

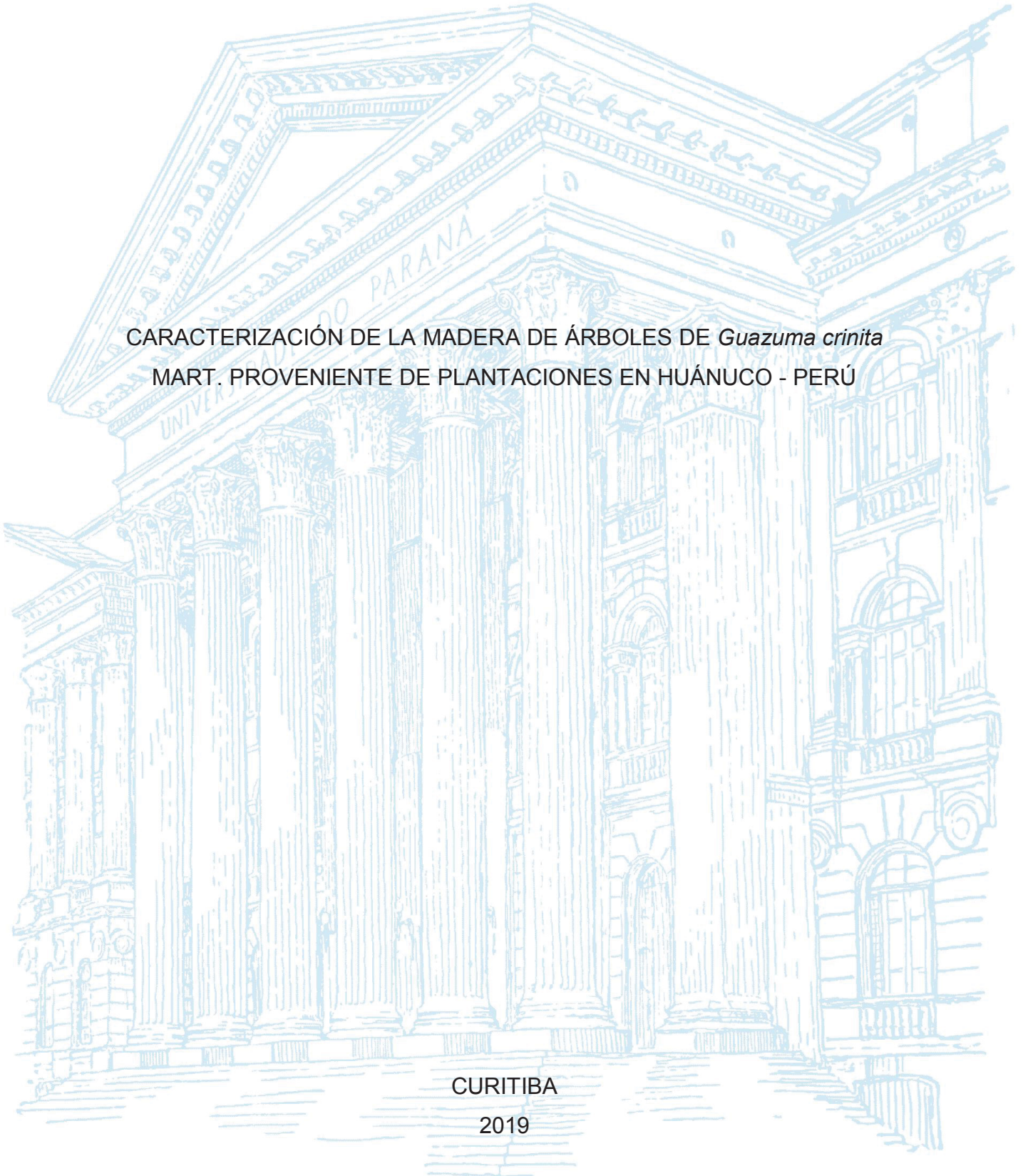
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MANUEL CHAVESTA CUSTODIO

CARACTERIZACIÓN DE LA MADERA DE ÁRBOLES DE *Guazuma crinita*
MART. PROVENIENTE DE PLANTACIONES EN HUÁNUCO - PERÚ

CURITIBA

2019



MANUEL CHAVESTA CUSTODIO

CARACTERIZACIÓN DE LA MADERA DE ÁRBOLES DE *Guazuma crinita*
MART. PROVENIENTE DE PLANTACIONES EN HUÁNUCO – PERÚ

Tese apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais. Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientadora: Profa. Dra. Silvana Nisgoski

Coorientadores: Profa. Dra. Mayara Elita Carneiro
Prof. Dr. Mario Tomazello Filho

CURITIBA

2019

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Chavesta Custodio, Manuel

Caracterización de la madera de árboles de *Guazuma crinita* MART.
proveniente de plantaciones en Huánuco – Perú / Manuel Custodio
Chavesta. – Curitiba, 2019.
97 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Silvana Nisgoski

Coorientadores: Profa. Dra. Mayara Elita Cameiro

Prof. Dr. Mario Tomazello Filho

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Florestal. Defesa: Curitiba, 26/11/2019.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Madeira - Peru. 2. Madeira - Anatomia. 3. Madeira - Qualidade. 4.
Colorimetria. 5. Espectroscopia de infravermelho. 6. Teses. I. Nisgoski,
Silvana. II. Cameiro, Mayara, Elita. III. Tomazello Filho, Mario. IV.
Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.811.1(851)

Bibliotecária: Berenice Rodrigues Ferreira – CRB 9/1160



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
FLORESTAL - 40001016015P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **MANUEL CHAVESTA CUSTODIO** intitulada: **CARACTERIZACIÓN DE LA MADERA DE ÁRBOLES DE *Guazuma crinita* MART. PROVENIENTE DE PLANTACIONES EN HUÁNUCO - PERÚ**, sob orientação da Profa. Dra. SILVANA NISGOSKI, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 26 de Novembro de 2019.

SILVANA NISGOSKI

Presidente da Banca Examinadora

PATRÍCIA PÓVOA DE MATTOS

Avaliador Externo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA
AGROPECUÁRIA)

SIMONE RIBEIRO MORRONE

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

MAYARA ELITA CARNEIRO

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

MARINA MIEKO NISHIDATE KUMODE

Avaliador Externo (PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO
PARANÁ)

A mi esposa Mabela y mis hijos Alexandra y Alexander por todo su amor, paciencia, incentivo y comprensión. A mis Hermanos Lucila, Cesar, Bertha, Mariano, Yolanda y Lidia por todo su apoyo y comprensión desde el inicio de los estudios doctorales.

AGRADECIMENTOS

A Dios por concederme toda la sabiduría necesaria durante toda mi vida académica.

A mi Orientadora profesora Dra. Silvana Nisgoski por su atención, enseñanzas y orientación durante los estudios y ejecución del trabajo de doctorado.

A los profesores Dra. Mayara Elita Carneiro y Dr. Mario Tomazello Filho, por su coorientación, enseñanzas y amistad.

A las profesoras miembros de la banca de evaluación Dra. Simone Ribeiro Morrone, Dra. Marina Mieko Nishidate Kumode y Dra. Patricia Povoá De Mattos, por su disponibilidad, sugerencias y análisis realizados para la mejora del trabajo.

A los Profesores del Programa de Post Gradación en Ingeniería Forestal de la Universidad Federal de Paraná; Prof. Dr. Nilton Souza, Prof. Dr. Ricardo Klitzke, Prof. Dr. Romano Timofeiczky, Prof. Dr. Marcio Pereira da Rocha y Prof. Dr. Jorge Mattos por su amistad y consejos.

A la empresa Reforestadora Amazónica S.A. (RAMSA), en especial al Ing. Manuel Soudre Zambrano, por el suministro de los árboles y todo el apoyo necesario para la colección y transporte del material y realización del trabajo.

A los Laboratorios de Anatomía y Calidad de Madera de la Universidad Federal de Paraná por su apoyo para realizar las pruebas de colorimetría y espectroscopia y al Laboratorio de Anatomía, Identificación y Densitometría de Rayos X de la Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidad de Sao Paulo para realizar las pruebas de densitometría.

Al Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Nacional de Ucayali por su apoyo en la preparación de muestras para las evaluaciones de colorimetría, espectroscopia y densitometría.

Al Ing. Rolando Montenegro Muro de la Universidad Nacional Agraria La Molina; por su apoyo en los análisis estadísticos utilizados y sugerencias durante la redacción del presente trabajo.

A todos los doctorandos de la Universidad Nacional Agraria la Molina por su apoyo y amistad.

Al Técnico David Huamán Cabrera del Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Nacional Agraria la Molina; por su apoyo en la elaboración del material para los estudios anatómicos y de propiedades físicas de la madera.

Gracias a todos!

RESUMO

O uso de espécies nativas para plantações no Peru tornou-se importante, sendo essencial para gerar informações tecnológicas básicas dessas espécies para uso industrial. As informações incluem métodos convencionais e não destrutivos, como: colorimetria, espectroscopia e densitometria; aqueles que permitem obter resultados rápidos de qualidade na madeira. O presente trabalho teve como objetivo caracterizar a madeira de árvores de *Guazuma crinita* de 5 e 8 anos de idade. Cinco árvores foram selecionadas por idade nas plantações localizadas no distrito de Puerto Inca (Peru). A madeira foi obtida de cada árvore, em três níveis de altura e três posições radiais. As amostras foram preparadas e seus parâmetros anatômicos, físicos e colorimétricos foram avaliados; da mesma forma, foram realizados testes de espectroscopia e densitometria de raios X. Em ambas idades, foi encontrada homogeneidade em suas características anatômicas qualitativas, mas não em seus parâmetros quantitativos; bem o comprimento das fibras e a espessura da parede diminuem da base para o ápice e aumentam radialmente da medula a casca; com variantes em alguns casos. A densidade básica foi de 0,36 e 0,40 g/cm³ para as idades de 5 e 8 anos; enquanto, a contração volumétrica, tangencial e radial é maior por 8 anos, sendo significativamente maior na base e na direção radial aumenta da medula a casca. Na colorimetria, alta claridade e baixos valores foram encontrados nas cores vermelha e amarela; que produz um tom "amarelo claro" na madeira. Na espectroscopia, uma tendência semelhante foi encontrada em ambas as idades, mas com diferentes níveis de absorvância. No PCA, eles diferem claramente no segundo componente principal. A densidade aparente média foi de 0,52 g/cm³ e 0,56 g/cm³ por 5 e 8 anos; ser mais velho na parte basal. A tendência típica do perfil radial da densidade aparente para árvores maduras é observada apenas em 2 indivíduos de 8 anos. Os índices de uniformidade da madeira de 149,7 e 170,3 foram encontrados para as idades de 5 e 8 anos, respectivamente, sendo mais uniformes aos 5 anos.

Palavras-chave: Anatomia da madeira. Propriedades físicas. Colorimetria. Espectroscopia de infravermelho. Densitometria. *Guazuma crinita*.

ABSTRACT

The use of native species for plantations in Peru has become important and it is essential to generate basic technological information of these species for industrial use. The information must include conventional methods and non-destructive methods, such as: colorimetry, spectroscopy and densitometry; which allow to obtain fast results of wood quality. The objective of this work was to characterize the wood of *Guazuma crinita* trees of 5 and 8 years old. Five trees of each age were selected from plantations located in Puerto Inca District (Peru). From each tree wood was obtained in three levels of height and three radial positions. Samples were prepared and their anatomical, physical and colorimetric parameters were evaluated; also, X-ray densitometry and spectroscopy tests were performed. In both ages, homogeneity was found in its qualitative anatomical characteristics but not in its quantitative parameters; thus, the length of fibers and wall thickness decreases from the base to the apex and radially increase from the pith to the bark; with variants in some cases. The basic density is 0.36 and 0.40 g/cm³ for 5 and 8 years old; meanwhile, the volumetric, tangential and radial contractions are greater for 8 years, being significant higher in the base and radially increases from the pith to the bark. In colorimetry high values of clarity and low in the red and yellow hue were found; these produce a "clear - yellow" tone in the wood. In spectroscopy a similar trend was found in both ages but with different levels of absorbance. In PCA they clearly differ in the second component. The average apparent density was 0.52 g/cm³ and 0.56 g/cm³ for 5 and 8 years being greater in the basal part. The typical tendency across the growth rings for mature trees is observed only in 2 individuals of 8 years. Wood uniformity indexes of 149.7 and 170.3 have been found for the ages of 5 and 8 years old respectively, being more uniform at 5 years.

Keywords: Wood anatomy, Physical properties, colorimetry, near infrared spectroscopy, densitometry, *Guazuma crinita*.

RESUMEN

El uso de especies nativas para plantaciones en el Perú ha tomado importancia siendo indispensable generar información tecnológica básica de estas especies para su utilización industrial. La información comprende métodos convencionales y métodos no destructivos, como: colorimetría, espectroscopia y densitometría; los que permiten obtener resultados rápidos de calidad en madera. El presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar la madera de árboles de *Guazuma crinita* de 5 y 8 años de edad. Se seleccionaron cinco arboles por edad de las plantaciones ubicadas en el Distrito de Puerto Inca (Perú). De cada árbol se obtuvo madera, en tres niveles de altura y tres posiciones radiales. Las muestras fueron preparadas y se evaluó sus parámetros anatómicos, físicos y colorimétricos; así mismo, se realizó pruebas de espectroscopia y densitometría por rayos X. En ambas edades se encontró homogeneidad en sus características anatómicas cualitativas mas no en sus parámetros cuantitativos; así la longitud de fibras y espesor de pared disminuye de la base al ápice y radialmente aumentan de la medula a la corteza; con variantes en algunos casos. La densidad básica resultó ser de 0,36 y 0,40 g/cm³ para las edades 5 y 8 años; en tanto, la contracción volumétrica, tangencial y radial es mayor para 8 años siendo significativamente mayores en la base y en dirección radial aumenta de la medula a la corteza. En colorimetría se encontró altos valores de claridad y bajos en el matiz rojo y amarillo; lo cual produce un tono “claro - amarillo” en la madera. En espectroscopia se encontró similar tendencia en ambas edades, pero con distintos niveles de absorbancia. En PCA, se diferencian claramente en el segundo componente principal. La densidad aparente media fue de 0,52 g/cm³ y 0,56 g/cm³ para 5 y 8 años; siendo mayor en la parte basal. La tendencia típica del perfil radial de la densidad aparente para árboles maduros se observa sólo en 2 individuos de 8 años. Se encontró índices de Uniformidad de la madera de 149,7 y 170,3 para las edades de 5 y 8 años respectivamente, siendo más uniforme a los 5 años.

Palabras claves: Anatomía de la madera. Propiedades físicas. Colorimetría. Espectroscopia Infrarroja. Densitometría. *Guazuma crinita*.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. DIAGRAMA TAXONÓMICO DE <i>GUAZUMA CRINITA</i>	20
FIGURA 2. PLANTACIÓN DE <i>GUAZUMA CRINITA</i> EN PUERTO INCA, PERÚ.	21
FIGURA 3. LOS COLORES Y CORRESPONDIENTES LONGITUDES DE ONDA.	29
FIGURA 4. REPRESENTACIÓN DEL SISTEMA CIELAB 1976.....	33
FIGURA 5. SISTEMA DE COORDENADAS DE COLORES CIELAB 1976.....	34
FIGURA 6. ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.....	35
FIGURA 7. CONSTRUCCIÓN DE MATRIZ X PARA CALIBRACIÓN MULTIVARIADA.	38
FIGURA 8. UBICACIÓN DE LAS PLANTACIONES DE <i>GUAZUMA CRINITA</i> EN HUÁNUCO (PERÚ).	42
FIGURA 9. TOMA Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS SEGÚN ENSAYO	44
FIGURA 10. (A) DENDROCUT 2003 (B) ESPECTROFOTÓMETRO KONICA MINOLTA CM5..	48
FIGURA 11. ESPECTROFOTÓMETRO DE REFLECTANCIA NIR BRUKER TENSOR 37	49
FIGURA 12. (A) QUINTEK MEASUREMENT SYSTEMS (B) FAXITRON X RAY (C) PERFIL DENSITOMETRICO	51
FIGURA 13. <i>GUAZUMA CRINITA</i> (A, C, E) SECCIÓN TRANSVERSAL, TANGENCIAL Y RADIAL DE 5 AÑOS, (B, D, F) SECCIÓN TRANSVERSAL, TANGENCIAL Y RADIAL DE 8 AÑOS.	56
FIGURA 14. ESPECTROS NIR DE LAS MUESTRAS DE MADERA PARA LAS DOS EDADES	64
FIGURA 15. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES DE LOS ESPECTROS DE LAS MUESTRAS PARA LAS DOS EDADES	65
FIGURA 16. ESPECTROS MEDIOS PARA 5 Y 8 AÑOS EN <i>GUAZUMA CRINITA</i>	66
FIGURA 17. SEGUNDA DERIVADA DE LOS ESPECTROS MEDIOS PARA 5 Y 8 AÑOS EN <i>GUAZUMA CRINITA</i>	66
FIGURA 18. PERFILES DENSITOMÉTRICOS DE 05 ÁRBOLES DE 5 AÑOS.....	68
FIGURA 19. PERFILES DENSITOMÉTRICOS DE 05 ÁRBOLES DE 8 AÑOS.....	69
FIGURA 20. VARIACIÓN RADIAL DE LA DENSIDAD APARENTE POR DENSITOMETRÍA DE RAYOS X PARA 5 Y 8 AÑOS EN <i>GUAZUMA CRINITA</i>	70

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. PROPIEDADES FÍSICAS DE <i>G. CRINITA</i> SEGÚN DIVERSOS AUTORES	24
TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS INDIVIDUOS MUESTREADOS	43
TABLA 3. VALORES MEDIOS DE DIMENSIONES DE ELEMENTOS ANATÓMICOS DE <i>GUAZUMA CRINITA</i> PARA 5 Y 8 AÑOS EN DIRECCIÓN AXIAL Y RADIAL	57
TABLA 4. VALORES MEDIOS DE PROPIEDADES FÍSICAS DE <i>GUAZUMA CRINITA</i> PARA 5 Y 8 AÑOS EN DIRECCIÓN AXIAL Y RADIAL	59
TABLA 5. VALORES MEDIOS DE VARIABLES DE COLORIMETRÍA PARA MUESTRAS DE <i>GUAZUMA CRINITA</i> PARA DOS EDADES	62
TABLA 6. VALORES MEDIOS DE VARIABLES DE COLORIMETRÍA PARA MUESTRAS DE <i>G. CRINITA</i> SEGÚN EDAD Y POSICIÓN LONGITUDINAL	63
TABLA 7. VALORES MEDIOS POR ÁRBOL Y NIVEL LONGITUDINAL DE LA DENSIDAD APARENTE(G/CM^3) E ÍNDICE DE UNIFORMIDAD (%) DE LA MADERA DE ÁRBOLES DE <i>GUAZUMA CRINITA</i> PARA LAS DOS EDADES	72

LISTA DE ABREVIATURAS O SIGLAS

°C	Grado centígrado
µm	Micra
a*	Matiz del eje rojo
ANOVA	Análisis de variancia
b*	Matiz del eje amarillo
C	Cromaticidad o saturación
CIE	Comisión Internacional de Iluminación
cm	Centímetros
CV%	Coeficiente de variación en porcentaje
Da	Densidad Aparente
DAP	Diámetro a la altura del pecho
g/cm ³	Gramo por centímetro cubico
H*	Ángulo de tinta
Ha	Hectárea
Hc	Altura comercial
IAWA	International Association of Wood Anatomists
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICRAF	World Agroforestry Centre
IIAP	Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana
INIA	Instituto Nacional de Investigación Agraria
IU	Índice de Uniformidad
kg	kilogramo
kg/m ³	Kilogramo por metro cubico
L*	Claridad
m	Metros
m.s.n.m.	Metros sobre nivel del mar
m ³	Metro cubico
mm	Milímetros
NIR	Espectroscopia Infrarroja cercana

nm	Nanómetros
NTP	Norma Técnica Peruana
SERFOR	Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre
SNV	Standard normal variate
T/R	Relación contracción tangencial radial

ÍNDICE

1	INTRODUCCION.....	17
1.1	OBJETIVO GENERAL.....	18
1.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	18
2	REVISIÓN DE LITERATURA.....	19
2.1	EL GÉNERO <i>Guazuma</i>	19
2.1.1	Especie <i>Guazuma crinita</i>	20
2.1.1.1	Origen y distribución	20
2.1.1.2	Descripción botánica.....	20
2.1.1.3	Reproducción y ecología.....	22
2.1.1.4	Propiedades de la madera	23
2.1.1.4.1	Estructura anatómica.....	23
2.1.1.4.2	Propiedades físicas	23
2.1.1.5	Usos	24
2.2	VARIACIÓN DE LA CALIDAD DE LA MADERA EN EL ÁRBOL.....	24
2.3	PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA	27
2.3.1	Densidad	27
2.3.2	Contracción.....	28
2.4	COLORIMETRÍA	29
2.4.1	Color	29
2.4.2	Técnicas de determinación de color.....	30
2.4.2.1	CIELAB	32
2.5	ESPECTROSCOPIA	34
2.5.1	Espectroscopia Infrarroja Cercana (NIR)	36
2.6	QUIMIOMETRÍA.....	38
2.7	DENSITOMETRÍA.....	39
3	MATERIALES Y METODOS	42
3.1	MATERIAL	42
3.2	COLECCIÓN DE MUESTRAS DE MADERA	42
3.3	PREPARACION DE MUESTRAS DE MADERA.....	44
3.4	CARACTERIZACION ANATOMICA DE LA ESTRUCTURA DE LA MADERA.....	45

3.5	PROPIEDADES FÍSICAS	45
3.6	COLORIMETRÍA	46
3.7	ESPECTROSCOPIA	48
3.8	DENSITOMETRÍA.....	49
3.9	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	51
3.9.1	Caracterización anatómica de la madera	51
3.9.2	Propiedades físicas.....	51
3.9.3	Colorimetría	52
3.9.4	Espectroscopia	52
3.9.5	Densitometría	53
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
4.1	ANATOMÍA DE LA MADERA DE <i>Guazuma crinita</i>	54
4.1.1	Variación longitudinal y radial de elementos leñosos en <i>Guazuma crinita</i>	55
4.2	PROPIEDADES FÍSICAS DE <i>Guazuma crinita</i>	58
4.2.1	Variación longitudinal y radial de las propiedades físicas.....	58
4.3	COLORIMETRÍA	61
4.4	ESPECTROSCOPIA	63
4.4.1	Análisis de Componentes Principales (PCA).....	64
4.5	DENSITOMETRÍA DE <i>Guazuma crinita</i>	67
4.5.1	Variación radial de la densidad aparente por Densitometría de Rayos X e Índice de Uniformidad.	67
5	CONCLUSIONES.....	74
6	RECOMENDACIONES	76
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

1 INTRODUCCION

Desde hace muchos en Latinoamérica países como Brasil, Chile, Argentina, Ecuador y Uruguay; han tomado decisiones políticas para impulsar las plantaciones forestales con fines comerciales con especies introducidas especialmente del género *Eucalyptus* y *Pinus*. Dichas plantaciones forestales son de importancia ya que satisfacen las necesidades de una población mundial en constante crecimiento y brinda beneficios en la mejora de los niveles de vida, disminución del uso de la madera proveniente de los bosques naturales y rehabilitando zonas degradadas y/o deforestadas.

El aprovechamiento de madera en el Perú proviene principalmente de los bosques amazónicos, pero con el transcurrir de los años el abastecimiento de madera a la industria se viene reduciendo enormemente por factores como la heterogeneidad de especies y agotamiento de las especies comerciales. Considerando que los países desarrollados solo compran maderas de bosques manejados con el criterio de preservar y conservar el medio ambiente, los bosques amazónicos dotaran cada vez de menor cantidad de madera a la industria; razón por la que el Perú tiene que implementar programas de plantaciones forestales con criterios de utilización industrial.

Desde el año 2000 se han instalado plantaciones promovidas por el sector público y privado principalmente con la especie nativa *Guazuma crinita* conocida como Bolaina Blanca (Soudre, 2012). Estas plantaciones se realizaron con fines de producción por ser una especie de rápido crecimiento, buen desarrollo, fácil trabajabilidad y bajo precio. Sin embargo, la información existente sobre aspectos tecnológicos de Bolaina blanca se limita al bosque nativo; siendo imprescindible generar información anatómica y tecnológica sobre su comportamiento; pues las propiedades físicas (densidad), mecánicas (rigidez) así como sus características anatómicas (fibras, ángulo fibrilar y microfibrilar, diámetro de los lúmenes) y químicas (teoría de celulosa y lignina), presentan variaciones las que están directamente asociadas a la calidad y utilización del producto final (Tuisima et al 2017; Vidaurre et al. 2011).

