1,0739508	9,678751	0,1904773
5-1	4,6375	-1,1696225	10,444623	0,1923192
6-1	4,181	-1,626225	9,988123	0,2944366
3-2	-6,2746559	-10,9484815	-1,60083	0,0025836
4-2	-0,7780769	-5,7794837	4,22333	0,9974301
5-2	-0,4429769	-5,9048076	5,018854	0,9998918
6-2	-0,8994769	-6,3613076	4,562354	0,9966335
4-3	5,4965789	0,9229372	10,070221	0,0095172
5-3	5,8316789	0,7586401	10,904718	0,0150054
6-3	5,3751789	0,3021401	10,448218	0,0315437
5-4	0,3351	-5,0412508	5,711451	0,9999706
6-4	-0,1214	-5,4977508	5,254951	0,9999998
6-5	-0,4565	-6,2636225	5,350623	0,9999073

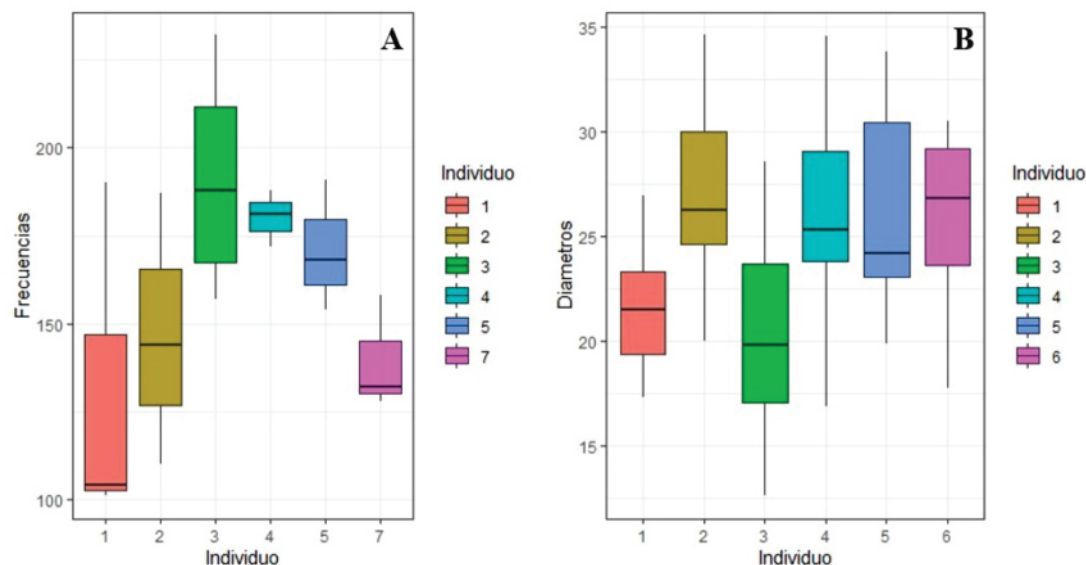
Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente la variable correspondiente a el diámetro de los poros en el análisis de ANOVA se obtuvo que los datos presentan diferencias significativas, este resultado hace referencia a que hay una variabilidad alta del diámetro de los poros dentro de los diferentes individuos evaluados, por ende, es necesario corroborar la información y determinar que individuos son los que presentan dichas diferencias. La prueba de Tukey permite la comparación múltiple dentro de los distintos datos y dentro una de una variable factor (Clifford y Taylor, 2008), en este caso corresponde a los individuos. Esta comparación entre los componentes de la variable factor deben corresponder a un $p < 0,05$ para

considerar que existe diferencias significativas entre los diferentes componentes.

La tabla 5 muestra un resumen de los resultados al comparar el diámetro entre los diferentes individuos. Teniendo esto se evidencia que los resultados determinan que la comparación entre los individuos 3 y 2, los individuos 4 y 3, 5 y 3, y 6 y 3 presentan valores p menores a 0,05, por ende, existe una mayor diferencia de las mediciones de los diámetros de los poros entre los individuos mencionados al ser comparadas, esto representan la diferencia significativa dentro de los resultados del ANOVA.

