

PROPIEDADES FÍSICAS EN *Guazuma crinita* POR MEDIOS CONVENCIONALES Y ESPECTROSCOPIA INFRARROJA CERCANA

PHYSICAL PROPERTIES OF *Guazuma crinita* BY CONVENTIONAL METHODS AND NEAR INFRARED SPECTROSCOPY

Manuel Chavesta^{1,*}, *Rolando Montenegro*¹, *Mario Tomazello-Filho*², *Mayara Carnerio*³, *Silvana Nisgoski*³

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar las propiedades físicas de la madera de *Guazuma crinita* por el método convencional, así como estimar estas propiedades por espectroscopia infrarroja cercana (NIR) a través del desarrollo de modelos de calibración multivariada. Las muestras fueron obtenidas de tres niveles del eje longitudinal en 5 árboles para 5 y 8 años de edad seleccionados al azar de una plantación en la zona de Puerto Inca, departamento de Huánuco (Perú). Se determinó la densidad básica, contracción total volumétrica, tangencial y radial por el método destructivo o convencional. Los modelos fueron desarrollados por regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS) mediante transformaciones matemáticas. Para la validación de los modelos se empleó un grupo de muestras que no participo en el desarrollo del modelo. Se encontró diferencias estadísticas significativas ($F_{5\text{años}} = 191,5$; $F_{8\text{años}} = 84,9$) entre las tres alturas en el fuste. Para densidad básica y contracción volumétrica se encontró valores de R_c^2 (0,88 y 0,83) y RPD_p (1,55 y 3,27) aceptables para la predicción.

Palabras claves: Contracción radial, contracción tangencial, contracción volumétrica, densidad básica, regresión de mínimos cuadrados parciales.

ABSTRACT

The aim of the present study was to determine the physical properties of the *Guazuma crinita* wood by conventional methods, as well as to estimate these properties by near infrared spectroscopy (NIR) through the development of multivariate calibration models. The samples were obtained from five trees and from three levels longitudinally for 5 and 8 years of age randomly selected from a plantation in Puerto Inca, Department of Huánuco (Perú). Basic density, volumetric, tangential and radial contraction were determined by the conventional methods. Models were developed by regression of partial least squares (PLS) through mathematical transformations. For the validation of the models, a new group of samples -which did not participate in the development of the model were used. Statistical significance was found $F_{5\text{años}} = 191,5$; $F_{8\text{años}} = 84,9$) between the different heights in the stem. Basic density and volumetric contraction show values of R_c^2 (0,88 and 0,83) and RPD_p (1,55 and 3,27) acceptable for prediction.

Keywords: Basic density, partial least squares regression, radial shrinkage, tangential shrinkage, volumetric shrinkage.

¹Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. mchavesta@lamolina.edu.pe

²Escola Superior de Agricultura "Luz de Queiroz" - ESALQ-USP, Piracicaba, SP, Brasil. mtomazel@esalq.usp.br

³Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil. nisgoski@ufpr.br, mayaraelita@ufpr.br

*Autor para correspondencia: mchavesta@lamolina.edu.pe

Recibido: 02.10.2018 Aceptado: 16.07.2019

INTRODUCCIÓN

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). Dicha información está directamente asociada a la calidad y el uso del producto final (Oliveira mencionado por Filgueira *et al.* 2015). Las técnicas tradicionales para determinar las propiedades de la madera son destructivas; sin embargo, en la actualidad se han desarrollado técnicas para aumentar la eficiencia y rapidez de resultados de estas propiedades, siendo la Espectroscopía de Infrarrojo Cercano (NIR) un ejemplo. Esta técnica es utilizada en diferentes países industrializados por su probada utilidad, sin embargo, en el Perú no se registra su uso con fines forestales.

La evaluación de las propiedades físicas de la madera se realiza utilizando métodos directos e indirectos. El método directo más común para determinar la densidad básica consiste en un procedimiento gravimétrico, método destructivo que requiere mucho tiempo y limita su aplicación en muestreos de campo (Rybníček *et al.* 2012). En los últimos años, la espectroscopia aparece como una técnica ideal para reemplazar a los métodos tradicionales de laboratorio, teniendo como ventajas realizar un gran número de mediciones en cortos intervalos de tiempo, análisis cuantitativos y cualitativos rápidos, poca preparación y no destrucción de las muestras (Tsuchikawa y Kobori 2015, Lang *et al.* 2015). La espectroscopía NIR es una técnica que forma parte del campo de estudio de la espectroscopía molecular, la cual analiza la interacción de la radiación electromagnética con la materia y cuyo rango espectral está comprendido entre los 750 - 2500 nm (Reis-Milagres *et al.* 2013).