Zobel y Van Buijtenen (1989) mencionan innumerables causas de variación en la estructura anatómica de la madera proveniente de plantaciones con fines industriales, pudiéndose mencionar a factores sin control como (sitios

de crecimiento, condiciones ecológicas, etc.) y otros que tienen determinado grado de control (manejo forestal, espaciamiento, fertilización, material genético, edad de corte, etc.). Por ello, la madera de los árboles de las plantaciones de *Guazuma crinita* requieren de su caracterización; mediante la evaluación de análisis anatómicos, físicos y químicos; así como de evaluaciones en colorimetría, espectroscopia y densitometría que permitirá evaluar su variabilidad, en el sentido base copa y medula corteza; permitiendo obtener valiosa información acerca de la calidad/homogeneidad (Índice de Uniformidad) de la madera, contribuyendo con el mejoramiento y uso de madera en aplicaciones específicas, como madera sólida o transformada.

1.1 OBJETIVO GENERAL

El trabajo tiene como objetivo general caracterizar la madera de árboles de *Guazuma crinita*, proveniente de plantaciones, en sentido longitudinal y radial para 5 y 8 años de edad.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Caracterizar y describir la estructura anatómica de madera de *Guazuma crinita*, para árboles de 5 y 8 años.

Determinar los valores de densidad básica y contracciones de la madera.

Determinar y evaluar los valores de los parámetros colorimétricos de la madera

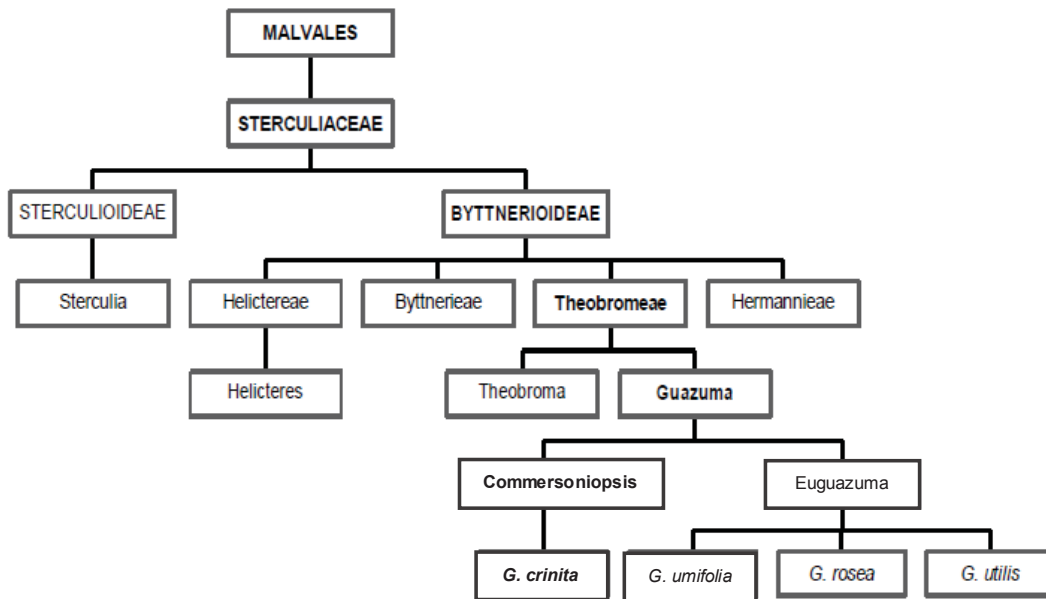
Determinar los espectros del Infrarrojo cercano para las dos edades

Determinar los valores de densidad aparente en sentido radial del tronco por el método de densitometría de rayos X.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 EL GÉNERO *Guazuma*

Pertenece a la familia Malvaceae, anteriormente familia Sterculiaceae (Latta, 2008). Takhtajan mencionado por Janaina (2003), señala que el género *Guazuma* está incluido dentro de la subfamilia *Byttnerioideae*, tribu *Theobromeae*, estando próximo, taxonómicamente, al género *Theobroma*. Señala que muchas especies hoy reconocidas en el género *Guazuma* fueron inicialmente descritas dentro de *Theobroma*. En base a aspectos morfológicos del fruto y semillas, las especies del género están posicionadas en dos secciones: *Commersoniopsis* (*Guazuma crinita* Mart.) y *Euguazuma* (*G. ulmifolia* Lam., *G. rosea* Poepp. et Endl. y *G. utilis* Poepp.). Evidencias de DNA han demostrado que muchos de los géneros en las Sterculiaceae forman linajes evolutivos, que lleva al Grupo de filogenia Angiosperma a incluirlos en una familia más grande en lugar de mantener linajes artificiales que no comparten un ancestro común (APG, 2009). El género presenta cuatro especies distribuidas en América del Sur y México, y según Reynel et al. (2016) solo dos ocurren en Perú: *Guazuma ulmifolia* Lam. y *Guazuma crinita* Mart. Un resumen de la familia Sterculiaceae llegando a la especie *Guazuma crinita* Martius se presenta en la FIGURA 1.

FIGURA 1. DIAGRAMA TAXONÓMICO DE *Guazuma crinita*.

FUENTE: JANAINA (2003)

2.1.1 Especie *Guazuma crinita*

2.1.1.1 Origen y distribución

De amplia distribución en los neotrópicos desde América Central hasta la región amazónica en el sur de Brasil y Bolivia, hasta los 1500 m.s.n.m. (Reynel et al., 2003). En la Amazonía peruana se le encuentra naturalmente en gran abundancia en los bosques de llanuras aluviales de la cuenca del río Ucayali. Es una especie pionera de rápido crecimiento que coloniza la planicie de inundación y bosques secundarios perturbados en la selva baja en la cuenca amazónica de Perú, Ecuador y Brasil. Es una especie versátil, con excelente adaptabilidad a una amplia gama de sitios, incluyendo áreas degradadas de bosque explotado y áreas de suelos arcillosos, pesados y poco drenados (Soudre, 2012).

2.1.1.2 Descripción botánica

La especie *G. crinita* es conocida con los nombres comunes de "Bolaina" o "Bolaina blanca". Es un árbol con una tasa de crecimiento inicial de hasta 3 m de altura por año. Puede alcanzar hasta 25-40 cm de diámetro y 15-30 m de

altura total, con tallo cilíndrico y recto y ramificación desde el último tercio (Reynel et al., 2003) conforme a la FIGURA 2.

El árbol presenta corteza externa lisa a ligeramente agrietada, de color marrón claro a gris. El tejido fibroso de la corteza interna es reticulada y fibrosa, de color amarillo pálido a marrón que se oxida rápidamente y se desprende en tiras con exudación de mucilago incoloro. Ramitas terminales circulares, oscuras cuando están secas, de unos 3-4 mm de diámetro, generalmente con pubescencia ferruginosa hacia las partes apicales (Reynel et al., 2003).

Hojas simples, enteras, cartáceas, margen estrecho, glabras y brillantes en la superficie superior y poco tomentosas en la superficie inferior, ligeramente decoloradas, de 5-10 cm de largo por 3-6.5 cm de ancho, con pecíolo de 5-15 mm de largo (Flores, 2004).

Presenta inflorescencias tipo panículas de unos 8-12 x 3-6 cm con muchas flores. Las flores son pequeñas, de 8-12 mm de longitud, hermafroditas. Sus frutos son cápsulas globosas de unos 4-8 mm de diámetro con la superficie densamente cubierta de pelos largos, de unos 3-4 cm de longitud (Basauri, 2017).

FIGURA 2. PLANTACIÓN DE *Guazuma crinita* EN PUERTO INCA, PERÚ.



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2019)

2.1.1.3 Reproducción y ecología

Los árboles comienzan a florecer después de 2-3 años en condiciones de crecimiento abierto (Weber y Sotelo-Montes, 2008), cuyas cápsulas livianas y aladas se dispersan por el viento y por el agua. La especie puede producir un soporte denso de regeneración natural en campos abiertos (Rochon et al., 2007). En la Amazonía peruana, el período de floración comienza de junio a agosto y el período de fructificación es de agosto a septiembre y su tiempo de diseminación de septiembre a diciembre. Al comienzo de la temporada de lluvias; las semillas son abundantes y germinan fácilmente en suelos aluviales comunes en la región (Díaz, 2007).

En plantaciones, Reynel *et al.* (2003), señala que la especie *G. crinita* presenta un crecimiento rápido y su supervivencia en plantación suele ser alta; sin embargo, puede presentar un crecimiento lento si la cantidad de luz es limitada. En zonas aluviales luego de la explotación agropecuaria, alcanza un diámetro promedio de 4,8 cm/año, pudiéndose aprovechar postes a partir de los 2 años y madera aserrada de diámetro menor (15-20 cm DAP) a partir de 11-12 años. Los árboles crecen en rodales densos de hasta 1200 árboles/ha en plantaciones jóvenes (menor a 3 años) y hasta 500 árboles maduros (≥ 25 cm DAP) por hectárea después de haber estado sujetos al manejo con el objeto de obtener madera aserrada (Padoch et al. 2008).

En bosque nativo, en los barbechos de las llanuras de inundación, la especie crece rápidamente, con una edad de rotación de 6-12 años en la Amazonía peruana (Weber et al., 2011).

La especie prefiere suelos ricos con buen drenaje, inundables temporalmente, también tolera suelos pobres con cierta deficiencia en el drenaje, pero es baja la tolerancia a la competencia (IIAP, 2009). Es posible que las características reproductivas probablemente den como resultado un amplio flujo genético, que conlleva a producir altos niveles de variación genética dentro de las poblaciones y una diferenciación genética relativamente baja entre las poblaciones (Putzel et al., 2013). Las poblaciones de esta especie en los bosques amazónicos locales han aumentado en forma considerable, pues los pequeños propietarios están preservando los rodales e incentivando la

regeneración natural de la especie en reconocimiento a su importancia comercial siendo utilizada en proyectos gubernamentales y de ONG (Díaz, 2007).

2.1.1.4 Propiedades de la madera

2.1.1.4.1 Estructura anatómica

La madera de *G. crinita* en condición seca al aire es de color blanco amarillento, de grano recto, textura media, olor y sabor no distintivo, anillos de crecimiento diferenciados por bandas oscuras. Poros visibles a simple vista, solitarios y múltiples radiales; porosidad difusa. Parénquima apotraqueal difuso. Radios poco contrastados (INIA, 1996).

A nivel microscópico en madera de bosque natural, se reporta diámetro tangencial de poros de 160 μm , longitud de elementos vasculares de 326 μm , longitud de fibras de 1285 μm , espesor de pared muy delgada; con presencia de cristales de forma romboide en las células del parénquima longitudinal y radial (INIA, 1996). En madera de 4 años se encuentran valores de 1039 μm para longitud de fibra, 25 μm para diámetro de fibra y 1,8 μm para espesor de pared. Se encuentran diferencias significativas entre la parte superior e inferior de los árboles, así como en las posiciones cerca a la médula y cerca de la corteza para diámetro tangencial de poros, poros/ mm^2 , espesor de pared, diámetro y longitud de fibra (Miguel, 2013).

2.1.1.4.2 Propiedades físicas

En la TABLA 1 se presentan valores de las propiedades físicas de *G. crinita* reportada por diversos autores para plantaciones. Evaluaciones en sentido axial para densidad básica y contracciones son reportados por Segura (2012) y Tuisima et al. (2017) encontrando disminución de la base a la parte apical con diferencias estadísticas significativas. Por su parte, Cárdenas (2012) no reporta variaciones para densidad básica para las diferentes alturas del tronco.

TABLA 1. PROPIEDADES FÍSICAS DE *G. crinita* SEGÚN DIVERSOS AUTORES

Autor	Edad (años)	Densidad Básica (g/cm ³)	Contracciones (%)			Relación (T/R)
			Tangencial	Radial	Volumétrica	
Urbina (2017)	4	0.37	7.90	4.20	12.20	1.9
Weber y Sotelo Montes (2008)	4	0.42	----	----	----	----
Cárdenas (2012)	5	0.32	5.16	3.30	8.49	1.6
Tuisima et. al. (2017)	8	0.44	4.98	3.38	8.36	1.6

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2019)

2.1.1.5 Usos

Madera suave y ligera, con buena calidad, durabilidad y excelentes propiedades para paneles, carpintería interior, molduras y cerillas; palitos de chupetes, mondadientes y bastones artesanales. En los últimos años, se ha incrementado su utilización en la industria de la construcción de viviendas; siendo una especie importante para la reforestación y las plantaciones agroforestales en la cuenca amazónica peruana (Putzel et al., 2013; Rochon et al., 2007).

Hasta el 2007 la comercialización de esta madera era básicamente para la construcción de viviendas, mayormente en comunidades de bajos ingresos a nivel local especialmente en la ciudad de Pucallpa; pero fue creciendo en los Andes, Lima y otros lugares. Después del terremoto de 2007, la demanda de tablillas de *G. crinita* aumentó considerablemente pues se utilizaba en casas prefabricadas construidas para situaciones de emergencia, pasando a ocupar un lugar destacado entre las 20 principales especies aprovechadas a nivel nacional, según cifras oficiales de producción (Padoch et al. 2008; SERFOR, 2015).

2.2 VARIACIÓN DE LA CALIDAD DE LA MADERA EN EL ÁRBOL

La variación de la densidad de la madera en los sentidos radial-longitudinal del tronco de los árboles de diferentes especies es de naturaleza anatómico-fisiológica. Las dimensiones de las células del leño son influenciadas por la naturaleza y el contenido de auxinas producidas y exportadas por las

yemas terminales de la copa de los árboles durante la estación de crecimiento (Haygreen y Bowyer, 1982). Además, la estructura anatómica y la densidad de la madera dependen del crecimiento del árbol, de la genética y del manejo, influenciando en su calidad y utilización (Silva et al., 2007a).

La variabilidad de las características del leño en el tronco de un árbol de una especie es mayor que entre los árboles creciendo en un mismo o en diferentes sitios (Amaral, 1994). Entre árboles de una misma especie, la variación de la densidad aparente del leño es resultado de la combinación de los factores ambientales, expresada por la calidad del sitio y por su carácter genético; factores que inducen al rápido crecimiento del tronco de los árboles, siendo el volumen de madera juvenil mayor en relación a la adulta y los anillos de crecimiento más anchos resultan en reducción de la densidad aparente media del leño (Tsoumis, 1991; Silva, 2004).

El estudio de la variación individual y la verificación de la variabilidad que ocurre dentro de los árboles, en el sentido radial y axial, son importantes desde el punto de vista de utilización tecnológica de la madera (Barrichelo y Brito, 1979). El patrón de variación de los elementos celulares en el xilema puede cambiar mucho, dependiendo de la especie. Hay especies que presentan aumento en la dimensión, en la frecuencia, en la proporción y en el arreglo en el sentido medula cambium o base ápice, mientras otras presentan disminución de esos valores; y en otras especies donde prácticamente no presentan variación. El modelo de variación radial dentro del árbol más comúnmente descrito indica un aumento de la longitud de las fibras desde la medula hacia la corteza. En el sentido axial las variaciones son en general menos consistentes; se menciona como característica la disminución general de la longitud de las fibras hacia el ápice; sin embargo, estos modelos deben verificarse para cada especie y cada sitio de la plantación (Wilkes, 1988).

Las características anatómicas junto con las propiedades físicas y químicas, se constituyen en un índice de calidad, ya que estos factores están relacionados y alteran las propiedades de la madera (Haygreen y Bowyer, 1982). La longitud, ancho, espesor de la pared y el diámetro del lumen de las fibras representan los parámetros anatómicos generalmente más estudiados y de mayor importancia ya que estas características son controladas por procesos

fisiológicos distintos y son variables en la madera, representadas en las diferentes etapas de su desarrollo (Shimoyama, 1990).

También la evaluación de la variación radial y axial de los elementos anatómicos en el tallo, además de posibilitar un entendimiento de la arquitectura adoptada por las diferentes especies para hacer eficiente y seguro el transporte de agua, son de elevada importancia comercial, pues a partir de los resultados, es posible proveer la materia prima más indicada comercialmente para una determinada aplicación (Fan et al., 2009)

Downes et al. (1997) menciona que en general se admite que con un aumento de la edad de los árboles las células cambiales producen elementos de mayores dimensiones. La madera juvenil, asociada a una edad fisiológica temprana de las células cambiales, tiene más baja densidad, elementos fibrosos más cortos, cuando comparado con madera madura. Igualmente, la edad fisiológica del cambium tiene un efecto predominante en la variación del leño dentro y entre árboles, tanto en términos de densidad, de espesor de las paredes y longitud de las fibras. Diversos estudios abordan las variaciones que ocurren en el leño y de su influencia sobre las propiedades de la madera de plantaciones especialmente *Eucalyptus* y *Pinus*; sin embargo, aún se conoce poco sobre la variabilidad y comprensión de estas variaciones en el leño de especies nativas (Yang et al., 1994) como es el caso de las plantaciones de *Guazuma crinita* en el Perú.

Ishiguri et al. (2009), al evaluar la variación del espesor de la pared de las fibras, porcentaje de vasos, fibras y parénquima en cinco árboles de 13 años de *Paraserianthes falcataria*, con el objeto de obtener información acerca de su calidad y relacionarla con su densidad básica; encontraron que tanto el espesor de las paredes celulares de las fibras y de los vasos mostraron valores constantes en los primeros 10 cm desde la medula y un incremento posterior hacia la corteza; además, de diferencias significativas en las características anatómicas entre los cinco árboles muestreados, y la densidad básica se vio afectada por el espesor de la pared de las fibras, pero no por el porcentaje de vasos y de fibras.

Uno de los objetivos de las plantaciones es obtener madera de calidad; es decir, con la menor variabilidad posible el cual es definido por el manejo y la silvicultura de las especies forestales en función del producto a obtener. En el

procesamiento primario se debe producir madera aserrada de calidad, con el mayor aprovechamiento de materia prima y mayor rentabilidad; ya que para maderas de la amazonia se reportan rendimientos promedios de 34% de troza a madera aserrada. Este bajo rendimiento es el resultado de variables inherentes a la madera (densidad, grano, humedad, factor de forma, conicidad del tronco, proporción de madera juvenil/adulta); así como, debido al equipamiento y procesamiento (Gerwing y Farías., 2000).

2.3 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA

2.3.1 Densidad

La edad del cambio vascular es uno de los factores que ocasionan la variación de las dimensiones de las células de la madera en los sentidos médula-corteza y base-ápice del tronco de un árbol. La madera juvenil se ubica alrededor de la médula, con anillos de crecimiento más anchos y formados en el período inicial de desarrollo; la madera adulta, en la porción más externa del tronco donde el cambium es fisiológicamente maduro; presentando esta última valores de densidad y longitud de fibra mayores y más estables en relación a la juvenil (Tsoumis, 1991; Tomazello Filho et al., 2000).

La densidad de la madera es un parámetro utilizado para evaluar la calidad de la madera por su correlación con sus propiedades anatómicas, físicas y tecnológicas (Miranda et al., 2001). Está relacionada estrechamente con sus características anatómicas como el espesor de la pared celular, largo y diámetro del lumen de las fibras o traqueidas, diámetro y frecuencia de vasos y porcentaje de parénquima; químicas como el contenido de extractivos y propiedades mecánicas; cuyas variaciones reflejan la calidad y el rendimiento de la pulpa, productos de papel y propiedades de productos sólidos de la madera (Nugroho et al., 2012). Entre las múltiples variables que influyen en la densidad de la madera de los árboles están la edad, tasa de crecimiento, espaciamiento y prácticas silvícolas (Viana, 2008).

La densidad es variable en los sentidos axial y radial de la madera de los árboles y entre árboles de una misma especie en función de las características anatómicas y de la composición química no existiendo un patrón único para

todas las especies. Existen tres modelos comunes de variación de la densidad del leño en el sentido base-ápice del tronco 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). También existe variación en el sentido radial de los árboles siendo: (i) aumento en el sentido médula-corteza; (ii) mayor valor en la región interna, decrece hasta cierto porcentaje de los radios, aumenta hasta el límite de la corteza, o incluso disminuye; (iii) mayor valor en la región interna, decreciendo hasta el límite de la corteza (Santini et al., 2009; Lima y García, 2010).

La densidad básica está dada como la relación entre la masa de madera seca y su volumen verde, de gran importancia por ser una característica de fácil determinación y no cambiar generación tras generación. La variación de la densidad con la altura está ligada a la cantidad de madera juvenil que recorre al árbol axialmente como un cilindro interno desde la base hasta el ápice (Zobel y Jett, 1995).

La densidad aparente de la madera está dada por la relación entre la masa y volumen de la madera al 12% de contenido de humedad. Los métodos convencionales de determinación de la densidad aparente se aplican a muestras de madera obtenidos por métodos destructivos; sin embargo, a través de la técnica de la densitometría se presentan ventajas como ser no destructiva, propiciando la optimización del tiempo, mejor precisión de los análisis y con mayor eficiencia en el procesamiento de los datos (Castro, 2011).

2.3.2 Contracción

Otro factor importante dentro de las propiedades físicas es la variación dimensional de la madera, caracterizado por la contracción o hinchamiento dado por la desorción o adsorción de agua que ocurre por debajo del punto de saturación de las fibras (Bowyer et al., 2003). Este fenómeno ocurre debido a que las moléculas de agua están conectadas por enlaces de hidrógeno a las microfibrillas de los polisacáridos que forman la madera, y cuando éstas se ven obligadas a salir, dejan un espacio, y las fuerzas de cohesión tienden a juntar las microfibrillas, causando la contracción de la madera. El fenómeno de la

expansión es inverso; es decir, cuando el agua es adsorbida por la madera, tiende a penetrar entre las microfibrillas causando, por tanto, el alejamiento de ellas ocasionando la hinchazón de la pieza de madera (Oliveira et al. 2010).

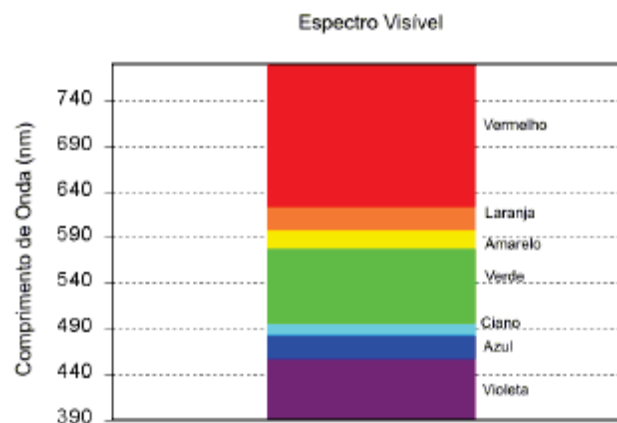
Un índice importante para evaluar la estabilidad dimensional de la madera es el coeficiente o factor anisotrópico, definido por la relación entre las contracciones tangencial y radial (Gonçalves et al., 2009). Las maderas que se contraen menos son más estables y la magnitud de la variación dimensional es normalmente mayor en maderas de mayor masa específica debido a la mayor cantidad de madera por unidad de volumen; además, maderas de mayor masa específica para un mismo contenido de humedad contienen más agua en la pared celular (Silva et al., 2006).

2.4 COLORIMETRÍA

2.4.1 Color

El color es definido de varias formas por su peculiar carácter abstracto (Silva, 2004). El ojo humano percibe el color por la emisión, reflexión o transmisión de la radiación electromagnética, en el rango visible de 380 a 780nm (Régula, 2004). En el espectro visible se destacan siete colores que reflejan la luz en intervalos de longitud de onda característicos llamados dominios del color; cuyos rangos aproximados se muestra en la FIGURA 3.

FIGURA 3. LOS COLORES Y CORRESPONDIENTES LONGITUDES DE ONDA.



FUENTE: GRIEBELER (2013).

El color y su percepción es muy importante en diversas áreas de la industria que trabajan con productos ya que, a través del color, se puede expresar deseos y promesas de satisfacción de los consumidores, mejorando los niveles de calidad; ya que el éxito o el fracaso de un nuevo producto está principalmente influenciado por la impresión visual que el consumidor tiene del producto; por tanto, la especificación y la reproducción exacta del color se hacen necesarias (Delucis et al., 2016).

