

**Universidad de Panamá**  
**Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología**  
**Escuela de Biología**

Descripción anatómica de la madera de *Dalbergia retusa* y dos leguminosas denominadas cocobolo (Fabaceae: Papilionoideae).

**Por:**

**Janitce Annaís Harwood De León**

**Presentado como requisito para optar al grado de Licenciatura en Biología con orientación en Biología Vegetal**

**Panamá, República de Panamá**

**2019**

**Trabajo que dedico a**

Mi madre

Abuelos

Teodoro Robinson

Familia Fontalvo Morales

Familia Chatlani Nandwani

## AGRADECIMIENTOS

A mis profesores asesores por su apoyo, valiosos conocimientos e instrucciones en la estructuración, desarrollo y redacción de esta investigación; a la profesora Garibaldi C. por la oportunidad, su tiempo, consejos, por proporcionarme las muestras de madera y textos para consulta. A la profesora Stapf M. por sus consejos, ayuda y disposición. Al profesor Mendieta J. por sus observaciones e importantes puntos de vista aportados no solo en esta investigación, sino a lo largo de la carrera y la profesora Vergara C. por sus comentarios y sugerencias.

Correspondo al apoyo brindado por mi madre y abuelos honrándolos con la culminación de esta carrera universitaria.

Agradezco el amor y favor brindado por la familia Fontalvo Morales y la familia Chatlani Nadwani, en especial a Ricardo Fontalvo, Vishal Chatlani, Jean C. Herrera y todos los maravillosos amigos y compañeros con los que inicié la orientación de Biología Vegetal: Amaya M., Arias Y., De Gracia L., Fatacioli G., Guadalupe Y., Mijango Z., Palma M., Saldaña Y., Vargas M. De igual forma, agradezco a todos los que, con abrazos, consejos y compras a “Delicias JaHa” hicieron posible la culminación de esta etapa en mi vida.

Mis sinceros agradecimientos a Irving Arcia, por sus consejos y prácticas instrucciones de técnicas histológicas; a Joana Sumich y Yoneidi Saldaña, quienes me compartieron sus conocimientos acerca de técnicas de disociación de

elementos. Agradezco a Orlando Ortíz por su tiempo, valiosos comentarios y consejos sobre los análisis estadísticos y redacción y a Ernesto Campos por su apoyo con el diseño y elaboración de los mapas.

Además, agradezco al Laboratorio de Ecología y Maderas Tropicales del Instituto de Ciencias Ambientales y Biodiversidad, al Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales y a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e innovación (SENACYT) por la beca otorgada a través del programa STRI-SENACYT. De igual forma, agradezco al Dr. William Wcislo, del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales y sus técnicos por permitirme utilizar sus instalaciones, materiales y equipos de laboratorio para realizar este proyecto de investigación.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
ÍNDICE GENERAL .....	vi
ÍNDICE DE CUADROS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
ÍNDICE DE DIAGRAMAS .....	xi
RESUMEN .....	xii
I.INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Justificación .....	3
1.3 Objetivos generales .....	6
1.4 Objetivos específicos .....	6
II.MARCO TEÓRICO .....	7
III.METODOLOGÍA .....	17
3.1 Procedencia de las muestras de madera denominadas cocobolo .....	17
3.2 Preparación del material .....	19
3.3 Microtecnia .....	19
3.3.1 Tinción .....	20
3.3.2 Deshidratación .....	20
3.3.3 Aclaración .....	21
3.3.4 Montaje .....	21

3.4 Observación, identificación y medición .....	22
3.5 Disociación de elementos .....	24
3.6 Densidad de las maderas .....	25
3.7 Fluorescencia .....	26
3.8 Análisis estadísticos .....	26
IV.RESULTADOS .....	27
4.1 Descripción anatómica de las maderas .....	27
Diagnóstico de la madera de <i>Dalbergia retusa</i> .....	27
Características generales .....	27
Características macroscópicas .....	28
características microscópicas .....	28
Diagnóstico de la madera de la morfoespecie 1 .....	32
Características generales .....	32
Características macroscópicas .....	32
características microscópicas .....	32
Diagnóstico de la madera de la morfoespecie 2 .....	36
Características generales .....	36
Características macroscópicas .....	36
características microscópicas .....	36
4.2 Densidad de las maderas estudiadas .....	40
4.3 Presencia o ausencia de fluorescencia .....	40
4.4 Análisis estadísticos .....	42
V.DISCUSIÓN .....	44

5.1 Características diagnósticas de familia y subfamilia de las morfoespecies estudiadas .....	44
5.2 Características diagnósticas de género de las morfoespecies estudiadas .....	47
5.3 Comparación de la madera de <i>Dalbergia retusa</i> con estudios previos .....	48
5.4 Comparación anatómica de las tres maderas estudiadas .....	53
5.5 Densidad de las maderas estudiadas .....	64
5.6 Fluorescencia .....	65
5.7 Análisis estadísticos .....	66
VI. CONCLUSIÓN .....	69
VII. RECOMENDACIONES .....	70
VIII. LITERATURA CITADA .....	70
IX. ANEXOS .....	84

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Parámetros considerados para los caracteres medidos .....	24
Cuadro 2 Resultados del análisis de varianzas (ANOVA) para las variables analizadas .....	42
Cuadro 3. Resultado del análisis de pruebas pareadas de Tukey para las variables analizadas .....	43
Cuadro 4. Comparación anatómica de las características de la madera de <i>Dalbergia retusa</i> con las descripciones realizadas en estudios previos .....	52
Cuadro 5. Comparación anatómica de las características de las tres maderas estudiadas .....	60
Cuadro 6. Características cuantitativas de las maderas estudiadas .....	61
Cuadro 7. Clave de características anatómicas y código de identificación de maderas de <i>Dalbergia retusa</i> Hemsl. ....	85
Cuadro 8. Clave de características anatómicas y código de identificación de maderas de la morfoespecie 1 .....	87
Cuadro 9. Clave de características anatómicas y código de identificación de maderas de la morfoespecie 2 .....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Maderas estudiadas .....	5
Figura 2. Distribución de la especie <i>Dalbergia retusa</i> .....	16
Figura 3. Mapa de Zonas de Vida en la República de Panamá .....	18
Figura 4. Características diagnósticas observadas en la madera de <i>Dalbergia retusa</i> .....	31
Figura 5. Características diagnósticas observadas en la madera de la morfoespecie 1 .....	35
Figura 6. Características diagnósticas observadas en la madera de la morfoespecie 2 .....	39
Figura 7. Medida del volumen de las maderas para determinar la densidad .....	40
Figura 8. Fluorescencia en las maderas analizadas .....	41
Figura 9. Resultados del análisis de coeficiente de similitud de Gower .....	44
Figura 10. Características de las fibras de las maderas analizadas .....	59
Figura 11. Secciones: transversal, tangencial longitudinal y radial longitudinal de las tres maderas estudiadas .....	62
Figura 12. Comparación de características anatómicas presentes en las maderas estudiadas .....	63