Dentro de las propiedades de la madera, la densidad es sin duda la propiedad más empleada para la evaluación de la misma por ser de fácil determinación y presentar una estrecha relación con la mayor parte de sus demás características. Es un parámetro importante para la evaluación de la calidad de madera y para otras estimativas en el análisis de las plantaciones forestales (Suckow *et al.* 2009). Otro índice importante dentro de las propiedades físicas son las contracciones de la madera que permiten evaluar su estabilidad dimensional; ya que las maderas que se contraen menos son más estables (Gonçalves *et al.* 2009). La magnitud de la variación dimensional es normalmente mayor en maderas con mayor peso específico debido a la mayor cantidad de madera por unidad de volumen; además, maderas de mayor peso específico para un mismo contenido de humedad contienen más agua en la pared celular (Silva *et al.* 2006).

En el Perú es poca la información en términos de variación de las propiedades de las especies maderables utilizadas en plantaciones forestales siendo la especie *Guazuma crinita* una de ellas (Weber *et al.* 2011, Sotelo *et al.* 2008). En los últimos años se han realizado diversos trabajos con espectroscopia NIR en distintos materiales y con el fin de estimar distintas propiedades. En el campo forestal se ha utilizado la espectroscopía NIR en diversas líneas de investigación; así tenemos a Viana *et al.* (2010), Vimal *et al.* (2015), Cassia *et al.* (2016) y Lengowski *et al.* (2018) en la predicción de la composición química en madera y papel; en madera y carbón a Bolzon *et al.* (2016). En propiedades físicas y mecánicas de *Mimosa tenuiflora* a Diesel *et al.* (2014); en la influencia de la anisotropía en los resultados estadísticos, a Costa *et al.* (2018); y en la estimación de carbono en bambú a Dallagnol (2012). En la determinación de origen y trazabilidad de la madera a Silva *et al.* (2018) y Paredes *et al.* (2018); en discriminación de especies y clasificación de maderas de distinta procedencia con espectrómetro NIR portátil a Soares *et al.* (2017).

Uno de los géneros más estudiados por espectroscopia es el género *Eucalyptus*; así para densidad básica, Reis-Milagres *et al.* (2013) obtuvo coeficientes de determinación de 0,84 a 0,89; Viana *et al.* (2010), valores de correlación de 0,56 a 0,97 y Tyson *et al.* (2009) de 0,75; así mismo, diversos trabajos relacionados con las propiedades físicas utilizando NIRs demostraron buenas estimaciones de esta propiedad (Hein *et al.* 2009). Así mismo, Alves *et al.* (2012), en un estudio de la densidad básica de *Pinus pinaster* y *Larix x eurolepis* hallaron un RPD de 3,5 y 3,2 respectivamente, con coeficientes de determinación entre 0,82 y 0,92. Por otro lado, Santos *et al.* (2012), reportan para densidad básica de *Acacia melanoxylon*, RPDs de 2,8 a 4,1 y coeficientes de determinación de 0,84 a 0,94.

Los objetivos de este trabajo fueron determinar las propiedades físicas (densidad básica, contracción volumétrica, tangencial y radial) de *G. crinita* por el método destructivo para edades de 5 y 8 años; desarrollar modelos de calibración multivariada empleando ambas edades y evaluar la capacidad predictiva de cada modelo en la calibración y validación de los modelos.

Materiales y métodos

La madera de árboles de *Guazuma crinita* Mart. proviene de plantaciones forestales de la Empresa Reforestadora Amazónica S.A.; sector Maquizapallo localizada en la ciudad de Puerto Inca, Huánuco – Perú; ubicada geográficamente a $9^{\circ} 37' 43''$, latitud S y $74^{\circ} 58' 28''$ longitud W; 145 m de altitud (Figura 1). La zona tiene una precipitación media anual de 2482 mm y temperatura mínima de 22°C y máxima de 35°C . Los suelos de la plantación son de tipo aluvial de textura franco y franco-limoso; pH 5,5, con contenido de materia orgánica 4%; CIC 10,8 meq/100 g y profundidad efectiva mayor a 90 cm. Las muestras de madera fueron colectadas en campo en noviembre del 2016. El espaciamiento de los árboles en la plantación fue de 3 m x 3 m.