En madera, el color tiene su importancia, por ser una de las características que la clasifica estéticamente como aceptable o no (Mori et al., 2005). Una de las causas que ocasionan una disminución en la demanda de la madera y reduce su valor comercial, es la falta y/o inadecuado tratamiento preventivo contra el ataque de microorganismos, especialmente los hongos que comprometen directamente su aspecto estético alterando su color (Costa, 2009).

El color natural de la madera está dado por el contenido y composición químico de sus compuestos, principalmente compuestos fenólicos; existiendo además otros factores que ocasionan su variabilidad tales como: la especie, la parte usada (duramen o albura), el plano de corte, el contenido de humedad y la edad (Valverde y Moya 2010), así como también por el manejo silvicultural y las condiciones edáficas y climáticas de las plantaciones forestales (Derkyi et al., 2009).

La apreciación del color es subjetiva y depende de muchos factores como la moda y los gustos personales; buscándose generalmente homogeneidad en el color; especialmente cuando hay que juntar distintas piezas de una misma especie en el ensamblado de un producto, como pisos, muebles, madera laminada y encolada (Bothig, 2001).

2.4.2 Técnicas de determinación de color

Existen dos métodos para determinar el color, el método comparativo y el cuantitativo. El método comparativo más conocido es el sistema Munsell que tiene como base un atlas de color que sirve para seleccionar, medir y comparar la apariencia de los objetos. El otro método es el cuantitativo siendo el más utilizado la colorimetría, ciencia que mide el color (Gonçalez et al., 2001).

El sistema Munsell propone tres dimensiones del color cuya medición se realiza mediante una escala apropiada; cuyo avance en los últimos años ha tratado de mejorar este sistema adaptando y mejorando las necesidades de precisión y exactitud requeridas por el desarrollo de la industria actual (Fernandes, 2002). Este sistema determina el color por codificación alfa numérica en una tabla colorimétrica tridimensional, teniendo como componentes el matiz, el valor de claridad o luminosidad y el croma o saturación. Las figuras pintadas en cada página son de igual matiz, variando sólo la claridad y la croma; en donde los matices están indicados por los primeros caracteres del código, variando numéricamente de 0 a 10, acompañado de una o dos letras (Gonçalez et al., 2001).

La colorimetría cuantitativa es una metodología objetiva y eficaz para la medición del color de la madera; cuya técnica es no destructiva, que permite evaluar de forma precisa el color de la madera, garantizando niveles elevados de calidad y la obtención de productos visualmente homogéneos (Bothig, 2001). De aplicación en diversas áreas; sin embargo, en la industria maderera la medición de colores sigue siendo una técnica poco conocida y utilizada, pero que comienza a introducirse con el objetivo principal de dar mayor valor agregado a los productos (Gonçalez y Macedo, 2003).

Esta medición cuantitativa de los colores, permite registrar objetivamente un color y traducirla en datos numéricos (Fernandes, 2002). Tiene ventajas en relación a los métodos convencionales, ya que permite evaluar muestras pequeñas sin tener que extraer muestras de mayores dimensiones utilizados en el caso de los ensayos destructivos; pudiendo además analizar mayor número de muestras con rapidez y precisión de utilidad en rutinas de línea de producción (Costa, 2009).

Existen dos tipos de aparato apropiados para describir numéricamente cada elemento de la composición de un color en superficies, los colorímetros y los espectrofotómetros (Gonçalez et al., 2001). Los colorímetros poseen una serie de filtros y fotodetectores para cuantificar el color de los materiales expuestos a la luz; y los espectrofotómetros iluminan la superficie del objeto a medir y calculan la longitud de onda y la cantidad de luz por ella reflejada (Rappold y Smith, 2004).

Los colorímetros son los principales aparatos para el análisis numérico del color, por ser portátiles, de fácil manejo, representan bajo costo de fabricación y permiten la obtención directa de los valores de las medidas de los componentes cromáticos; sin embargo, estos instrumentos son incapaces de generar datos de reflectancia espectral, y limitan los resultados (Gonçalez y Macedo, 2003). Por su parte los espectrofotómetros son aparatos que miden la cantidad de cada longitud de onda de la luz que una superficie refleja o transmite. La espectrofotometría mide la reflectancia espectral; es decir, la relación entre la intensidad de cada longitud de onda de la luz que incide sobre una superficie y la luz de la misma longitud de onda que refleja de vuelta al detector de un instrumento (Holdschip, 2008).

Diversas técnicas de colorimetría han sido empleadas para monitorizar los cambios en la superficie del color de la madera después de diversos ensayos. Entre los más representativos se tiene el análisis por espectroscopia de Ultravioleta-Visible y el sistema HunterLab de colorimetría (Delucis et al. 2016). Sin embargo, el método CIE $L^*a^*b^*$ destaca como el principal método aplicado, principalmente por su rapidez, facilidad y versatilidad en las mediciones que genera (Kishino y Nakano 2004; Konica Minolta 2007).

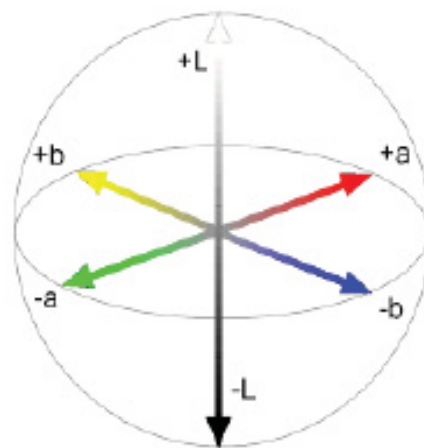
2.4.2.1 CIELAB

La técnica de colorimetría CIE fue creada por la *Comission Internationale de l'Eclairage* o Comisión Internacional de Iluminación, que consiste fundamentalmente en medir tres parámetros colorimétricos, a partir de los cuales es posible cuantificar el color del material; estos son la luminosidad o claridad, la tonalidad o matiz y la saturación o cromaticidad. El sistema CIELAB es el resultado de espacios y variaciones del espacio XYZ con el objetivo de proporcionar una mejor uniformidad perceptiva y correlación con la percepción humana de los colores. El sistema de Richard Hunter llamado L, a, b, está basado en la teoría de la oposición de los colores correlacionada con el descubrimiento de que en algún lugar entre el nervio óptico y el cerebro los estímulos coloreados en la retina se traducen en distinciones entre claro y oscuro, rojo y verde, azul y amarillo; CIELAB indica estos valores con el uso de tres ejes: L^* , a^* , y b^* (Holdschip, 2008).

El sistema CIELAB (FIGURA 4) presenta en el eje vertical la luminosidad o claridad, que define la escala gris entre el blanco y el negro y se expresa por el parámetro colorimétrico L^* y asume valor 0 (cero) para el negro absoluto y 100 para el blanco total. La tonalidad o el matiz es expresada por los colores rojo, verde, amarillo y azul, siendo representada en forma de un círculo cortado por dos rectas perpendiculares pasando por el centro. Los valores de estas variables se encuentran en el rango de 0 a 60, sin unidad de medida. Los pigmentos rojo, verde, amarillo y azul se definen por las coordenadas $+a^*$, $-a^*$, $+b^*$ y $-b^*$ respectivamente; y por lo tanto, cualquier variación de estas coordenadas significa que el color puede enrojecer ($+a^*$), verdear, ($-a^*$), amarillar ($+b^*$) o azular ($-b^*$) (Pincelli et al., 2012; Gonçalez et al., 2014).

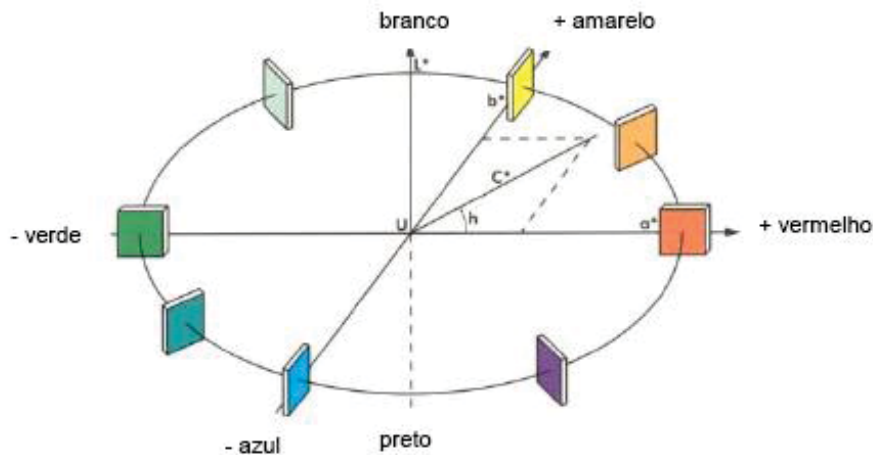
En la FIGURA 5, el ángulo de tinta (h^*) es el ángulo del círculo, que expresa la tonalidad. La saturación o cromaticidad (C) es el radio del círculo de tonalidad, partiendo del punto gris del eje de luminosidad hasta el color puro espectral localizado en el extremo del círculo. Estos dos parámetros se derivan de los valores de a^* y b^* (Camargos y Gonçalez, 2001).

FIGURA 4. REPRESENTACIÓN DEL SISTEMA CIELAB 1976.



FUENTE: GRIEBELER (2013).

FIGURA 5. SISTEMA DE COORDENADAS DE COLORES CIELAB 1976.



FUENTE: GRIEBELER (2013).

Diversos trabajos se han realizado en colorimetría para caracterizar el color natural de la madera, por ejemplo, Aufran y Gonçalez (2006), Camargos y Gonçalez (2001), Gonçalez et al. (2006), Mori et al. (2005). En determinación del color de la madera mediante la aplicación de tratamientos térmicos debe mencionarse a Araujo (2010), Arruda (2012), Batista (2012), Cademartori et al. (2013), Modes (2010), Griebeler (2013); y en variación del color debido al intemperismo, a: Silva et al. (2007b), Delucis et al. (2016), Mattos et al. (2013), Pastore et al. (2008).

2.5 ESPECTROSCOPIA

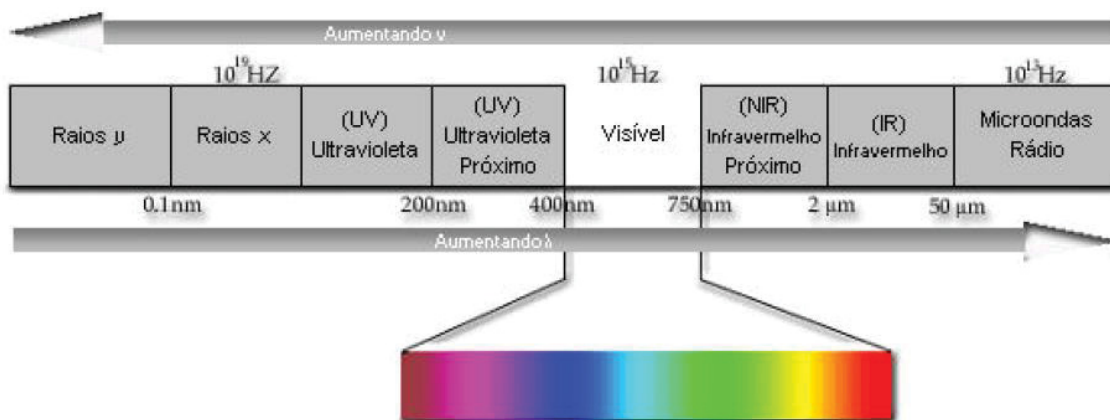
La radiación electromagnética que una muestra absorbe puede revelar algunas de sus características (Custodio et al., 2000), y los efectos resultantes de la interacción de estas radiaciones electromagnéticas con la materia proporcionan evidencias del comportamiento microscópico. Estas observaciones llevan a sugerir modelos que permitan comprender o prever las propiedades del material (Bassi, 2001).

En una molécula se presentan tres niveles energéticos diferentes: vibracionales, rotacionales y electrónicos. Para producir cambios en cada uno de estos niveles es preciso utilizar diferentes cantidades de energía, haciendo que el efecto de los fotones absorbidos se observe en diferentes regiones del

espectro. Cada enlace químico vibra a una frecuencia específica, lo que provoca que absorba energía en una longitud de onda determinada (Simao, 2011).

El espectro electromagnético y el intervalo completo de la radiación electromagnética, que contiene desde las ondas de radio, las microondas, el infrarrojo, la luz visible, los rayos ultravioletas, los rayos X, hasta la radiación gamma se muestra en la FIGURA 6, donde la banda del infrarrojo cercano (NIR) se encuentra entre los 800 a 2500 nm (Center for Analytical Spectroscopy, 2016). Una onda electromagnética se propaga incluso en el vacío. Maxwell concluyó que la luz visible está constituida por onda electromagnética, en todo análoga a las restantes con la única diferencia en la frecuencia y la longitud de onda. De acuerdo con la frecuencia y longitud de onda de las ondas electromagnéticas se puede definir un espectro con varias zonas (Custodio et al., 2000)

FIGURA 6. ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.



FUENTE: CENTER FOR ANALYTICAL SPECTROSCOPY (2016).

La región del infrarrojo comprende el intervalo espectral de 780 - 10^6 nm. Según el fenómeno espectroscópico que provoca la absorción de energía por parte de la materia, esta región se divide en tres zonas: 1) infrarrojo cercano 780-2500 nm (NIR), 2) medio 2500- $4 \cdot 10^4$ nm (MIR) y 3) lejano $4 \cdot 10^4$ - 10^6 nm (FIR) (Peguero, 2010). Las técnicas de espectroscopia en el infrarrojo cercano y medio se han utilizado, como una herramienta analítica en la determinación de constituyentes en alimentos y fármacos. Los métodos empleando la espectroscopia en el infrarrojo son rápidos y exactos y tienen amplia aplicación analítica en análisis químicos y de control de calidad de productos de las áreas agrícolas, farmacéuticas y tecnológicas (Tsuchikawa y Kobori, 2015).

2.5.1 Espectroscopia Infrarroja Cercana (NIR)

La espectroscopia infrarroja es un tipo de espectroscopia de absorción la cual usa la región del infrarrojo del espectro electromagnético. Como las demás técnicas espectroscópicas, puede ser usada para identificar un compuesto a investigar la composición de una muestra. Se basa en el hecho de que las ligaciones químicas de las sustancias poseen frecuencias de vibraciones específicas las cuales corresponden a niveles de energía de molécula, llamados en ese caso de niveles vibracionales.

La adquisición de espectros NIR se da a través de dos técnicas, la reflectancia difusa y la transmitancia difusa. La primera consiste en captar la radiación que es reflejada por la muestra mediante un receptor ubicado en el mismo lado que la fuente de iluminación. En transmitancia difusa la recolección se lleva a cabo en el lado opuesto al de la fuente de iluminación; es decir, se captura la radiación que atraviesa la muestra. En ambos casos se utiliza una fuente de luz policromática, cuyo espectro debe ser conocido y lo más estable para evitar que se introduzcan ruidos externos en la adquisición del espectro. En la representación del espectro NIR se busca capturar la intensidad relativa detectada (contador del detector) versus la longitud de onda correspondiente a esa absorción (Galleguillos, 2010).

La espectroscopia infrarroja cercana (NIR) es una técnica que forma parte del campo de estudio de la espectroscopia molecular, que analiza la interacción de la radiación electromagnética con la materia. Esta técnica de evaluación es no destructiva y se aplica en productos cuyas moléculas contengan principalmente enlaces CH, OH, NH, SH o C = O (Rosso, 2010; Samistraro, 2011; Ruiz et al., 2012). La información en los espectros del infrarrojo cercano es utilizada para estimar la concentración de una determinada sustancia o una propiedad física cuando ésta refleja cambios significativos en la intensidad y/o longitud de onda de los espectros producidos por la muestra (Nisgoski, 2005).

Peguero (2010) y Dallagnol (2012) mencionan que el interés creciente por la espectroscopia NIR en el sector industrial es consecuencia directa de las ventajas que ofrece esta técnica analítica para el control de calidad de un producto, tales como:

- Es una técnica no destructiva y permite el análisis in-line y on-line

- Se pueden analizar muestras sólidas, líquidas y gaseosas
- La preparación de muestras es prácticamente nula y el análisis es rápido
- El análisis por muestra tiene un costo muy reducido
- No requiere del uso de disolventes y por lo tanto no genera residuos
- Representan la posibilidad de múltiples análisis.
- Los equipos son compactos y fáciles de ser transportados y manejados
- A partir de un conjunto de espectros se pueden establecer calibraciones paralelas para realizar determinaciones multiparametricas.
- Tecnología en continua evolución.

En tecnología de la madera dentro del sector forestal la espectroscopia NIR ha mostrado igual o mejores resultados que los métodos tradicionales. Para la determinación de un componente en particular, la espectroscopia en el infrarrojo necesita un conjunto de muestras de calibración, ya que la respuesta instrumental no proporciona directamente la información deseada (Dallagnol, 2012). Además, la tecnología NIR es dependiente de los métodos convencionales de análisis; ya que el modelo de calibración se genera en base a los valores convencionales del análisis a determinar y cuya calidad de los valores de referencia determina el éxito o fracaso de esta técnica (Santos et al., 2005; Samistraro, 2011)

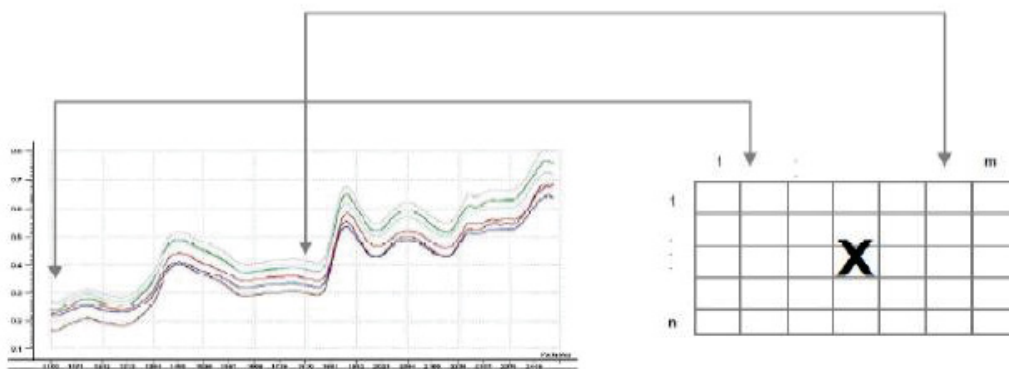
Los espectros NIR están constituidos por la representación gráfica de la energía absorbida en función de la longitud de onda, esta energía cambia dependiendo del tipo de vibración permitida y de la cantidad y concentración de moléculas en la muestra. El espectro NIR presenta bandas de absorción que corresponden a armónicos o a la combinación de bandas originadas en otros sectores del espectro electromagnético. Por ello, generalmente la información sobre el contenido de un compuesto en la muestra se encuentra distribuida en un amplio sector del espectro y no en longitudes de onda específicas (Simao, 2011).

2.6 QUIMIOMETRÍA

La Quimiometría es un área de la química que involucra el uso de métodos matemáticos y estadísticos de datos utilizados frecuentemente para maximizar las informaciones que puede extraerse de un conjunto de datos relativos a procesos químicos de matrices multivariadas como, por ejemplo, informaciones provenientes de la espectroscopia (Zeni, 2005)

El tratamiento quimiométrico es aplicado sobre los datos de un sistema analizado cuando están organizados en matrices. Los espectros individuales de las muestras están dispuestos en una matriz X ($n \times m$), en la que las líneas corresponden a las muestras y las columnas son los valores de la medida de intensidad en cada número de onda, denominados variables independientes. Los valores de las propiedades de interés a ser estimadas están dispuestos en una matriz y , cuyas variables se denominan dependientes (Ferreira citado por Carneiro 2008). La disposición de los datos en una matriz X puede observarse en la FIGURA 7.

FIGURA 7. CONSTRUCCIÓN DE MATRIZ X PARA CALIBRACIÓN MULTIVARIADA.



FUENTE: CARNEIRO (2008).

Por la naturaleza compleja de la madera cuyos constituyentes principales son celulosa, poliosas y lignina, las bandas observadas en el Infrarrojo en general no pueden ser asignadas a un componente simple, y la interpretación de bandas aisladas en espectros de madera carecen de significado. Razón por la cual el análisis multivariado se usa frecuentemente para correlacionar los datos espectrales infrarrojo con cambios de estructura o

propiedades. La espectroscopia NIR en combinación con la quimiometría ha demostrado ser un excelente método para la evaluación de propiedades de la madera, habiéndose utilizado para evaluar propiedades tales como densidad, rendimiento en pulpa, propiedades físico-mecánicas, proporción de madera temprana y tardía en mezclas de astillas y contenido de resinas en madera (Ruiz et al. 2012).

Múltiples trabajos se han realizado utilizando la espectroscopia NIR; así, para predecir composición química en madera y papel se pueden mencionar a Paredes et al. (2018), Alves et al. (2012), Hein et al. (2010), Nisgoski (2005), Viana (2008), Kothiyal et al. (2015), Rosso (2010); Viana et al. (2016) y Lengowski et al. (2018); en propiedades físicas y mecánicas a Schimleck y Evans (2004); Hein et al. (2009), Santos et al. (2005), Diesel et al. (2014); en estimación de carbono a Dallagnol (2012); en determinación de origen de la madera a Silva et al. (2018) y en discriminación de especies y clasificación de muestras de madera de distinta procedencia a Soares et al. (2017).

2.7 DENSITOMETRÍA

La densitometría de rayos X es una técnica utilizada en la medicina (densitometría ósea) y adaptada para madera; en la que una fina sección transversal de madera; es expuesta a una fuente de rayos X que, al paso de la radiación a través de la muestra de madera, se forma una imagen de su estructura transversal (Amaral, 1994). Dicha técnica tiene precisión y practicidad para la evaluación cuantitativa de propiedades de la madera de diferentes especies forestales y de productos a base de madera utilizada para la caracterización de anillos de crecimiento, en la evaluación tecnológica de paneles de MDF y en la caracterización anatómica de maderas (Belini et al., 2011). Su aplicación en el estudio de la madera tiene como ventaja la posibilidad del registro radiográfico de la madera, su alta sensibilidad y resolución, además de la rapidez en el análisis de los datos y la interpretación de los perfiles radiales de densidad (Silva y Lousada, 2010).

Esta técnica es importante en la evaluación de la calidad del leño de los árboles de bosque natural y de aquellos sometidos a tratamientos silvícolas en distintas condiciones climáticas; posibilita determinar la producción anual de la

biomasa del leño y su relación con la estructura anatómica. Se aplica en genética, mejoramiento forestal y evaluación del efecto de la fertilización, irrigación, desrame, ataque de hongos e insectos, etc. (Tomazello Filho et al., 2005). Permite, además, analizar las variaciones de la estructura anatómica a través de los perfiles de densidad aparente del leño y evaluar la heterogeneidad de la madera para su aplicación tecnológica en productos de mayor valor agregado; recomendándose en trabajos donde se evalúa un significativo número de muestras de leño de árboles de coníferas y latifoliadas (Surdi et al., 2014).

Entre las aplicaciones de esta técnica utilizadas en el sector forestal se tiene: demarcación de los anillos de crecimiento como técnica potencial para auxiliar estudios en dendrocronología de *Cedrela odorata* (Ortega, 2016), *Swietenia macrophylla* (Rosero et al., 2010) y en *Grevillea robusta*, *Persea americana*, *Tabebuia pentaphylla* y *Terminalia cattapa* (Chagas, 2009) con resultados satisfactorios y teniendo como ventaja la lectura directa, calibración y procesamiento de datos. En *Pinus caribaea* var. *hondurensis* se caracterizaron los anillos de crecimiento del leño y se comparó los valores de densidad de los leños temprano y tardío (Ferreira y Tomazello Filho, 2009). Por otro lado, se evaluó las porciones de madera adulta y juvenil que permitieron determinar el uso múltiple y sostenido de la madera en *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Lobao et al., 2012) y en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (De Castro et al., 2014).

En la evaluación de la calidad de la madera en condiciones diferentes de sanidad se midió la biodegradación por hongos de los componentes de la pared celular en *Hevea brasiliensis* (Leonello et al., 2014) y Eucalipto (Tomazello Filho et al., 2008). En la evaluación de producción potencial de biomasa en plantaciones de corta edad se determinaron las características de densidad para 19 especies de *Eucalyptus* encontrándose en *E. maculata* el índice de producción de biomasa (PWB) más alto (13.4 kg); siendo este un indicador de buena aptitud prospectiva para el ciclo de rotación corta o de rápido crecimiento para la producción de biomasa (Knapic et al., 2014).

