



Colombia Forestal

ISSN: 0120-0739

ISSN: 2256-201X

Proyecto Curricular de Ingeniería Forestal, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Portal Cahuana, Leif Armando; de Figueiredo Latorraca, João Vicente;
Camargo Pace, José Henrique; Vieira dos Santos, Glacycianne Christine;
Oliveira Lima, Dayane; Alves Ramos, Letícia Maria; Do Carmo, Jair Figueiredo
Variabilidad radial física y anatómica del leño de árboles de *Amburana cearensis* (Allemao) A.C.Sm.
Colombia Forestal, vol. 22, núm. 1, 2019, Enero-Junio, pp. 17-26
Proyecto Curricular de Ingeniería Forestal, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

DOI: <https://doi.org/10.14483/2256201X.13083>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=423957937002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

Variabilidad radial física y anatómica del leño de árboles de *Amburana cearensis* (Allemao) A.C.Sm.

Physical and anatomical radial variability of the *Amburana cearensis* (Allemao) A.C.Sm. tree log

Leif Armando Portal Cahuana¹ , João Vicente de Figueiredo Latorraca² ,
José Henrique Camargo Pace² , Glacycianne Christine Vieira dos Santos² ,
Dayane Oliveira Lima² , Letícia Maria Alves Ramos²  y Jair Figueiredo Do Carmo³ 

Portal-Cahuana, L., de Figueiredo, J., Camargo-Pace, J., Vieira dos Santos, G., Oliveira-Lima, D., Alves-Ramos, L. y Figueiredo Do Carmo, J. (2019). Variabilidad radial física y anatómica del leño de árboles de *Amburana cearensis* (Allemao) A.C.Sm. *Colombia Forestal*, 22(1), 17-26.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14483/2256201X.13083>

Recepción: 1 de marzo de 2018

Aprobación: 29 de octubre de 2018

Resumen

Existen pocos estudios relacionados con microdensitometría de rayos X en madera de bosques tropicales nativos. Este estudio tuvo como objetivo determinar la variación radial de la densidad aparente del leño de *Amburana cearensis* (Allemao) A.C.Sm. por microdensitometría de rayos X. Se seleccionaron 11 árboles, de los que se cortaron secciones radiales de la médula a la corteza, para establecer la densidad aparente y las características anatómicas en tres posiciones radiales. Los resultados mostraron que la madera de *A. cearensis* presentó valores medios de densidad de madera, mínimo y máximo de 0.55, 0.13 y 0.87 g.cm⁻³, respectivamente. Asimismo, mostró diferencia significativa en tres posiciones médula (intermedia y corteza), esta diferencia

puede ser explicada por la anatomía microscópica, especialmente con los vasos (diámetro, área y el número.mm⁻²). La microdensitometría de rayos X es una herramienta importante en la evaluación radial de la madera y puede ayudar en la definición de los límites de los anillos de crecimiento de *A. cearensis*.

Palabras clave: densidad aparente, microdensitometría de rayos x, perfil radial de la madera.

Abstract

There are few studies related with X-ray micro-densitometry regarding wood from native tropical forests. The objective of this study was to determine the radial variation of the apparent density of the *Amburana cearensis* (Allemao) A.C.Sm. wood by X-ray micro-densitometry. Indeed, eleven trees were selected,

1 Departamento de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (Unamad), Puerto Maldonado, Perú. lportal@unamad.edu.pe Autor para correspondencia.

2 Departamento de Produtos Florestais, Instituto de Florestas. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Brasil.

3 Universidade Federal de Mato Grosso, campus Sinop, Brasil. Laboratorio de Qualidade da Madeira (UFRRJ).

in which radial sections were cut from the pith to the cortex, in order to determine the apparent density and the anatomical characteristic in three radial positions. The results showed that the wood of *A. cearensis* presented mean values of wood density, minimum and maximum of 0.16 and 0.87 g.cm⁻³ respectively. Moreover, the wood showed significant difference in three positions of the pith, (intermediate

and cortex), and this difference can be explained by the microscopic anatomy, especially with the vessels (diameter, area and number.mm⁻²). X-ray micro-densitometry is an important tool in the radial evaluation of wood and can help in the definition of the growth rings' limits of *A. cearensis*.

Keywords: density, x-ray densitometry, radial profile of wood.

INTRODUCCIÓN

En los últimos 15 años la extracción y exportación de maderas duras (*Apuleia leiocarpa*, *Hymenaea oblongifolia*, *Myroxylon balsamum*, *Amburana cearensis* y *Dipteryx odorata*) de los bosques tropicales naturales en el Perú tuvieron un desarrollo significativo. La creciente demanda del mercado internacional necesita de un mejor uso de los bosques tropicales y la valoración de productos de madera necesita el uso de madera de buena calidad.