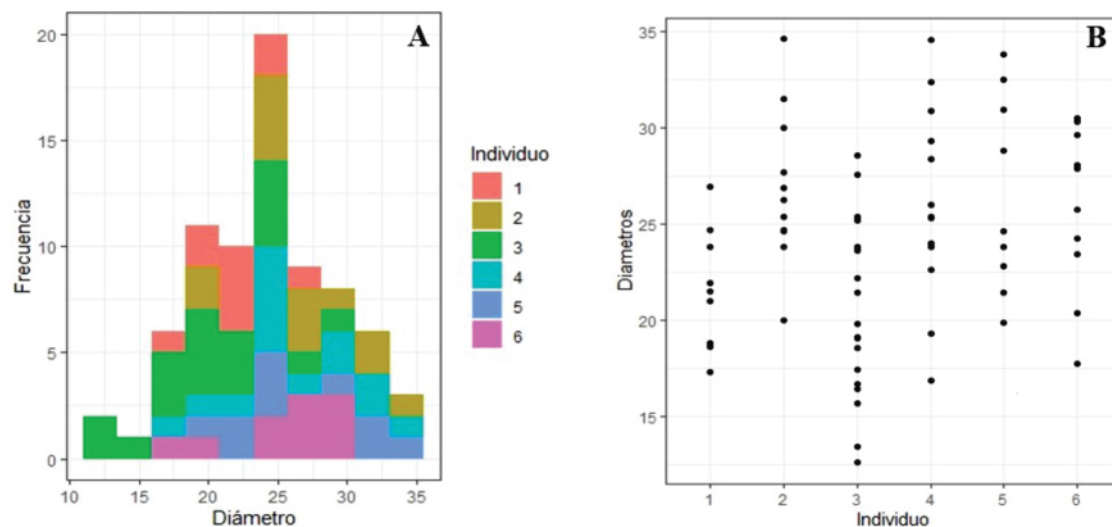
Figura 5.
Distribución del grupo de datos principal con respecto a los individuos analizados.



Nota: a) Frecuencia de los poros. b) Diámetro de los poros. Elaboración propia.

En la figura 5, se evidencia que para la frecuencia de los poros (A), se presenta variabilidad entre los distintos individuos; sin embargo, la mayoría de mediciones de todos los individuos están dentro de un mismo rango por lo que no presenta diferencias significativas dentro de la prueba de ANOVA, también se puede evidenciar que algunos individuos como el 4, 5 y 7 tienen un rango de diámetros más pequeño por lo que son lo que presentan diámetros de poros más homogéneos. Para el diámetro de los poros (B), vemos que los individuos 1 y 3 tienen valores por debajo y un rango menor de variabilidad con respecto a los demás individuos, cual determina la diferencia significativa con respecto a los otros individuos, hecho que se corrobora con la prueba de ANOVA realizada para esta variable la cual muestra diferencias significativas como se mencionó anteriormente y con la prueba de Tukey (Tabla 5) que al comparar estos dos individuos con los demás individuos muestra también diferencias significativas con respecto a la comparación entre los otros individuos

Figura 6.
Dispersión de los valores para el diámetro de los poros.



Nota: a) frecuencia de los valores de los diámetros para cada individuo, b) Dispersión de los valores de diámetro de los poros para cada individuo. Elaboración propia

Para evidenciar mejor la diferencia de los diámetros de los poros para cada individuo también se muestra la frecuencia de los datos de cada individuo dentro de cada una de los rangos de valores de cada una de las medidas (A) donde evidenciamos que donde todos los individuos presentan valores es en el rango de 25 μm donde también la mayor parte de datos se encuentran de 20 a 25 μm y 25 a 30 μm determinando así una distribución normal de los valores como corrobora la prueba de Shapiro-wilk (Tabla 4).

También es importante observar que el individuo 3 es el único individuo que presenta valores por debajo de los 15 μm , el individuo 1 también presenta valores bajos, pero por encima de los 15 μm y no presenta valores altos como los demás individuos lo cual hace referencia los valores significativos determinados anteriormente. Valores que también

se pueden observar en la dispersión de estos valores en la imagen B.