Las prácticas silviculturales influyen en el volumen de producción, el crecimiento individual de los árboles, la densidad de la madera, la calidad y los usos finales de la madera. Un espaciamiento más amplio puede aumentar el crecimiento en diámetro de los árboles y el volumen del tallo individual, pero

disminuye el volumen de la plantación en comparación con el menor espaciamiento (Balloni y Simões 1980; Cardoso et al., 2013). Bajo estas consideraciones y empleando la técnica de densitometría se reporta un crecimiento diametral de los árboles de *Cariniana legalis* mayor a 3 m × 2,5 m que a 3 m × 2 m y a 3 m × 1,5 m. Además, el espaciamiento más amplio llevó a una mayor densidad para esta especie de 38 años que produce hasta 17 m³/ha de madera de densidad media a alta (799 kg/m³), resaltando que esta especie nativa tiene potencial para ser manejada en plantaciones en Brasil (De Oliveira et al., 2017).

En la evaluación de la calidad de la madera de *Eucalyptus grandis* x *urophylla* se empleó densitometría de rayos X para evaluar distintas prácticas de fertilización encontrándose volúmenes de 34 m³/ha/año (sin fertilización) a 49 m³/ha/año (con fertilización) y hasta 51 m³/ha/año (fertilización extrema) (Tomazello Filho, 2006).

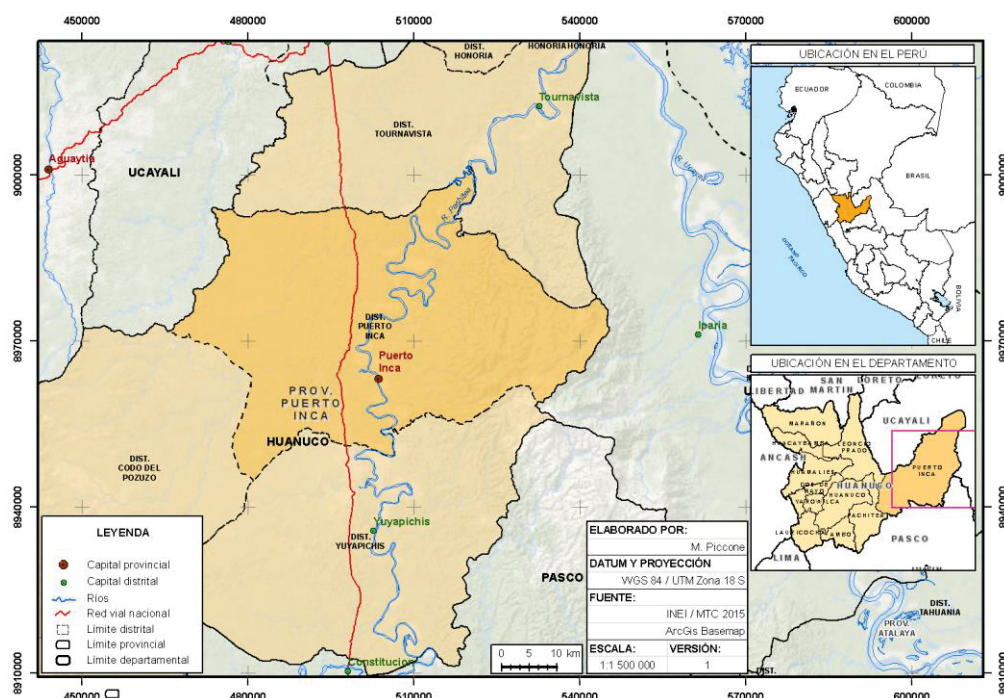
Finalmente, esta técnica ha sido utilizada en evaluación de calidad de madera (Arango y Tamayo, 2008; Sette, 2010; Boschiero, 2013; Oliveira et al., 2012; Moya y Tomazello Filho, 2005) y briquetas de carbón en diferentes especies de Eucalipto (Ferreira et al., 2012; Arizapana, 2013; Chaves et al., 2013)

3 MATERIALES Y METODOS

3.1 MATERIAL

La madera de árboles de *Guazuma crinita* utilizada en el presente estudio provienen de las plantaciones forestales de la Empresa Reforestadora Amazonica S.A; ubicada en el sector Maquizapallo y localizada en la ciudad de Puerto Inca, Huánuco – Perú; ubicadas geográficamente a 9° 37' 43", latitud S y 74° 58' 28" longitud W; y altitud de 145 m.s.n.m. (FIGURA 8). 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-limosa; ph 5.5, materia orgánica 4%; CIC 10,8 meq/100g y profundidad efectiva mayor a 90 cm.

FIGURA 8. UBICACIÓN DE LAS PLANTACIONES DE *Guazuma crinita* EN HUÁNUCO (PERÚ).



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2019)

3.2 COLECCIÓN DE MUESTRAS DE MADERA

El material genético utilizado en las plantaciones de 5 y 8 años proviene de semillas de lotes semilleros denominados “Mezcla de semillas de árboles

selectos de huertos semilleros” del World Agroforestry Centre (ICRAF) procedentes de la cuenca del Aguaytía (Huánuco). La plantación de 5 años, tuvo mantenimientos iniciales, sin podas ni raleos; en tanto, la plantación de 8 años, tuvo mantenimientos iniciales y anuales, además de podas y raleos. El distanciamiento entre árboles es de 3 x 3 m.

La colección de los árboles se realizó en noviembre del año 2016. La edad exacta al momento del corte fue de cinco años y tres meses (63 meses) y ocho años y 7 meses (103 meses). Se seleccionaron cinco arboles por edad, de forma aleatoria, conforme a la NTP 251.008:2012; sin considerar las hileras del borde; sin embargo, el árbol 5 de la edad 5 años creció aledaño a una trocha, que le confirió propiedades distintas.

A cada árbol seleccionado; se midió su altura comercial y tumbados con motosierra Stihl 320 a la altura de la base de los árboles y luego cortados en tres partes (basal, media y apical) conforme a la metodología utilizada por Valente et al (2013). Se tomó 1,0 m de largo de la parte inferior de cada troza, correspondientes a los tres niveles de altura (basal, medio y apical). Los cilindros fueron medidos, codificados y transportados al laboratorio de Anatomía de la Madera, del Departamento Académico de Industrias Forestales, Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina (Perú). Las características de los 10 árboles muestreados para las dos edades se presentan en la TABLA 2.

TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS INDIVIDUOS MUESTREADOS

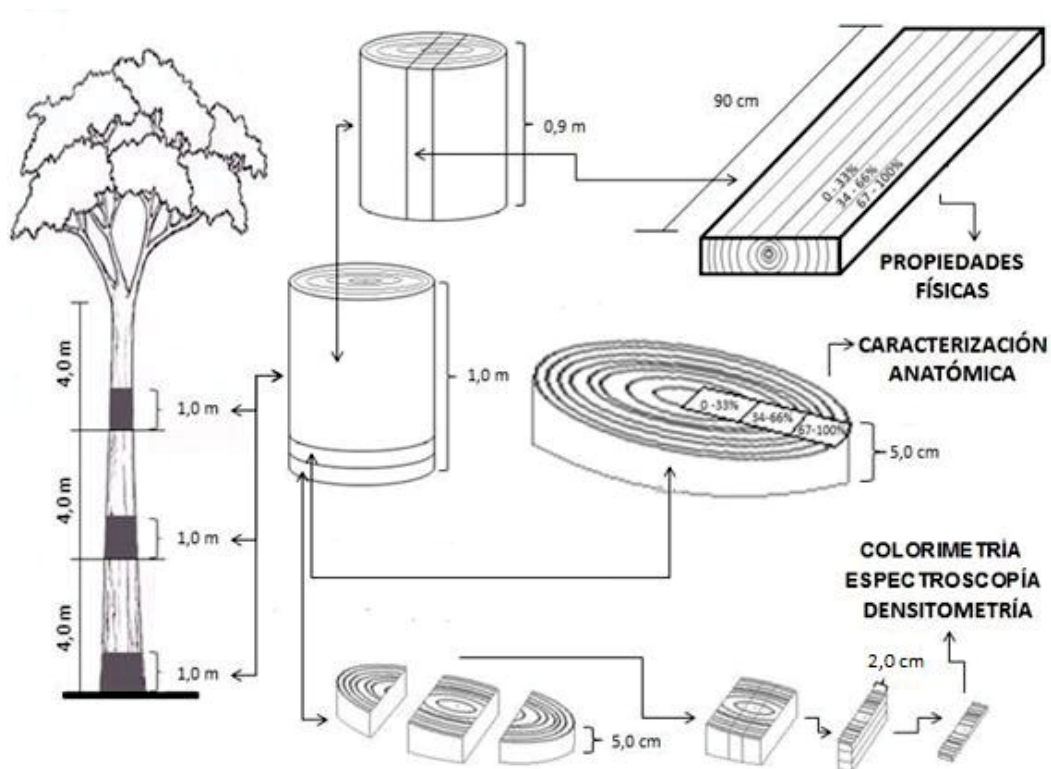
Edad	N° individuo	DAP (cm)	Hc (m)
5 años (63 meses)	1	18.8	12.0
	2	21.6	13.0
	3	21.6	13.0
	4	22.0	13.0
	5	21.3	12.0
8 años (103 meses)	1	26.4	18.0
	2	27.7	20.0
	3	27.1	20.0
	4	26.1	21.0
	5	26.1	19.0

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2019)

3.3 PREPARACION DE MUESTRAS DE MADERA

De cada cilindro se obtuvieron muestras para la caracterización anatómica, propiedades físicas (densidad y contracciones totales); análisis de espectroscopia, colorimetría y densitometría. De la parte inferior de cada cilindro se obtuvieron dos rodajas de 5 cm de espesor; una para las evaluaciones anatómicas y el otro para la obtención de muestras de 2 mm x 2,0 cm (espesor y ancho) para los análisis de espectroscopia, colorimetría y densitometría. Del cilindro restante y para cada uno de ellos, se obtuvo una plancha central de 5,0 cm de espesor y largo variable correspondiente a tres posiciones radiales (0-33%, 34-66%, y 67-100%) de distancia en el sentido medula corteza para la determinación de propiedades físicas (densidad básica y contracciones totales). Para la determinación de estas propiedades se prepararon muestras de forma cuadrada, con dimensiones 3,0 x 3,0 x 10,0 cm, siendo esta última en dirección longitudinal. La FIGURA 9, ilustra la obtención de muestras según ensayo a realizar.

FIGURA 9. TOMA Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS SEGÚN ENSAYO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2019)

3.4 CARACTERIZACION ANATOMICA DE LA ESTRUCTURA DE LA MADERA

Muestras de madera tomadas de las diferentes posiciones conforme a la FIGURA 9, fueron orientadas en sus tres planos (transversal, radial y tangencial); sumergidos en agua en ebullición para su ablandamiento. Luego, fueron fijados en el micrótopo de deslizamiento y obtenidos cortes histológicos en las tres secciones con espesor fino (15-20 μm), transferidos a placas Petri, clarificados (hipoclorito de sodio, 20%), deshidratados en alcohol (30, 60 y 96°), coloreados (safranina) y montados en láminas de vidrio utilizando Merkoglass como adherente (Johansen, 1940; Sass, 1958). Las secciones de madera de las láminas histológicas permanentes permitieron realizar la descripción cualitativa en un microscopio de luz DM 750; además de los parámetros cuantitativos para poros y vasos. La descripción anatómica se realizó en base a la norma del IBAMA (1991) y la List of microscopic feature for hardwood identification (IAWA, 1989).

También material leñoso fue transformado en palitos para realizar el proceso de maceración utilizando peróxido de hidrógeno; según método indicado por Dadswell (1972). Después del ablandamiento el material fue lavado varias veces en agua destilada y coloreado con safranina, almacenado que permitió realizar las mediciones. Se montaron láminas permanentes habiéndose realizado 25 mediciones; para la longitud, diámetro, lumen y espesor de pared de las fibras. Para la medición de elementos leñosos se utilizó un Microscopio Leica DM750 con software LAZ de Leica conforme a lo indicado por IAWA (1989).

3.5 PROPIEDADES FISICAS

Las muestras fueron preparadas en el taller de trabajabilidad de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), codificadas y guardadas en bolsa, buscando mantener la máxima condición de humedad, para luego pesadas, medidas y analizadas en el Laboratorio de Ensayos Tecnológicos de la UNALM. Para la determinación de las propiedades físicas se utilizaron las siguientes normas: determinación de contenido de humedad (NTP

251.010:2014); determinación de densidad (NTP 251.011:2014) y para determinar contracciones (NTP 251.012:2015).

Para la caracterización física se prepararon 45 probetas por árbol correspondiente a tres niveles axiales y tres posiciones radiales en sentido médula-corteza (FIGURA 9); totalizando 225 probetas por edad; habiéndose determinado en ellas el contenido de humedad, densidad básica y contracciones (Volumétrica, Tangencial y Radial). Las dimensiones de las muestras fueron de 3 x 3 x 10 cm (tangencial x radial x longitudinal); pesadas y medidas (tangencial, radial) en condición saturada con micrómetro de precisión 0.01 mm en estado húmedo y llevado a estufa hasta estado anhidro (103 ± 2 °C), 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 las que fueron marcadas. Para la contracción volumétrica, el volumen fue determinado por el método de desplazamiento en agua (Arquímedes); y para determinar el volumen anhidro las probetas fueron parafinadas para evitar la absorción de agua. El coeficiente de anisotropía o factor anisotrópico fue obtenido mediante la relación ente las contracciones tangencial y radial.

3.6 COLORIMETRIA

En la determinación del color de la madera se empleó la técnica de reflectancia difusa en el intervalo visible del espectro electromagnético, metodología adoptada por Griebeler (2013). Esta prueba de colorimetría se realizó en el Laboratorio de Anatomía y Calidad de Madera - LANAQM, de la Universidad Federal de Paraná (UFPR), utilizando un espectrofotómetro KONICA MINOLTA CM-5 (FIGURA 10B), acoplado a una microcomputadora. Este tipo de espectrofotómetro hace una exploración en la superficie de la muestra, del cual se obtienen los parámetros de color de la madera.

El iluminante utilizado fue de luz difusa D65, una lámpara de xenón que simula la radiación solar diurna. El ángulo de observación fue de 10°, estándar de la CIE. Las lecturas se realizaron con una abertura de diámetro de 3 mm, a temperatura ambiente de 22 °C y humedad relativa del aire del 60%. Debe

indicarse que a la fecha no existen normas para estandarización de muestras para el estudio de la colorimetría aplicada a madera.

Las mediciones de color se realizaron en la cara transversal de la muestra, conforme al sistema CIE L*a*b* recomendado por la CIE 1976. Los parámetros colorimétricos obtenidos fueron:

L* : claridad.

a* : matices del eje rojo (+a) - verde (-a).

b* : matices del eje amarillo (+b) - azul (-b).

El parámetro C (saturación) se calculó a partir de la ecuación:

$$C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (1)$$

Dónde:

C = saturación

a* = coordenada cromática sobre el eje verde-rojo

b* = coordenada cromática sobre el eje azul-amarillo

El parámetro h* (ángulo de tinta) fue determinado por la ecuación:

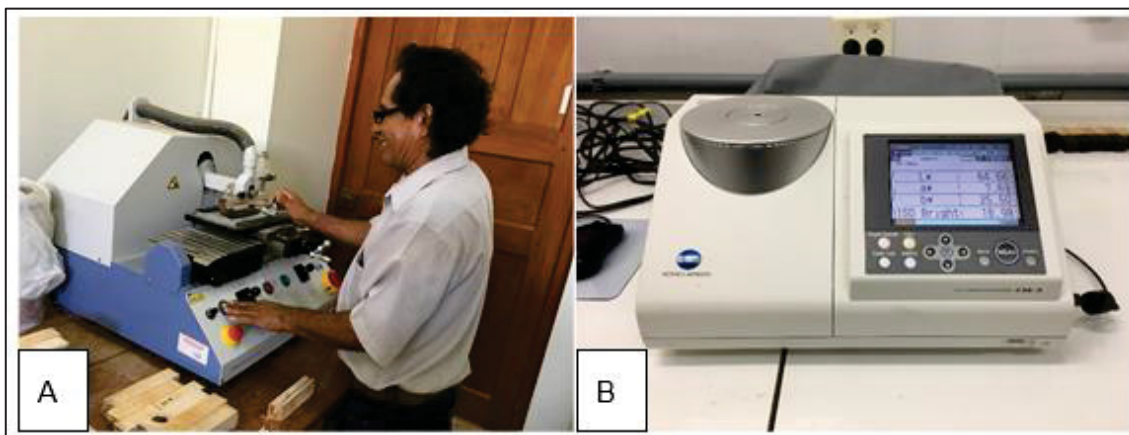
$$h^* = \arctang(b^*/a^*) \quad (2)$$

Dónde:

h* = ángulo de tinta

Muestras de 2 mm de espesor fueron obtenidas en un equipo DENDROCUT 2003 (FIGURA 10A). En ellas se realizó una exploración de forma aleatoria, habiéndose tomado un total de 10 lecturas para la cara transversal de cada muestra. Se evaluaron 15 muestras para la edad de 5 años y 15 para la edad de 8 años, que abarca las tres posiciones axiales de la troza (Basal, Intermedio, Apical); totalizando 300 lecturas para las 2 edades.

FIGURA 10. (A) DENDROCUT 2003 (B) ESPECTROFOTÓMETRO KONICA MINOLTA CM5



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2019)

Los datos colorimétricos fueron tomados cuando las muestras alcanzaron un contenido de humedad de equilibrio en condición natural de la madera. Los parámetros de color se procesaron en el programa Excel para que las variables colorimétricas utilizadas por el sistema CIELAB 1976 pudieran ser evaluadas. Para el análisis final se calcularon valores medios de las lecturas hechas para cada parámetro colorimétrico.

3.7 ESPECTROSCOPIA

Las muestras utilizadas para esta prueba, son las mismas de la prueba de colorimetría. La evaluación de este ensayo se realizó en la Universidad Federal de Paraná - LANAQM (Laboratorio de Anatomía y Calidad de Madeira). Las condiciones del lugar donde se realizaron los ensayos fueron de 22 °C y 60% de Humedad Relativa. Se realizaron 10 lecturas en forma aleatoria en la cara transversal de cada muestra. Un total de 30 muestras fueron analizadas, 15 para edad de 5 años y 15 para edad de 8, de las 3 regiones de la troza (Basal, Intermedio, Apical), obteniendo 150 lecturas para cada una de las 2 edades. La lectura de los espectros fue hecha en un equipo BRUKER TENSOR 37 (FIGURA 11) acoplado al software OPUS versión 4.2.

El equipo está compuesto de una fuente luminosa, un monocromador que contiene un selector de longitud de onda del tipo de grupos funcionales orgánicos, una red de difracción, un receptáculo para muestras, un fotodetector y un computador, donde son almacenados los espectros. El aparato hace 32

barridos por lectura y el espectrofotómetro envía el valor medio de $\log(1/R)$ para el computador, generando el espectro (Nisgoski, 2005). La colección de espectros fue realizada cada 2 nm de longitud de onda en el intervalo de 10000 a 4000 cm^{-1} , midiéndose la reflectancia para 700 valores de longitud de onda.

FIGURA 11. ESPECTROFOTÓMETRO DE REFLECTANCIA NIR BRUKER TENSOR 37



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2019)

3.8 DENSITOMETRÍA

Las muestras utilizadas para esta prueba son las mismas de las pruebas de Colorimetría y Espectroscopia. La evaluación se realizó en la Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidad de Sao Paulo – Laboratório de Anatomia, Identificação e Densitometria de Raios X em Madeira. Antes de los ensayos las muestras fueron acondicionadas en una cámara climatizada a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 65% de HR por 24 horas. Un total de 30 muestras fueron analizadas, 15 por edad de los 3 niveles de la troza (Basal, Intermedio, Apical).

Las muestras de la madera se colocaron en el equipo QTRS-01X (Quintek Measurement Systems) (FIGURA 12), que realiza una exploración radial continua por un haz de rayos X colimado que genera valores de densidad en el monitor y la respectiva imagen de la sección transversal de la muestra. Los valores de rayos X que atraviesan la muestra de la madera son transformados en densidad aparente por el software QMS, originando un archivo DAT (informe

del análisis con los valores puntuales de densidad aparente del leño cada 40 μm), leído por el software Excel, que permite construir los perfiles radiales de densidad aparente del leño de los árboles. Luego, las secciones transversales fueron digitalizadas en un equipo digitalizador de imágenes densitométricas FAXITRON X RAY - 2009 (FIGURA 12).

A partir de los perfiles densitométricos, se determinó el Índice de Uniformidad de la madera según la metodología establecida por Echols (1973), para las dos edades y por posiciones axiales. Para esto se multiplicó por un factor de uno, el porcentaje de la frecuencia o porcentaje de madera en los tres valores centrales (intervalo de densidad media, e intervalos superior e inferior). En los niveles sucesivos, por encima y por debajo del valor medio se aplicó un factor de multiplicación de dos hasta 'n', de acuerdo al número de incrementos de $0,05 \text{ g/cm}^3$ en la densidad. Los valores de índice de uniformidad cercanos a 100 son indicadores de mayor uniformidad en el sentido médula-corteza; así, cuanto mayor es el índice, mayor heterogeneidad.

$$IU = \sum_{i=1}^n X_i * K_i \quad (3)$$

Donde:

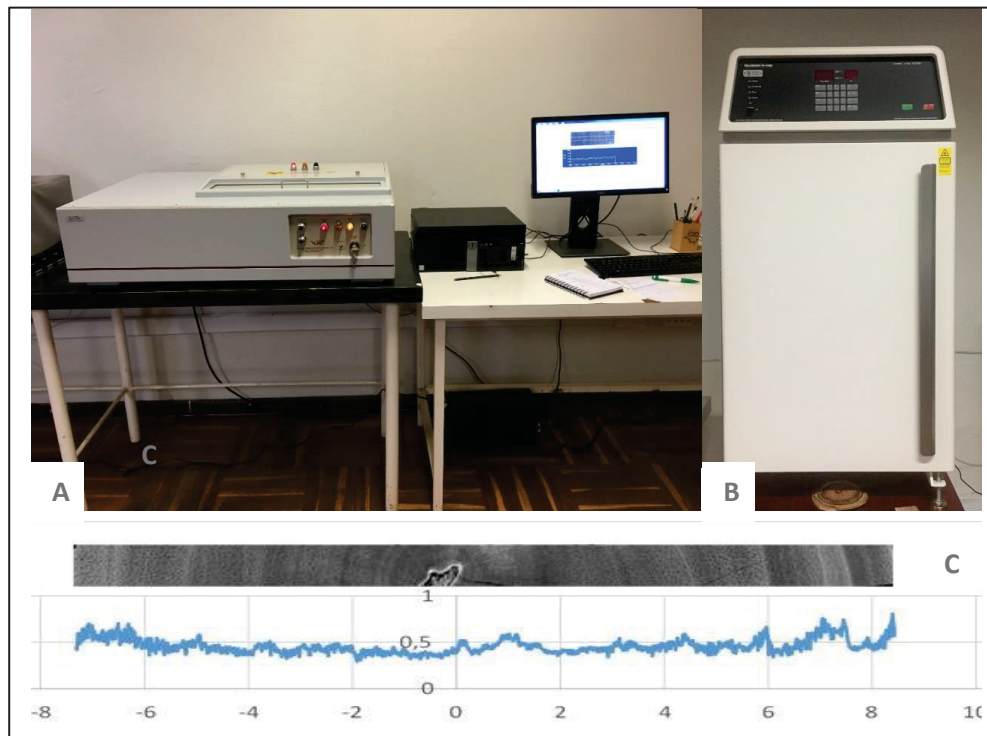
IU = índice de uniformidad (%);

K = coeficiente de ponderación ($0,05 \text{ g/cm}^3$) de aumento o disminución de la densidad relativa con respecto a la media;

X = frecuencia en porcentaje (o porcentaje de madera) en cada clase de variación de la densidad (%)

I = número de clases establecidas

FIGURA 12. (A) QUINTEK MEASUREMENT SYSTEMS (B) FAXITRON X RAY (C) PERFIL DENSITOMETRICO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2019)

3.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.9.1 Caracterización anatómica de la madera

Se evaluó el efecto de la posición axial y radial, a través de un análisis de variancia (ANOVA). También se aplicó test de Tukey al 95% de confianza cuando se observó diferencias entre los efectos. Así mismo se realizó una comparación de medias para las mediciones de los distintos elementos anatómicos por edad. Para el análisis de datos fue utilizado el programa R.