La especie *Amburana cearensis* de la familia Fabaceae cuenta con una muy amplia distribución geográfica en América del Sur; los árboles de esta especie se encuentran en los bosques amazónicos de Ecuador, Perú, Bolivia, Brasil, Paraguay y Argentina (Leite, 2015). En Perú, se distribuyen en las regiones de Loreto, San Martín, Huánuco, Ucayali, Amazonas, Junín y Madre de Dios (Brako y Zarucchi, 1993), en suelos residuales, arcillosos, profundos y arenosos bien drenados.

En las últimas décadas se han desarrollado nuevos métodos para el análisis de la madera como la microdensitometría de rayos X, que es una de las técnicas más avanzadas para la medición de las variaciones de densidad al proporcionar resultados muy precisos y que permite la detección de las variaciones de la densidad en un rango de 10 micrómetros (Tomazello et al., 2008). Además, es una herramienta usada para analizar la calidad de la madera y para demarcar los anillos de crecimiento de árboles tropicales en los estudios de dendrocronología (Tomazello, Botosso y Lisi, 2000). Adicionalmente, la

microdensitometría de rayos X puede ser usada en maderas fósiles (Klusek y Grabner, 2016).

La densidad y la anatomía de la madera de los árboles están estrechamente relacionadas con las condiciones de crecimiento de su entorno y con su genoma (Brasil y Ferreira, 1972). La densidad constituye una de las propiedades físicas de la madera y de ella depende la mayoría de sus características físicas y mecánicas (Coronel, 1995), como la densidad aparente de la madera, es decir, la relación del peso al volumen de la muestra de madera sin descontar los espacios huecos (Pereyra y Gelid, 2002). El perfil de densidad aparente de la madera de los árboles puede ayudar a la demarcación y delimitación de los anillos de crecimiento.

Por lo expuesto, el presente estudio tiene como objetivo determinar la variación radial de la densidad aparente de la madera de *Amburana cearensis* por microdensitometría de rayos X.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta del material y preparación de las muestras

Fueron seleccionados 11 árboles de *Amburana cearensis*, del consolidado Maderacre, región de Madre de Dios, en los bosques tropicales del suroeste del Perú. Se extrajo una sección transversal de la base del tronco en la dirección de corteza a corteza. Para la determinación del perfil radial de densidad aparente del leño por microdensitometría de rayos X fueron utilizadas muestras del leño

de 2.0 mm de espesor cortadas en un par de sierras circulares paralelas. Las secciones transversales del leño fueron acondicionadas hasta alcanzar 12% de humedad en una sala de climatización.

Los especímenes del leño fueron encajados en soporte metálico y transferidos para un compartimiento interno blindado del equipo QTRS-01X de la Quintek Measurement System, EUA ([Tinti et al., 2018](#)) para la determinación del perfil radial de la densidad del leño, a través de un barrido radial continuo. El equipo fue calibrado para escanear (leer) las muestras de *A. cearensis*; el escaneo es continuo en todo el espesor de los cuerpos de prueba por el haz de luz de rayos X, este haz insidió sobre la muestra y una parte de esta radiación fue atenuada (la cual atravesó el cuerpo de prueba y posibilitó ser analizado por el detector del cristal). Con esto se logró la detección y cuantificación de la densidad aparente de manera automática por el software del QTRS-01X, después siguió el escaneo de las piezas del leño por un haz colimado de rayos X. Los valores de rayos X que atravesaron las probetas del leño fueron transformados en densidad aparente a través del software QMS. Los valores puntuales de densidad que componen el perfil radial de densidad aparente del leño fueron observados en la pantalla del computador en simultáneo con la imagen de la sección transversal de los especímenes del leño de *A. cearensis* ([Amaral y Tomazello, 1998](#)) y registrados para su análisis.

Montaje del perfil radial de la densidad aparente del leño

Los valores radiales de la densidad aparente del leño que fueron obtenidos por el software QMS originaron un archivo DAT (el cual contiene los valores puntuales de densidad aparente de las muestras). El archivo fue leído por el software Excel®, con este se realizaron los gráficos de variación radial de la densidad aparente del leño, así como también la determinación de los valores de densidad aparente en la dirección médula-corteza ([Mothe, Duchanois, Zannier y Leban, 1998](#)).