Figura 13. Diámetro tangencial de los vasos de la madera de <i>D. retusa</i> y las morfoespecies 1 y 2 .....	91
Figura 14. Frecuencia de vasos por mm <sup>2</sup> de la madera de <i>D. retusa</i> y las morfoespecies 1 y 2 .....	91
Figura 15. Longitud de los vasos de la madera de <i>D. retusa</i> y las morfoespecies 1 y 2 .....	92
Figura 16. Diámetro de las punteaduras de la madera de <i>D. retusa</i> y las morfoespecies 1 y 2 .....	92
Figura 17. Frecuencia de radios/mm lineal de la madera de <i>D. retusa</i> y las morfoespecies 1 y 2 .....	93
Figura 18. Altura de los radios de la madera de <i>D. retusa</i> y las morfoespecies 1 y 2 .....	93
Figura 19. Lumen de las fibras de la madera de <i>D. retusa</i> y las morfoespecies 1 y 2 .....	94
Figura 20. Anchura de la pared de las fibras de la madera de la madera de <i>D. retusa</i> y las morfoespecies 1 y 2 .....	94
Figura 21. Longitud de las fibras de la madera de <i>D. retusa</i> y las morfoespecies 1 y 2 .....	95

## RESUMEN

Con el objetivo de describir las características anatómicas de la madera de *Dalbergia retusa* y dilucidar la identidad de dos morfoespecies denominadas "cocobolo" provenientes de Panamá Este y Darién, se realizó la caracterización anatómica, determinación de la densidad y fluorescencia. Este estudio contribuirá a fomentar el conocimiento sobre la diversidad del género y la protección de las poblaciones del género *Dalbergia* en Panamá.

Siguiendo las técnicas histológicas usuales, se prepararon placas histológicas y las maderas fueron descritas. Posteriormente, las maderas fueron comparadas con descripciones de *Dalbergia retusa*, encontrándose que las morfoespecies coinciden con la anatomía de la madera de las Fabaceae y el género *Dalbergia*. Presentando vasos muy grandes; parénquima paratraqueal vasicéntrico, difuso y difuso en agregados; radios estratificados; cristales dentro de celdas en el parénquima, y punteaduras ornamentadas.

La variabilidad observada entre estas tres maderas es significativa y las diferencias halladas sugieren que las maderas de las morfoespecies 1 y 2 denominadas "cocobolo" podrían ser especies distintas a *Dalbergia retusa*. Las pruebas de fluorescencia no permitieron separar las maderas, sin embargo, los valores de densidad, muy alta en *D. retusa* y mediana en las morfoespecies 1 y 2 es un carácter que ayuda a separar ambas maderas debido a las implicaciones de esta variable en las propiedades y uso de la madera.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

De las 8, 582 especies de plantas vasculares de la flora de Panamá se estiman unas 2, 308 especies arbóreas (21 %), de las cuales 741 son endémicas; y aproximadamente 191 son endémicas de la provincia de Darién. La provincia de Darién, en conjunto con la Comarca Emberá-Wounaan, es la de mayor superficie del país y sus bosques representan el 37.17 % de cobertura boscosa del país (Correa *et al.*, 2004).

De las 255 familias que constituyen la flora de Panamá, las familias con mayor diversidad de especies son Orchidaceae, Rubiaceae y Fabaceae. La familia Fabaceae (antes Leguminosae) está representada por unas 506 especies aproximadamente y corresponden al 55 % del total de las plantas vasculares del país (Correa *et al.*, 2004). Además, constituye la tercera familia más grande globalmente, se compone de 67, 767 especies (Lewis *et al.*, 2005; The Plant List, 2013).

La importancia económica y ecológica de las leguminosas es excepcionalmente alta por ser fuentes de alimento, forraje, maderas preciosas, combustible, medicina y por su capacidad de enriquecer los suelos (Vatanparast, 2013). Se ha demostrado que más de 50 especies del género *Dalbergia* fijan nitrógeno en el suelo y poseen nódulos de raíz tipo Aeschynomenoide (Sprent, 2009).

De la familia Fabaceae provienen algunas de las maderas más valiosas conocidas por la ebanistería, los instrumentos musicales, el tallado, la incrustación y para muchos otros fines, incluidos los colorantes. Muchas emiten fragancias

aromáticas y a este grupo pertenecen la mayoría de las conocidas como palo rosa en el mercado internacional de maderas (Record & Garrat, 1923).

En Panamá, se reconocen los ejemplares de *Dalbergia retusa* (cocobolo) ya que estos tienen un alto valor comercial (Vatanparast, 2013), pero su extracción está prohibida desde el año 2014. Esta es una de las especies más cotizadas en Asia y Estados Unidos por su madera oscura, dura, pesada, vetada, bella y resistente; considerada preciosa, especialmente valiosa por su color, durabilidad y dureza (Wilmé *et al.*, 2009a; Testa, 2018). Las propiedades de su madera sumada a la alta demanda internacional hacen que su valor económico sea muy alto; superior al de otras maderas preciosas como la caoba (*Swietenia macrophylla*) o el cedro amargo (*Cedrela odorata*) (Jenkins *et al.*, 2012).

Algunas maderas de *Dalbergia* son aromáticas cuando están húmedas y el aroma permanece al secarse. *Dalbergia retusa* es sumamente apreciada y utilizada para elaborar muebles, artesanías, instrumentos musicales, cofres para joyas, empuñadoras de armas, palos de billar, piezas de ajedrez y otros objetos. Su durabilidad natural se debe a que produce metabolitos antimicrobianos y fungicidas que resisten el ataque de insectos (Quiñones *et al.*, 1995; Barragán *et al.*, 2004; Testa, 2018).

Las excelentes propiedades acústicas de la madera de *Dalbergia* hace que éstas sean mundialmente demandadas para la fabricación de guitarras, pianos, marimbas, xilófonos, clarinetes, flautas, mandolinas y violines (Jenkins *et al.*, 2012). En la medicina tradicional en Quintana Roo, México, se emplea como remedio contra el vómito, el asma, antiinflamatorio y anticonvulsivo. La

investigación biomédica en algunas especies de *Dalbergia* ha demostrado que contienen compuestos citotóxicos. Actualmente, se investiga el pigmento del duramen de *D. congestiflora* como colorante natural para alimentos y bebidas; posee además propiedades antioxidantes (Gutiérrez & Baez, 2013; Gutiérrez *et al.*, 2014).

