

Caracterización preliminar de la anatomía, y propiedades físico-mecánicas de la madera de *Tachigali peruviana*

Preliminary characterization of the anatomy and physical-mechanical properties of *Tachigali peruviana* wood

María Cuno Común¹, Víctor Rosales Aliaga¹,
Rolando Montenegro Muro^{1,*} y Manuel Chavesta Custodio¹

Recibido: 13 setiembre 2022 | **Aceptado:** 24 noviembre 2022 | **Publicado en línea:** 29 diciembre 2022

Citación: Cuno Común, M; Rosales Aliaga, V; Montenegro Muro, R; Chavesta Custodio, M. 2022. Caracterización preliminar de la anatomía, y propiedades físico-mecánicas de la madera de *Tachigali peruviana*. Revista Forestal del Perú 37(2): 123-132. DOI: <https://doi.org/10.21704/rfp.v37i2.1953>

Resumen

En el presente estudio se presenta la descripción anatómica y las propiedades físicas y mecánicas de la especie *Tachigali peruviana* (Dwyer) Zarucchi & Herend. (“palo fierro”) proveniente de Chanchamayo, Perú. Anatómicamente, la especie posee porosidad difusa y textura media. A nivel microscópico se observa la presencia de parénquima vasicéntrico, radios homocelulares, uniseriados y homogéneos. La especie posee densidad media (0,60). Mecánicamente se ensayó flexión estática, compresión paralela y perpendicular, cizallamiento, dureza y tenacidad; dichas propiedades resultaron de medias a altas, según la clasificación propuesta por Aróstegui (1982). Estas propiedades hacen de *Tachigali peruviana* una especie de interés para usos en: estructuras, carpintería de obras, mango de herramientas, cajonería y parihuelas.

Palabras clave: estructura anatómica, *Tachigali peruviana*, propiedades físico-mecánicas

¹ Círculo de Investigación Básica y Aplicada de Especies Forestales para su Desarrollo Tecnológico, Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Av. La Molina s/n, La Molina, Lima, Perú.

* Autor de Correspondencia: rmontenegro@lamolina.edu.pe

Abstract

The present study presents the anatomical description and the physical and mechanical properties of the species *Tachigali peruviana* (Dwyer) Zarucchi & Herend. ("palo fierro") from Chanchamayo, Peru. Anatomically, the species has diffuse porosity and medium texture. At the microscopic level, the presence of vasicentric parenchyma, homocellular, uniseriate and homogeneous rays is observed. The species has medium density (0,60) and medium to high mechanical properties. These properties make *Tachigali peruviana* of interest for uses in: structures, carpentry of works, tool handle, drawer and pallets.

Palabras clave: anatomical structure, *Tachigali peruviana*, physico-mechanical properties

Introducción

El desconocimiento de las características tecnológicas, fisiológicas y morfológicas en una especie son una limitante para el uso y aprovechamiento de maderas tropicales. El punto de partida para el estudio de dichas características es la identificación botánica. Este requisito asegura que los datos tecnológicos a ser determinados corresponden a una especie en específico (Ferreira *et al.* 2004). En el Perú, existen alrededor de 4500 especies arbóreas (Reynel 2016). De ellas, al menos 200 especies han sido descritas anatómicamente (Acevedo y Kikata 1994; Chavesta 2015; Chavesta 2018). Tecnológicamente, el número de especies estudiadas es menor.

La correcta utilización de la madera implica el conocimiento de sus características anatómicas (fibras y ángulo microfibrilar), físicas (densidad y contracciones), mecánicas (rigidez) y

químicas (contenido de celulosa y de lignina). Este conocimiento no está disponible para *Tachigali peruviana*. De las características antes mencionadas, la densidad básica es la más importante y es utilizada para evaluar la calidad de la madera debido a su fácil determinación y su estrecha relación con las demás propiedades (Suckow *et al.* 2009). Los rangos de densidad básica y propiedades mecánicas propuesta por Aróstegui (1982) se observan en el Cuadro 1.

Entre las variables que influyen en las propiedades tecnológicas de la madera tenemos como factores internos a la edad, posición en el tronco, proporción de madera madura y juvenil, proporción de duramen y albura; y como factores externos al lugar de crecimiento, condiciones climáticas y métodos silvícolas (Viana 2008). Las variaciones de las propiedades de la madera en el sentido axial y radial del árbol no poseen un patrón único para todas las especies.