3.9.2 Propiedades físicas

Se evaluó el efecto de la posición axial y radial a través de un análisis de variancia (ANOVA) aplicado a un diseño factorial de 3 x 3 por edad para determinar la existencia de diferencias significativas en la densidad básica y estabilidad dimensional (contracciones y coeficiente de anisotropía). Se aplicó test de Tukey al 95% de confianza cuando se observó diferencias significativas

entre los efectos. Así mismo se realizó una comparación de medias para las distintas propiedades por edad. Para el análisis de datos fue utilizado el programa R.

3.9.3 Colorimetría

Se realizó una comparación de medias por posición longitudinal para los parámetros de colorimetría a través de un análisis de variancia (ANOVA). En caso de significancia, se aplicó el test de Tukey al 95% de confianza. Así mismo, se realizó una comparación de medias para dichos parámetros entre ambas edades. Los datos fueron analizados por el programa R.

3.9.4 Espectroscopia

Dado el elevado número de variables, se realizó una reducción de dimensiones a través del análisis de componentes principales (PCA). Esta técnica permite reducir la dimensión original del conjunto de datos, manteniendo la mayor cantidad posible de información -la variancia- siendo esta obtenida por medio del establecimiento de nuevas variables ortogonales entre sí, denominadas componentes principales. El PCA fue realizado utilizando el Programa The Unscrambler® X10 de CAMO. Para mejorar la calidad y reducir el ruido generado por la señal se aplicó la segunda derivada de Savitzky y Golay (Savitzky y Golay, 1964) con orden polinomial 2 y ventana espectral de 5 puntos; y una normalización por SNV (Standard normal variate) tal como se indica en la siguiente ecuación.

$$SNV_i = \frac{x_i - \bar{x}_i}{s_i} \quad (4)$$

Donde:

$SNV_i =$

x_i = i – ésimo valor de un espectro.

\bar{x}_i = promedio del espectro.

S_i = desviación estándar del espectro.

3.9.5 Densitometría

Se calculó el promedio y el coeficiente de variabilidad de la densidad aparente por edad, árbol y por nivel comparándose las medias a través de un análisis de variancia (ANOVA) y en caso de significancia, se aplicó el test de Tukey con 95% de confianza. Así mismo, para el índice de uniformidad se calculó el promedio por edad, árbol y nivel y se realizó una prueba de t-Student para comparar los valores por nivel y por edad, con un nivel de confianza de 95%.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANATOMÍA DE LA MADERA DE *Guazuma crinita*

No existe diferenciación entre albura y duramen, de color blanco amarillento, densidad básica media de 0,36-0,40 g/cm³. Límites de anillos de crecimiento distintivos por el aumento del espesor de las fibras.

Vasos visibles con lupa de 10X, difusos, dispuestos en patrón no específico, no estratificados, solitarios y agrupados en múltiples radiales cortos (de 2 - 3 vasos), bajo promedio de número de vasos por mm² (2-9); diámetro tangencial de los vasos de 86 - 205 µm, de forma ovalada; promedio del largo de elementos vasculares mediano (213-436 µm); placas de perforación simple; sin depósitos; punteaduras intervasculares alternas; punteaduras radiovasculares con areolas distintas, similares a las punteaduras intervasculares, de tamaño y tipo uniforme, localizadas a través de todo el radio; sin presencia de gomas, ausencia de engrosamientos espiralados y tílides.

Traqueidas vasculares o vasicéntricas ausentes; fibras con punteaduras en su mayoría restringidas a las paredes radiales, con areolas minúsculas, no septadas, estratificadas, ausencia de engrosamientos espiralados; fibras de espesor de pared delgada, rango de largo de las fibras de 835 – 2048 µm.

Parénquima axial presente, visible con lupa de 10X, apotraqueal difuso, no estratificado; paratraqueal escaso y vasicéntrico, de 3 a 4; ausencia de parénquima no lignificado. Presencia de cristales de forma romboide.

Radios visibles con lupa de 10X, multiseriados predominantes con 3-6 células de ancho, comúnmente 4, no estratificados; altura de los radios comúnmente por encima de 1000 µm, frecuencia 4-11 radios/mm; heterocelulares, procumbentes y erectas en forma alternada, con presencia de células tipo baldosas. Ausencia de cristales.

Conforme a las características anatómicas cualitativas realizadas para *G. crinita*, esta coincide con la reportada Miguel (2013) para madera de plantación de cuatro años; así como por Acevedo y Kikata (1994), INIA (1996), Insidewood (2004) e Détienne y Jacquet (1983) para madera de bosque nativo. Resaltan las células tipo baldosas generalmente esparcidas entre las células procumbentes de los radios. Anatómicamente la madera de *G. crinita* presenta

características cualitativas similares a *G. ulmifolia* pero con diferencias en el parénquima axial (Ruiz, 2019). Mencionar que a nivel de árbol la especie *G. crinita* tiene mucha similitud con *G. ulmifolia*; sin embargo, esta última tiene un porte más bajo, ramifica usualmente desde la base, con flores amarillas; además los frutos de estas dos especies son muy diferentes entre sí (INIA, 1996).

4.1.1 Variación longitudinal y radial de elementos leñosos en *Guazuma crinita*

En la TABLA 3, se presentan las medias de las dimensiones de poros y vasos de la madera para las dos edades y en la FIGURA 13 las secciones microscópicas en los tres planos de corte. Se observa que los valores medios de diámetro de poros y longitud de vasos son mayores para 8 años. Axialmente para estos dos elementos hay un aumento de la base a la parte media; siendo igual en la parte media y apical de los árboles estadísticamente; excepto para longitud de vasos en 8 años donde no existe variación estadística para los tres niveles evaluados; en tanto radialmente existe un aumento de la medula a la corteza. Para fibras, axialmente se observa una disminución en longitud de la base al ápice; y solo en la parte basal e intermedia para la edad de 8 años son estadísticamente iguales. Radialmente se presentan diferencias estadísticas para las tres posiciones con un aumento de la medula a la corteza.

En diámetro de fibras no existe una tendencia definida; sin embargo, axialmente los mayores valores se encuentran en la parte apical; en tanto, que para 8 años el nivel basal y apical son estadísticamente iguales pero mayores que el nivel intermedio. Radialmente, para 5 años no existen diferencias estadísticas en las tres posiciones. Para 8 años las posiciones 2 y 3 son estadísticamente iguales, pero significativamente menores a la posición cercana de la medula. Longitudinalmente el diámetro de lumen para cinco años es mayor en la parte apical; en tanto, para los niveles basal e intermedio son estadísticamente iguales. Para ocho años en el nivel basal existe una interacción con el nivel intermedio y apical; radialmente en ambas edades no existen diferencias estadísticas; excepto para 8 años en la posición 1 (0 – 33%) cerca a la medula donde es mayor que las posiciones 2 (34 – 66%) y 3 (67 - 100%).

FIGURA 13. *Guazuma crinita* (A, C, E) SECCIÓN TRANSVERSAL, TANGENCIAL Y RADIAL DE 5 AÑOS, (B, D, F) SECCIÓN TRANSVERSAL, TANGENCIAL Y RADIAL DE 8 AÑOS.

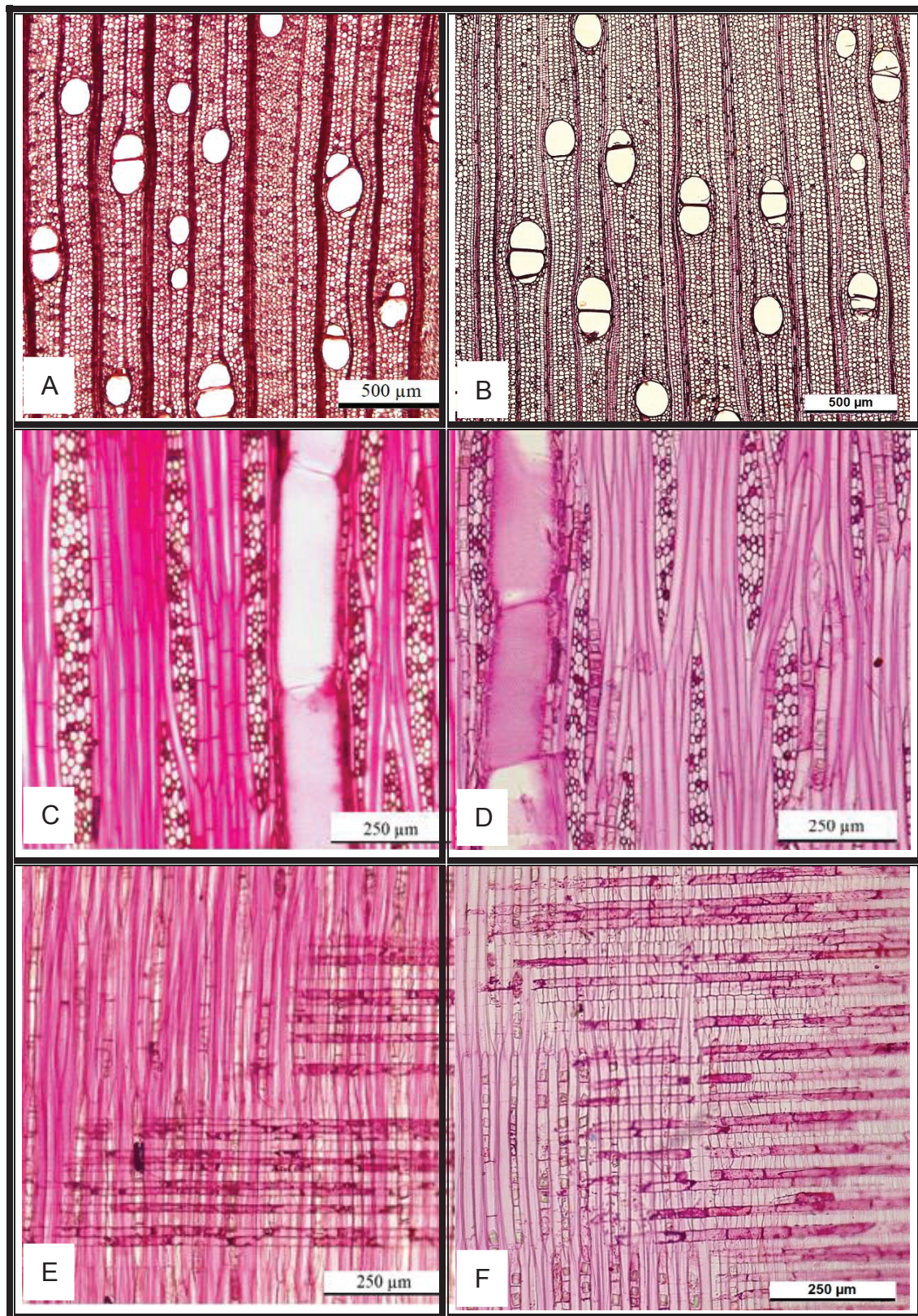


TABLA 3. VALORES MEDIOS DE DIMENSIONES DE ELEMENTOS ANATÓMICOS DE *Guazuma crinita* PARA 5 Y 8 AÑOS EN DIRECCIÓN AXIAL Y RADIAL

Valores medios							
	DP (µm)	LV (µm)	LF (mm)	DF (µm)	DL (µm)	EP (µm)	
5 años (63 meses)	143.07b (15) ¹	310.24b (13)	1.37a (14)	28.05a (18)	21.92a (23)	3.07b (21)	
8 años (103 meses)	151.19a (13)	321.82a (11)	1.36a (14)	26.95b (19)	20.53b (26)	3.20a (19)	
Dirección axial							
5 años (63 meses)	Basal	135.14 b ² (16)	305.11 b (13)	1.49 a (11)	27.53 b (18)	21.29 b (22)	3.12 a (19)
	Intermedia	147.09 a (15)	314.72 a (13)	1.33 b (12)	28.00 ab (16)	21.61 b (21)	3.20 a (22)
	Apical	146.99 a (13)	310.89 ab (12)	1.28 c (13)	28.62 a (19)	22.84 a (24)	2.90 b (21)
8 años (103 meses)	Basal	149.51 b (13)	323.24 a (11)	1.41 a (15)	27.23 a (20)	20.70 ab (28)	3.27 a (20)
	Intermedia	152.91 a (14)	321.39 a (11)	1.38 a (13)	26.32 b (19)	19.95 b (24)	3.16 a (18)
	Apical	151.16 ab (14)	320.86 a (11)	1.30 b (14)	27.29 a (18)	20.92 a (25)	3.18 a (20)
Dirección radial							
5 años (63 meses)	1 (0-33%)	133.30 c (16)	298.86 c (13)	1.27 c (15)	28.37 a (18)	22.41 a (23)	2.98 b (19)
	2 (34-66%)	151.71 a (13)	311.35 b (12)	1.39 b (12)	27.79 a (18)	21.69 a (23)	3.06 ab (22)
	3 (67-100%)	144.21 b (14)	320.51 a (12)	1.45 a (10)	27.99 a (18)	21.66 a (23)	3.171 a (22)
8 años (103 meses)	1 (0-33%)	140.99 c (13)	306.86 c (12)	1.24 c (13)	28.04 a (18)	21.83 a (23)	3.08 c (20)
	2 (34-66%)	153.03 b (13)	324.26 b (10)	1.40 b (12)	26.72 b (21)	20.30 b (28)	3.21 b (18)
	3 (67-100%)	159.56 a (11)	334.38 a (9)	1.45 a (12)	26.08 b (18)	19.44 b (25)	3.32 a (19)

DP: diámetro de poros; LV: longitud de vasos; LF: longitud de fibra; DF: diámetro de fibra; DL: diámetro de lumen; EP: espesor de pared de las fibras; 1: medula; 2: intermedia; 3: corteza

1. Valores entre paréntesis debajo del promedio, corresponden al coeficiente de variación.

2. Medias seguidas de la misma letra dentro de una misma columna para una misma edad, no difieren estadísticamente entre sí, por la prueba de Tukey ($p > 0,05$).

El espesor de pared de fibras aumenta con la edad y axialmente es estadísticamente similar, excepto para el nivel apical en 5 años donde es menor. Radialmente existe un aumento en el sentido medula-corteza; con diferencias estadísticas significativas para las tres posiciones en ambas edades; excepto en la posición 2 para 5 años.

En general, los valores obtenidos para vasos y fibras siguen uno de los patrones de variación axial y radial para latifoliadas indicado por Panshin y de Zeeuw (1980). Para la misma especie de cuatro años, Miguel (2013) reporta el mismo comportamiento axial y radial para longitud y espesor de pared de las fibras; así como para otras latifoliadas como *Anadenanthera colubrina* (Suckow et al., 2009); *Anadenanthera peregrina* (Texeira et al., 2013), *Parkia gigantocarpa* (De Miranda y Rigato, 2012), *Gallesia integrifolia* (Andrade et al., 2009), *Carapa guianensis* (Toro, 2010), *Cariniana legalis* (Garcia et al., 2009), *Croton floribunda* (Zanon et al., 2008).

Los coeficientes de variabilidad pueden ser considerados altos, cuando comparados con los valores encontrados por Kretschmann (2010), pudiendo deberse a la variabilidad individual entre los 5 árboles evaluados según edad, procedencias, origen del material genético, condiciones de crecimiento, entre otros factores.

4.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE *Guazuma crinita*

4.2.1 Variación longitudinal y radial de las propiedades físicas

En la TABLA 4, se presentan las medias de las propiedades físicas para las dos edades. La densidad básica aumenta de 0.36 a 0.40 g/cm³ para las edades evaluadas, siendo clasificada como madera de baja densidad, conforme a la clasificación de Souza et al. (2002). Dichos valores difieren estadísticamente siendo mayor a los 8 años (0,40 g/cm³). Los valores son ligeramente inferiores cuando comparados con 0,43 g/cm³ obtenido por (Tuisima et al., 2017) para la edad de 8 años; y de 0,42 g/cm³ para 32 meses de edad (Weber y Sotelo Montes, 2008). A pesar que existen diferencias estadísticas significativas entre la densidad básica para edades, Zobel y Jett (1995) señalan que la edad no es determinante en esta propiedad y más bien depende de su carácter genético;

además, Weber y Sotelo Montes (2008) en un estudio para once procedencias de una misma especie y edad, señalan que las diferencias en densidad dependen de la procedencia.

TABLA 4. VALORES MEDIOS DE PROPIEDADES FÍSICAS DE *Guazuma crinita* PARA 5 Y 8 AÑOS EN DIRECCIÓN AXIAL Y RADIAL

		Valores medios				
		D.B (g/cm ³)	CV (%)	CT (%)	CR (%)	T/R
5 años (63 meses)		0.36b (14)	7.93b (12)	5.26b (14)	2.78b (18)	1.94a (18)
8 años (103 meses)		0.40a (12)	8.67a (14)	5.59a (19)	3.09a (21)	1.85b (19)
		Dirección axial				
5 años (63 meses)	Basal	0.41 a ¹ (7) ²	8.57 a (9)	5.72 a (10)	3.07 a (14)	1.89 b (15)
	Intermedia	0.35 b (12)	7.73 b (12)	5.16 b (16)	2.76 b (17)	1.91 ab (19)
	Apical	0.32 c (10)	7.47 b (11)	4.89 c (13)	2.49 c (19)	2.02 a (19)
8 años (103 meses)	Basal	0.43 a (9)	9.19 a (12)	5.98 a (16)	3.37 a (19)	1.83 ab (23)
	Intermedia	0.40 b (11)	8.44 b (12)	5.36 b (16)	3.05 b (18)	1.79 b (18)
	Apical	0.37 c (10)	8.33 b (17)	5.38 b (23)	2.82 c (23)	1.93 a (16)
		Dirección radial				
5 años (63 meses)	1 (0-33%)	0.36 a (16)	7.92 a (13)	5.22 a (16)	2.82 a (21)	1.90 a (18)
	2 (34-66%)	0.35 a (14)	7.85 a (13)	5.20 a (17)	2.75 a (18)	1.93 a (21)
	3 (67-100%)	0.36 a (12)	8.03 a (10)	5.36 a (9)	2.77 a (16)	1.98 a (14)
8 años (103 meses)	1 (0-33%)	0.39 b (14)	8.38 b (13)	5.31 b (17)	3.01 b (19)	1.80 a (18)
	2 (34-66%)	0.38 b (13)	8.21 b (15)	5.24 b (22)	2.84 b (25)	1.89 a (20)
	3 (67-100%)	0.42 a (8)	9.32 a (12)	6.13 a (15)	3.37 a (17)	1.86 a (19)

D.B: densidad básica; CV: contracción volumétrica; CT: contracción tangencial; CR: contracción radial; T/R: coeficiente de anisotropía; 1: cerca de médula; 2: intermedia; 3: cerca a corteza.

¹. Medias seguidas de la misma letra dentro de una misma columna para una misma edad, no difieren estadísticamente entre sí, por la prueba de Tukey ($p > 0,05$).

². Valores entre paréntesis corresponden al coeficiente de variación respectivo.

Axialmente los valores de densidad básica en ambas edades disminuyen de la base a la parte apical del árbol, evidenciando diferencias estadísticas en los niveles evaluados; en tanto, en dirección radial no se presentan diferencias estadísticas significativas en las tres posiciones para la edad de 5 años. Para 8 años, la posición 1 (0% - 33%) y 2 (34% - 66%) no son estadísticamente diferentes, pero si menores a la posición 3 (67 - 100%). La variación longitudinal encontrada sigue uno de los patrones de variación presentado por Panshin y De Zeeuw (1980), Cárdenas (2012) para la misma especie de 10 años; así como con patrones para *G. crinita* de 8 años reportado por Tuisima et al (2017).

La mayor densidad básica en la parte basal del árbol está relacionada con el mayor espesor de pared celular de fibras obtenida en el estudio anatómico; explicado también por la mayor compactación debido a la superposición de células en este parte del árbol; así como a una respuesta adaptativa al estrés de flexión producido por el viento (Milagres et al., 2013; Ali et al., 2010; Weber y Sotelo Montes, 2008). El comportamiento radial casi uniforme es similar a *Corymbia citriodora* (Lourençon et al., 2013) pero diferente a otras latifoliadas como *Anadenanthera peregrina* (Texeira et al., 2013), *Cariniana legalis* (De Lima et al., 2011) que presentan aumento en el sentido medula-corteza.

La variación de la densidad con la altura del árbol está relacionada con la cantidad de madera juvenil que recorre al árbol axialmente como un cilindro interno desde la base hasta el ápice; por lo que la troza de la copa consta principalmente de madera juvenil de baja densidad, mientras que la base del mismo árbol posee madera con una mayor densidad (Zobel y Sprague 1998).

Los valores de contracción volumétrica, tangencial y radial; fueron mayores para la edad de 8 años. Dichos valores para la especie están acordes con lo reportado por Tuisima et al. (2017) y considerados bajos según la clasificación de Durlo y Marchiori (1992). Las contracciones para 8 años son mayores debido al aumento de masa específica, ya que la magnitud de la variación dimensional es proporcional a la masa específica por unidad de volumen analizado (Tsoumis, 1991). 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. La contracción tangencial y radial para 5 años presento diferencias estadísticas

significativas en los 3 niveles y disminuyen de la base al ápice. Similar comportamiento se da para 8 años en contracción tangencial, excepto entre el nivel intermedio y apical que no presentan diferencias significativas. Radialmente no existen diferencias estadísticas entre las 3 posiciones para 5 años; en tanto, para 8 años la posición 3 (67% - 100%) presenta mayores valores.

El factor anisotrópico para 8 años fue numéricamente mayor al encontrado por Tuisima et al (2017) y Cárdenas (2012) para la misma especie y edad de 8 y 10 años respectivamente. Axialmente para 5 años este factor fue menor en la parte basal y mayor en la parte apical; en tanto, para 8 años no se encontraron diferencias estadísticas entre dichos niveles; así mismo, sin diferencias estadísticas entre las posiciones radiales. En general, aunque existen diferencias estadísticas significativas entre las dos edades, de acuerdo con la clasificación de Durlo y Marchiori (1992), la madera de *G. crinita* tiene buena estabilidad dimensional; indicativa de buen comportamiento en el secado (Oliveira citado por Gonçalves et al., 2009).

4.3 COLORIMETRÍA

En la TABLA 5 se presentan las medias de las variables colorimétricas para las edades de 5 y 8 años. Se observa que en ambas edades no existen diferencias significativas para las variables colorimétricas a 5% de probabilidad de error; lo que permite inferir que tienen una coloración homogénea. Siguiendo la propuesta presentada por Camargos y Gonçalves (2001), con la tabla de colores obtenida en el agrupamiento de Cluster para la clasificación de colores de la madera y considerando los parámetros colorimétricos del sistema CIELAB 1976, estos caen dentro de cinza-rosado del Grupo 16. El color de la madera de esta especie es resultado de la presencia marcada de la pigmentación amarilla, con influencia en la formación de su color.

TABLA 5. VALORES MEDIOS DE VARIABLES DE COLORIMETRÍA PARA MUESTRAS DE *Guazuma crinita* PARA DOS EDADES

Edad	L*	a*	b*	C	h*
5	65.399a ¹ (7)	6.764a (16)	15.082a (15)	16.910a (15)	65.845a (3)
8	66.397a (6)	7.152a (15)	15.794a (12)	17.401a (12)	65.638a (3)

L* = claridad; a* y b* = coordenadas cromáticas; C = saturación; h* = ángulo de tinta.

1 Medias seguidas de la misma letra dentro de una misma columna, no difieren estadísticamente entre sí, por la prueba de Tukey ($p > 0,05$)

También se observa que las muestras tienen alta claridad explicado cuantitativamente por los altos valores de L* que van de 65 a 66; por lo que, cuando próximos a 100 tienden a blanco absoluto. Además, la coordenada a* y la coordenada b* ayudan a componer el color más claro de la madera, produciendo un tono “claro - amarillo” para la especie.

Asimismo, en ambas edades hay bajos valores de saturación que no difieren estadísticamente entre ellos. Ello explicado por la disminución de los valores de las coordenadas a* y b*, que varían de 6 a 15. También se verifica la baja predominancia del pigmento rojo (a*) cuyo valor va en el rango de 6,3 a 7,6; entendiéndose que el valor máximo es 60; sin embargo, el pigmento amarillo dado por la coordenada b* ejerce mayor influencia en la caracterización del color de la madera. La variable h*, que determina el ángulo de tinta de la madera, confirma la influencia del pigmento amarillo en las muestras, colocándolas próximas al eje b*, seguida por la coordenada C, que también registra esa influencia en la región del ángulo. Las muestras de *G. crinita* presentan claridad (L*) media situándose próxima al color de la madera de *Jacaranda copaia* (66.97) conforme al estudio realizado por De Melo et al. (2019).