## **1.2 Justificación**

Aún se ignoran aspectos básicos sobre especies del género *Dalbergia*, como su distribución, densidad poblacional y biología; algunas de sus especies solo se conocen por ejemplares de herbario (Cervantes, 2016). Esto tal vez se debe a que las especies son raras en su hábitat, el periodo de floración muy breve, el difícil acceso a los sitios donde crecen sus poblaciones o a la falta de recursos e investigación en ciertas áreas de la ciencia.

Se conocen los nombres comunes, apariencia general y uso de las maderas reconocidas como “cocobolo” *Dalbergia retusa*, pero no se cuenta con descripciones anatómicas de la madera que permitan separar las especies del género en Panamá, ni información de su procedencia en el país. Debido a estos vacíos de información, la Universidad de Panamá, a través del Laboratorio de Ecología y Maderas Tropicales del Instituto de Ciencias Ambientales y Biodiversidad (LABICAB-UP) de la Universidad de Panamá, se encuentra en el proceso de constituir una xiloteca (colección oficial de muestras de maderas), donde reposen muestras de las maderas que forman parte de la flora panameña. Una xiloteca, es una colección de muestras de las maderas del país, acompañada de descripciones anatómicas, base de datos de las características físicas y

químicas, así como información de su procedencia; ya que toda esta información es necesaria para la identificación. También provee información auxiliar para el registro y gestión de permisos de exportación por las autoridades pertinentes.

Un estudio cuidadoso de la anatomía permite hacer la identificación en el nivel de género, pero es extremadamente difícil hacerlo en el de especie. Anatómicamente, la certeza con la que se puede identificar una muestra de madera depende de cuánta información de respaldo esté vinculada a ella, de cuán precisa sea esa información y de la identidad de la madera. Para realizar una identificación más concreta es necesario tomar en cuenta de dónde proviene la madera y cuáles son sus propiedades (Gasson, 2011).

Richter *et al.* (1996) presentaron datos anatómicos, físicos y químicos que se pueden utilizar para diferenciar cuatro grupos conformados por nueve especies del género *Dalbergia* de Centro América. Gasson *et al.* (2010) estudiaron siete especies tropicales americanas de *Dalbergia* y determinaron que las siete especies compartían quince caracteres diagnósticos representativos del género. Mediante análisis multivariado pudieron separar las especies en dos grupos.

Ante la carencia de información sobre la anatomía de la madera de las especies del género *Dalbergia* en Panamá, que permita discernir entre ellas, se desarrolla esta investigación, con el propósito de describir las características anatómicas de la madera de *D. retusa* y dos morfoespecies denominadas “cocobolo”, de modo que sea posible establecer las diferencias y semejanzas entre ellas y en qué medida corresponden con la descripción anatómica de *D. retusa* u otras especies del género *Dalbergia* (Fig. 1)



**Figura 1. Maderas estudiadas.** A. *Dalbergia retusa* Hemsl. (B-C) Las maderas denominadas "cocobolo" B. Morfoespecie 1. C. Morfoespecie 2; donde se aprecia la figura y coloración de cada una.

### **1.3 Objetivos generales**

Describir y comparar dos muestras de madera reconocidas como “cocobolo”, para establecer si coinciden con la anatomía de la madera de la familia Fabaceae, la subfamilia Papilionoideae, el género *Dalbergia* y específicamente con la especie *Dalbergia retusa*.

### **1.4 Objetivos específicos**

1. Describir anatómicamente dos muestras de las maderas reconocidas como “cocobolo” y compararlas con la madera de *D. retusa*.
2. Determinar la densidad de las maderas de la morfoespecie 1, morfoespecie 2 y la de *D. retusa*.
3. Confirmar la fluorescencia en las maderas estudiadas.

## II. MARCO TEÓRICO

La familia Fabaceae se compone de 946 géneros de plantas y 67, 767 especies, de los cuales 24, 505 se aceptan como nombres válidos de especies. El género *Dalbergia* incluye 647 especies, las cuales 287 son nombres aceptados y 77 son nombres infraespecíficos (The Plant List, 2013). En la actualidad, se conocen cerca de 250 especies de *Dalbergia* distribuidas en los trópicos de todo el mundo; la mayor parte de ellas se concentran en África, Madagascar, sur de Asia, Centro y Sudamérica (Vatanparast, 2013).

En Mesoamérica se reportan unas (40) especies de *Dalbergia*, entre árboles y lianas, estas son: *Dalbergia agudelo* J. Linares & M. Sousa; *Dalbergia amerimnum* Benth.; *Dalbergia brownei* (Jacq.) Schinz; *Dalbergia calderonii* Standl.; *Dalbergia calycina* Benth.; *Dalbergia campechiana* Benth.; *Dalbergia chontalensis* Standl. & L.O. Williams; *Dalbergia congestiflora* Pittier; *Dalbergia cubilquitzensis* (Donn.Sm.) Pittier; *Dalbergia cuscatlanica* (Standl.) Standl.; *Dalbergia ecastaphyllum* (L.) Taub.; *Dalbergia darienensis* Rudd; *Dalbergia frutescens* (Vell.) Britton; *Dalbergia funera* Standl.; *Dalbergia glabra* (Mill.) Standl.; *Dalbergia glomerata* Hemsl.; *Dalbergia granadillo* Pittier; *Dalbergia heptaphylla* Poir.; *Dalbergia intibucana* Standl. & L.O. Williams; *Dalbergia laevigata* Standl.; *Dalbergia lineata* Pittier; *Dalbergia longepedunculata* J. Linares & M. Sousa; *Dalbergia luteola* J. Linares & M. Sousa; *Dalbergia macrophylla* (Kunth) Spreng.; *Dalbergia melanocardium* Pittier; *Dalbergia mexicana* Pittier; *Dalbergia modesta* J. Linares & M.Sousa; *Dalbergia monetaria* L. f.; *Dalbergia pacifica* Standl. & Steyerm.; *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi Gómez; *Dalbergia retusa* Hemsl.;

*Dalbergia rhachiflexa* J. Linares & M.Sousa; *Dalbergia ruddiae* J. Linares & M. Sousa; *Dalbergia sisso* DC.; *Dalbergia salvanaturae* J. Linares & M. Sousa, Standl.; *Dalbergia tabascanana* Pittier; *Dalbergia tilarana* N. Zamora; *Dalbergia frutescens* var. *tomentosa* (Vogel) Benth.; *Dalbergia tucurensis* Donn. Sm. (Linares & Sousa, 2007; Tropicos, 2019a).