Corte, colección y preparación de muestras de madera

Los arboles al momento del corte tenían cinco años (63 meses) y ocho años (103 meses). Se seleccionaron cinco árboles por edad; se midió la altura comercial, tumbados y divididos en tres partes (basal, media y apical) conforme a la metodología utilizada por Valente *et al.* (2013). Se tomó un metro de la parte inferior de cada troza de cada nivel y de cada una de ellas se obtuvo una rodaja de 5 cm de espesor, de donde se obtuvieron muestras diametrales de 2 mm de espesor y 2 cm de ancho para su evaluación por espectroscopia. De lo restante se obtuvo una porción central de 5 cm de espesor para la obtención de probetas para la determinación de las propiedades físicas; conforme a la Figura 2.

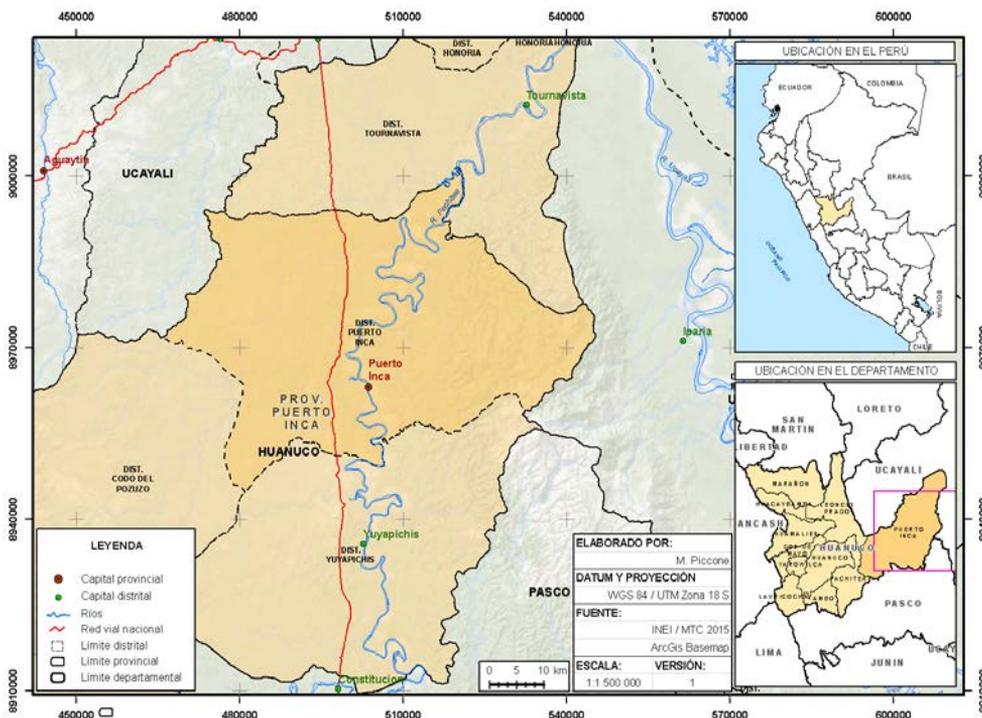


Figura 1: Localización de las plantaciones de *Guazuma crinita* en Huánuco (Perú).

Las muestras para los ensayos destructivos fueron preparadas en el taller de trabajabilidad de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), codificadas y guardadas en bolsas herméticas, buscando mantener la máxima condición de humedad, para luego ser medidas y analizadas en el Laboratorio de Ensayos Tecnológicos de la UNALM. Para la determinación de las propiedades físicas se utilizaron las normas: NTP 251.011 (2014), para determinación de densidad y NTP 251.012 (2015), para determinación de las contracciones: volumétrica, tangencial y radial.

Para los ensayos físicos se prepararon 45 probetas por árbol correspondiente a tres niveles axiales totalizando 225 probetas por edad; habiéndose determinado en ellas la densidad básica y contracciones. Las dimensiones de las muestras fueron de 3 cm x 3 cm x 10 cm (tangencial x radial x longitudinal); las que fueron pesadas y medidas con micrómetro de precisión 0,01 mm en estado húmedo y llevado a estufa ($103 \pm 2^{\circ}\text{C}$)

hasta estado anhidro, para determinar densidad básica y contracciones totales. Las mediciones en las muestras se realizaron en dos puntos: uno en dirección tangencial y otro en dirección radial, tomando como referencia el centro de las caras antes indicadas. Para la contracción volumétrica, el volumen fue determinado por el método de desplazamiento de agua (Arquímedes); y para determinar el volumen en estado anhidro las probetas fueron parafinadas para evitar la absorción de agua.