En la TABLA 6 se presentan las medias de las variables colorimétricas, según edad y posición en los árboles. Se observa que no existen diferencias estadísticas para las variables L*, a*, b* y h* para 8 años existiendo mayor uniformidad en el color de la madera. Para 5 años no existen diferencias estadísticas significativas para la variable L* y h*; sin embargo, para las variables a*, b* y C existen diferencias estadísticas significativas para el nivel central y basal; en tanto, para la zona apical existe interacción con la zona basal. Este mismo comportamiento se da también para la variable saturación (C) de la edad

de 8 años. En general, la uniformidad encontrada se explica por la no diferenciación entre albura y duramen. García et al (2014) señalan que existe relación entre la densidad y el color en los géneros *Eucalyptus* y *Corymbia*; sin embargo, la variación en la densidad de *G. crinita* es menor a la variación encontrada entre las especies de un género.

TABLA 6. VALORES MEDIOS DE VARIABLES DE COLORIMETRÍA PARA MUESTRAS DE *G. crinita* SEGÚN EDAD Y POSICIÓN LONGITUDINAL

Edad	Posición	L*	a*	b*	C	h*
5	Apical	67.157a ¹	6.661ab	14.776ab	16.741ab	65.734a
	Central	64.266a	6.302a	13.954a	15.731a	65.695a
	Basal	64.773a	7.328b	16.516b	18.257b	66.074a
8	Apical	67.742a	6.713a	15.215a	16.601ab	66.192a
	Central	65.902a	7.150a	15.779a	17.332a	65.623a
	Basal	65.547a	7.592a	16.387a	18.269b	65.842a

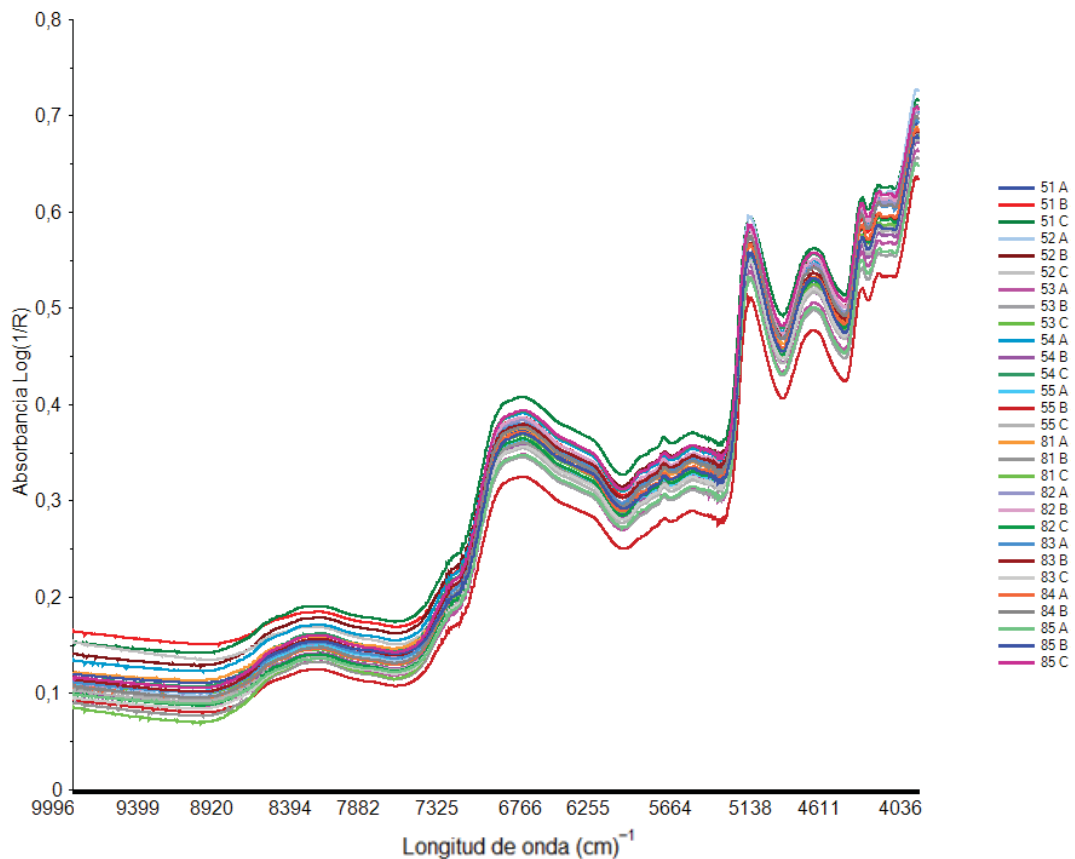
L* = claridad; a* y b* = coordenadas cromáticas; C = saturación; h* = ángulo de tinta.

¹ Medias seguidas de la misma letra dentro de una misma columna, no difieren estadísticamente entre sí, por la prueba de Tukey ($p > 0,05$)

4.4 ESPECTROSCOPIA

En la FIGURA 14 se presentan los espectros de las muestras de madera para las dos edades y por posición longitudinal. Se observa que los espectros presentan una misma tendencia, pero con diferencias en las intensidades de absorbancia. La espectroscopia infrarroja cercana (NIR) caracteriza la energía absorbida por los diferentes componentes químicos y que a su vez caracterizan las diferentes ligaciones químicas en el interior de la estructura de la madera.

FIGURA 14. ESPECTROS NIR DE LAS MUESTRAS DE MADERA PARA LAS DOS EDADES

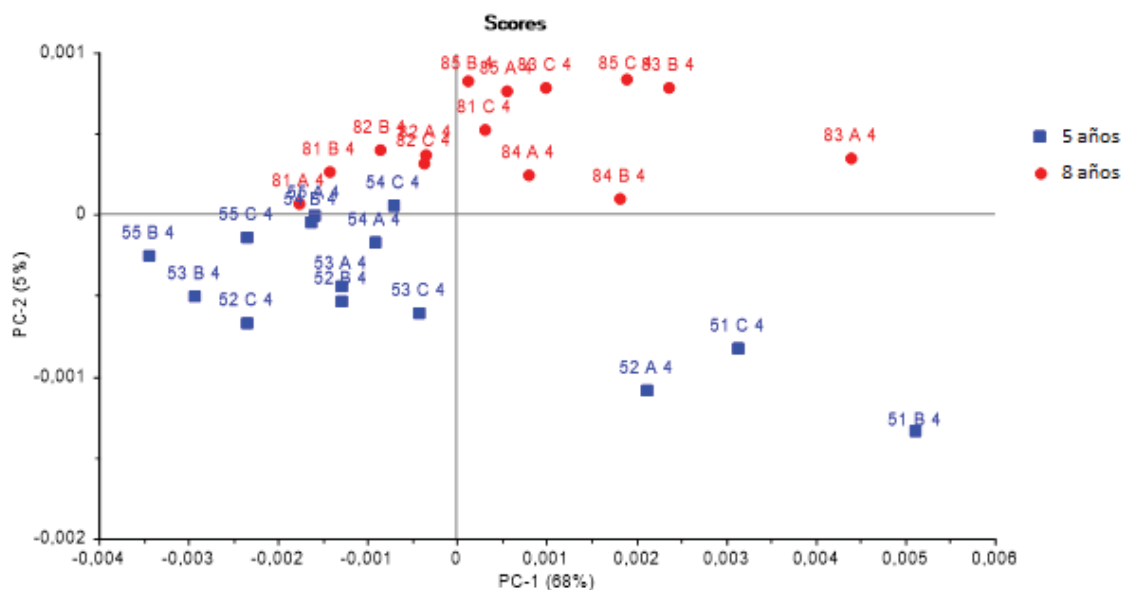


FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2019)

4.4.1 Análisis de Componentes Principales (PCA)

En la FIGURA 15, se presentan los resultados del análisis de componentes principales (PCA). Se debe indicar, que de la muestra señalada en la metodología se eliminaron 2 muestras por ser consideradas atípicas. Se observa que los espectros son explicados en un 68% por el componente principal 1 (PC1), y en 5% por el PC2. Además, los espectros obtenidos de la edad de 8 años se concentran en un intervalo de aproximadamente de 0 a +0,001 en el PC2; en tanto, los de 5 años, de -0.0015 a 0. Es decir, las muestras de 5 y 8 años están diferenciadas por las longitudes de onda comprendidas en el segundo componente.

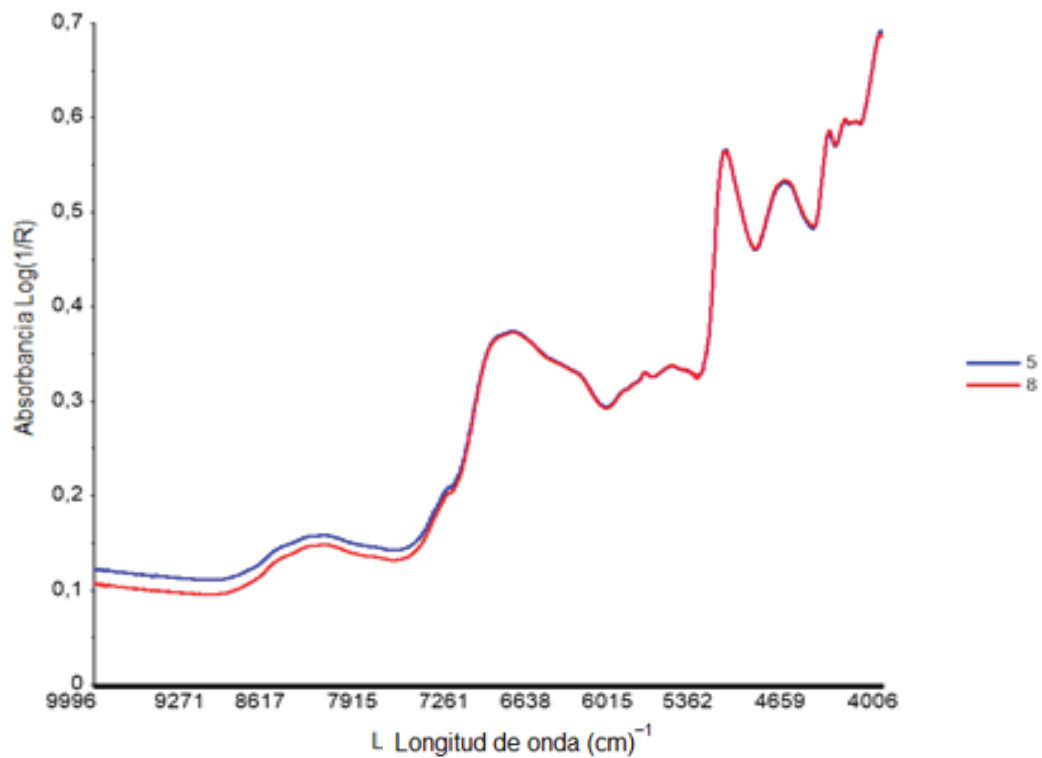
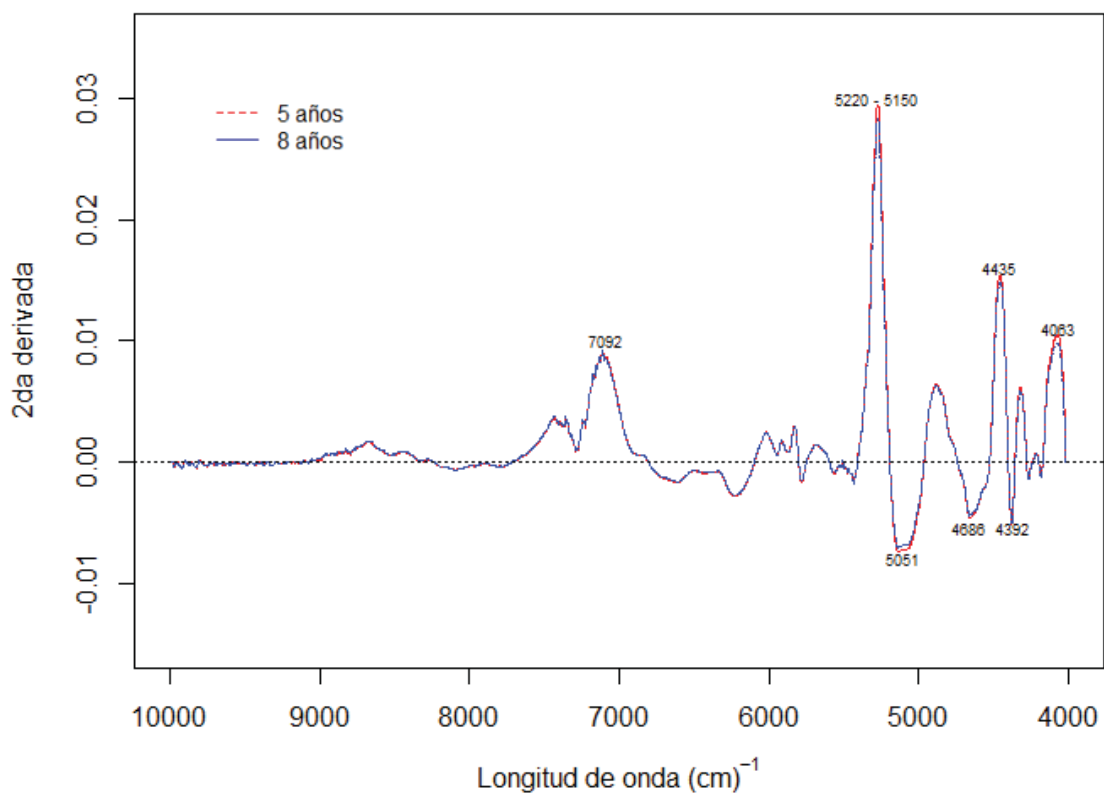
FIGURA 15. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES DE LOS ESPECTROS DE LAS MUESTRAS PARA LAS DOS EDADES



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2019)

Al comparar los espectros NIR para las edades de 5 y 8 años no se aprecia diferencias relevantes en el comportamiento de la absorbancia (FIGURA 16). Con el fin de minimizar los efectos del tamaño de partículas y otros factores físicos causados por la medición de la reflectancia, se realizó la segunda derivada del espectro (FIGURA 17). Se observan diferencias entre los espectros de ambas edades en la banda de 4063 cm^{-1} , ello debido a la combinación de las vibraciones de tensión de los enlaces C-H y C-C, asociada a la celulosa; 4435 cm^{-1} debido a la combinación de la vibración de los enlaces de tensión O-H y C-O, asociados a grupos acetilos en madera acetilada; 5051 cm^{-1} y de 5220 a 5150 cm^{-1} , debido a bandas asociadas a las vibraciones de los enlaces O-H del agua; conforme a lo señalado por Schwanninger et al (2011).

Las diferencias espectrales en las bandas asociadas a contenido de celulosa y enlaces O-H del agua se deben a que la densidad básica para 8 años es de $0,40\text{ g/cm}^3$ y de $0,36\text{ g/cm}^3$ para 5 años, con diferencias estadísticamente significativas. Ello va acorde con las dimensiones del diámetro de fibras y espesor de pared, pues para 5 años, las fibras son de mayor diámetro ($28,05\text{ }\mu\text{m}$) y menor espesor de pared ($3,07\text{ }\mu\text{m}$) comparado con 8 años, donde las fibras son de menor diámetro ($26,95\text{ }\mu\text{m}$) y mayor espesor de pared ($3,20\text{ }\mu\text{m}$).

FIGURA 16. ESPECTROS MEDIOS PARA 5 Y 8 AÑOS EN *Guazuma crinita*FIGURA 17. SEGUNDA DERIVADA DE LOS ESPECTROS MEDIOS PARA 5 Y 8 AÑOS EN *Guazuma crinita*

4.5 DENSITOMETRÍA DE *Guazuma crinita*

4.5.1 Variación radial de la densidad aparente por Densitometría de Rayos X e Índice de Uniformidad.

Los perfiles densitométricos radiales de la madera de los 5 árboles para 5 y 8 años de *G. crinita* se presentan en la FIGURA 18 y FIGURA 19. A partir de estos fueron elaboradas las curvas de variación radial de la densidad aparente de la madera de los árboles para cada edad donde se visualizan las tendencias en los árboles y por nivel.

En la FIGURA 20 se presenta el perfil densitométrico típico según las tres alturas estudiadas de ambas edades. Se observa como tendencia general mayores valores en la base de los árboles disminuyendo hacia la parte apical. El patrón de variación axial de la densidad de la madera a lo largo del tronco es consistente con lo encontrado para otras especies arbóreas, como: *Cariniana legalis* (De Oliveira et al., 2017), *Eucalyptus grandis* (De Oliveira et al, 2012); el cual se debe a que el cambium para un anillo externo dado, determina la formación de madera juvenil, en transición o madura (Zobel y Sprague 1998). Para longitud de fibra se tiene una disminución en longitud de la base hacia el ápice, para ambas edades; en tanto, para el espesor de pared, se observa una disminución para los 5 años mas no para 8 años.

Conforme a la FIGURA 20, en los perfiles radiales de densidad aparente se observa como tendencia general un aumento de la densidad de la médula hacia la corteza para la zona intermedia y apical de todos los árboles en ambas edades. En la parte basal de los árboles de 5 años se encuentra un comportamiento inverso; donde, la densidad aparente disminuye de la médula hacia la corteza. Este comportamiento se refleja también en la densidad básica, por ejemplo, en el árbol 3, es de 389 kg/cm³ cerca a la médula y de 369 kg/cm³ cerca a la corteza, explicado por la menor ratio lumen – espesor de pared de las fibras en la zona cercana a la medula cuando comparado con la zona cercana a la corteza. Estudios realizados con otras especies latifoliadas también reportan dicha tendencia; como en madera de *Hevea brasiliensis* (Leonello et al., 2014); en *Tectona grandis* (Lima et al. 2009) y en árboles de *Cariniana legalis* de 26

FIGURA 18. PERFILES DENSITOMÉTRICOS DE 05 ÁRBOLES DE 5 AÑOS

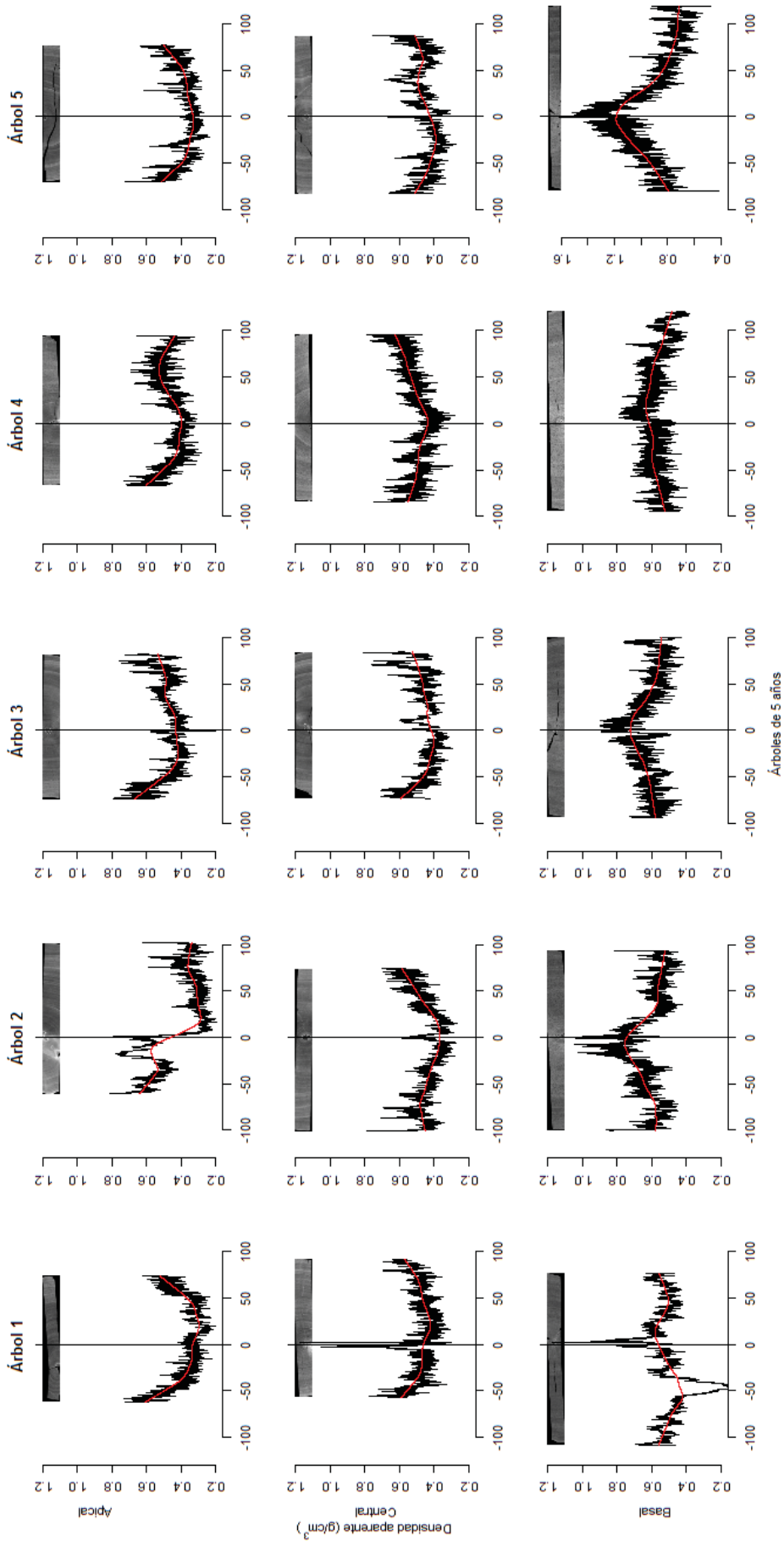
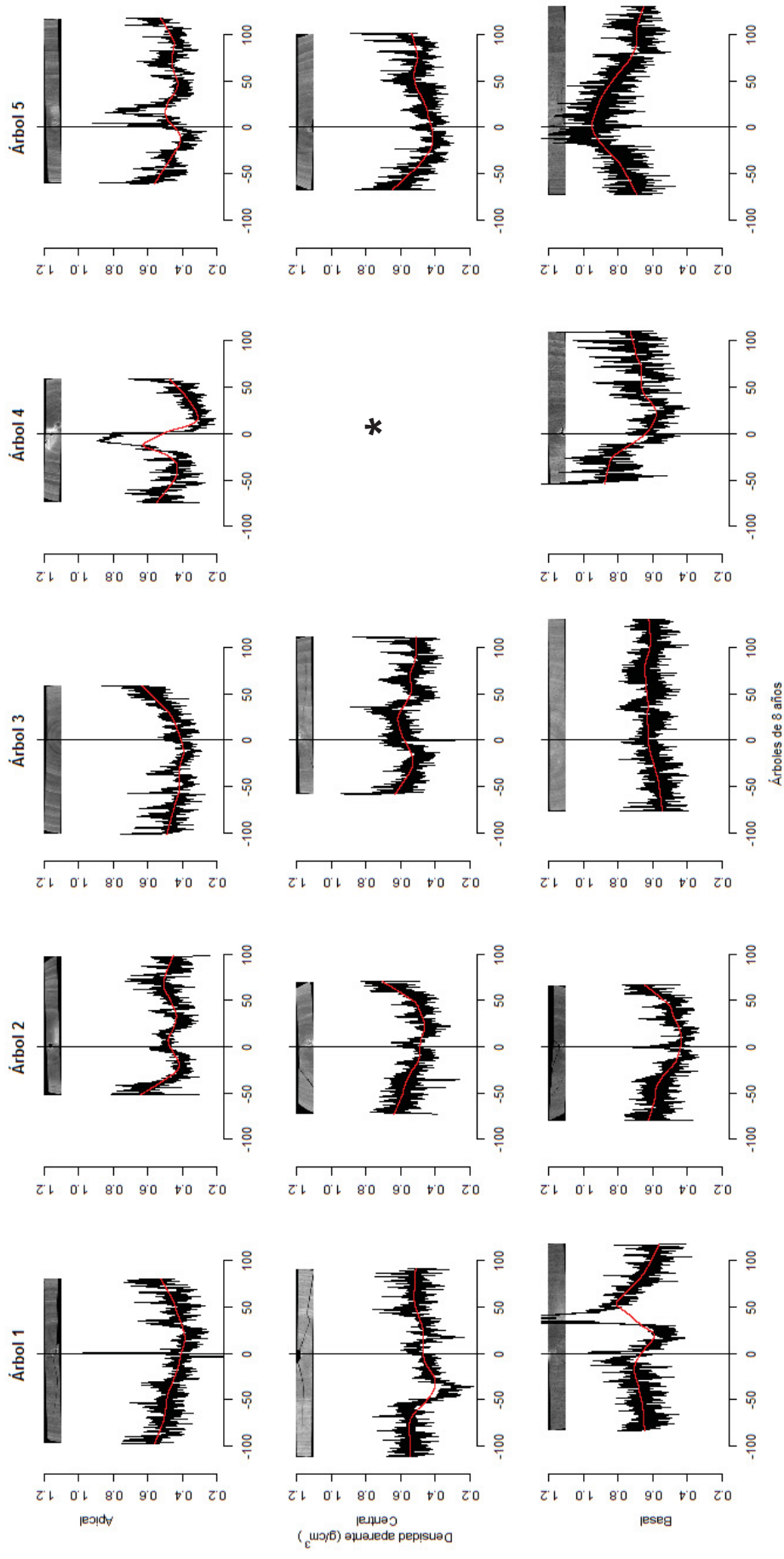
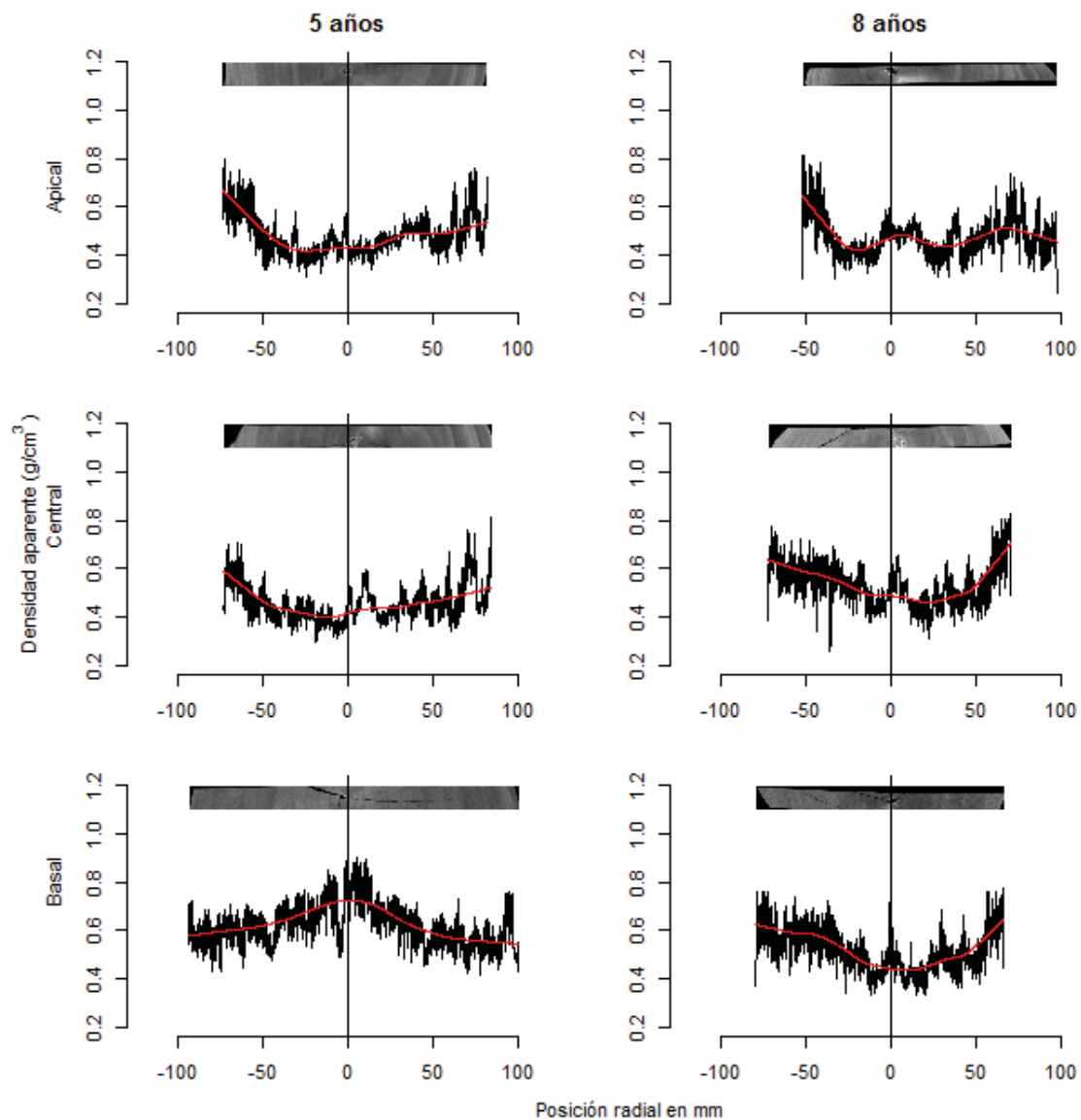