En Costa Rica se reportan las siguientes especies: *Dalbergia brownie* (Jacq.) Urb; *D. calycina* Benth.; *D. chontalensis* Standl. & L.O. Williams; *D. ecastaphyllum* (L.) Taub.; *D. frutescens* (Vell.) Britton; *D. glabra* (Mill.) Standl; *D. glomerata* Hemsl.; *D. melanocardium* Pittier; *D. monetaria* L. f.; *D. retusa* Hemsl.; *D. ruddiae* J. Linares & M. Sousa y *D. tilarana* N. Zamora (Holdridge & Poveda, 1975; Zamora, 2000; Hammel *et al.*, 2010; Linares & Sousa, 2007; Tropicos, 2019b).

En Colombia se reportan las siguientes especies: *Dalbergia amazonica* (Radlk.) Ducke; *D. brownei* (Jacq.) Urb; *D. darienensis* Rudd; *D. ecastaphyllum* (L.) Taub.; *D. foliosa* (Benth.) A. M. Carvalho; *D. frutescens* (Vell.) Britton; *D. hygrophila* (Benth.) Hoehne; *D. intermedia* A. M. Carvalho; *D. inundata* Benth.; *D. monetaria* L.f.; *D. riedelii* (Benth.) Sandwith y *D. riparia* (Mart.) Benth. (Bernal *et al.*, 2016, Tropicos, 2019c).

En Panamá se encuentran 7 especies del género *Dalbergia*, de ellas: *Dalbergia brownei*, *D. ecastaphyllum*, *D. monetaria* y *D. darienensis* son lianas; en tanto *D. cuscatlanica*, *D. retusa* y *D. tilarana* son árboles (Linnaeus, 1781; Standley & Record, 1936; Croat, 1978; Correa *et al.*, 2004; Parker, 2008; Tropicos, 2019d). Las especies han sido localizadas en las provincias de Panamá, Bocas del Toro,

Coclé, Colón, Darién, Los Santos, Panamá, Veraguas, la comarca Guna Yala y en el Área del Canal (Correa *et al.*, 2004).

Por su madera fina, cerca de 20 especies se comercializan en el mercado internacional, entre las que destacan: la madera africana (*Dalbergia melanoxylon*), la jacaranda de Brasil (*D. nigra*), el cocobolo (*D. retusa*), el sisu (*D. sisoo*) y el corazón azul (*D. stevensonii*). Algunas de ellas se encuentran en peligro de extinción debido a la sobreexplotación y se han establecido regulaciones estrictas que buscan limitar su comercio internacional (Cervantes, 2016).

La especie de *Dalbergia* comercializada en Panamá es *Dalbergia retusa*, la cual se distribuye en regiones del Pacífico de América Central y se extiende desde el suroeste de México hasta Panamá (Holdridge & Poveda, 1975; Stevens *et al.*, 2001; Hammel *et al.*, 2010; Hall & Ashton, 2016; Villaseñor, 2016) (Fig. 2). Es una especie caducifolia de altura mediana (10 a 20 metros) que se encuentra en el dosel de bosques caducifolios a húmedos de elevación mediana. En Panamá es común en bosques secos a caducifolios; crece relativamente bien en la mayoría de los sitios con buen drenaje (Martin, 1984; Hall & Ashton, 2016).

Su madera es de color variable cuando es recién cortada, pero el duramen adquiere generalmente una coloración rojo anaranjado intenso con rayas negras o moteado en la exposición. Su textura es fina, el grano recto a entrecruzado, brillante, sin sabor distintivo, de olor ligeramente picante y fragante. Su gravedad específica básica (peso seco/ volumen verde) va de 0.80 a 0.98 g/cm<sup>3</sup> (Martin, 1984); calificándose como muy pesada.

La extracción de *Dalbergia retusa*, está prohibida en Panamá desde 2014 (Testa, 2018) y ha sido incluida en el Apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) (CITES, 2009; Gasson *et al.*, 2011; Cites, 2017).

En México, las especies maderables de *Dalbergia* están siendo afectadas por la sobreexplotación y el tráfico ilegal, la deforestación y la fragmentación de sus hábitats. Aunado a esto, la escasez natural de las especies, su lento crecimiento y bajo reclutamiento las hace altamente vulnerables. Los vacíos de información respecto a la biología de las especies han hecho muy difícil evaluar con precisión el riesgo de extinción de las poblaciones, en particular de las especies maderables sujetas a explotación.

Las limitaciones que enfrentan los inspectores de instituciones ambientales hacen muy difícil identificar correctamente cada especie (Cervantes, 2016). Si los patios de acopio de maderas contaran con una buena información y controles sobre quién corta, vende, transporta y compra las maderas, la identificación de estas especies sería más eficaz y haría posible atribuir responsabilidades en cualquier situación (Garret *et al.*, 2010). Al respecto, en Panamá la entidad gubernamental responsable (Ministerio de Ambiente) ha puesto en práctica un sistema de trazabilidad electrónica para controlar este problema (Ministerio de Ambiente, 2018).

*Dalbergia nigra* figura en el Apéndice I de CITES, lo que indica una prohibición total del comercio internacional de la especie. La demanda de “palo rosa”, como comúnmente se le conoce en Madagascar puede ser directamente atribuida a la

escasez de suministro de *Dalbergia nigra*, lo cual es una consecuencia involuntaria de la prohibición de CITES sobre su comercialización (Innes, 2010). Debido a estas situaciones es importante que la CITES cubra todas las especies de *Dalbergia*. Este también es el caso de las especies de *Diospyros* (ébano), el cual es muy apreciado y cuya anatomía es parecida a la que exhiben los árboles de *Dalbergia* (Ravaomanalina *et al.*, 2017).

Para la identificación de maderas en el comercio internacional, las características anatómicas son muy confiables, también es posible realizar una identificación química, mediante análisis de cromatografía y ADN (Garret *et al.*, 2010). Un estudio cuidadoso de la anatomía permite hacer la identificación en el nivel de género, pero es extremadamente difícil hacerlo en el de especie. Anatómicamente, la certeza con la que se puede identificar una muestra de madera depende de cuánta información de respaldo esté vinculada a ella, de cuán precisa sea esa información y de la identidad de la madera. Para realizar una identificación más concreta es necesario tomar en cuenta de dónde proviene la madera, cuáles son sus propiedades, si se trata de una fuente sostenible y si se encuentra en peligro/ o protegida (Gasson, 2011).

Se requiere un gran esfuerzo para mejorar los métodos de identificación de maderas utilizando los caracteres anatómicos, químicos y físicos. En general, la anatomía de la madera es el método más utilizado y apropiado para identificar especies maderables. Gasson *et al.* (2010) emplearon caracteres anatómicos cuantitativos realizando comparaciones mediante análisis de componentes principales (PCA) y Bayesiano, logrando identificar muestras de *Dalbergia nigra*.