Grupo	Propiedades físicas			Propiedades mecánicas (kg/cm ²)				Clasificación
	Densidad básica	Contracción volumétrica %	Flexión estática (MOR ¹)	Compresión paralela (RM ²)	Compresión perpendicular (EFLP ³)	Dureza Lados	Cizallamiento	
I	< 0,30	< 7,0	<300	<120	< 10	< 100	< 30	Muy baja
II	0,30-0,40	7,0 - 10,0	300-500	120-240	10-40	100-300	30-60	Baja
III	0,41-0,60	10,1-13,0	501-800	241-360	41-70	301-600	61-90	Media
IV	0,61-075	13,1-15,0	801-1000	361-480	71-100	601-900	91-120	Alta
V	> 0,75	>15,0	>1000	>480	> 100	>900	>120	Muy Alta

Cuadro 1. Rangos de Clasificación de las Maderas según Propiedades Físicas y Mecánicas (Aróstegui 1982). ¹MOR: Módulo de Rotura; ²RM: Resistencia máxima; ³EFLP: Esfuerzo de las Fibras en el Límite Proporcional.

Existen tres modelos comunes de variación de la densidad del leño en el sentido axial de los árboles, siendo (i) decrecimiento uniforme, (ii) inferior en la base, seguido de crecimiento regular y (iii) aumento de la base a la parte apical del tronco, sin un patrón uniforme (Panshin y De Zeeuw 1980).

En Madre de Dios - Perú se reporta para las especies del género *Tachigali* (Fabaceae): *Tachigali chrysaloides* van der Werff, *Tachigali vasquezii* Pipoly y *Tachigali alba* Ducke densidades de 0,49, 0,50 y 0,77 g/cm³, respectivamente. Estas se clasifican como maderas semiduras. Ello indica que el género *Tachigali* posee potencial para uso en construcciones, carpintería y en mueblería en general (Kohagura 2020).

Tachigali peruviana (Dwyer) Zarucchi & Herend pertenece a la familia Fabaceae, subfamilia Caesalpinioideae, con sinónimo botánico *Sclerobium paniculatum* var. *peruvianum* Dwyer; conocida comúnmente como “palo acero” o “palo fierro” (Reynel et al. 2016). Ha sido reportado también en Bolivia y Brasil (Van der Werff 2008).

Los objetivos del presente trabajo fueron describir las características anatómicas y determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Tachigali peruviana*, en condición saturada y al 12% de contenido de humedad con el fin de proponer usos a esta madera.

Materiales y Métodos

La madera de *Tachigali peruviana* procede del Fundo Génova, distrito de San Ramón, provincia de Chanchamayo, Junín, Perú (Figura 1). Las muestras provienen de un árbol, representativo con fuste recto y de buen estado fitosanitario; cuyas coordenadas UTM son E: 0462691 N: 8772236. El lugar de muestreo se ubica a 844 m.s.n.m., con temperatura anual promedio de 23,1°C y precipitación anual promedio de 1970 - 2101 mm. La especie es abundante y dominante (Palacios et al. 2011).

La identificación botánica se realizó en el Herbario de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina. El estudio anatómico se realizó en el Laboratorio de Anatomía de la Madera y los ensayos físicos y mecánicos en el Laboratorio de Tec-