Las muestras consistieron en láminas de 2 mm de espesor obtenidas diametralmente a partir de las porciones centrales de las rodajas. Se obtuvo una lámina por cada uno de los tres niveles de altura de cada uno de los 10 árboles para las dos edades. Para la medición de los espectros se utilizó un espectrofotómetro NIR Bruker Tensor 37 que obtuvo espectros a cada 2 nm de longitud de onda, en el intervalo de 1000 a 2500 nm con resolución de 1 nm, totalizando 300 lecturas para ambas edades. Se tomaron 10 lecturas equidistantes (5 a cada lado de la medula) para cada muestra y se utilizó el promedio por nivel. Las muestras no recibieron ningún tratamiento químico y las condiciones de trabajo en laboratorio fueron de 20 °C y 65% HR. La información de las mediciones y procesamiento de los espectros fue registrada por el software OPUS SPECTROSCOPY del equipo BRUKER y procesados por el software Unscrambler X Versión 10.4.

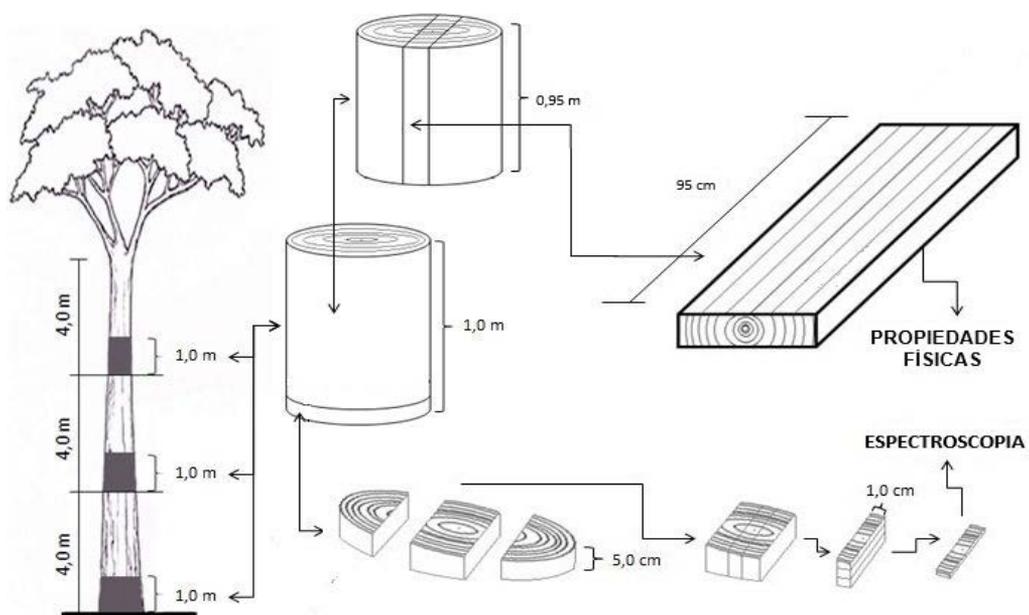


Figura 2: Toma de muestra para determinación de propiedades físicas y espectroscopia.

Análisis estadístico

El análisis se descompone en dos partes: análisis para ensayos destructivos y análisis de espectroscopia infrarroja cercana (NIR). Para el análisis de los ensayos destructivos fue utilizado el programa R versión 3.5.1, siendo cada árbol considerado como repetición. Se evaluó el efecto de la posición axial a través del análisis de varianza (ANOVA) para cada edad. En caso de significancia en los efectos se aplicó la prueba de Tukey con un nivel de confianza de 95%. Así mismo, para el procesamiento de datos de NIR se empleó el programa The Unscrambler X versión 10.4 con el cual se realizó una regresión PLS de los espectros NIR vs las propiedades físicas. Para ello se aplicó como pretratamiento la segunda derivada de Savitzky-Golay de orden polinómico 2 y con suavización de 10 puntos a cada lado. Se utilizó validación cruzada con 10 factores y se realizó el test de incertidumbre para estimar un modelo de regresión estable. La calibración y validación estadística de cada regresión incluyó el coeficiente de determinación (R^2), cuadrado del error estándar (RMSE), el error estándar de predicción (SEP) y la razón de desempeño de la desviación, la cual es calculada por el cociente entre las desviaciones estándar de los valores de referencia y predicción (RPD).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de densidad básica (DB) y de contracción volumétrica, tangencial y radial; son mayores para la edad de 8 años (Tabla 1). Los resultados de densidad básica promedio (360 kg/m³ para 5 años y 400 kg/m³ para 8 años) clasifican la madera de *G. crinita* como madera de baja densidad, conforme a la clasificación de Souza *et al.* (2002). Dichos valores son similares comparados con 430 kg/m³ para la misma zona y edad de 8 años (Tuisima *et al.* 2017), 420 kg/m³ para 32 meses de edad (Weber y Sotelo 2008), y 410 kg/m³ para madera proveniente de bosque natural (Acevedo y Kikata 1994). A pesar que existen diferencias estadísticas significativas entre la densidad básica de 5 y 8 años, Zobel y Jett (1995) señalan que la edad no es determinante en esta propiedad, sino que depende de su carácter genético; mientras que en un estudio de once procedencias para la misma especie, Weber y Sotelo (2008) indican que las diferencias en esta propiedad dependen de la procedencia.