Propiedades físicas

Densidad

En el análisis estadístico se obtuvo que los valores medios de densidad anhidra y densidad básica son: 0,58 g/cm³ y 0,48 g/cm³, respectivamente. Se encontraron diferencias significativas ya que los valores de ($P \leq 0,05$) son muy cercanos a cero, lo cual hace referencia a diferencia entre la distribución de los datos de cada individuo y de las medianas de cada uno de los individuos. La varianza de la densidad anhidra y de la densidad básica se evidencia en las tablas 6 y 7 respectivamente, tal variación se debe a la estructura anatómica, el contenido de humedad y la relación albura-duramen de la especie.

Tabla 6.
Estadística descriptiva.

Estadística Descriptiva			
	Db	Do	Dsa
Media	0,484497785	0,57900872	0,609883409
Error típico	0,009925274	0,01275451	0,01306455
Desviación estándar	0,049626371	0,063772548	0,06532275
Varianza de la muestra	0,002462777	0,004066938	0,004267062
Mínimo	0,382077366	0,417721519	0,448944688
Máximo	0,583202512	0,696100246	0,728514657
Cuenta	25	25	25
Nivel de confianza(95,0%)	0,020484759	0,026324014	0,026963906

Nota: densidad básica (Db), densidad anhidra (Do) y densidad seca al aire (Dsa). Elaboración propia.

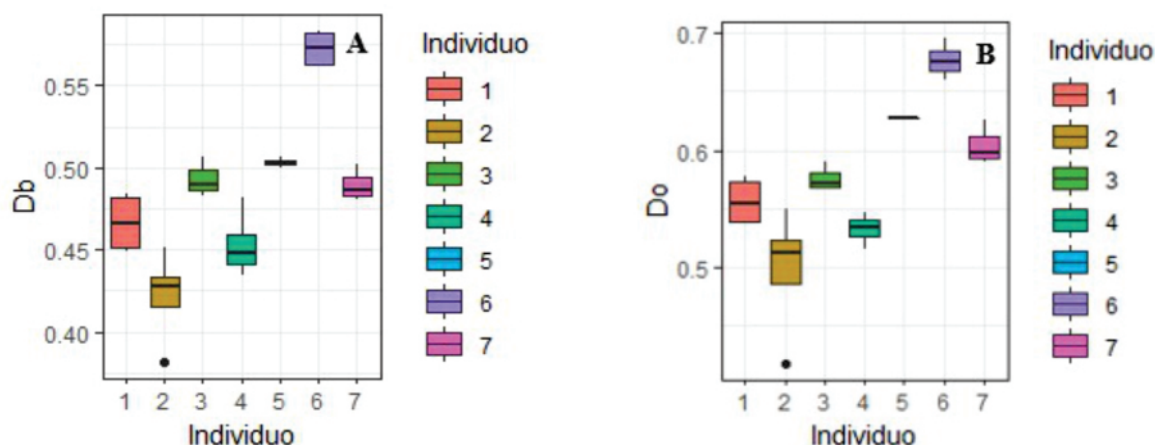
Tabla 7.
Análisis de varianzas (ANOVA) para densidad básica y densidad anhidra.

ANOVA	Pr (>F)
Db	3.44e-08 ***
Do	6.06e-07 ***

Elaboración propia.

Esta información se corrobora en la figura 7, donde se evidencia tanto en la densidad básica (Db) como en la densidad anhidra (Do) la variación de la distribución de las medianas y de los datos en general no se relacionan entre sí, lo que determina los valores cercanos a cero en el ANOVA.

Figura 7.
Densidades determinadas para *Polylepis quadrijuga*.



Nota: A) Densidad básica (Db). B) Densidad anhidra (Do). Elaboración propia.