A partir de los perfiles radiales de densidad aparente del leño, las densidades aparentes medias, máximas y mínimas fueron determinadas; asimismo la densidad aparente en tres posiciones radiales (médula, intermedio y próximo a la corteza) y el límite de los anillos de crecimiento en el leño de los árboles.

Descripción de la estructura anatómica del leño

Fueron demarcados y cortados cuerpos de prueba de 1.5 cm x 1.0 cm, orientados en tres posiciones radiales de las piezas de *A. cearensis*, en una posición cercana a la médula, posición intermedia (duramen) y posición cerca de la corteza. Los cuerpos de prueba fueron inmersos y calentados en agua con glicerina en una placa calefactora, después, fijados en el micrótomo de deslizamiento horizontal y se obtuvieron cortes de 10 a 18 µm de grosor en los planos (transversal, tangencial y radial), lavados, deshidratados en solución alcohólica en diferentes proporciones, coloreados con safranina y montados en láminas histológicas permanentes. Para macerar la madera, astillas de las tres posiciones se colocaron en frascos en una solución de ácido acético + peróxido de hidrógeno (1:1) y los contenedores cerrados y mantenidos en estufa a una temperatura constante de 80°C por 2 horas. Los cortes y tejido disociado fueron examinados en microscopio de luz acoplada a una cámara digital y fueron recolectadas imágenes para la descripción y medición de su estructura anatómica microscópica. Estas se obtuvieron en las tres posiciones y se midió: frecuencia de los vasos por mm², área de vasos y diámetro de los vasos; sobre las fibras se midieron: ancho, lumen, espesor de pared y largo (por cada característica microscópica se recolectaron 25 datos) ([IAWA, 1989; IBAMA, 1992](#)).

Análisis estadístico

Los parámetros anatómicos y de densidad aparente (media, máxima y mínima) del leño de *A.*

cearensis en las tres posiciones radiales (médula, intermedia y cerca de la corteza) del tronco de los árboles fueron utilizados en el análisis de la variación y en la prueba de medias, aplicando el programa estadístico R, usando el paquete estadístico (librería) agricolae (versión 3.1.2, [R Development Core Team, 2013](#)).

RESULTADOS

Los perfiles radiales de la densidad aparente permiten obtener información sobre la calidad del leño de los árboles de *Amburana cearensis*. Se observan variaciones menores de la densidad aparente

del leño en el sentido radial, con una ligera reducción de sus valores en la región próxima a la corteza. Los árboles más longevos de *A. cearensis* presentan mayores valores de densidad aparente del leño, por el mayor porcentaje de madera adulta y por la deposición de extractivos en los tejidos del duramen como gomas, resinas y cristales. De la misma forma, en la albura, que corresponde a la región funcional del xilema en comparación al duramen periférico, ocurre una reducción de la densidad aparente del leño ([figura 1](#)).

Los valores de densidad aparente de los 11 árboles de *A. cearensis* al 12% de humedad tuvieron una media, máxima y mínima del leño de 0.55, 0.87 y 0.16 g.cm⁻³, respectivamente ([tabla 1](#)).

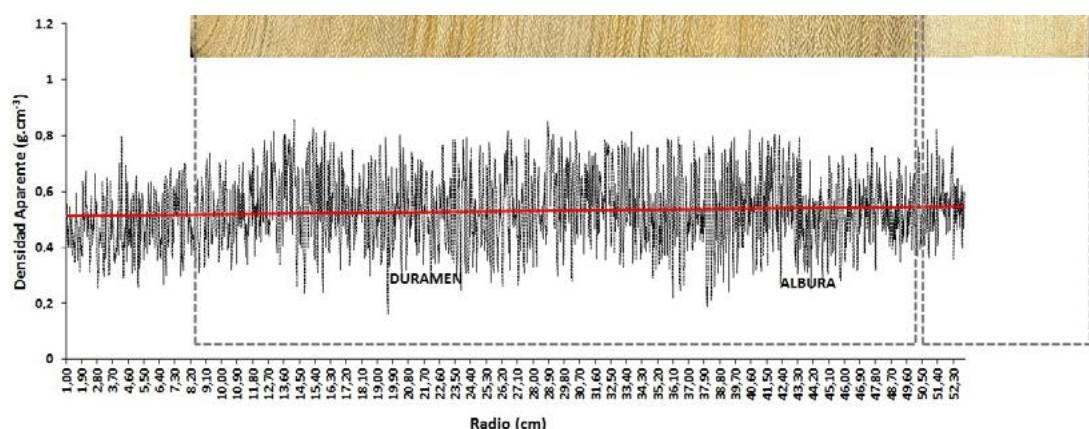


Figura 1. Perfil radial de la densidad aparente del leño de los árboles de *A. cearensis*. Tendencias de crecimiento y diferenciación del duramen y la albura en el perfil.