Tabla 1: Valores medios de propiedades físicas de *Guazuma crinita* para 5 y 8 años.

Edad	D.B (kg/m³)	CV (%)	CT (%)	CR (%)
5 años	360 b ¹	7,93 b	5,26 b	2,78 b
(63 meses)	(14) ²	(12)	(14)	(18)
8 años	400 a	8,67 a	5,59 a	3,09 a
(103 meses)	(12)	(14)	(19)	(21)

D.B: densidad básica; CV: contracción volumétrica; CT: contracción tangencial; CR: contracción radial.

¹Medias seguidas de la misma letra dentro de una misma columna, no difieren estadísticamente entre sí, por la prueba de Tukey ($p>0,05$). ²Valores entre paréntesis corresponden al coeficiente de variación respectivo.

Axialmente los valores de densidad básica y contracciones son mayores en la parte basal del árbol en ambas edades (Tabla 2) y disminuyen de la base a la parte apical del árbol, evidenciando diferencias estadísticas en los tres niveles evaluados. La variación longitudinal encontrada sigue uno de los patrones de variación presentado por Panshin y De Zeeuw (1980), así como patrones para *G. crinita* y *Calycophyllum spruceanum* reportados por Tuisima *et al.* (2017) y Weber y Sotelo (2008). La mayor densidad básica en la parte basal del árbol se debe a la mayor compactación por la superposición de células en este nivel del tronco; así como a una respuesta adaptativa al estrés de flexión producido por el viento (Ali *et al.* 2010, Weber y Sotelo 2008).

Tabla 2: Valores medios de propiedades físicas de *Guazuma crinita* para 5 y 8 años en dirección axial.

Edad / Posición		D.B (kg/m ³)	CV (%)	CT (%)	CR (%)
Dirección axial					
5 años (63 meses)	Basal	410 a ¹ (7) ²	8,57 a (9)	5,72 a (10)	3,07 a (14)
	Intermedia	350 b (12)	7,73 b (12)	5,16 b (16)	2,76 b (17)
	Apical	320 c (10)	7,47 b (11)	4,89 c (13)	2,49 c (19)
8 años (103 meses)	Basal	430 a (9)	9,19 a (12)	5,98 a (16)	3,37 a (19)
	Intermedia	400 b (11)	8,44 b (12)	5,36 b (16)	3,05 b (18)
	Apical	370 c (10)	8,33 b (17)	5,38 b (23)	2,82 c (23)

D.B: densidad básica; CV: contracción volumétrica; CT: contracción tangencial; CR: contracción radial.

¹Medias seguidas de la misma letra dentro de una misma columna, no difieren estadísticamente entre sí, por la prueba de Tukey ($p>0,05$). ²Valores entre paréntesis corresponden al coeficiente de variación respectivo.

Los valores de contracción para la especie están acorde con lo reportado por Tuisima *et al.* (2017) y considerados bajos según la clasificación de Durlo y Marchiori (1992). Las contracciones son mayores para la edad de 8 años y en ambas edades son mayores en la parte basal. Longitudinalmente se encontraron diferencias estadísticas significativas en contracción volumétrica para ambas edades en el nivel basal en relación a los otros dos niveles que fueron iguales. En *G. crinita* de 5 años, la contracción tangencial y radial presenta diferencias estadísticas significativas entre los 3 niveles cuyos valores disminuyen de la base al ápice. El mismo comportamiento se da para 8 años excepto para contracción tangencial entre el nivel intermedio y apical, los cuales no presentan diferencias significativas. Los coeficientes de variabilidad en el presente estudio son mayores a los de Tuisima *et al.* (2017).