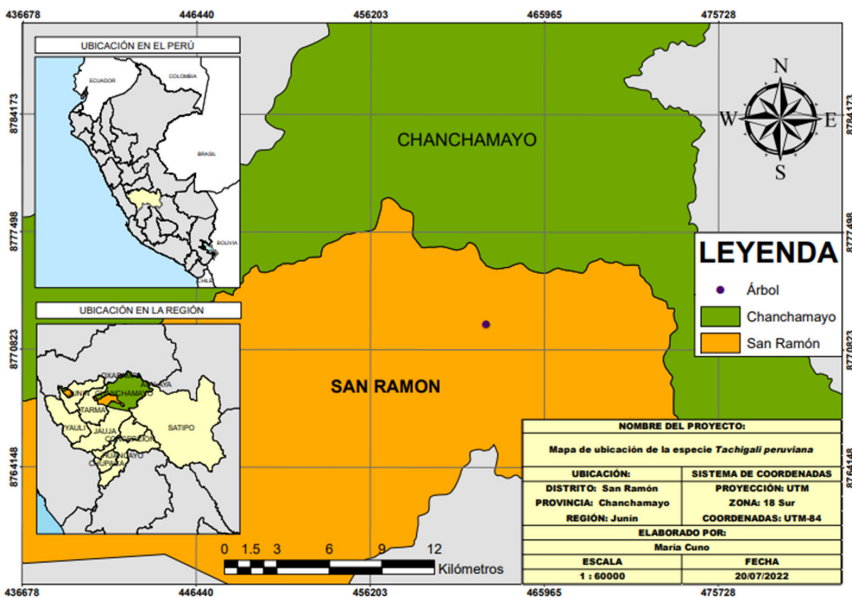


Figura 1. Procedencia de la especie *Tachigali peruviana* en Chanchamayo (Perú).

nología de la Madera del Departamento de Industrias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Las muestras provienen de tres niveles axiales (basal, medio y apical) tomando como referencia su altura comercial (Figura 2). De cada nivel axial se obtuvieron rodajas y listones debidamente orientados radial y tangencialmente. Para la caracterización anatómica solo se utilizó el nivel basal. Se extrajeron cubos de madera de 1 cm × 1 cm × 1,5 cm. Estos se ablandaron en agua hirviendo durante una semana para obtener láminas de 25 μm en un micrótomio de deslizamiento horizontal. Se obtuvieron cortes de los tres planos de la madera (transversal, radial y tangencial) conforme a la metodología de Sass (1958). Para el proceso de

maceración se siguió la metodología de Dads-well (1972), mientras que la caracterización anatómica se realizó según lo estipulado por IAWA (2007) e IBAMA (1992).

El número de probetas y las normas técnicas empleadas para determinar las propiedades físicas se observan en la Cuadro 2.

Los ensayos mecánicos se realizaron en condición saturada y seca al aire. El número de probetas y las normas técnicas empleadas se detallan en la Cuadro 3. Los valores secos al aire se ajustaron al 12% conforme a *Forest Products Laboratory* (2021). Los ensayos mecánicos en condición saturada se realizaron en tres niveles axiales. Para la condición seca al aire solo se empleó la parte basal e intermedia, debido al poco diámetro de la parte apical.

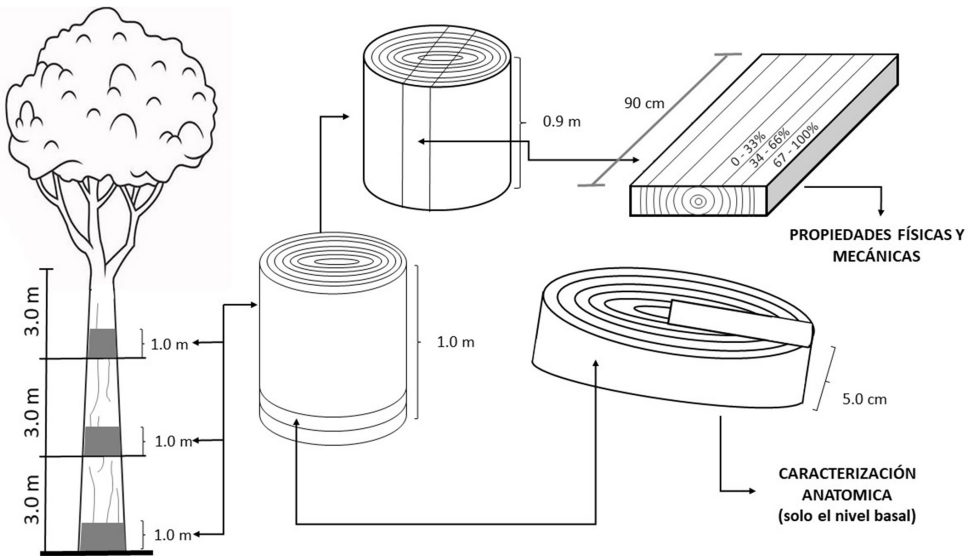


Figura 2. Obtención y preparación de muestras según ensayo. Fuente: Modificado de Chavesta (2019).