Tabla 1. Densidad aparente media, máxima y mínima del leño de árboles de *A. cearensis*.

Muestras (árboles)	Densidad A. Media (g.cm ⁻³)	Densidad A. Máxima (g.cm ⁻³)	Densidad A. Mínima (g.cm ⁻³)	Desviación estándar (g.cm ⁻³)
2525	0.53	0.94	0.13	0.12
10715	0.53	0.89	0.14	0.12
10924	0.65	1.03	0.15	0.14
11583	0.53	0.86	0.16	0.12
11662	0.61	1.04	0.15	0.15
11779	0.53	0.87	0.13	0.10
11779-P	0.50	0.80	0.19	0.09
11986	0.53	0.76	0.16	0.08
12033	0.53	0.87	0.16	0.11
12401	0.53	0.80	0.14	0.08
20511	0.53	0.75	0.21	0.09
Media	0.55	0.87	0.16	0.11

En los perfiles de microdensitométricos radiales del leño de los 11 árboles de *A. cearensis* fueron verificadas diferencias significativas ($p<0.05$) (tabla 2) que indican una menor densidad aparente del leño en la posición radial de la médula de (0.36 g.cm^{-3}), aumento en la posición radial intermedia (0.59 g.cm^{-3}) y una pequeña caída en la posición radial cerca a la corteza (0.52 g.cm^{-3}).

En la anatomía microscópica de los árboles de *A. cearensis*, en las tres posiciones radiales del leño (médula, intermedia y próxima a la corteza), fueron verificadas diferencias significativas en el largo de las fibras, aumentando estadísticamente ($p<0.05$) (tabla 3) el largo de las fibras de la más baja en la posición de la médula de ($1169.26 \mu\text{m}$)

hasta la más alta cerca de la corteza de ($1401.18 \mu\text{m}$), registrándose un aumento de 17% en el sentido radial.

En cuanto al espesor (grosor) de la pared de las fibras, no existe diferencia significativa entre la posición radial del leño de la médula e intermedio; pero en comparación con la posición cercana a la corteza tiene diferencia significativa.

En relación al lumen y ancho de las fibras no existe diferencia significativa entre la posición radial del leño de la médula y la corteza, pero en comparación con la posición intermedia existe una diferencia significativa.

El largo (longitud) de las fibras fue la característica anatómica del leño que más contribuyó en la

Tabla 2. Densidad aparente media del leño en tres posiciones radiales de los árboles de *A. cearensis*.

Muestras (árboles)	Densidad aparente media del leño (g.cm^{-3})			
	Posición radial			
	Médula	Intermedia	Cerca de la corteza	Media
2525	0.18	0.46	0.41	0.35
10715	0.30	0.54	0.41	0.42
10924	0.27	0.70	0.63	0.54
11583	0.47	0.68	0.53	0.56
11662	0.46	0.72	0.66	0.61
11779	0.25	0.59	0.54	0.46
11779	0.36	0.54	0.50	0.47
11986	0.38	0.58	0.54	0.50
12033	0.44	0.55	0.51	0.50
12401	0.31	0.51	0.47	0.43
20511	0.50	0.60	0.54	0.55
Media	0.36^c	0.59^a	0.52^b	0.49

*Parámetros con letras diferentes difieren estadísticamente ($p<0.05$).

Tabla 3. Valores medios y desviación estándar de la Anova y prueba de Tukey para las características anatómicas de las fibras en las tres posiciones radiales del leño de *A. cearensis*.

Variable dependiente (Posición radial)	Ancho (μm)	Lumen (μm)	Espesor de la pared (μm)	Largo (μm)
Médula	$24.01 \pm 3.34^{\text{AB}}$	$14.25 \pm 3.55^{\text{A}}$	$4.88 \pm 0.86^{\text{B}}$	$1169.26 \pm 189.89^{\text{A}}$
Intermedia	$23.47 \pm 3.89^{\text{B}}$	$13.44 \pm 3.16^{\text{B}}$	$5.02 \pm 0.89^{\text{B}}$	$1308.74 \pm 180.66^{\text{B}}$
Próximo a la corteza	$24.73 \pm 4.19^{\text{A}}$	$13.88 \pm 3.42^{\text{AB}}$	$5.43 \pm 1.02^{\text{A}}$	$1401.18 \pm 175.53^{\text{C}}$
Media	24.07 ± 3.84	13.86 ± 3.39	5.11 ± 0.96	1293.06 ± 205.38

*Parámetros con letras diferentes difieren estadísticamente ($p<0.05$).

diferenciación de los árboles de *A. cearensis* en las tres posiciones radiales.