Los parámetros estadísticos de los modelos NIR desarrollados para las propiedades físicas de *G. crinita* se presentan en la Tabla 3. Los resultados de calibración muestran que los modelos para densidad básica, contracción volumétrica y contracción radial alcanzaron valores elevados de coeficientes de determinación de calibración (R_c^2) mientras que los valores de coeficientes de determinación para la predicción (R_p^2) de las mismas variables, resultaron medios para la densidad básica y contracción volumétrica.

Tabla 3: Parámetros estadísticos de los modelos NIR desarrollados para las propiedades físicas de *Guazuma crinita* de 5 y 8 años.

Edad	Propiedades físicas	Conjunto de calibración (n=20)		Conjunto de predicción (n=10)			
		R ² _c	RMSE	R ² _p	RMSEP	SEP	RPD _p
5 y 8 años	Densidad básica	0,88	1,00 kg/m ³	0,68	3,00 kg/m ³	0,02	1,55
	Contracción volumétrica	0,83	0,32 %	0,51	0,82 %	0,74	3,27
	Contracción tangencial	0,02	0,51 %	0,01	0,82 %	0,74	4,72
	Contracción Radial	0,84	0,13 %	0,31	0,38 %	0,28	1,71

R²_c: Coeficiente de determinación para la calibración; RMSE: Cuadrado del error estándar para la calibración; R²_p: Coeficiente de determinación para la predicción; RMSEP: Cuadrado del error estándar de la predicción; SEP: Error estándar de la predicción; RPD_p: razón entre las desviaciones estándar de los valores de referencia y predicción.

Los parámetros estadísticos de los modelos para densidad básica y contracción volumétrica obtenidos por NIR permiten una adecuada predicción. El R²_c para densidad básica (0,88) es mayor al reportado por Gouvea *et al.* (2011), quienes encontraron valores de R²_c de 0,84 y mayor a los encontrados por Schimleck *et al.* (2006) cuyo R²_c está en el rango de 0,64 a 0,76; así mismo, está dentro del rango obtenido por Reis-Milagres *et al.* (2013), quienes obtuvieron un R²_c de 0,80 a 0,98. El R²_c para contracción volumétrica (0,83) también resulta consistente para la predicción. El RPD_p para densidad básica de 1,55 es satisfactorio según Schimleck *et al.* (2005) quienes señalan que valores iguales o superiores a 1,5 son suficientes para la predicción. Lo mismo ocurre con el RPD_p de la contracción volumétrica (3,27); en tanto, Reis-Milagres *et al.* (2013) descartan que modelos con valores de RPD_p por debajo de 1 sean buenos en la predicción; agregando Fujimoto *et al.* (2008) que mientras los valores de RPD_p son más altos, la calibración es más confiable. Para contracción tangencial y radial los valores de R²_c son muy bajos por lo que la predicción no es útil; debido a que la data tomada para NIR, se realizó en 10 posiciones longitudinales sobre la cara transversal; en tanto, la medición de las contracciones se realizó en 3 posiciones entre la médula y la corteza: 0-33%, 33-66%, 66-100%; que sumado a la alta variabilidad en las contracciones radiales y tangenciales que superan el 20%, podría explicar la baja correlación en los resultados y corroborado por Costa *et al.* (2018) quien señala que los planos de corte radial y tangencial son los de mayor variabilidad.

CONCLUSIONES

Acorde con los resultados obtenidos por ensayos destructivos y NIR se concluye que:

La densidad básica promedio obtenida para las edades de 5 y 8 años fue de 360 y 400 kg/m³ respectivamente, lo que permite clasificarla como madera de baja densidad.

La densidad básica, contracción volumétrica, tangencial y radial son mayores para la edad de 8 años y axialmente disminuyen de la base al ápice del árbol para ambas edades con variaciones estadísticas significativas.

Buenas correlaciones por NIR fueron obtenidas para los modelos desarrollados para densidad básica y contracción volumétrica para ambas edades; en tanto, que la contracción tangencial y radial no proporciona buena predicción.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Reforestadora Amazónica SA, por el apoyo brindado en la colecta del material.