Norma Técnica	Número de probetas
NTP 251.010.2020. Método para determinar el contenido de humedad (INACAL, 2020)	18 (6 por posición axial)
NTP 251.011.2014. Método de determinación de la densidad (INACAL, 2014)	18 (6 por posición axial)
NTP 251.012.2015. Método de determinación de la contracción (INACAL, 2015)	18 (6 por posición axial)

Cuadro 2. Normas técnicas y número de probetas para ensayos físicos.

Norma técnica	N° de probetas (condición saturada)	N° de probetas (condición seca)
NTP 251.017.2014. Método de ensayo de flexión estática (INACAL, 2014).	6 (2 por posición axial)	6 (2 por posición axial)
NTP 251.014.2020. Método de determinación de compresión paralela al grano (INACAL, 2020).	6 (2 por posición axial)	4 (2 basal y 2 intermedio)
NTP 251.016.2015. Método de determinación de compresión perpendicular al grano (INACAL, 2015).	6 (2 por posición axial)	4 (2 basal y 2 intermedio)
NTP 251.013.2015. Método de determinación de cizallamiento paralela al grano (INACAL, 2015).	12 (4 por posición axial)	8 (4 basal y 4 intermedio)
NTP 251.015.2020. Método de determinación de dureza (INACAL, 2020).	6 (2 por posición axial)	4 (2 basal y 2 intermedio)
NTP 251.018.2020. Método de determinación de tenacidad (INACAL, 2020).	24 (8 por posición axial)	16 (8 basal y 8 intermedio)

Cuadro 3. Normas técnicas y número de probetas para ensayos mecánicos.

Resultados

Anatomía de la madera

En condición seca al aire, existen diferencias entre madera de albura y duramen. La albura es de color amarillo cremoso y el duramen de color rojo, algunas veces con franjas oscuras. Olor y sabor no distintivo, brillo medio, grano entrecruzado y textura media. Anillos de crecimiento diferenciados por bandas oscuras.

Poros: Madera de porosidad difusa. Visibles a simple vista con predominancia de poros múltiples radiales de 2 a 3 poros y escasos solitarios de forma ovalada. Poros con diámetro tangencial promedio de 239 μm , clasificados como grandes. En promedio 6 poros/ mm^2 . Elementos vasculares con perforación simple; poco inclinada, con longitud promedio de 261 μm clasificados como cortos. Puntuaciones intervasculares alternas de forma ovalada con abertura incluida.

Parénquima: Visible con lupa 10x. Parénquima paratraqueal vasicéntrico. A nivel microscópico se observa una hilera de células en su contorno. No estratificado.

Radios: Visible con lupa 10x, no estratificados. Altura promedio de 247 μm , clasificados como extremadamente bajos. En sección radial homocelulares conformados por células pro-

cumbentes; en sección tangencial uniseriados. En promedio 12 radios/ mm . Puntuaciones radiovasculares similares a las intervasculares.

Fibras: Libriforales, no estratificadas. Longitud promedio de 893 μm , clasificadas como cortas y espesor de pared de 2,6 μm .

En la Figura 3 se aprecian las macro y microfotografías de la especie en estudio.

Propiedades Físicas

En la Cuadro 4, se presenta el promedio general, y el promedio según posición axial de las propiedades físicas. Se observa que, considerando un punto de saturación de las fibras igual a 30%, los ensayos cumplieron con realizarse en estado saturado. Así mismo, en general se observan menores valores en la zona apical para la densidad mas no en las contracciones. En la Figura 4 se observa el comportamiento de las propiedades físicas según posición axial. Visualmente no se observan grandes diferencias en el comportamiento por nivel para las distintas propiedades, a excepción de la densidad básica donde se observa que la parte apical es menor.

Propiedades Mecánicas

En la Cuadro 5, se presentan el promedio general y en la Cuadro 6, los promedios según posición axial de valores de las propiedades