En la anatomía microscópica de los árboles de *A. cearensis*, en función a los vasos en las tres posiciones radiales del leño (médula, intermedia y próximo a la corteza), fueron verificadas diferencias significativas en el diámetro y área de los vasos, aumentando estadísticamente ($p<0.05$) (tabla 4); el diámetro de los vasos en la médula es de $118.55\text{ }\mu\text{m}$ y en la zona cercana a la corteza de $228.05\text{ }\mu\text{m}$, por lo que hubo un aumento de 48%; y para el área de vasos en la médula de $15\ 042.33\text{ }\mu\text{m}^2$ y en la proximidad de la corteza de $38\ 973.07\text{ }\mu\text{m}^2$, con lo cual aumentó un 39%.

En la frecuencia de los vasos fueron verificadas diferencias significativas, presentando mayor frecuencia de vasos en la posición de la médula, lo que evidencia una caída en la posición intermedia y un aumento en la corteza, pero superando a la médula.

Los resultados mostrados del perfil radial de los árboles de *A. cearensis* pueden ser explicados con la anatomía microscópica de la madera, principalmente con los vasos. Una mayor frecuencia de los vasos en la posición de la médula hace que su densidad aparente sea menor en relación a las otras posiciones. Un diámetro y área media de los vasos conjuntamente con una menor frecuencia en la posición intermedia hace que su densidad aparente sea alta en relación a las otras posiciones, y, por último, un mayor diámetro y área con frecuencia de vasos en la posición cercana a la corteza, mayor a la posición intermedia, hace que la densidad aparente sea menor en relación a dicha posición.

Se conoce también que en la posición próxima a la médula se encuentra mayor tejido parenquimático, que disminuye la densidad aparente; en la posición intermedia en la que se tiene el duramen que es el xilema no funcional con menor permeabilidad, compuesta entre otras cosas por sustancias extractivas 17.91% y lignina 27.3% (Mori, Mendes, Trugilho y Cardoso, 2003), la presencia de estas sustancias, hace que la densidad aparente sea mayor en esta posición. Por último, en la posición próxima a la corteza la densidad aparente es inferior a la posición intermedia y mayor a la posición de la médula por ser albura, xilema funcional, con vasos abiertos, para la conducción del agua y sales minerales.

Demarcación y evaluación del ancho de los anillos de crecimiento.

El perfil radial de la densidad aparente del leño de los árboles de *A. cearensis* es característico y muestra una reducción de los valores de la densidad coincidente con la demarcación de los límites de los anillos de crecimiento (figura 2). La demarcación de los anillos de crecimiento del leño de los árboles a través del perfil radial de la densidad aparente puede presentar un mayor grado de precisión comparada con la imagen de la respectiva sección transversal pulida, debido a la difícil visualización y correspondencia de los anillos de crecimiento.

Los valores de mayor densidad aparente del leño de *A. cearensis* son presentados en zonas fibrosas

Tabla 4. Valores medios y desviación estándar de la Anova y prueba de Tukey para las características anatómicas de los vasos en las tres posiciones radiales del leño de *A. cearensis*.

Variable dependiente (Posición radial)	Frecuencia de los vasos. mm^{-2}	Área de vasos (μm^2)	Diámetro de los vasos (μm)
Médula	$3.31 \pm 1.48^{\text{A}}$	$15042.33 \pm 7044.30^{\text{C}}$	$118.55 \pm 20.65^{\text{C}}$
Intermedia	$2.36 \pm 1.11^{\text{C}}$	$24880.59 \pm 7199.14^{\text{B}}$	$162.44 \pm 25.25^{\text{B}}$
Corteza	$2.63 \pm 1.22^{\text{B}}$	$38973.07 \pm 12172.45^{\text{A}}$	$228.05 \pm 33.80^{\text{A}}$
Media	2.77 ± 1.34	26298.66 ± 13400.18	169.68 ± 52.54

*Parámetros con letras diferentes difieren estadísticamente ($p<0.05$).