Anteriormente, Miller & Wiemann (2006) compararon la madera de *D. nigra* y *D. spruceana*, comparando la fluorescencia de los extractos de agua y la densidad de la madera para separarlas. Kite *et al.* (2010) encontraron flavonoides exclusivos de *D. nigra*, en 15 especies americanas, africanas y asiáticas comparadas. También, Pigozzo *et al.* (2010) han sugerido distinguir las especies de *Dalbergia*, especialmente *D. nigra* y *D. spruceana* mediante espectrometría infrarroja. De manera más reciente, Lancaster & Espinoza (2012) desarrollaron un método químico de análisis rápido para diferenciar especies comercializadas comúnmente, entre ellas *D. baronii* y *D. madagascariensis*. Posteriormente, se ha aplicado la espectrometría de masas para distinguir especies de *Dalbergia* a nivel internacional (Lancaster & Espinoza, 2012; Espinoza *et al.*, 2015).

Gasson *et al.* (2011) estudiaron siete especies de *Dalbergia* en América, incluida *D. nigra* y determinaron que las siete compartían caracteres diagnósticos. Análisis multivariados de caracteres anatómicos cuantitativos, como el diámetro y la frecuencia de vasos, el ancho de los radios, altura y frecuencia de estos ayudó a separar las especies en dos grupos. El primero incluye a *D. nigra*, *D. spruceana*, *D. tucurensis* y *D. stevensonii*; el segundo incluyó a *D. miscolobium*, *D. cearensis* y *D. granadillo*.

Guzmán *et al.* (2008) mencionan que las características de fluorescencia a veces son útiles para separar especies similares. En su estudio, ninguna de las especies de *Dalbergia* exhibió fluorescencia superficial. Richter *et al.* (1996), encontraron débil fluorescencia superficial en *D. retusa* de México, pero no en otras ocho especies del género. Wiemann & Ruffinatto (2012) reportaron

fluorescencia superficial en algunos especímenes de *D. stevensonii*, pero no en los demás especímenes; además, señalan que la densidad puede ayudar a distinguir la especie protegida por CITES *Dalbergia stevensonii* de *D. tucurensis*.

Según Baas *et al.* (2000) y Gasson *et al.* (2010), las maderas del orden Fabales están anatómicamente caracterizadas por presentar porosidad difusa, perforaciones simples, punteaduras alternas con ornamentaciones, punteaduras radiovasculares similares a las punteaduras intervasculares; depósitos de gomas; fibras con punteaduras simples; fibras no septadas; parénquima axial difuso, parénquima axial difuso en agregados y parénquima paratraqueal en distintas formas; radios con 1 a 3 células y radios pequeños a medianos que varían de completamente homocelulares a heterocelulares. Los radios estratificados están a menudo presentes y presentan cristales prismáticos.

Espinoza & León (2002) estudiaron la anatomía del leño de 56 especies de la subfamilia Papilionoideae, y reportan que la estructura anatómica de esta subfamilia es bastante homogénea, lo cual dificulta su identificación. Los autores mencionan que las características que presentan con mayor frecuencia las especies analizadas fueron: porosidad difusa, poros solitarios y múltiples radiales cortos, con depósitos de goma, sin patrón definido de disposición, punteaduras ornamentadas; fibras de paredes gruesas; parénquima paratraqueal y en bandas anchas; radios homocelulares de células procumbentes, 1 a 4 células de ancho, menores de 1 mm de altura; estructura estratificada presente; cristales prismáticos en células parenquimáticas radiales y/o axiales.

Espinoza *et al.* (2015) describieron las características generales de varias especies del género *Dalbergia*. Estas maderas presentan anillos de crecimiento poco visibles, delimitados por fibras de paredes gruesas y algunas veces parénquima paratraqueal. El borde de los vasos es circular, de 150 a 300  $\mu\text{m}$  de diámetro, pueden ser solitarios o formar grupos radiales de 2 a 5, menos de dos vasos por  $\text{mm}^2$  y contienen gomas oscuras. La perforación de los vasos es simple, con punteaduras intervasculares y radiovasculares alternas, de 10 a 12  $\mu\text{m}$ . El parénquima axial es difuso en agregados, en bandas uniseriadas o biseriadas, vasicéntrico, aliforme, confluyente y marginal. Las células del parénquima son fusiformes y con dos hebras, las cuales a menudo contienen cristales. Puede haber 11 radios por milímetro lineal, estos son homocelulares, uniseriados y ocasionalmente biseriados, con depósitos de color oscuro y su altura varía de 0.11-0.3 mm. Las fibras son libriformes, tienen un diámetro de 20 a 21  $\mu\text{m}$ , con paredes de 3  $\mu\text{m}$  de espesor; son medianas a muy gruesas y pueden ser de 900 a 1,300  $\mu\text{m}$  de longitud. Todos los elementos se encuentran estratificados.

La descripción anatómica específica de la madera de *Dalbergia retusa* se conoce desde las investigaciones realizadas por Record & Garrat (1923), Kribs (1968), Richter & Dallwitz (2000) y Moya *et al.* (2013). En el estudio de Moya *et al.* (2013), se caracterizaron 45 especies arbóreas nativas de Costa Rica que se encuentran amenazadas o en peligro de extinción, utilizando la anatomía de sus maderas y la fluorescencia. Entre estas, describen a *Dalbergia retusa* con una alta densidad; resultado positivo en fluorescencia con extracto de etanol; porosidad difusa, con vasos solitarios en una proporción menor del 80% y en múltiplos que

pueden presentarse de dos tamaños distintos; su frecuencia es inferior a  $<2$  vasos/ $\text{mm}^2$ ; el diámetro de los vasos va de 100 a 300  $\mu\text{m}$ . Esta especie presenta gomitas, punteaduras alternas, ornamentadas y poligonales, que oscilan entre 4-7  $\mu\text{m}$ , las cuales presentan bordes evidentes y son similares a las punteaduras intervasculares en forma y tamaño. Sus fibras son cortas ( $<1$  mm), de paredes muy gruesas ( $>7$   $\mu\text{m}$ ), sin septos y con pequeñas punteaduras. Sus radios son inferiores a  $<1$  mm de longitud, presentan de 1 a 3 células de ancho; son homogéneos y heterogéneos; se encuentran alineados; presentan distintos tipos de parénquima axial y contienen cristales.

Richter *et al.* (1996) reportan diferencias anatómicas, físicas y químicas que pueden utilizarse para diferenciar entre cuatro grupos y nueve especies de *Dalbergia* en Centroamérica. Los autores señalan que características como el diámetro de los vasos, la coloración de los troncos y la densidad de la madera podrían ayudar a separar las especies. Existen otros trabajos sobre el género *Dalbergia*, en los que se consideran las características antes mencionadas (Wiemann & Ruffinatto, 2006; Gasson *et al.*, 2010 y Ravaomanalina *et al.*, 2017).