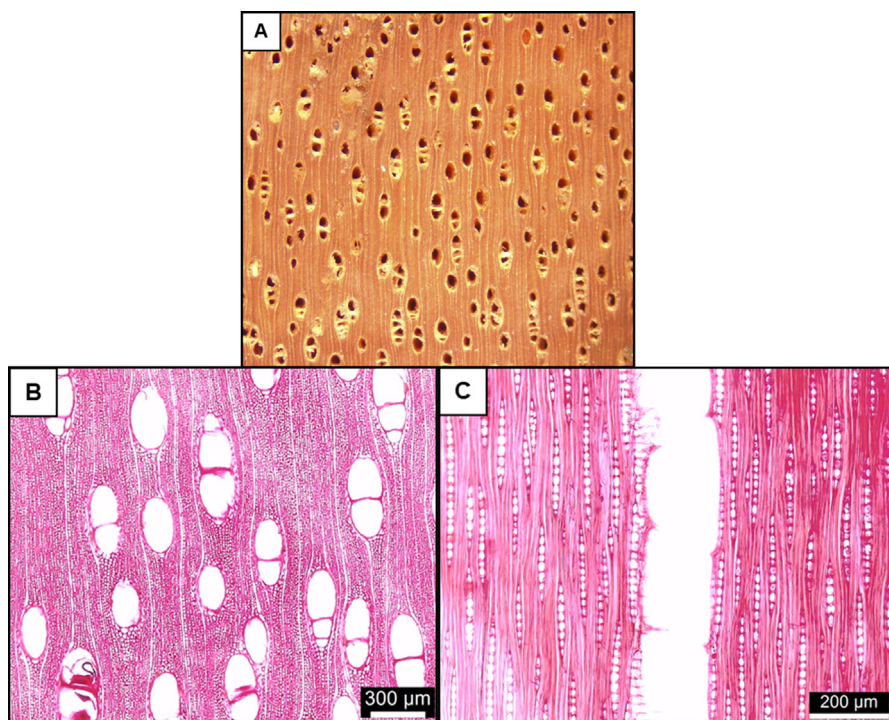


Figura 3. A. Macrofotografía sección transversal a 10x. B. Microfotografía sección transversal. C. Microfotografía sección tangencial.

mecánicas. Se observa que, de acuerdo con la teoría, la resistencia al 12% es mayor que en estado saturado. Así mismo, se observa una mayor variabilidad en los resultados en comparación con las propiedades físicas. En flexión estática, cizallamiento y dureza se encontraron menores valores en la parte apical.

Discusión

Anatómicamente, las características de *Tachigali peruviana* como el parénquima vasicéntrico, radios homogéneos y exclusivamente uniseriados coinciden con otras especies del género *Tachigali* como *T. alba*, *T. chrysaloides* y *T. vasquezii* (Kohagura 2020).

En función a las características físicas y según la clasificación propuesta por Aróstegui (1982); la madera de *Tachigali peruviana* pertenece al grupo III; es decir, se considera que es madera de densidad básica y contracciones

totales medias. Según la relación T/R, podemos indicar que es una madera estable y con buen comportamiento al secado.

Respecto a los niveles axiales, la densidad básica es igual en los tres niveles longitudinales ($F = 1,78$; p -valor = 0,20). Asimismo, las contracciones totales no presentan diferencias significativas (Contracción Tangencial: $F = 0,67$; p -valor = 0,52; Contracción Radial: $F = 0,25$; p -valor = 0,77; Contracción Volumétrica: $F = 0,56$, p -valor = 0,58). Este comportamiento no sigue ninguno de los patrones de variación de densidad descritos por Panshin & De Zeeuw (1980).

Mecánicamente, según la clasificación propuesta por Aróstegui (1982), la madera de *Tachigali peruviana* pertenece al grupo III, clasificada como de resistencia media. Conforme al Cuadro 5, los valores de las propiedades mecánicas en condición saturada son meno-

Niveles	Contenido Humedad (%)	Densidad Básica (g/cm ³)	Densidad Anhidra (g/cm ³)	Densidad Saturada (g/cm ³)	Contracciones Totales (%)			T/R
					Rd.	Tg.	Vol.	
Basal	79,32	0,61	0,67	1,10	3,65	6,56	9,12	1,78
Intermedio	78,92	0,61	0,67	1,10	3,70	6,34	8,69	1,73
Apical	74,38	0,57	0,62	0,99	3,99	6,34	8,74	1,64
Promedio	77,61	0,60	0,66	1,06	3,78	6,41	8,85	1,72
	C.V	7,97	7,99	6,63	18,56	24,33	9,48	24,06

Cuadro 4. Propiedades físicas de la especie *Tachigali peruviana*. Rd. = radial; Tg. = tangencial; Vol. = volumétrica; T/R = Índice de anisotropía