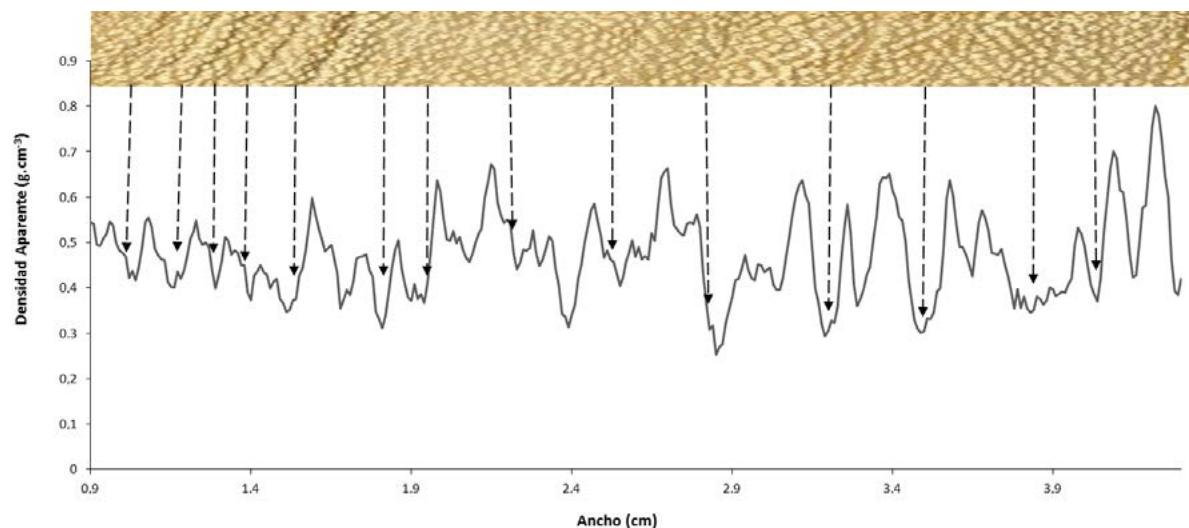


Figura 2. Demarcación del límite de los anillos de crecimiento en árboles de *A. cearensis* identificados por el perfil de microdensitometría (segmento de muestra analizado).

más oscuras, compuestas por fibras con pared celular gruesa y lumen pequeño, vasos de menor diámetro y frecuencia. Las zonas más claras son los valores de menor densidad aparente del leño y están compuestas por fibras con pared celular delgada, vasos de mayor diámetro y frecuencia.

DISCUSIÓN

Este modelo de variación de los perfiles radiales de la densidad aparente fue verificado en dos poblaciones de *Swietenia macrophylla* de los bosques tropicales de la amazonía del Perú ([Rosero, Tomazello, Pollito y Lobão, 2010](#)) y en árboles de *Eucalyptus* sp. y de *Corymbia citriodora*, donde el aumento de la densidad de la madera es debido al desarrollo de tilosis en los vasos y las sustancias del duramen (taninos, aceites, etc.) en las células del parénquima radial. Con respecto a la densidad inferior de la albura, se atribuye a que es el resultado de vasos abiertos y del xilema funcional sin extractivos ([Tomazello et al., 2008](#)). [Moya, Berrocal, Serrano y Tomazello \(2009\)](#) y [Taki, Nobori y Caceres \(2014\)](#) expresan que la densidad aparente varía lentamente con el crecimiento y aumenta con la edad.

Sobre los resultados encontrados de la anatomía microscópica de los árboles de *A. cearensis* en función de las fibras, en las tres posiciones radiales del leño son similares a los encontrados por [Campos \(2009\)](#) cuando estudió los árboles de *Cedrelinga cateniformis* en una plantación en el Perú. Ya [Lobão, Costa, Almonacid y Tomazello \(2012\)](#) encontraron la misma variación para árboles de *Schizolobium parahyba* tanto en una reserva experimental como en un parque zoobotánico en Brasil; también, [Medina, Dionisio, Laffitte, Andía y Rivera \(2013\)](#) cuando estudiaron la variación radial y axial de longitud de fibras de la especie *Nothofagus nervosa* de la Patagonia Argentina encontraron que aumentó de manera significativa en sentido radial de médula a corteza. Una posible explicación de las variaciones radiales de la dimensión longitudinal de las fibras pueden ser dadas por [Moya et al. \(2009\)](#), en su estudio de la *Tectona grandis* observaron un incremento con la edad cambial para las procedencias y las dos calidades de sitios estudiados en Costa Rica.

Con respecto a los resultados encontrados para *A. cearensis* en relación al lumen y ancho de las fibras, [Lobão \(2011\)](#) encontró la misma variación para *Cedrela* sp. en Brasil.