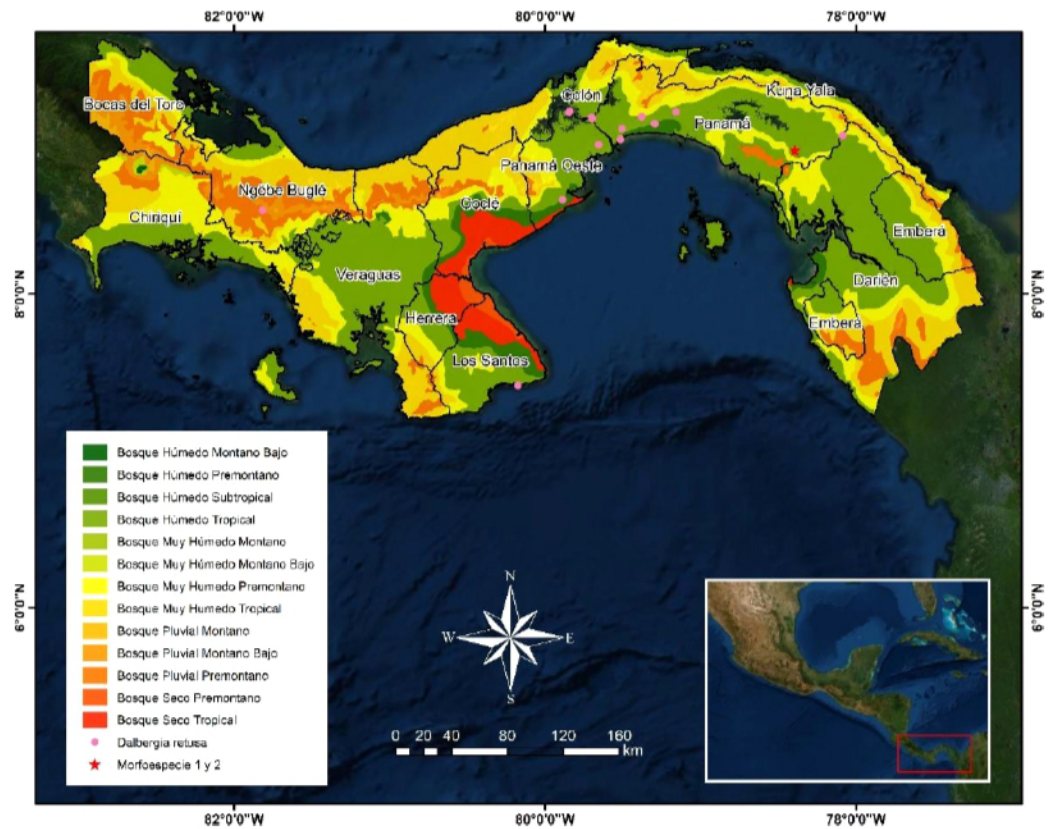


**Figura 2. Distribución de la especie *Dalbergia retusa*.** Se da desde regiones del Pacífico de América Central, desde el suroeste de México hasta Panamá.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Procedencia de las muestras de madera denominadas cocobolo**

Las muestras de las maderas fueron proporcionadas por el Ministerio de Ambiente y por una empresa privada; procedentes de las regiones de Tortí, provincia de Darién y Panamá Este, República de Panamá (Fig. 3). Según el sistema de clasificación de Zonas de Vida de Holdridge (1967), la región de Panamá Este y el Darién presentan siete de las 12 Zonas de Vida existentes en Panamá, siendo las más representadas, las Zonas de Bosque Húmedo Tropical y Bosque muy Húmedo Premontano. Estas formaciones ecológicas; dominantes en las tierras bajas del Darién se caracterizan por tener un clima cálido y húmedo con temperaturas que fluctúan entre 21.6° y 26°C (Peña, 2011) y regímenes de precipitación entre 2 000 a 2 5000 mm por año, según datos presentados por la Estación Hidrometeorológica ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A., Panamá).



**Figura 3. Mapa de Zonas de Vida en la República de Panamá.** Sitio donde se colectaron las morfoespecies y puntos donde muestras botánicas de *D. retusa* han sido colectadas.

### **3.2 Preparación del material**

De las muestras de madera de “cocobolo” obtenidas y una muestra de *D. retusa* (debidamente identificada) que reposa en la xiloteca del Laboratorio de Ecología y Maderas Tropicales del Instituto de Ciencias Ambientales y Biodiversidad (LABICAB-UP) de la Universidad de Panamá: se obtuvieron discos de 2 cm de ancho del tronco central de la muestra de *D. retusa*, la morfoespecie 1 y de una rama de la morfoespecie 2 y tablas rectangulares de 4 x 1 pulgadas que reposarán como referencia en la xiloteca del (LABICAB-UP). Del resto del material se obtuvieron muestras de 2 cm<sup>3</sup> aproximadamente, las cuales fueron utilizadas para la descripción anatómica de las maderas, determinación de la densidad y prueba de fluorescencia.

Los bloques de 2 cm<sup>3</sup> fueron sumergidos en glicerina durante dos días y luego fueron ablandados hirviéndolos en agua para facilitar la realización de los cortes histológicos para describir su anatomía (Tardif & Conciatori, 2015). El ablandamiento, tomó 32:15 horas en total para las dos morfoespecies y 40 horas para *Dalbergia retusa*; luego las muestras se mantuvieron en agua destilada con una gota de tolueno para evitar su descomposición, por la acción de hongos y bacterias, hasta el momento de su corte.

### **3.3 Microtecnica**

Para la descripción anatómica de las maderas se utilizaron tres placas histológicas, cada una con tres secciones: transversal, tangencial longitudinal y

radial longitudinal, de 18 a 30  $\mu\text{m}$  de espesor. Para la obtención de los cortes se empleó un micrótopo de rotación Microm modelo HM310. Inmediatamente después, los cortes fueron colocados en un plato petri con agua destilada a 40°C para su estiramiento y selección. Los cortes restantes se preservaron en tubos plásticos con agua destilada y una gota de tolueno. Posteriormente, los cortes de *D. retusa* y las dos morfoespecies de cocobolo fueron teñidos, deshidratados, aclarados y montados en placas permanentes utilizando el método de Tardif & Conciatori (2015).

### **3.3.1 Tinción**

Para el proceso de tinción los cortes se colocaron en un plato petri, y sobre cada uno se añadió una gota de safranina acuosa al 1%. Este procedimiento duró 3 minutos, periodo durante el cual los cortes fueron agitados suavemente y se les removió el exceso de safranina enjuagándolos en agua destilada durante 1 min.