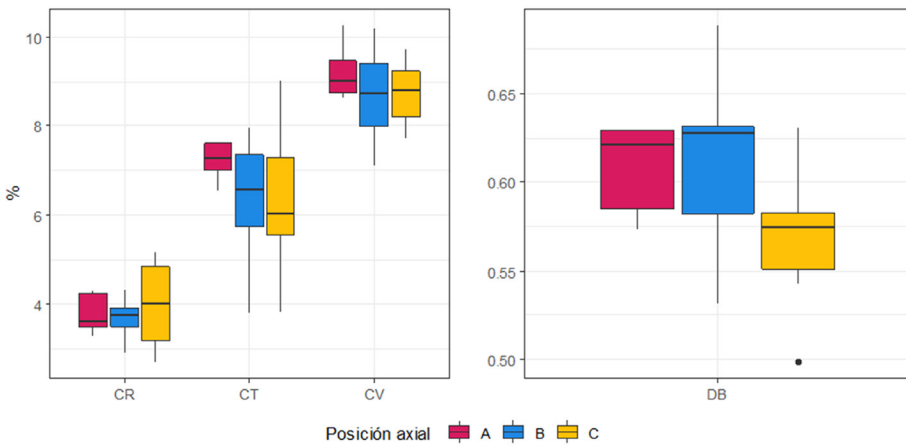


Figura 4. Diagrama de cajas y bigotes para las propiedades físicas de *Tachigali peruviana*.

Propiedad	Unidades	Condición saturada (54%)		Al 12%
Flexión estática		Promedio	C.V.	Promedio
ELP	kg/cm ²	415	34,7	516
MOE	tn/cm ²	103	22,6	130
MOR	kg/cm ²	763	19,7	1055
Compresión paralela				
MOE	tn/cm ²	123	12,1	148
RM	kg/cm ²	309	11,7	518
Compresión perpendicular				
ELP	kg/cm ²	30	14,0	73
Cizallamiento	kg/cm ²	121	26,3	144
Dureza (Lados)	kg/cm ²	643	21,8	723
Tenacidad	kg-m	4,2	16,7	-

Cuadro 5. Propiedades mecánicas promedio. C.V. = Coeficiente de variación.

Propiedad (kg/cm ²)	Condición saturada (54%)			Seca al aire 12%		
	Basal	Media	Apical	Basal	Media	Apical
Flexión estática						
MOR	842	782	663	1123	1147	961
ELP	500	420	326	512	642	434
MOE (x1000)	122	106	82	133	133	123
Compresión paralela						
RM	280	329	316	523	464	-
MOE (x1000)	107	123	140	152*	144*	-
Compresión perpendicular						
ELP	28	35	27	68	78	-
Cizallamiento						
	141	114	109	146	150	-
Dureza (Lados)						
	743	513	672	610	750	-
Tenacidad (kg-m)						
	4,4	4,1	4,2	3,3*	3,5*	-

Cuadro 6. Propiedades mecánicas por niveles. (*) Valor al 13 % ya que no existe factor de conversión para estas propiedades.

res a los obtenidos en condición normal. Los valores aumentan al disminuir el contenido de humedad; excepto en el ensayo de tenacidad donde disminuye. Este comportamiento es explicado por Arroyo (1983), quien menciona que esta propiedad depende de la plasticidad de la madera la cual aumenta con el contenido de humedad.

Los valores de resistencia mecánica obtenidos al 12% son considerados medios según Dávalos y Bárcenas (1999); a excepción del cizallamiento y dureza, propiedades clasificadas como altas según los mismos autores.

En función a características físicas (densidad y estabilidad dimensional) y mecánicas, se proponen los siguientes usos: construcción (encofrados, revestimientos, estructuras clavadas y empernadas), estructuras (columnas, vigas, viguetas) y carpintería de obra.

Conclusiones

La madera de *Tachigali peruviana* posee características similares a otras especies del género *Tachigali*, distinguiéndose por la pre-

sencia de transición abrupta entre albura y duramen, brillo medio y parénquima vasicéntrico fino. La madera en estudio posee densidad y resistencia mecánica de media a alta. Las características físicas, unidas a su resistencia mecánica sugieren que la especie se puede emplear en estructuras, carpintería de obras, mango de herramientas, cajonería y parihuelas.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Círculo de Investigación CIADET de la Universidad Nacional Agraria la Molina (Perú) por su colaboración durante las fases de campo y gabinete.