Los resultados de los 11 árboles de *A. cearensis* sobre la anatomía microscópica, en función de los vasos en las tres posiciones radiales del leño, son semejantes a valores hallados en otros bosques tropicales como en el caso de [Campos \(2009\)](#), quien investigó árboles de *Cedrelinga cateniformis* en un bosque nativo en el Perú; [Lobão et al. \(2012\)](#) también encontraron para árboles de *Schizolobium parahyba*, tanto en una reserva experimental como en un parque zoobotánico en Brasil, la misma variación en el diámetro de los vasos. Además, [Moya et al. \(2009\)](#) manifiestan que el diámetro de los vasos incrementó con la edad del árbol de *Tectona grandis*, coinciden con lo encontrado en *Amburana cearensis*. Algunos autores indican que el área de vasos es menor en el leño próximo a la región de la médula, aumenta en el sentido radial y se estabiliza próximo a la corteza de los árboles adultos ([Hudson y Van Beveren, 1997](#); [Foekel, 2007](#); [Boschiere, 2013](#)).

Sobre la demarcación y evaluación del ancho de los anillos de crecimiento de *A. cearensis*, de acuerdo con [Tomazello, Botosso y Lisi \(2001\)](#), se ha encontrado que es resultado de la estacionalidad de la actividad cambial y de las condiciones climáticas. Esto se refleja en la anatomía y calidad del leño ([Roque et al., 2012](#)). Por consiguiente, la densidad aparente se considera apropiada para definir que el inicio de un anillo de crecimiento sería igualmente apropiado para definir el inicio de la formación de madera tardía ([Eberhardt y Samuelson, 2015](#)).

CONCLUSIONES

Los resultados del presente trabajo permiten concluir que:

- La densidad aparente de los árboles de *A. cearensis* presenta variación radial en la dirección corteza-médula.
- Los perfiles radiales indicaron el aumento de la densidad aparente del leño del tronco en la zona intermedia y una pequeña caída en la médula y en la posición próxima a la corteza.

- La diferencia en densidad aparente del leño de las posiciones médula, intermedia y cerca de la corteza del tronco fue significativa.
- La microdensitometría de rayos X proporciona una medición precisa de las variaciones de la densidad aparente del leño de *A. cearensis*, indicador de su estructura anatómica y demarcando los límites de los anillos por las zonas fibrosas.
- Los perfiles de densidad aparente pueden ser explicados por la heterogeneidad de las maderas.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN POR AUTOR

Los autores son los únicos responsables de la obra en todos los aspectos que condujeron a la elaboración de su publicación.

REFERENCIAS

- Amaral, A. C. B. y Tomazello, M.** (1998). Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* pela técnica de microdensitometria de raios X. *Revista Ciência e Tecnologia*, 6, 11-12.
- Boschiere, A. T.** (2013). *Avaliação da estrutura anatômica e da densidade aparente da madeira e do carvão vegetal de Eucalyptus sp. e de Corymbia sp.* (tesis de doctorado). Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, Brasil. 132 p.
- Brako, L. y Zarucchi, J.** (1993). *Catalogue of the flowering plants and gymnosperms of Peru*. St. Louis, Mo.: Missouri Botanical Garden. Recuperado de <https://catalog.hathitrust.org/Record/002866893>
- Brasil, M. A. M. y Ferreira, M.** (1972). Variação da densidade básica e das características das fibras em *Eucalyptus grandis* Hill ex maiden ao nível do DAP. *Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais*, 5, 81-90.