FIGURA 19. PERFILES DENSITOMÉTRICOS DE 05 ÁRBOLES DE 8 AÑOS



* Muestra dañada.

FIGURA 20. VARIACIÓN RADIAL DE LA DENSIDAD APARENTE POR DENSITOMETRÍA DE RAYOS X PARA 5 Y 8 AÑOS EN *Guazuma crinita*.



años de edad donde la densidad básica en la médula fue de 499 Kg/cm^3 y 460 kg/cm^3 cerca a la corteza (Lima et al., 2011).

Panshin y de Zeeuw (1989) menciona que la variación de la densidad en el sentido médula – corteza está asociada directamente a los diámetros y patrones de distribución de los vasos; así para *Cariniana legalis* de 26 años, radialmente con gran variación en el diámetro de vasos, no presenta el típico patrón radial de densidad pues a dicha edad los árboles no son maduros por ser una especie longeva (Oyomoare et al. 2014). Este patrón es común para los árboles de 5 años, donde el diámetro de los poros es menor en la médula y mayor en la zona cercana a la corteza; en tanto, los perfiles radiales de 8 años

es resultado es inverso (TABLA 3) y que coinciden con el patrón general de variación de densidad en el sentido médula – corteza para los árboles 2 y 4 (Anexo 2).

Igualmente al comparar los perfiles radiales de densidad aparente, se verifica que los anillos de crecimiento en el leño de los árboles de 5 años son más anchos y con menor densidad en relación a los de 8 años, donde son más angostos y con mayor densidad aparente; comportamiento que va acorde con Tsoumis (1991), quien señala que entre árboles de una misma especie, la variación de densidad aparente del leño es resultado de la combinación de factores ambientales y resulta en anillos de crecimiento más anchos con reducción de la densidad aparente media.

El análisis de variación radial de la densidad aparente de la madera de cada árbol permitió caracterizar 3 modelos de variación para la parte basal, estos son:

- (i) disminución de los valores medios de la densidad en el sentido médula corteza para 5 años (árbol 2, árbol 3, árbol 4 y árbol 5) y 8 años (árbol 1 y árbol 5);
- (ii) valores medios de densidad aparente prácticamente lineales en el sentido médula en la edad 5 años (Árbol 1); 8 años (Árbol 3); y
- (iii) aumento de los valores medios de la densidad en el sentido médula corteza para 8 años (Árbol 2 y árbol 4).

Los valores medios de densidad aparente y los índices de uniformidad obtenidos de los perfiles densitométricos de la madera de los árboles para las dos edades se presentan en la TABLA 7. La densidad aparente media para las edades de 5 y 8 años son $0,52 \text{ g/cm}^3$ y $0,56 \text{ g/cm}^3$ respectivamente; verificándose que la densidad de los árboles de 8 años es mayor que para cinco años. Los resultados obtenidos por densitometría corroboran a los obtenidos por el método convencional que también fue mayor. El árbol 5 de cinco años presentó mayores valores de densidad por el método convencional y por densitometría; ocasionado por el efecto borde por su ubicación dentro de la plantación; siendo, además el árbol que presenta la mayor variabilidad en ambas edades.

TABLA 7. VALORES MEDIOS POR ÁRBOL Y NIVEL LONGITUDINAL DE LA DENSIDAD APARENTE(g/cm³) E ÍNDICE DE UNIFORMIDAD (%) DE LA MADERA DE ÁRBOLES DE *Guazuma crinita* PARA LAS DOS EDADES

Edad	Árbol	Basal	Central	Apical	Promedio	CV%	IU
5	1	0,50	0,48	0,38	0,46	24,07	160,4
	2	0,63	0,44	0,43	0,51	28,75	156,9
	3	0,62	0,46	0,48	0,53	20,79	148,4
	4	0,58	0,51	0,47	0,52	16,31	140,2
	5	0,92	0,45	0,39	0,62	45,33	142,8
	Promedio	0,65a¹	0,47b	0,43b	0,52b	32,01	149,7B
8	1	0,71	0,49	0,46	0,56	29,47	167,4
	2	0,55	0,53	0,48	0,51	17,57	158,5
	3	0,61	0,56	0,46	0,55	18,17	165,6
	4	0,71	-	0,46	0,60	32,06	183,6
	5	0,79	0,49	0,48	0,60	31,15	180,6
	Promedio	0,68a	0,52b	0,47b	0,56a	27,43	170,3A

¹ Medias seguidas de la misma letra dentro de una misma columna, no difieren estadísticamente entre sí, por la prueba de Tukey ($p > 0,05$). Letras en mayúscula, medias seguidas de la misma letra no difieren entre sí, por la prueba de t de Student ($p > 0,05$).

Los coeficientes de variación medio de la densidad aparente fueron de 32,01% y 27,43% para la edad de 5 años y 8 años respectivamente. Estos coeficientes resultaron mayores comparados con otros estudios que usaron la misma técnica; siendo el coeficiente de variación de 10 a 15% para *Hevea brasiliensis* en madera de 20 años; de 20% para *Eucalyptus grandis* de 28 años de edad (Tomazello Filho et al., 2006); y de 13,1 a 15,4% en madera de *Eucalyptus grandis x urophylla* de 7 años de edad (Tomazello Filho et al., 2008). En ambas edades los valores medios de densidad aparente en la parte basal son significativamente mayores cuando comparados con la parte media y apical; en donde no presentan diferencias estadísticas significativas.

Los índices de Uniformidad de la madera de los árboles de *G. crinita*; resultaron estadísticamente diferentes con un valor medio de 149,7 y 170,3 para las edades de 5 y 8 años respectivamente, con un nivel de significancia de 5%. Los valores de Índice de Uniformidad obtenidos son relativamente menores a los reportados para clones de *Eucalyptus grandis* con valores entre 142 y 206; y de 180 a 202 para clones de *Eucalyptus grandis x urophylla* (Arango y Tamayo,

2008). Para 5 años los valores de Índice de Uniformidad (IU) de *G. crinita* varían de 143 (árbol 5) a 160 (árbol 1) que reflejan índices más bajos que para 8 años con índices de 159 (árbol 2) a 184 (árbol 4). Los índices de Uniformidad más altos para 8 años responden a diferencias encontradas en el espesor de pared y diámetro de lumen en dirección radial. Para 5 años, este comportamiento es más homogéneo.

5 CONCLUSIONES

Considerando los resultados obtenidos, se tiene que en:

- Caracterización Anatómica

No existen diferencias en las características cualitativas, pero sí en las características cuantitativas de sus elementos anatómicos, cuando se comparan árboles de 5 y 8 años de edad.

A los 5 años, la longitud de fibras disminuye de la base al ápice y la longitud de vasos aumenta de la base a la zona media; la zona apical no presenta diferencias con los otros niveles. Radialmente en ambos casos aumenta en el sentido medula – corteza.

A los 8 años, la longitud de fibras se mantiene de la base a la zona media y luego disminuye hacia el ápice. La longitud de vasos es constante axialmente. Radialmente en ambos casos aumenta de la médula a la corteza.

- Propiedades Físicas

La densidad básica varía de 0,36 - 0,40 g/cm³ para 5 y 8 años; clasificada como madera de baja densidad. Axialmente presenta variaciones significativas en ambas edades.

A los 5 años, la densidad básica no varía radialmente.

A los 8 años, la densidad básica es mayor en la zona cercana a la corteza.

Las contracciones volumétrica, tangencial y radial son mayores a los 8 años y en ambas edades estos valores son mayores en la base del árbol.

- Colorimetría

La madera tiene una coloración homogénea. Sus parámetros no varían entre edades. Posee altos valores de claridad (L*) y bajos valores en sus coordenadas cromáticas (a* y b*) que producen el tono “claro - amarillo” de la madera.

- Espectroscopía

La reducción de dimensiones mediante PCA permite diferenciar las muestras de ambas edades.

Se encontró diferencias en la región de 5220 cm^{-1} y 5150 cm^{-1} , asociada a vibraciones de los enlaces O-H del agua, dado por las diferencias en densidad, diámetro de fibras y espesor de pared.

- Densitometría de Rayos X

La densidad aparente varía de $0,52 - 0,56\text{ g/cm}^3$ para 5 y 8 años siendo mayor en la parte basal, corroborando lo obtenido por el método convencional.

Los perfiles radiales en la base de dos árboles de 8 años presentaron la tendencia de aumento de la densidad aparente en el sentido medula corteza; en tanto, para 5 años se encontró una disminución en el sentido indicado.

Los índices de Uniformidad de la madera de los árboles de *G. crinita*; resultaron estadísticamente diferentes con un valor medio de 149,7 y 170,3 para las edades de 5 y 8 años; siendo la edad de 5 años madera más homogénea.

6 RECOMENDACIONES

Analizar las propiedades evaluadas para otras edades y verificar su influencia sobre los ensayos realizados en el presente estudio.

Evaluar a la especie con tratamientos silviculturales y otros como distanciamiento entre árboles, podas, fertilización, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, M.; KIKATA, J. **Atlas de maderas del Perú**. Universidad Nacional Agraria la Molina, Universidad de Nagoya. Lima, Perú. 202p, 1994.

ALI, A.; CHIRKOVA, J.; TERZIEV, N.; ELOWSON, T. Physical properties of two tropical wood species from Mozambique. **Wood Material Science and Engineering**, v. 5, n. 3, p. 151–161, 2010.

ALVES, A.; SANTOS, A.; ROZENBERG, P.; PAQUES L.; CHARPENTIER, J.; SCHWANNINGER, M.; RODRIGUES, J. A common near infrared - based partial least squares regression model for the prediction of Wood density of *Pinus pinaster* and *Larix x eurolepis*. **Wood Science Technology**, Nueva York, v. 46, n. 1-3, p. 157-175, 2012.

AMARAL, A.C.B. **Implantação da metodologia de densitometria de raios X em madeiras**. 143 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

ANDRADE, I.; LONGUI, E.; LIMA, I.; FLORSHEIM, S. Efeito da procedência na variação radial do comprimento das fibras e densidade básica de *Galesia integrifolia* (Spreng.) Harms. **Instituto Florestal Serie Registros**, São Paulo, v.40, p.39-43, 2009.

APG (THE ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 161, p. 105–121, 2009.

ARANGO, B.; TAMAYO, L. Densidad de la madera en clones de *Eucalyptus* por densitometría de rayos X. **Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia**, Medellín, n. 45, p. 87-99, 2008.

ARAUJO, O. **Propriedades de madeiras termorretrificadas**. Visosa, 93 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa. 2010.

ARIZAPANA, M. **Avaliação do crescimento e da qualidade do lenho de árvores de *Eucalyptus urophylla*, de 8 anos, de teste de progênies, visando a produção de carvão vegetal**. 2013.162 f. Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais – Tecnologia de Produtos Florestais, Universidade de São Paulo. Piracicaba, Brasil.

ARRUDA, M. **Modificação termomecânica da madeira de amescla (*Trattinnickia burseraefolia* (Mart.) Willd): efeito sobre as propriedades de lâminas e compensados**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

AUTRAN, C.; GONÇALEZ, J. Caracterização colorimétrica das madeiras de muirapiranga (*Brosimum rubescens* Taub.) e de seringueira (*Hevea brasiliensis*, clone Tjir 16 Mul Arg.) visando a utilização em interiores. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n.4, p. 445-451, 2006.

BALLONI, E.; SIMÕES, J. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **IPEF Série Técnica** v. 1, n. 3, p. 1–16, 1980.

BARRICHELO, L.; BRITO, J. Variabilidade radial da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Instituto de Pesquisa e Estudo Florestal**, n. 18, p. 81-102. 1979.

BASAURI, Y. **Propagación vegetativa por estacas de Bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) mediante minitúneles en ambientes controlados en San Alejandro, Irazola-Ucayali**. 2017.104 f. Tesis para optar por el título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

BASSI, A. B. Conceitos fundamentais em espectroscopia. **Revista Chemkeys**, n. 9, p. 1-14. 2001

BATISTA, D.C. **Modificação térmica da madeira de *Eucalyptus grandis* em escala industrial pelo processo brasileiro Vap HolzSystem**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. PR, 2012.

BELINI, L.; TOMAZELLO FILHO, M.; CASTRO, R.; MUNIZ, G.; LASSO, P.; VAZ, C. Microtomografia de raios X (micro CT) aplicada na caracterização anatômica da madeira de folhosas e coníferas. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro. v.18, n.1, p.30-36, 2011.

BOSCHIERO, A. **Avaliação da estrutura anatômica e da densidade aparente do lenho e do carvão de árvores de *Eucalyptus* sp. e de *Corymbia* sp.** 2013. 132 f. Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências, Universidade de São Paulo. Piracicaba, Brasil.

BOTHIG, S. **Densidad, dureza y color de *Eucalyptus grandis* de Uruguay**. Informe de Investigación, n. 5, p. 27, 2001.

BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. **Forest products and wood science. An Introduction**. 4. Ed. New York: Blackwell Publishing, 554 p. 2003.

CADEMARTORI, P.; SCHNEID, E.; GATTO, A.; STANGERLIN, M.; BELTRAME, R. Thermal modification of *Eucalyptus grandis* Wood: Variation of colorimetric parameters. **Maderas, Ciencia y Tecnología**, v. 15, n. 1, p. 57-64, 2013.

CAMARGOS, A.; GONÇALEZ, C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, n. 71, p. 30-41, 2001.

CÁRDENAS, A. **Determinación de las propiedades físicas en diferentes niveles del fuste de bolaina blanca (*Guazuma crinita* C. Martius) en Tingo María**. 2012. 98 f. Tesis para optar por el título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional Agraria de la selva. Huánuco, Perú.

CARDOSO, D.; LACERDA, A.; ROSOT, M.; GARRASTAZÚ, M.; LIMA, R. Influence of spacing regimes on the development of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) in southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, n. 310, p. 761–769, 2013.

CARNEIRO, M.E. **Classificação de lâminas de madeira de Pinus spp por espectrometria óptica**. Curitiba, 2008. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná.

CASTRO, V. R. **Aplicação de métodos não destrutivos na avaliação das propriedades físicas do lenho de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. e *Tectona grandis* (L.f.)**. 2011. 108p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

CENTER FOR ANALYTICAL SPECTROSCOPY. Disponível em: <<http://baylor.edu/buscas/espectroscopy>> Acesso em: 25 de outubro de 2016.

CHAGAS, P. **Caracterização dos anéis de crescimento e dendrocronologia de árvores de *Grevillea robusta* A. Cunn, *Hovenia dulcis* Thunb, *Persea americana* Mill., *Tabebuia pentaphylla* Hemsl. e *Terminalia catappa* L. nos municípios de Piracicaba e Paulínia, SP**. Piracicaba. 2009.114 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CHAVES, M.; TRUGILHO, P.; DA SILVA, J.; ANDRADE, C. Características do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 423-431, 2013.

COSTA, A. **Avaliação de metodologias alternativas para caracterização do ataque de fungos apodrecedores de madeiras**. 2009. 70f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade de Brasília, Brasil.

CUSTODIO, R.; KUBOTA, L. T.; ANDRADE, J. C. **Lei dos processos de absorção da radiação**. 2000, disponível em:

<http://chemkeys.com/br/category/todos-osartigos/espectroscopia> (acesso 10/10/2018).

DADSWELL, H. **The anatomy of eucalypt wood**. Melbourne: Forest Products Laboratory, CSIRO, n.66, p.1-28, 1972.

DALLAGNOL, F. **Estimativa de teores de carbono em seis espécies de bambu por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)**. Dissertação. Mestrado em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Brasil. 129 p. 2012.

DE CASTRO, V; TOMAZELLO FILHO, M; SURDI, P. Avaliação do perfil radial do lenho de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf.) por densitometria de raios X. **Sciencia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 353-360, 2014.

DE LIMA, I.; LONGUI, E.; FONSECA, M.; SCATENA, A.; MENEZES, M.; MONTEIRO, S. Variação radial da densidade básica e dimensões celulares da madeira de *Cariniana legalis* (Mart.) O. Kuntze em função da procedência. **Cerne**, Lavras, v.17, n.4, p.517-524, 2011.

DE MELO, R.R.; STANGERLIN, D.M.; DEL MENEZZI, C.H.S.; DE CASTRO, V.G.; DE SOUZA, M.J.C; DE MEDEIROS, D.T. Agrupamento de madeiras tropicais comerciais pela cor. **Ciencias Agrárias**, v. 62, p.1-6, 2019.

DE MIRANDA, M.; RIGATTO, P. Avaliações anatômicas das fibras da madeira de *Parkia gigantocarpa* Ducke. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 03, n. 02, 2012.

DE OLIVEIRA, I; CHAGAS, M; BOUILLET, J; LONGUI, E; DE LIMA, I; BORDRON, B; BOSCHEIRO, A; TOMAZELLO FILHO, M. Effect of tree spacing on growth and wood density of year old *Cariniana legalis* trees Brazil. **Southern Forest**, v. 80, n. 4, 311-318, 2017.

DE OLIVEIRA, B.; LATORRACA, J.; TOMAZELLO FILHO, M. PALERMO, G; DE CARVALHO, A; PASTRO, M. Microdensitometria de raios X aplicada na determinação da variação da densidade do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill. **Sciencia Forestalis**, v. 40, n.93, p. 103-112, 2012.

DELUCIS, R.; HERRERA, R.; LABIDI, J.; GATTO, A. Color de la madera de dos eucaliptos expuestas al intemperismo natural en tres entornos ambientales diferentes. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 18, n. 1, p. 133 - 142, 2016.

DERKYI, N.S.A.; BAILLERES, H.; CHAIX, G.; THEVENON, M.F.; OTENG-AMOAKO, A.A.; ADU-BREDU, S. Colour variation in teak (*Tectona grandis*) wood from plantations across the ecological zones of Ghana. **Ghana Journal of Forest**, n. 25, p. 40-48. 2009.

DÉTIENNE, P.; JACQUET, P. **Atlas d'identification des bois de l'amazonie et des regions voiseines**. Centre Technique Forestier Tropical. FR. 1983.

DÍAZ, J. **Promotion of natural regeneration to establish productive managed forests on fallow land near Pucallpa, in the Peruvian Amazon**. 2007.181 f. Doctoral dissertation Albert – Ludwigs - Universität.

DIESEL, K.; DA COSTA, F.; PIMENTA, A.; DE LIMA, C. Near-infrared spectroscopy and wavelength selection for estimating basic density in *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret wood. **Wood Science and Technology**, n. 48, p. 949-959, 2014.

DOWNES, G.; HUDSON, I.; RAYMOND, C.; DEAN, A.; MICHELI, A.; SCHIMLEK, L.; EVANS, R.; MUNERI, A. **Sampling *Eucalyptus* for wood and fiber properties**. Australia, *CSIRO Publishing*. 132 p. 1997.

DURLO, M.; MARCHIORI, J. **Tecnologia da madeira: retratibilidade**. *Santa Maria: CEPEF/FATEC*, n.10, p. 33, 1992.

ECHOLS, R. Uniformity of wood density assessed from x-ray of increment cores. **Wood Science and Technology**, v. 7, n.1, p.34-44, 1973.

FAN, X.; CAO, K.; BECKER, P. Axial and radial variations in xylem anatomy of angiosperm and conifer trees in Yunnan, China. **IAWA Journal**, v. 30, n. 1, p, 1-13. 2009.

FAXITRON. **Model LX-60 technical manual**. Lincolnshire, IL: Faxitron X-Ray Corporation. 2009.

FERNANDES, C. **Protótipo de visualização para modelos de cor para medição de objetos em espectrofotômetros por reflectância**. Blumenau, 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências da Computação) - Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2002.

FERREIRA, A.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização dos anéis de crescimento de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. por densitometria de raios X. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 83, p. 287-298, 2009.