BIBLIOGRAFIA

- Acevedo, M.; Kikata, Y. 1994.** Atlas de maderas del Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina – Universidad de Nagoya. Lima, Perú. 202p.
- Ali, A.; Chirkova, J.; Terziev, N.; Elowson, T. 2010.** Physical properties of two tropical wood species from Mozambique. *Wood Material Science and Engineering* 5 (3):151–161.
- Alves, A.; Santos, A.; Rozenberg, P.; Paques L.; Charpentier, J.; Schwanninger, M.; Rodrigues, J. 2012.** A common near infrared – based partial least squares regression model for the prediction of Wood density of *Pinus pinaster* and *Larix xeurolepis*. *Wood Science Technology* 46(1-3):157-175.
- Bolzon, G.; Carneiro, M.; Batista, F.; Schadosin, F.; Nisgoski, S. 2016.** Wood and charcoal identification of five species from the miscellaneous group known in Brazil “*Angelim*” by near-ir and wood anatomy. *Maderas-Cienc Tecnol* 18(3): 505 - 522.
- Cassia, V.; Bolzon de Muñiz, G.; Hein, P.; Magalhaes, W.; Carneiro, M. 2016.** Nir spectroscopy can evaluate the crystallinity and the tensile and burst strengths of nanocellulosic films. *Maderas-Cienc Tecnol* 18(3): 493 - 504.
- Costa, E.; Rocha, M.; Hein, P.; Amaral, E.; Dos Santos, I.; De Siqueira, I.; Trugilho, P. 2018.** Influence of spectral acquisition technique and wood anisotropy on the statistics of predictive near infrared-based models for wood Density. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 26(2): 106-116.
- Dallagnol, F. 2012.** Estimativa de teores de carbono em seis espécies de bambu por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR). Requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Brasil. 129 p.
- Diesel, K.; Da Costa, F.; Pimenta, A.; De Lima, C. 2014.** Near-infrared spectroscopy and wavelength selection for estimating basic density in *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret wood. *Wood Science Technology* 48: 949-959.
- Durlo, M.; Marchiori, J. 1992.** Tecnologia da Madeira: retratibilidade. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 33p. (Serie Técnica, 10).
- Filgueira, T.; Chaves, M.; Paes, J.; Tarcísio, J.; Pereira, E. 2015.** Características anatômicas e propriedades físico-mecânicas das madeiras de duas espécies de mogno africano. *Cerne* 21(4): 633-640.
- Fujimoto, T.; Kurata, Y.; Matsumoto, K.; Tsuchikawa, S. 2008.** Application of near infrared spectroscopy for estimating wood mechanical properties of small clear and full-length lumber specimens. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 16(6): 529-537.
- Gonçalves, F.; Tarcísio, J.; Marius, R.; Eloi, M.; Cardoso, R. 2009.** Densidade básica e variação dimensional de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. *Árvore* 33(2): 277-288.
- Gouvea, F.; Trugilho, F.; Gomide, L.; Moreira Da Silva, R.; Andrade, R.; Nogueira, C. 2011.** Determinação da densidade básica das madeiras de *Eucalyptus* por diferentes métodos não destrutivos. *Revista Árvore* 35(2): 349-358.
- Hein, G.; Campos, A.; Trugilho, P.; Lima, J.; Chaix, G. 2009.** Near infrared spectroscopy for estimating wood basic density in *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus grandis*. *Revista Cerne* 15(2):133-141.
- Lang, C.; Costa, C.; Camargo, C.; Durgante, M.; Vicentini, A. 2015.** Near infrared spectroscopy facil-

itates rapid identification of both young and mature Amazonian tree species. *PLoS one* 10(8):1-15.

Lengowski, E.; Bolzon, G.; Klock, H.; Nisgoski, S. 2018. Potential use of NIR and spectroscopy to analyze chemical properties of thermally treated wood. *Maderas-Cienc Tecnol* 20(4): 627 - 640.

Normas Técnicas Peruanas de Madera. NTP. 2014. Madera. Método para determinar la densidad. NTP 251.011. 2014. Instituto Nacional de la Calidad: Perú

Normas Técnicas Peruanas de Madera. NTP. 2015. Madera. Método para determinar la contracción. NTP 251.012. 2015. Instituto Nacional de la Calidad: Perú

Panshin, A.; de Zeeuw, C. 1980. *Textbook of wood technology*. 4 ed. New York: Mc Graw-Hill. 722p.

Paredes, K.; Espinoza, E.; Ottenburghs, J.; Sterken, M.; Bongers, F.; Zuidema, P. 2018. Chemical differentiation of Bolivian Cedrela species as a tool to trace illegal timber trade. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 91(5): 603-613.