### **3.3.2. Deshidratación**

Para la deshidratación se preparó una serie de diluciones de alcoholes, 50 ml de cada concentración requerida a base de etanol absoluto. Las diluciones se mantuvieron refrigeradas para continuar utilizándolas hasta finalizar el proceso de tinción.

- Etanol al 50% durante 2 minutos
- Etanol al 70% durante 2 minutos
- Etanol al 95% durante 2 minutos
- Luego, en otro plato Petri a cada corte se le añadió una gota de azul de anilina alcohólica (100 ml de aceite de clavo, 100 ml de alcohol absoluto y 1 g de azul de anilina) durante 3 minutos.
- Luego de este tiempo, se removió el exceso de azul de anilina enjuagando la sección de madera en alcohol al 95% durante 1 minuto.
- Etanol absoluto I durante 2 minutos
- Etanol absoluto II durante 2 minutos.

### **3.3.3. Aclaración**

Para la aclaración de los tejidos, las secciones fueron introducidas en cubetas de tinción durante dos minutos agitándolas suavemente y se repitió el procedimiento. Esta práctica se realizó dentro de una cámara de extracción.

- Xilol I durante 2 minutos
- Xilol II durante 2 minutos.

### **3.3.4. Montaje**

- Se transfirieron los cortes a un porta objetos y se limpió el exceso de Xilol.
- Se añadieron dos gotas de Permunt sobre las secciones y estas fueron cubiertas con un cubre objeto.

- Finalmente, las placas fueron introducidas en un horno a 50° C, durante 72 horas para su secado.

### **3.4 Observación, identificación y medición**

Las secciones fueron fotografiadas con una cámara Nikon DS-Ri1 e inspeccionadas microscópicamente utilizando aumentos de 4–100 x (microscopio de luz); Nikon Eclipse E 600, aumentos de 20–1000 x (microscopía de barrido); Zeiss Evo 40, aumentos de 2–100 x (microscopio confocal); Olympus Fluoview FV 1000 y Olympus FLUOVIEW FV3000 y aumentos de 8–35 x (microscopio estereoscopio); Leica EZ4 D. A las maderas estudiadas se les midió: el diámetro de las punteaduras, diámetro de los vasos, frecuencia de vasos por mm<sup>2</sup>, longitud de los vasos, altura de radios, números de radios por milímetro lineal, así como la longitud, el diámetro de lumen y el espesor de la pared de las fibras.

Las mediciones y descripciones de las maderas se realizaron según las normas técnicas establecidas por el Comité Internacional de Anatomía de Maderas (IAWA) (IAWA Committee, 1989). Las características generales, macroscópicas, físicas y mecánicas se realizaron siguiendo los criterios de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas-COPANT (1973), las Normas y Procedimientos en Estudios de Anatomía de Madera (IBAMA, 1992) y la Sociedad Americana de Ensayos de Materiales (ASTM, 1969). Para la clasificación del color de la madera se empleó la tabla de colores de Munsell (2000). Para las comparaciones de las descripciones anatómicas de la madera e imágenes se empleó la base de datos InsideWood (Insidewood, 2004; Wheeler, 2011) y las

publicaciones de Record & Garrat (1923), Kribs (1968), Richter & Dallwitz (2000) y Moya *et al.* (2013); las medidas se realizaron utilizando el programa Image J.

Bajo las consideraciones mencionadas anteriormente, se realizaron 30 mediciones para determinar el diámetro de las punteaduras de la sección tangencial longitudinal bajo aumento de 100x, se midieron 30 vasos para obtener el diámetro de estos bajo el aumento de 4x. Para conocer la frecuencia de vasos por mm<sup>2</sup> se contaron los vasos individualmente, incluso cuando se encontraban formando múltiplos o agrupaciones radiales, utilizando un campo con amplia visión (4x), el conteo se realizó 10 veces en cada muestra de madera analizada (Wheeler, 1986). La longitud de los vasos se obtuvo midiendo la longitud total de cada elemento de vaso de un extremo a otro; 25 vasos fueron medidos para obtener el valor promedio, bajo el aumento de 4x (Cuadro 1).

Para medir la longitud, anchura del lumen y espesor de la pared de las fibras, se realizó una disociación de elementos y se realizaron 35 medidas para cada carácter bajo los aumentos de 4x y 40x, respectivamente. La cantidad de radios por milímetro lineal se determinó a partir de una sección tangencial longitudinal (con el aumento de 4x) a lo largo de una línea perpendicular al eje del radio. Se trazaron diez líneas de 1 mm para realizar las mediciones y de acuerdo con el resultado se registró la categoría en la que se encontraba cada individuo; además 30 radios fueron medidos para conocer su altura trazando una línea sobre cada uno en la sección tangencial longitudinal, bajo aumento de 10x; (Cuadro 1). Para cada variable medida se indicaron los valores: promedio, desviación estándar, máximo y mínimo.

**Cuadro 1.** Parámetros considerados para los caracteres medidos.

<b>Medidas</b>	<b>Caracter</b>	<b>Aumento</b>	<b>Sección</b>
<b>30</b>	Diámetro de punteaduras	100 x	S. tangencial
<b>30</b>	Diámetro tangencial de vasos	4 x ó 10 x	S. transversal
<b>10</b>	Frecuencia de vasos por mm <sup>2</sup>	4 x	S. transversal
<b>25</b>	Longitud de vasos	4 x	S. tangencial
<b>35</b>	Longitud de fibras	4 x	Disociación de elementos
<b>35</b>	Lumen de fibras	40 x	Disociación de elementos
<b>35</b>	Espesor de pared de fibras	40 x	Disociación de elementos
<b>10</b>	Radios /mm	4 x	S. tangencial
<b>30</b>	Altura de radios	10 x	S. tangencial

S.: sección.

### **3.5 Disociación de elementos**

Para la observación y medición de la longitud, anchura del lumen y espesor de la pared de las fibras, se preparó un macerado de las maderas; el proceso consiste en aislar células individuales del tejido mediante la técnica de Jeffrey (Jeffrey, 1917). Las maderas fueron cortadas en pequeñas astillas, luego, este material fué disociado colocándolo en una solución en partes iguales de ácido nítrico y ácido crómico al 10%, respectivamente. Para realizar este procedimiento, las astillas se colocaron en viales, seguidamente, la solución de ácido nítrico y ácido crómico al

10% fué añadida hasta cubrir todos los trocitos; este sistema se dejó reaccionando por un máximo de 24 horas. Al pasar este periodo, los viales fueron cubiertos con gasas sujetadas con ligas y cada vial se lavó durante 3 minutos bajo la llave de agua para eliminar los ácidos y detener la reacción. Luego de finalizar el lavado, se conservó el tejido en etanol al 50% con el fin de evitar la descomposición por hongos y bacterias. Para la observación y toma de fotografías de las fibras, se usaron pequeñas astillas del disociado y las mismas fueron separadas utilizando agujas de disección; posteriormente se le añadieron gotas de safranina acuosa al 1% y se observó al microscopio.