FERREIRA, W.; VALLE, I.; CEZAR, A.; SOUZA, F.; TOMAZELLO FILHO, M. Densitometria de raios x na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 96, p. 525-536, 2012.

FLORES, B. **Guía para el reconocimiento de regeneración natural de especies forestales de la región Ucayali**. INIA, Pucallpa, Perú, 80 p. 2004.

GALLEGUILLOS, C. **Medición de la densidad básica de madera usando técnicas espectroscópicas**. 2010. 87 f. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería. Santiago de Chile, Chile.

GARCIA, F.; FLORSHEIM, B.; LIMA, L.; LONGUI, L. Variação radial da densidade básica e comprimento de fibras de diferentes procedências de

Cariniana legalis, Lecythidaceae. **Instituto Florestal Série Registros**, São Paulo, v.40, p.75-80, 2009.

GARCÍA, R.; DE OLIVEIRA, N.; DO NASCIMENTO, A.; DE SOUZA, N. Colorimetria de madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* e sua correlação com a densidade. **Cerne**, Lavras, v.20, n. 4, p. 509-517, 2014.

GERWING, J.; FARIAS, D. Integrating liana abundance and forest stature into an estimate of total aboveground biomass for an eastern Amazonian forest. **Journal of Tropical Ecology**, n. 16, p. 327-335. 2000.

GONÇALEZ, J.; JANIN, G.; SANTORO, A.; COSTA, A.; VALLE, A. Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira. **Revista Brasil Florestal**, v.20, n. 72, p. 47 – 48, 2001.

GONÇALES, J.; BRENDA, L.; BARROSM, J.; MACEDO, D., JANIN, G.; COSTA, A., VALE, A. Características tecnológicas da madeira de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F.Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 329-341, 2006.

GONÇALES, J.; MARQUES, M.; KARAS, M.; JANIN, G.; RIBEIRO, P. Effect of drying process on marupà wood color. **Maderas. Ciência y Tecnología** n. 16, p. 337—342, 2014.

GONÇALES, C.; MACEDO, G. **Colorimetria aplicada à madeira de eucalipto**. In: SILVA, J.C.; GOMES, J.M. (Eds.) II Seminário de Produtos Sólidos de Madeira de Eucalipto. Belo Horizonte. p.81-95, 2003.

GONÇALVES, F.; TARCÍSIO, J.; MARIUS, R.; ELOI, M.; CARDOSO, R. Densidade básica e variação dimensional de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 33, n.2, p.277-288, 2009.

GRIEBELER, C. **Colorimetria da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden modificada termicamente**. Dissertação. Mestrado em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Brasil. 69p. 2013.

HAYGREEN, J. Y BOWYER, J. **Forest Products and Wood Science: An Introduction**. Iowa State University Press. Third edition. 495p. 1982.

HEIN, P.; LIMA, J.; CHAIX, G. Effects of sample preparation on NIR spectroscopic estimation of chemical properties of *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake wood. **Holzforschung**, Berlin, v. 64, 45-54, 2010.

HEIN, P.; LIMA, J.; CHAIX, G. Robustness of models based on near infrared spectra to predict the basic density in *Eucalyptus urophylla* wood. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 17, n. 3, p. 141-150, 2009.

HOLDSCHIP, R. **A influência dos sistemas de gerenciamento de cores em provas digitais**. 2008.123f. Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial) - Universidade Estadual Paulista, Bauru, Brasil.

IAWA (International Association of Wood Anatomy). List of microscopic features for hardwood identification. **Iawa Bulletin**, Leiden, v. 25, n.1, p.219-332. 1989.

IBAMA. **Normas de procedimientos en estudios de anatomía de la madera: I. Angiospermae, II. Gimnospermae**. Brasilia, 19p. 1991.

IIAP. INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA AMAZONÍA PERUANA. **Evaluación económica de parcelas de regeneración natural y plantaciones de Bolaina blanca, *Guazuma crinita*, en el departamento de Ucayali**. **Avances económicos** N^o 11. Iquitos, Perú. 54 p. 2009.

INIA (INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGRARIA). **Manual de identificación de las especies forestales de la subregión andina**. Lima, Perú. 1996.

INSIDEWOOD (**Inside Wood Database**). 2004. (en línea). Consultado 20 agosto. 2018. Disponible en <http://insidewood.lib.ncsu.edu/search>

ISHIGURI, F.; HIRAIWA, T.; IIZUKA, K.; YOKOTA, S.; PRIADI, D.; SUMIASRI, N.; YOSHIZAWA, N. Radial variation of anatomical characteristics in *Paraserianthes falcataria* planted in Indonesia. **IAWA Journal**, v. 30, n. 3, p. 343 – 352, 2009.

JANAINA, K. **Guazuma ulmifolia Lam. Sterculiaceae: Estudo botânico, químico e microbiológico**. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Araraquara, Brasil, 118 p. 2003.

JOHANSEN, D. **Plant microtechnique**. New York: McGraw-Hill; 523 p. 1940.

KISHINO, M.; NAKANO, T. Artificial weathering of tropical woods. Part 2: Color change. **Holzforschung**, n. 58, p. 558-565. 2004.

KNAPIC, S.; PIRRALHO, M.; LOUZADA, J.; PEREIRA, H. Early assessment of density features for 19 *Eucalyptus* species using X-ray microdensitometry in a perspective of potential biomass production. **Wood Science and Technology**, n. 48, p. 37-49, 2014.

KONICA MINOLTA. **Precise color communication: color control from perception to instrumentation**. Japan: Konica Minolta Sensing Inc. 2007.

KOTHIYAL, V.; JAIDEEP; BHANDARI, S.; GINWAL, H.S.; GUPTA, S. Multi-species NIR calibration for estimating holocellulose in plantation timber. **Wood Science Technology**, n. 49, p. 769-793, 2015.

KRETSCHMANN, D. **Mechanical properties of wood**. In: FOPREST PRODUCTS LABORATORY. Wood Handbook: wood as an engineering material. Madison: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 1-46 p. 2010.

LATTA, J. Changing to APGII – Theory put into practice. **Sibbaldia, the Journal of Botanic Garden Horticulture**, n. 6, p. 133-153, 2008.

LENGOWSKI, E.; BOLZON DE MUÑIZ, G.I.; KLOCK, U.; NISGOSKI, S. Potential use of NIR and spectroscopy to analyze chemical properties of thermally treated wood. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 20, n. 4, p. 627 – 640, 2018.

LEONELLO, E.; JUNIOR, H.; BALLARIN, A.; TOMAZELLO FILHO, M.; PALMA, E. **Variação radial da densidade aparente da madeira de Seringueira (*Hevea brasiliensis* (Willd. Ex.A. Juss) Mull. Arg.)**. XIV EBRAMEN. Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. 28-30/Abril, Natal, RN, Brasil2012. **Floresta y ambiente**, v. 19, n. 3, p. 374 – 384, 2014.

LIMA, I.; FLORSHEIM, S.; LONGUI, E. Influência do espaçamento em algumas propriedades físicas da madeira de *Tectona grandis* Linn. **Cerne**, n. 15, p. 244-250. 2009.

LIMA, I.; GARCÍA, J. Variação da densidade aparente e resistência à compressão paralela às fibras em função da intensidade de desbaste, adubação e posição radial em *Eucalyptus grandis* Hill Ex- maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, n.3, p.551-559, 2010.

LOBAO, M.; COSTA, D.; ALMONACID; M.; TOMAZELLO FILHO, M. Qualidade do lenho de árvores de *Schizolobium parahyba* var. amazonicum, Acre, Brasil. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 3, p. 374 – 384p. 2012.

LOURENÇON, T.; GATTO, D.; MATTOS, B.; DELUCIS, R. Propriedades físicas da madeira de *Corymbia citriodora* no sentido radial. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.41, n.99, p. 369-375, 2013.

MATTOS, B.; CADEMARTORI, P.; LOURENÇON, T.; GATTO, D. Colour changes of Brazilian Eucalyptus wood by natural weathering. **International Wood Products Journal**, v. 3, p.33-38, 2013.

MIGUEL, C. **Elaboración de tableros de partículas con Bolaina (*Guazuma crinita* Mart) perteneciente a una plantación de cuatro años**. 2013. 81 f. Tesis para optar por el título de Ingeniero forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

MILAGRES, F.; LAVIO, J.; MAGATON, A.; FANTUZZI, H. Influência da idade na geração de modelos de espectroscopia NIR, para predição de propriedades da madeira de *Eucalyptus* spp. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.6, p.1165-1173, 2013.

MIRANDA, I.; ALMEIDA, M.H.; PEREIRA, H. Influence of provenance, subspecies and site on wood density in *Eucalyptus globulus* Labill. **Wood and Fiber Science**, v. 33, p. 9-15. 2001.

MODES, K. **Efeito da retificação térmica nas propriedades físico-mecânicas e biológica das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis***. 2010. Dissertação (Maestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MORI, L.; LIMA, J.; MORI, F.; TRUGILHO, F.; GONÇALEZ, C. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, v. 11, n.2, p.137-146, 2005.

MOYA, R.; TOMAZELLO FILHO, M. **Avaliação da densidade da madeira de árvores de *Gmelina arborea* pela aplicação da densitometria de raios X**. In: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE, 2005, Santos. Associação Brasileira de Energia Nuclear, 2005.

NISGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda* L**. Tese. Doutorado em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Brasil. 173 p. 2005.

NORMA TÉCNICA PERUANA. NTP 251.008:2012. **Maderas. Selección y colección de muestras. 2012.**

NORMA TÉCNICA PERUANA. NTP 251.010:2014. **Madera. Método para determinar la humedad.**

NORMA TÉCNICA PERUANA. NTP 251.011:2014. **Madera. Método para determinar la densidad.**

NORMA TÉCNICA PERUANA. NTP 251.012:2015. **Madera. Método para determinar la contracción.**

NUGROHO, W.D.; MARSOEM, S. N.; YASUE, K.; FUJIWARA, T.; NAKAJIMA, T.; HAYAKAWA, M.; NAKABA, S.; YAMAGISHI, Y.; JIN, H.-O; KUBO, T.; FUNADA, R. Radial variations in the anatomical characteristics and density of the wood of *Acacia mangium* of five different provenances in Indonesia. **Japan Wood Research Society**, v. 58, p. 185-194, 2012.

OLIVEIRA, B.; FIGUEIREDO, J.; TOMAZELLO FILHO, M.; MOURA, G.; MONTEIRO, A.; SCARAMUSSA, M. Microdensitometria de Raios X Aplicada na Determinação da Variação da Densidade do Lenho de Árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 93, p. 103-112, 2012.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 115 - 127, 2010.

ORTEGA, R. **Anatômica e outras técnicas relacionadas, Cedrela odorata.** Relatório Disciplina Anatomia e Formação da Madeira. Piracicaba, Escola Superior de agricultura "Luiz de Queiroz". 11p. 2016.

OYOMOARE, L.; OSAZUWA-PETERS, S.; WRIGHT, J.; ZANNE, A. Radial variation in wood specific gravity of tropical tree species differing in growth-mortality strategies. **American Journal of Botany** n. 101, p. 803 – 811, 2014.

PADOCH, C.; BRONDIZIO, E.; COSTA, S.; PINEDO-VASQUEZ, M.; SEARS, R.; SIQUEIRA, A. Urban forest and rural cities: Multi-sited households, consumption patterns, and forest resources in Amazonia. **Ecology and Society**, v. 13, n. 2, 2008.

PANSHIN, A Y DE ZEEUW, C. **Textbook of Wood Technology**. 4ed. New York: McGraw-Hill College, 722 p. 1980.

PAREDES, K.; ESPINOZA, E.; OTTENBURGHS, J.; STERKEN, M.; BONGERS, F.; ZUIDEMA, P. Chemical differentiation of Bolivian *Cedrela* species as a tool to trace illegal timber trade. **Forestry** v. 91, n. 5, p. 603-613, 2018.

PASTORE, T.; OLIVEIRA, C.; RUBIM, J.; SANTOS, K. Efeito do intemperismo artificial em quatro madeiras tropicais monitorado por espectroscopia de infravermelho (DRIFT). **Química Nova**, n. 31, p. 2071-2075, 2008.

PEGUERO, A. **La espectroscopia NIR en la determinación de propiedades físicas y composición química de intermedios de producción y productos acabados**. Programa de Doctorado en Química. Universidad Autónoma de Barcelona. 272 p. 2010.

PINCELLI, A.; MOURA, L.; BRITO, J. Effect of thermal rectification on colors of *Eucalyptus saligna* and *Pinus caribaea* woods. **Maderas. Ciência y Tecnología**, n.14, p. 239-248, 2012.

PUTZEL, L.; CRONKLETON, P.; LARSON, A.; PINEDO-VÁSQUEZ, M.; SALAZAR, O.; SEARS, R. **Producción y comercialización de Bolaina (*Guazuma crinita*), una especie amazónica de rápido crecimiento**. Boletín Brief N° 25, Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR). 6p. 2013.

RAPPOLD, M.; SMITH, B. An investigation of the relationships between harvest season, log age, and drying schedule on the coloration of hard maple lumber. **Forest Products Journal**, v.54. n.12. p.178 – 184, 2004.

RÉGULA, M. **Padrões virtuais e tolerâncias colorimétricas no controle instrumental das cores**. 2004.135 f. Dissertação (mestrado em Metrologia) – Curso de pos-graduacao em Metrologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

REYNEL, C.; PENNINGTON, R.; PENNINGTON, T.; FLORES, D.; DAZA, A. **Árboles útiles de la Amazonía Peruana, Manual de identificación ecológica y propagación de las especies**. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú, 509 p. 2003.

REYNEL, C.; PENNINGTON, R.; PENNINGTON, R. **Árboles del Perú**. Lima, Perú, 2016. 1047 pp.

ROCHON, C.; MARGOLIS, H.; WEBER, J. Genetic variation in growth of *Guazuma crinita* (Mart.) trees at an early age in the Peruvian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 243, p. 291-298, 2007.

ROSERO, J.; TOMAZELLO FILHO, M.; ZEVALLOS, P.; LOBÃO, M. Variação da densidade do lenho e relação com a largura dos anéis de crescimento de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla*, da floresta tropical amazônica do Peru. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 86, p. 171-179, 2010.

ROSSO, S. **Predição das propriedades de *Eucalyptus grandis* Maiden por espectroscopia no infravermelho próximo**. Tese. (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Brasil. 126 p. 2010

RUIZ, J.; PEREDO, M.; RODRIGUEZ, J.; BAEZA, J.; FREER, J. **Aplicación de la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) en la industria forestal: clasificación de maderas de *Eucalyptus* y predicción de propiedades**. Universidad de Concepción, Concepción, Chile. Pag: 5. 2012.

RUIZ, J. **Estudio de las características dendrológicas – anatómicas y propiedades físicas de dos especies forestales Bolaina negra (*Guazuma ulmifolia* Lam) y Auca Atadijo (*Croton matourensis* Aubl) en la región San Martín.** Tesis para optar el título de ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, Perú. 130 p. 2019

SAMISTRARO, G. **Propriedades químicas e físicas da polpa e papel kraft por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR).** Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Brasil. 115 p. 2011.

SANTINI, L.; LIMA, I.; LONGUI, E.; FLORSHEIM, S. **Efeito da fertilização na variação da densidade básica e dimensões das fibras em função da posição radial na árvore de *Eucalyptus grandis*.** In: Seminário de Iniciação Científica do Instituto Florestal, São Paulo. Instituto Florestal, p. 33-37. 2009.

SANTOS, B.; SOUSA, L.C.; GOMIDE, J.L. **Caracterização tecnológica de celulose kraft de *Eucalyptus* por espectroscopia de infravermelho próximo.** Trabalho apresentado no Congresso Anual da ABTCP, São Paulo, ABTCP, 2005.

SASS, J. **Elements of botanical microtechnique.** Ed. 3. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, London. 1958.

SAVITZKY, A.; GOLAY, M. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. **Analytical Chemistry**, v. 36, p. 1627 – 1639. 1964.

SCHWANNINGER, M.; RODRIGUES, J.; FACKLER, K. A review of band assignments in near infrared spectra of wood and wood components. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v.19, n. 5, p. 287-308, 2011.

SCHIMLECK, L.; EVANS, R. Estimation of *Pinus radiata* D. Don. Tracheid morphological characteristics by near infrared spectroscopy. **Holzforschung**, v.58, p.66-73, 2004.

SEGURA, R. **Evaluación comparativa de las densidades entre árboles y niveles de fuste de *Guazuma crinita* "bolaina" en la zona de Tingo María-Perú.** 2012. 77 f. Tesis para optar por el título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Huánuco, Perú.

SERFOR (SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE). **Perú Forestal en Números 2015.** Ministerio de Agricultura y Riego. Lima. 218p. 2015.

SETTE, J. **Aplicação de potássio e sódio no crescimento e na qualidade do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.** 2010. 153 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SHIMOYAMA, R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp.** 1990. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

SILVA, G. B. Colorimetria - **Propagação de erros e calculo da incerteza de medição nos resultados espectrofotométricos.** 2004. Dissertação (Mestrado em Metrologia) - PUC-Rio, Rio de Janeiro.

SILVA, C.; TOMAZELLO FILHO, M.; OLIVEIRA, J; CASTRO, R. Influência da idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, v. 31, n. 6, p. 1081-1090, 2007a.

SILVA, J.; PASTORE, T.; PASTORE, R. Resistencia natural ao intemperismo artificial e proteção de cinco madeiras tropicais. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 1 e 2, p. 17-23, 2007b.

SILVA, D.; PASTORE, T.; SOARES, I.; DE BARROS, F.; BERGO, M.; CORADIN, V.; GONTIJO, A.; HERRERA, M.; BELTETON, C.; BRAGA, J. 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**, v. 72, n. 7, p. 521-530, 2018.

SILVA, J.; TARCÍSIO, J.; ALMEIDA, B.; RESENDE, V. Variação da reprodutibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, em função da idade e da posição radial no tronco. **Revista Árvore**, v.30, n.5, p.803-810, 2006.

SILVA, M.; LOUSADA, C. **Utilização da microdensitometria por raios X na avaliação qualitativa da madeira de choupo (*Populus x euroamericana*)**. In: SIMPÓSIO DEL CHOPA, 2010, Zamora. Proceedings. p. 469-478. 2010.

SIMAO, R. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo das propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. e *Pinus greggii* Engelm.** Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Brasil. 101 p. 2011.

SOARES, I.; DA SILVA, D.; BERGO, M.; CORADIN, V.; BRAGA, J.; PASTORE, T. Avaliação de espectrômetro NIR portátil e PLS-DA para la discriminação de seis espécies similares de madeiras amazônicas. **Química Nova**, v 40, n. 4, p. 418-426, 2017.

SOUDRE, M. Avances en la Producción Científica y Tecnología Forestal (2006 – 2011). Sub proyecto: “**Silvicultura de bolaina en plantaciones y sucesiones secundarias en Ucayali**”. Programa de Investigación en Manejo Integral de Bosques y Servicios Ambientales (PROBOSQUES). Ucayali, Perú, 15 pp. 2012.

SOUZA, M.; MAGLIANO, M.; CAMARGOS, J. **Madeiras tropicais brasileiras**. 2.ed. Brasília: IBAMA, 152p. 2002.

SUCKOW, I.; LONGUI, E.; LIMA, I.; FLORSHEIM, S.; AGUIAR, O. Anatomia da madeira e densidade básica de angico-branco *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. **Instituto Florestal Serie Registros**, n. 40, p. 131 – 135, 2009.

SURDI, P.; BORTOLETTO, G.; RESENDE, V.; FERREIRA, N.; FARINASSI, R.; CHAIX, G.; TOMAZELLO FILHO, M. Perfil de densidade do lenho utilizando métodos radiográficos. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 229-236, 2014.

TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P.C.; LISI, C. **Potencialidade da família Meliaceae para estudos dendrocronologia em regiões tropicais e subtropicais**. In: ROIG, F.A. (Comp.). Dendrocronología en América Latina. Mendoza: Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo, p. 381-434. 2000.

TOMAZELLO FILHO, M.; BRAZOLIN, S.; CHAGAS, M.; OLIVEIRA, J.; BALLARIM, A.; BENJAMIN, C. Application of X-ray technique in nondestructive evaluation of *Eucalypt* Wood. **Maderas. Ciência y Tecnología**, v. 10, n. 2, p. 139-149, 2008.

TOMAZELLO FILHO, M.; CHAGAS, M. P.; ROQUE, R. M. **Manual de aplicação de densitometria de raios-X em amostras de madeira, CRAD e CERD**. Piracicaba, 32 p. 2005.

TOMAZELLO FILHO, M. **Efeito da irrigação e da fertilização nas propriedades do lenho de arvores de *Eucalyptus grandis x urophylla***. Piracicaba. Universidad de Sao Paulo. Brasil. 2006.

TORO, M. **Variabilidad radial de la longitud de las fibras de la madera de *Carapa guianensis Aublet***. Universidad Nacional Experimental de Guyana. Departamento de Ciencia y Tecnología. 38p. 2010.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood structure, properties, utilization**. New York: Chapman & Hall; 494 p. 1991.

TSUCHIKAWA, S.; KOBORI, H. A review of recent application of near infrared spectroscopy to wood science and technology. **Journal of Wood Science**, n. 61, p. 213–220, 2015.

TUISIMA, L.; ODICIO-GUEVARA, J.; WEBER, J.; LLUNCOR, D.; LOJKA, B. Variation in wood physical properties within stems of *Guazuma crinita*, a timber tree species in the Peruvian Amazon. **Madera y Bosques**, v. 23, n. 1, p. 53-61. 2017.

URBINA, L. **Propiedades mecánicas de la madera de raleo procedente de plantaciones de cuatro años de *Guazuma crinita* Martius (bolaina blanca) – Huánuco**. 2017. 84 f. Tesis para optar por el título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

VALENTE, B.; EVANGELISTA, W.; SILVA, J.; DELLA LUCIA, R. Variabilidade radial e longitudinal das propriedades físicas e anatômicas da madeira de Angico-Vermelho. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 100, p. 485-496, 2013.

VALVERDE, J.; MOYA, R. Efectos de la intemperie en el color de dos acabados aplicados en madera de *Cedrela odorata* y *Carapa guianensis*. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, n. 12, p. 171-180, 2010.

VIANA, L. C. **Uso do infravermelho próximo para predição de propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus***. 2008.120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras.

VIANA, L.; BOLZON DE MUÑIZ, G.; HEIN, P.; MAGALHAES, W.; CARNEIRO, M. Nir spectroscopy can evaluate the crystallinity and the tensile and burst strengths of nanocellulosic films. **Maderas Ciencia y Tecnología**, v.18, n. 3, p. 493 – 504, 2016.

VIDAURRE, G.; LOMBARDI, I.; OLIVEIRA, J.; ARANTES, M. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 469-480. 2011.

WEBER, J.; SOTELO MONTES, C.; CORNELIUS, J.; UGARTE, J. Genetic variation in tree growth, stem form and mortality of *Guazuma crinita* in slower-

and faster-growing plantations in the Peruvian Amazon. **Silvae Genetica** n. 30, p. 70-78, 2011.

WEBER, J.; SOTELO MONTES, C. Geographic variation in tree growth and wood density of *Guazuma crinita* Mart. in the Peruvian Amazon. **New Forests**, n. 36, p. 29-52, 2008.

WILKES, J. Variations of wood anatomy within species of Eucalyptus. **IAWA Bulletin**, n. 9, p. 13 – 23, 1988.

YANG, K.; CHEN, Y.; CHIU, C. Formation and vertical distribution of juvenile and mature wood in a single stem of *Cryptomeria japonica*. **Forest Research**, v. 24, n. 5, p. 969-975, 1994.

ZANON, B.; LONGUI, E.; FLORSHEIM, S.; LIMA, I. Variação radial da densidade básica e dimensões celulares de *Croton floribunda* Spreng na Serra da Cantareira, SP. **Instituto Florestal Serie Registros**, v.36, p. 25-29, 2008.

ZENI, D. **Determinação de cloridrato de propranolol em medicamentos por espectroscopia no infravermelho com calibração multivariada (PLS)**. 2005. 53 f. Tese (Mestre em Química), Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

ZOBEL, B.; JETT, J. **Genetics of wood production**. Springer-Verlag, Berlin. Germany. 337 p. 1995.

ZOBEL, J.; VAN BUIJTENEN, J. **Wood variation: Its causes and control**. New York: Springer-Verlag, 363p. 1989.

ZOBEL, J.; SPRAGUE, R. **Juvenile wood in forest trees**. Berlin: Springer-Verlag. 1998.