La figura 7 además de mostrar la diferencia entre las medianas, muestra la diferencia de la distribución de los valores para cada uno de los individuos, donde tanto para densidad básica como para densidad anhidra se evidencia que el individuo 6 es que presenta valores más altos de densidad superando los 0,6 gr/cm³, así mismo el individuo 2 presenta los valores de densidad más bajos para cada una de las densidades, los demás individuos presentan valores de densidad más cercanos entre ellos entre valores de 0,50 gr/cm³ y 0,60 gr/cm³, lo que también evidencia que la diferencia significativa se muestra tanto para densidad básica como anhidra en los individuos 2 y 6.

Contenido de Humedad

El contenido de humedad está en función de la especie,

la densidad básica de la madera, y las condiciones de crecimiento (calidad de sitio, clima, altitud, latitud, composición y espaciamiento de especies en el bosque); de tal forma que influye en el tamaño y espesor de la pared celular y por tanto en la densidad.

El volumen poroso de la madera de *P. quadrijuga* es de 56,95%, tiene una relación directa con el agua libre (109,44%) que se encuentra en el lumen de las células, presentando también una relación inversa con la densidad, es decir que a mayor volumen poroso menor es la densidad de la madera, algo similar ocurre con la cantidad y distribución de parénquima axial y radial. A su vez, el máximo contenido de humedad 142,35%, manifiesta una relación inversamente proporcional al valor de la densidad básica.

Tabla 8.
Estadística descriptiva.

CONTENIDOS DE HUMEDAD			
	CH PSF (%)	CH LIBRE (%)	CH MAX1 (%)
Media	32,90913369	109,4458132	142,3549468
Error típico	1,274795783	4,588396952	4,798539439
Desviación estándar	5,979322231	21,52148938	22,50714501
Varianza de la muestra	35,75229434	463,1745049	506,5715765
Mínimo	22,01030928	76,99080305	104,8003589
Máximo	40,469921	172,7272727	195,0604309
Cuenta	22	22	22
Nivel de confianza(95,0%)	2,651082959	9,542093826	9,979109052

Nota: contenido de humedad punto de saturación de fibras (CH PSF), contenido de humedad libre (CH libre) y contenido de humedad máximo (CH max1).
Elaboración propia.

Discusión

La madera de un árbol presenta una amplia variación entre sus características anatómicas que cambian a nivel género, especie y en algunos casos de individuos, por eso existe la necesidad de categorizarlas ya que la dimensión de estas tiene una gran influencia sobre sus propiedades físicas y sobre su comportamiento frente a las condiciones bióticas y abióticas en las que se encuentra. (Burdon et al, citado en Chumbimune, 2017).

Poros

Como se mencionó anteriormente, los anillos de crecimiento se encuentran definidos por una porosidad semicircular que al ser uno de los rasgos que más varía con la disponibilidad de agua, confirma lo propuesto por Salgado-Negret et al. (2015) ya que hay una tendencia a prestar porosidad difusa en ambientes húmedos y una porosidad semicircular en ambientes xéricos como es el caso de esta especie.

Otro aspecto que cabe resaltar acerca de los poros es su tamaño y agrupación, ya que estos describen la forma en que se conectan los vasos y la agrupación de estos puede ser un mecanismo para evitar el bloqueo del flujo del agua. Por lo tanto, las condiciones xéricas generan que el caudal sea restringido, pero al ser diminutos, agrupados y numerosos aseguran el transporte de la poca cantidad de agua disponible en el ambiente. (Giménez & Moglia, 2017). De igual manera, el número de vasos aumenta a medida que hay déficit de agua lo cual se encuentra relacionado con el índice de vulnerabilidad (Gámez, 2013).

Punteaduras

Esta especie presenta punteaduras diminutas areoladas en disposición opuesta. Las cuales actúan como filtros porosos que permiten el transporte de agua y nutrientes entre los vasos y restringen el paso de burbujas de aire. De igual manera como en los poros, el tamaño diminuto permite evitar la cavitación que se genera con el déficit de agua y mantener el flujo de agua adecuado (Salgado-Negret et al., 2015).

Platinas de perforación

Las platinas al presentarse como perforaciones en los extremos de los vasos permiten la conducción de agua y sales en la planta. Su forma, en el caso de *P. quadrijuga*, están relacionados con la eficiencia que tenga la especie para el transporte de agua y evitar el paso de burbujas de aire (Salgado-Negret et al., 2015).