Referencias

- Acevedo, M; Kikata, Y. 1994. Atlas de maderas del Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina – Universidad de Nagoya. 202 pp.
- Aróstegui, A. 1982. Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas. Documento de trabajo N° 2. PNUD-FAO.
- Arroyo, J. 1983. Propiedades físico-mecánicas de la madera. Universidad de los andes. Fa-

cultad de ciencias forestales. Departamento de publicaciones.

Chavesta, M. 2015. Atlas anatómico de maderas del Perú. Volumen II. Universidad Nacional Agraria la Molina. 105 p.

Chavesta, M. 2018. Atlas anatómico de maderas del Perú. Volumen III. Universidad Nacional Agraria la Molina. 117 p.

Chavesta, M. 2019. Caracterización de la madera de árboles de *Guazuma crinita* Mart. proveniente de plantaciones en Huánuco - Perú. Tesis PhD. Curitiba, Paraná, Universidade Federal do Paraná. 97 p. Disponible en <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/66429>.

Dadswell, H. 1972. The anatomy of eucalypt wood. Forest Products Laboratory, 66:1-28. Disponible en <https://publications.csiro.au/rpr/download>.

Dávalos, R; Bárcenas, G. 1999. Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición seca. *Madera y Bosques*, 5(1):61-69. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/617/61750107.pdf>.

Ferreira, G; Gomes, J; Hopkins, M. 2004. Estudo anatómico das espécies de Leguminosae comercializadas no estado do Pará como "angelim." *Acta amazonica*, 34(3):387-398. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0044-59672004000300005>.

Forest Products Laboratory. 2021. Wood handbook: wood as an engineering material. Agriculture Handbook, 72.

IBAMA. 1992. Norma de procedimentos em estudos de anatomia de madeira: I. Angiospermae, II. Gimnospermae. Serie técnica 15:5-15.

IAWA. 2007. IAWA List of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin* 10(3):219-332. Disponible en <https://www.iawa-website.org/uploads/soft/Abstracts/IAWA%20list%20of%20microscopic%20features%20for%20hardwood%20identification.pdf>.

INACAL. 2020. Madera: Método para determinar la humedad (NTP 251.010).

INACAL. 2014. Madera: Método para determinar la densidad (NTP 251.011).

INACAL. 2015. Madera: Método para determinar la contracción (NTP 251.012).

INACAL. 2015. Madera: Método de determinación de cizallamiento paralela al grano (NTP 251.013).

INACAL. 2020. Madera: Método de determinación de compresión paralela al grano (NTP 251.014).

INACAL. 2020. Madera: Método de determinación de dureza (NTP 251.015).

INACAL. 2015. Madera: Método de determinación de compresión perpendicular al grano (NTP 251.016).

INACAL. 2014. Madera: Método de ensayo de flexión estática (NTP 251.017).

INACAL. 2020. Madera: Método de determinación de tenacidad (NTP 251.018).

Kohagura, J. 2020. Anatomía y propiedades físicas de tres especies del género *Tachigali* en un bosque de Terraza Alta en la región de Madre de Dios, a través del método no destructivo. Tesis Ing, Madre de Dios, Perú, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. 51 p. Disponible en <https://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/796>.

Palacios, S; Reynel, C; Pennington, RT. 2011. Una formación vegetal subxerófila en el Valle de Chanchamayo, Dp. Junín. CED- FDA y APRODES. Disponible en http://www.aprodes.org/pdf/formacion_vegetal.pdf.

Panshin, A; De Zeeuw, C. 1980. Textbook of wood technology. McGraw-Hill Book Company.

Sass, J. 1958. Elements of botanical microtechnique. McGraw-Hill Book Company.

Suckow, I; Longui, E; Lima, I; Florsheim, S; Aguiar, O. 2009. Anatomia da madeira e densidade básica de angico-branco *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. Instituto Florestal Serie Registros 40:131-135.

Reynel, C; Pennington, TD; Pennington, RT. 2016. Árboles del Perú. Imprenta Bellido. 1047 p.

Van der Werff, H. 2008. A Synopsis of the Genus *Tachigali* (Leguminosae: Caesalpinioideae) in Northern South America. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 95(4):618–652.

Viana, L. 2008. Uso da espectroscopia do infravermelho próximo para predição de propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus*. Tesis de maestría, Minas Gerais, Brazil, Universidade Federal de Lavras. 111 p.