- Campos, L. E.** (2009). *Dendrocronología en árboles de Tornillo, Cedrelinga cateniformis Ducke (Fabaceae), del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera en el noreste de la Amazonia, Región Loreto-Perú* (tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 129 p.
- Coronel, E. O.** (1995). *Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas*. Santiago del Estero, Argentina: Universidad Nacional de Santiago del Estero. 187 p.
- Eberhardt, T. L. y Samuelson, L. J.** (2015). Collection of wood quality data by X-ray densitometry: a case study with three southern pines. *Wood Science and Technology*, 49(4), 739-753. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00226-015-0732-x>
- Foelkel, C.** (2007). *Elementos de Vaso e celuloses de eucalipto*. Recuperado de http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT04_vasos.pdf
- Hudson, W. y Van Beveren, K.** (1997). Vessel distribution at two percentage heights from pith to bark in a seven year old *Eucalyptus globulus* tree. *Appita Journal*, 50, 495-500.
- International Association of Wood Anatomists-Iawa** (1989). *with an Appendix on non-anatomical information*. 116 p.
- Ibama** (1992). *Normas e procedimientos em estudos de anatomía da madeira: I-Angiospermae II-Gimnospermae*. Brasilia. 134 p.
- Klusek, M. y Grabner, M.** (2016). X-ray Densitometry of Norway Spruce Subfossil Wood From the Austrian Alps. *Tree-Ring Research*, 72(1), 23-34. DOI: <https://doi.org/10.3959/1536-1098-72.01.23>
- Leite, E.** (2015). State-of-knowledge on *Amburana cearensis* (Fr. Allemao) A.C. Smith (Leguminosae: Papilioideae) for genetic conservation in Brazil. *Journal for Nature Conservation* 13(1), 49-65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2004.07.003>
- Lobão, M.** (2011). *Dendrocronologia, fenología, atividade cambial e qualidade do lenho de árvores de Cedrela odorata L., Cedrela fissilis Vell. e Schizolobium parahyba var. amazonicum Hub. ex Ducke, no estado do Acre, Brasil* (tesis de doctorado). Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil, 216 p. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.11.2011.tde-02082011-135003>
- Lobão, M., Costa, D., Almonacid, M. y Tomazello M.** (2012). Qualidade do lenho de árvores de *Schizolobium parahyba* Var. *amazonicum*, Acre, Brasil. *Floresta e Ambiente*, 19(3), 374-384. DOI: <https://doi.org/10.4322/floram.2012.044>
- Medina, A. A., Dionisio, N. M., Laffitte, L. N., Andía, I. R. y Rivera, S. M.** (2013). Variación radial y axial de longitud de fibras y elementos de vaso en *Nothofagus nervosa* (Nothofagaceae) de la Patagonia Argentina. *Madera y Bosques*, 19(2), 7-19. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2013.192330>
- Mori, F. A., Mendes, L. M., Trugilho, P. F. y Cardoso, M.** (2003). Utilização de eucaliptos e de madeiras nativas no armazenamento da aguardente de cana-de-açúcar. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 23(3), 396-400. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612003000300018>
- Mothe, F., Duchanois, G., Zannier, B. y Leban, J. M.** (1998). Analyse microdensitométrique appliquée au bois: méthode de traitement des données utilisée à l'Inra-ERQB (programme Cerd). *Annales des Sciences Forestières*, 55(3), 301-313. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:19980303>
- Moya, R., Berrocal, A., Serrano, J. R. y Tomazello F. M.** (2009). Radial variation of anatomical features, wood density and decay resistance in teak (*Tectona grandis*) from two qualities of growing sites and two climatic regions of Costa Rica. *Forest Systems*, 18(2), 119. DOI: <https://doi.org/10.5424/fs/2009182-01055>
- Pereyra, O. y Gelid, M.** (2002). Estudio de la variabilidad de la densidad básica de la madera de *Pinus taeda* para plantaciones de Misiones y norte de Corrientes. *Revista Floresta*, 33(1), 3-19.
- R Development Core Team.** (2013). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Recuperado de <http://www.R-project.org>. Librería: *Agricolae* y *RODBC*.
- Roque, B., Latorraca, J., Tomazello, M., Pires, G., Monteiro, A. y Castro, M.** (2012). Microdensitometria de Raios X Aplicada na Determinação da Variação da Densidade do Lenho de Árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill. *Scientia Forestalis*, 40(93), 103-112.

Rosero, J., Tomazello, M., Pollito, P. y Lobão, M. (2010).

Variation of wood density and relationship with the tree-ring width of mahogany trees, *Swietenia macrophylla*, from Amazonian tropical forest of Peru. *Scientia Forestalis*, 38(86), 171-179.

Taki, S., Nobori, Y. y Caceres, M. (2014).

Method for estimation of stem carbon fixation of Japanese black pine by combining stem analysis and soft X-ray densitometry. *Journal of Forest Research*, 19(1), 226-232. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10310-012-0382-x>

Tinti, V. P., Gonçalves, F. G., Paes, J. B., Arantes, M. D., Vieira, M. C. y López, Y. (2018).

Propiedades físicas y densitometría de rayos X en tableros de residuos de madera. *Revista Ciéncia da Madeira-RCM*, 9(2), 71-81. DOI: <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rmc.v9n2p71-81>

Tomazello, M., Botosso, P. y Lisi, C. (2000).

Potencialidade da família Meliaceae para dendrocronologia em regiões tropicais e subtropicais. En F. A. Roig (ed.), *Dendrocronología en América Latina* (pp. 381-431). Mendoza: EDIUNC.

Tomazello, M., Botosso, P. y Lisi, C. (2001).

Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. Em *Indicadores ambientais: conceitos e aplicações* (pp. 117-143). São Paulo, Brasil.

Tomazello, M., Brazolin, S., Chagas, M. P., Oliveira, J. T. S., Ballarin, A. W. y Benjamin, C. A. (2008).

Application of X-ray technique in nondestructive evaluation of Eucalypt wood. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 10(2). DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2008000200006>