Fibras

Las fibras representan más del 50% de la estructura celular de la madera (Salgado-Negret et al., 2015) y estas son las encargadas de determinar la resistencia de la madera, ya que funcionan como columnas individuales las cuales reciben parte de las acciones y se apoyan con las células restante (Pazos et al, 2005). Para la especie se clasifican como fibras finas a gruesas, sin embargo, para determinar aspectos funcionales de la especie es necesario tomar otras medidas que se obtienen mediante el desfibrado del tejido xilemático. Esau (2000), citado en Novaes, (2011) menciona que, en los taxones en los que el parénquima axial es extremadamente raro, como en la especie estudiada, las fibras septadas son responsables del transporte y almacenamiento de los productos fotosintéticos.

Punteaduras intervasculares

La especie presenta punteaduras alternas a lo largo de la pared del vaso, poros solitarios y platinas de perforación simple, lo cual según Polanco & Grande, (2009) esto permite una comunicación más eficiente; dado que esta comunicación puede presentarse entre vasos y fibras (también con punteaduras), lo cual supone que las fibras tienen función de almacenaje para situaciones de insuficiencia hídrica, lo cual sería una adaptación para evitar el embolismo.

Radios

Novaes et al. (2010) mencionan una relación directa entre la altura de los radios y la disponibilidad de agua en el sitio, de modo que los radios bajos que presenta la especie reflejan que, en el sitio, existe poca disponibilidad de agua. Así mismo, según lo estipulado por IAWA (2007), León & Espinoza de Pernía (2001), y

Kribs, citado por Polanco & Grande, (2009) la especie tiene un alto grado de evolución al presentar radios bajos con células de tipo procumbente.

Propiedades físicas

Los valores determinados para la densidad básica y anhidra de la madera de *Polylepis quadrijuga* clasifican a la especie como madera moderadamente pesada según dickinson citado en Guevara (2001), ya que sobrepasada valores de densidad anhidra de 0,50 gr/cm³.

También se evidencia la variación entre individuos para las dos densidades (anhidra y básica). Esta variación de la densidad para cada especie e intraespecífica para la misma especie se relaciona con la anatomía y a las condiciones ecológicas en las que se encuentra cada individuo. En cuanto a la anatomía Ziemińska et al. (2013) mencionan que el principal impulsor de la densidad de la madera es el tejido fuera de la luz de los vasos, es decir, se tiene en cuenta el grosor del tejido de las fibras que componen la estructura de la madera de cada especie y el diámetro del lumen de la fibra. Para esta especie tenemos fibras de finas a gruesas lo que explica los valores medios de densidad de la especie.

Según Spavento (2008) en especies con porosidad difusa como la presente, la relación entre el crecimiento anual y la densidad es más compleja debido a la homogeneidad en el diámetro de los poros a lo largo del anillo de crecimiento. En estos casos, la respuesta de la densidad ante variaciones en el crecimiento es especie-dependiente, pudiendo presentar incrementos, decrementos o permanecer constante, en este caso la respuesta a la densidad se ve influenciada por el crecimiento del árbol, que a la vez está influenciado por las condiciones microecológicas que se dan para cada uno de los individuos como la disponibilidad de agua, la temperatura y el suelo, por ende, varía la velocidad de crecimiento para cada uno de los individuos.

Es importante tener en cuenta la densidad de cada especie arbórea y la densidad a nivel de individuo ya que tanto para especie como para individuos, estas

varían y pueden ser importantes para determinar su función en su ecosistema y sus usos potenciales para las comunidades junto con otros aspectos de la tecnología de la madera

El contenido de extractos, que ocupan sitios dentro de la pared celular limitan la atracción entre las moléculas de agua y la madera; lo cual se expresa en CHPSF bajos (Taramit & Fuentes, 2003).

Conocer los parámetros de humedad como: el punto de saturación de la fibra, el contenido de humedad libre y máximo, las características anatómicas y la densidad, permite establecer condiciones de operación y obtener materia prima de excelente calidad para potenciar los usos de la madera de la especie (Taramit & Fuentes, 2003).