Reis-Milagres, F.; Lívio, J.; Magaton, A.; Fantuzzi, H. 2013. Influência da idade na geração de modelos de espectroscopia NIR, para predição de propriedades da madeira de *Eucalyptus* spp. *Revista Árvore* 37(6): 1165-1173.

Rybniček, M.; Koňasoá, E.; Koňas, P.; Kolář, T. 2012. The decrease in basic density of spruce (*Picea abies*) in the past thirty years. *Wood Research* 57(4):531-544.

Santos, A.; Alves, A.; Simoes, R.; Pereira, H.; Rodrigues, J.; Schwanninger, M. 2012. Estimation of Wood basic density of *Acacia melanoxylon* (R. Br.) by near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 20(2): 267-274.

Schimleck, R.; Jones, P.; Peter, G.; Daniels, F.; Clark, A. 2005. Nondestructive estimation of *Pinus taeda* L. wood properties for samples from a wide range of sites in Georgia. *Canadian Journal of Forest Research* 35(1):85-92.

Schimleck, R.; Rezende, G.; Demuner, J.; Downes, M. 2006. Estimation of Whole-tree Wood Quality Traits Using Near Infrared Spectra from Increment Cores. *Appita Journal* 59(3): 231-234.

Silva, J.; Tarcísio, J.; Almeida, B.; Resende, V. 2006. Variação da retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, em função da idade e da posição radial no tronco. *Árvore* 30(5):803-810.

Silva, D.; Pastore, T.; Soares, I.; De Barros, F.; Bergo, M.; Coradin, V.; Gontijo, A.; Herrera, M.; Belteton, C.; Braga, J. 2018. Determination of the country of origin of true mahogany (*Swietenia macrophylla* King) wood in five Latin American countries using handheld NIR devices and multivariate data analysis. *Holzforschung* 72(7): 521-530.

Soares, I.; Da Silva, D.; Bergo, M.; Coradin, V.; Braga, J.; Pastore, T. 2017. Avaliação de espectrômetro NIR portátil e PLS-DA para a discriminação de seis espécies similares de madeiras amazônicas. *Química Nova* 40(4):418-426.

Sotelo, C.; Hernandez, R.; Beaulieu, J.; Weber, J. 2008. Genetic variation in wood color and its correlations with tree growth and wood density of *Calycophyllum spruceanum* at an early age in the Peruvian Amazon. *New Forests* 35: 57-73.

Souza, M.; Magliano, M.; Camargos, J. 2002. Madeiras tropicales brasileiras. 2.ed. Brasília: IBAMA, 152p.

Suckow, L.; 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 Registrais* 40: 131-135.

Valente, B; Evangelista, W; Silva, J; Della Lucia, R. 2013. Variabilidade radial e longitudinal das propriedades físicas e anatômicas da madeira de Angico-Vermelho. *Scientia Forestalis* 41(100):485-496.

Tsuchikawa, S.; Kobori, H. 2015. A review of recent application of near infrared spectroscopy to wood science and technology. *Journal of Wood Science* 61(3): 213-220.

Tuisima, L.; Odicio, J.; Weber, J.; Lluncor, D.; Lojka, B. 2017. Variation in wood physical properties within stems of *Guazuma crinita*, a timber tree species in the Peruvian Amazon. *Madera y Bosques* 23(1):53-61.

Tyson, A.; Schimleck, R.; Aguiar, M.; Abad, M.; Rezende, P. 2009. Adjusting near infrared wood property calibrations for central Brazil to predict the wood properties of samples from southern Brazil. *Appita Journal* 62(1):46-51.

Viana, L.; Trugilho, F.; Hein, G.; Silva, D.; Lima, T. 2010. Calibration models and near infrared spectroscopy for predicting chemical properties and basic density in eucalyptus wood. *Ciência Florestal* 20(2):367-376.

Vimal, K.; Jaideep; Seema, B.; Ginwal, H.; Sachin, G. 2015. Multi-species NIR calibration for estimating holocellulose in plantation timber. *Wood Science Technology* 49: 769-793.

Weber, J.; Sotelo, C. 2008. Geographic variation in tree growth and wood density of *Guazuma crinita* Mart. in the Peruvian Amazon. *New Forests* 36(1):29-52.

Weber, J.; Sotelo, C.; Cornelius, J.; Ugarte, J. 2011. Genetic variation in tree growth, stem form and mortality of *Guazuma crinita* in slower and faster-growing plantations in the Peruvian Amazon. *Silvae Genetica* 60(2): 70-78.

Zobel, B.; Jett, J. 1995. *Genetics of wood production*. New York: Springer-Verlag, 256p.