Conclusiones

La especie presenta porosidad semicircular, agrupadas en disposición múltiples radiales cortos, presenta un gran número de poros y de tamaño diminutos según la clasificación de IAWA Committee. Esto en rasgos funcionales representa que *Polylepis quadrijuga* tiene características anatómicas establecidas para la conservación y el flujo adecuado de niveles bajos de agua disponible.

En cuanto a la densidad, la especie se clasifica como una especie moderadamente pesada para todos los individuos, sin embargo; hubo una variación de los valores de densidad tanto básica como anhidra, lo cual responde a la anatomía de la madera, que a su vez, esta responde a las condiciones microecológicas a la que cada uno de los individuos está sometido, esto evidencia que la madera es un aspecto ecológico importante para la adaptación y sobrevivencia de las especies a nichos ecológicos específicos.

La medición biométrica permite evidenciar dicho proceso adaptativo de manera cuantificable como en el presente caso que se relaciona grosor de la fibra, diámetro de los poros y frecuencia de los poros a las condiciones ecológicas en las que se encuentra esta especie, más específicamente a la baja disponibilidad de agua en el suelo, dada las condiciones generales

que se encuentran en la vegetación de páramo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por los insumos y los equipamientos necesarios para la realización de este trabajo.

De igual manera agradecen a la Docente e Ingeniera Forestal Nancy Pulido, al Ingeniero Forestal y Auxiliar de Laboratorio de Maderas Juan Felipe Solórzano por su guía, apoyo y aporte de conocimientos en este trabajo. Y finalmente, a la compañera Katherine Mora por aportar el material de campo para este trabajo.

Contribución de autoría

Sebastián Solórzano (ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3891-6494>): metodología, logística, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, revisión y edición.

Valentina Ali Ospina (ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3028-439X>): metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, revisión y edición.

Luisa Betancourt (ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0094-7572>): Investigación, logística, conceptualización, escritura y revisión.

Referencias

- Arellano, H., & Rangel, J. O. (2010). Bosques de Polylepis: Un tipo de vegetación destinada a la extinción. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Chumbimune-Vivanco, S. (2017). Caracterización anatómica y propiedades físicas de la madera de ulcumano (*Retrophyllum rospigliosii*) de una plantación de 32 años asociada con café en villa rica, Perú. (Tesis para optar el título de ingeniero forestal) universidad nacional agraria la molina.
- Clifford, B., Taylor, R., 2008 Bioestadística. Pearson Educación. México.
- Cuatrecasas, J., 1958. Aspectos de la vegetación natural de Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (40): 221-268.
- Gámez, L. (2013). Estudio ecoanatómico de cuatro especies arbóreas de malvaceae en la estación experiment. Piieria, 37, 45-55.
- Giménez, A. M., & Moglia, J. G. (2017). Ecoanatomía del xilema secundario de las leñosas arbóreas del chaco argentino. In Los Bosques actuales del Chaco semiárido argentino. E (pp. 127-152). Giménez A. M. y J. G. Moglia. <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/publicaciones/libro-ecoanatomia/ecoanatomia-p2-01-gimenez-Ecoanatomia-del-xilema-secundario-de-las-lenosas-arboreas-del-chaco-argentino-Variables-cuantitativas%20%20.pdf>.
- Guevara, H. (2001). Propiedades físico-mecánicas de la madera. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

- IAWA Committee. (2007). IAWA LIST OF MICROSCOPIC FEATURES FOR HARDWOOD IDENTIFICATION: With an appendix on non-anatomical information (3.a ed., Vol. 10). E.A. Wheeler, P. Baas and P.E. Gasso.
- IRAM. (2011). Norma IRAM 9663. <https://caeau.com.ar/wp-content/uploads/2018/08/Norma-IRAM-9663.doc>.
- López Camacho, R. L., Quintero Gómez, A. Q., & Amado Ariza, S. M. A. (2020). Rasgos funcionales de la madera de tres bosques en Colombia: Bosque Seco, Andino y Alto-Andino. *Ciência Florestal*, 30(3), 856-872. <https://doi.org/10.5902/1980509839184>.
- Novaes, F., Callado, C., Pereira-Moura, M., Lima, H. (2010). Wood anatomy of *Mollinedia glabra* (Spreng) Perkins (Monimiaceae) in two Restinga Vegetation Formations at Rio das Ostras, RJ, Brazil. *Biological Sciences*, 82(4).
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2018). Plan de Manejo Santuario de Fauna y Flora Guanentá Alto Río Fonce.
- Pazos, B., Escalona, O., Álvarez, A., & Ronzón, P. (2005). Relación estructura-propiedades de la madera de angiospermas mexicanas. *Revista Universidad y ciencias, Trópico Húmedo*. Vol. 21(42). 45-55.
- Polanco-Tapia, C., & Grande-Pulido, C. (2009). Análisis ecoanatómico, evolutivo y comparativo de la madera de 40 especies de dos asociaciones del bosque altoandino colombiano. *Colombia Forestal*, 12, 183-203.
- Pulido, N., Mateus, D., & Lozano, I. (2011). Vista de anatomía xilemática de Caesalpiniaceae registradas en la xiloteca de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. *Colombia Forestal*, 14(2). <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/view/3559/5240>.
- Pulido Rodríguez, N., Rodríguez, E., Solórzano, J. F., Mogollón, S., Quintero, A., Amado, S., Suárez, S., & Ariza, J. C. (2018). Propiedades físico-mecánicas y uso de 17 especies forestales Unidad de Ordenación Forestal Yari-Caguán, municipio de Cartagena del Chairá, departamento del Caquetá. Edgar Otavo Rodríguez & Esperanza Nancy Pulido Rodríguez. https://www.researchgate.net/publication/343375809_Propiedades_fisico-mecanicas_y_uso_de_17_especies_forestales_Unidad_de_Ordenacion_Forestal_Yari-Caguan_municipio_de_Cartagena_del_Chaira_departamento_del_Caqueta.
- Rangel, J. O. (2000). COLOMBIA BIODIVERSA III. La región de la vida paramuna de Colombia. Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá Colombia.
- Salgado-Negret, B., Paz, H., Pulido Rodríguez, E. N. P., Cabrera, M., Ruíz Osorio, C. R., López Ordoñez, J. P. L., Stiles, F. G., Parra Vergara, J. L. P., Cortés Gómez, Á. M. C., Ramírez Pinilla, M. P. R., Urbina Cardona, N. U., Zamudio, J. E., Herrera-Collazos, E. E., Maldonado Ocampo, J. A., DoNascimento, C., González, M. A., Baptiste, M. P. B., Ruíz Agudelo, C. A. R., & García Martínez, H. G. (2015). La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones (1.a ed.). Beatriz Salgado Negret. http://repository.humboldt.org.co/bitstream/20.500.11761/9299/1/Rasgos_alta.pdf.

- Scholz. A., Klipsch. M., Karimi. Z & Jansen. S. (2013). How to quantify conduits in wood? Frontiersin Volume (4)1. Institute for systematic and ecology, Ulm University. Ulm, Germany .
- Spavento, E., Keil, G. & Monteoliva, S. (2008). Curso de Xilotecnología. Propiedades físicas de la madera. Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata.
- Tamarit, J., & Fuentes, M. (2003). Parámetros de humedad de 63 maderas latifoliadas mexicanas en función de su densidad básica. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, vol. 9 (2), 155-164.
- Villarraga. E. (2018). BOSQUES DE POLYLEPIS (ROSACEAE): BIODIVERSIDAD, DISTRIBUCIÓN Y VULNERABILIDAD EN LA CORDILLERA ORIENTAL DE COLOMBIA. Maestría en Ingeniería ambiental. Universidad de los Andes, Bogotá D.C. Colombia.
- Ziemińska, K., Butler, D. W., Gleason, S. M., Wright, I. J., & Westoby, M. (2013). Fibre wall and lumen fractions drive wood density variation across 24 Australian angiosperms. AoB Plants, 5. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plt046>.