### **3.6 Densidad de las maderas**

Para estimar la densidad de las maderas ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), se utilizó el método de desplazamiento de agua o método de Arquímedes (un gramo de agua desplazada equivale a un volumen de  $\text{cm}^3$ ), el cual mide la cantidad de agua desplazada en un determinado volumen. Para conocer el volumen de la madera, las muestras de  $2 \text{ cm}^3$  de *D. retusa* y las dos morfoespecies fueron completamente sumergidas en agua destilada y mantenidas bajo condiciones de humedad constante en el laboratorio por dos días ( $23 \text{ }^\circ\text{C}$  y 30% de humedad), para que estuvieran bien hidratadas. Luego, cada pieza de madera fué introducida en una probeta que contenía un volumen conocido de agua destilada; la misma fue colocada sobre una balanza digital Ohaus Scout P con precisión de 0.01 g, marcando 0 g. El valor que indicó la balanza se tomó como el volumen de agua desplazada para cada madera introducida. Posteriormente, la misma pieza de madera utilizada en esta

fase se colocó dentro de un horno a 60°C durante 72 horas. Posteriormente, se obtuvo el peso seco de las muestras de madera utilizando la misma balanza y finalmente se realizaron los cálculos para la obtener la densidad ( $\rho=m/V$ ) de *D. retusa* y las dos morfoespecies (Heinrichs & Lanssen, 1970; Chave, 2006).

### **3.7 Fluorescencia**

Para determinar si la madera de *D. retusa* y las dos morfoespecies presentaban fluorescencia, se les hizo un corte fresco en la madera seca y estas fueron colocadas bajo luz ultravioleta utilizando un microscopio Olympus Fluoview FV 1000, según Miller & Wiemann (2006).

### **3.8 Análisis estadísticos**

Se realizaron las descripciones estadísticas básicas, como promedio, desviación estándar, máximo, mínimo y coeficiente de variación con el programa Microsoft Excel 2010. También se realizaron diez gráficos de barras para las variables que fueron analizadas: diámetro tangencial de vasos, frecuencia de vasos por mm<sup>2</sup>, longitud de vasos, número de radios por milímetro lineal, altura de los radios, diámetro de las punteaduras intervasculares, anchura del lumen, espesor de pared y longitud de fibras y densidad; para representar el conjunto y proporción de los valores se utilizó el programa Microsoft Excel 2010.

Para demostrar la relación entre variables cuantitativas, se realizaron las pruebas de Shapiro-Wilk para comprobar normalidad, homogeneidad, un análisis de varianzas (ANOVA) y el análisis de pruebas pareadas de Tukey (que se encuentra señalado con letras sobre los gráficos de barra), asumiendo el valor de probabilidad “p” de 0.05 utilizando el programa IBM SPSS Statistics versión 23.

Además, se realizó un análisis factorial múltiple de agrupación con el fin de agrupar las maderas estudiadas en base a similitudes anatómicas utilizando el coeficiente de similitud de Gower (Gower, 1971; Friedman & Meulman, 2004) y el método ponderado emparejado con media aritmética (UPGMA) (Sneath & Sokal, 1973), este análisis se realizó utilizando el programa Past versión 3.

## **IV. RESULTADOS**

### **4.1 Descripción anatómica de las maderas**

#### **Diagnóstico de la madera de *Dalbergia retusa*.**

##### **Características generales**

En condición seca, el duramen de *Dalbergia retusa* es de color rojizo a rojizo oscuro (2.5YR 5/6) con vetas muy oscuras casi negras (2.5YR 2.5/1) y la albura es de color amarillo (10YR 6/6). Con transición abrupta. De textura mediana; con aroma distintivo, dulce y aromático. Con mediano brillo; de grano entrecruzado. La madera es muy dura y pesada (Fig. 1).

### **Características macroscópicas:**

Poros: visibles a simple vista, la porosidad es difusa, los vasos son solitarios, con borde redondo y contienen gomas; algunos forman múltiplos radiales; los anillos de crecimiento son indistintos y los vasos son de distintos tamaños.

parénquima axial: visible con el aumento de 10 x, presenta parénquima paratraqueal vasicéntrico.

Parénquima radial: solo visibles con el aumento de 10 x, se aprecian hileras finas de parénquima (Fig. 4).

### **Características microscópicas**

Anillos de crecimiento: madera con anillos de crecimiento indefinidos y marcados por fibras más condensadas en zonas específicas, acompañadas de delgadas hileras de parénquima en banda marginal o aparentemente marginal (Fig. 4).

Vasos: la porosidad es difusa, los vasos se encuentran dispuestos irregularmente, se clasifican como grandes y son de distintos tamaños. Los vasos son solitarios (66.66%) y en múltiplos radiales de 2 a 4. El diámetro tangencial de los vasos oscila de 84.73-214.22  $\mu\text{m}$  con un promedio de 160.87  $\mu\text{m} \pm 32.68 \mu\text{m}$ . La longitud de los elementos del vaso es de 132.21-296.82  $\mu\text{m}$  con un promedio de 237.43  $\mu\text{m} \pm 36.59 \mu\text{m}$  por lo que se clasifican como chicos y presenta pocos vasos, oscilan de 1 a 4 vasos/ $\text{mm}^2$  con un promedio de 1.8 vasos/ $\text{mm}^2$ . El borde de los vasos es redondeado, la placa de perforación es simple; los vasos contienen gomas (Fig. 4; cuadro 6).

Punteaduras: las punteaduras intervasculares son alternas, circulares a poligonales y ornamentadas; son de diámetro mediano y oscilan entre 5.27-10.7  $\mu\text{m}$  con un promedio de  $7.93 \mu\text{m} \pm 1.48 \mu\text{m}$ . Las punteaduras radiovasculares son similares a las intervasculares en forma y tamaño. No se observan engrosamientos helicoidales (Fig. 4; cuadro 6).

Fibras: son libriformes, presentan punteaduras simples a pequeñas, no tienen septos, sus paredes son medianas a muy gruesas y muy gruesas, con espesor de 3.37–9.60  $\mu\text{m}$  y promedio de  $6.02 \mu\text{m} \pm 1.57 \mu\text{m}$ ; el lumen de las fibras es de 3.22–18.90  $\mu\text{m}$  con un promedio de  $8.74 \mu\text{m} \pm 3.46 \mu\text{m}$  y de longitud media, oscilan entre 795.91–1 544.084  $\mu\text{m}$  con un promedio de  $1,159.69 \mu\text{m} \pm 143.46 \mu\text{m}$  (Fig. 4; cuadro 6).

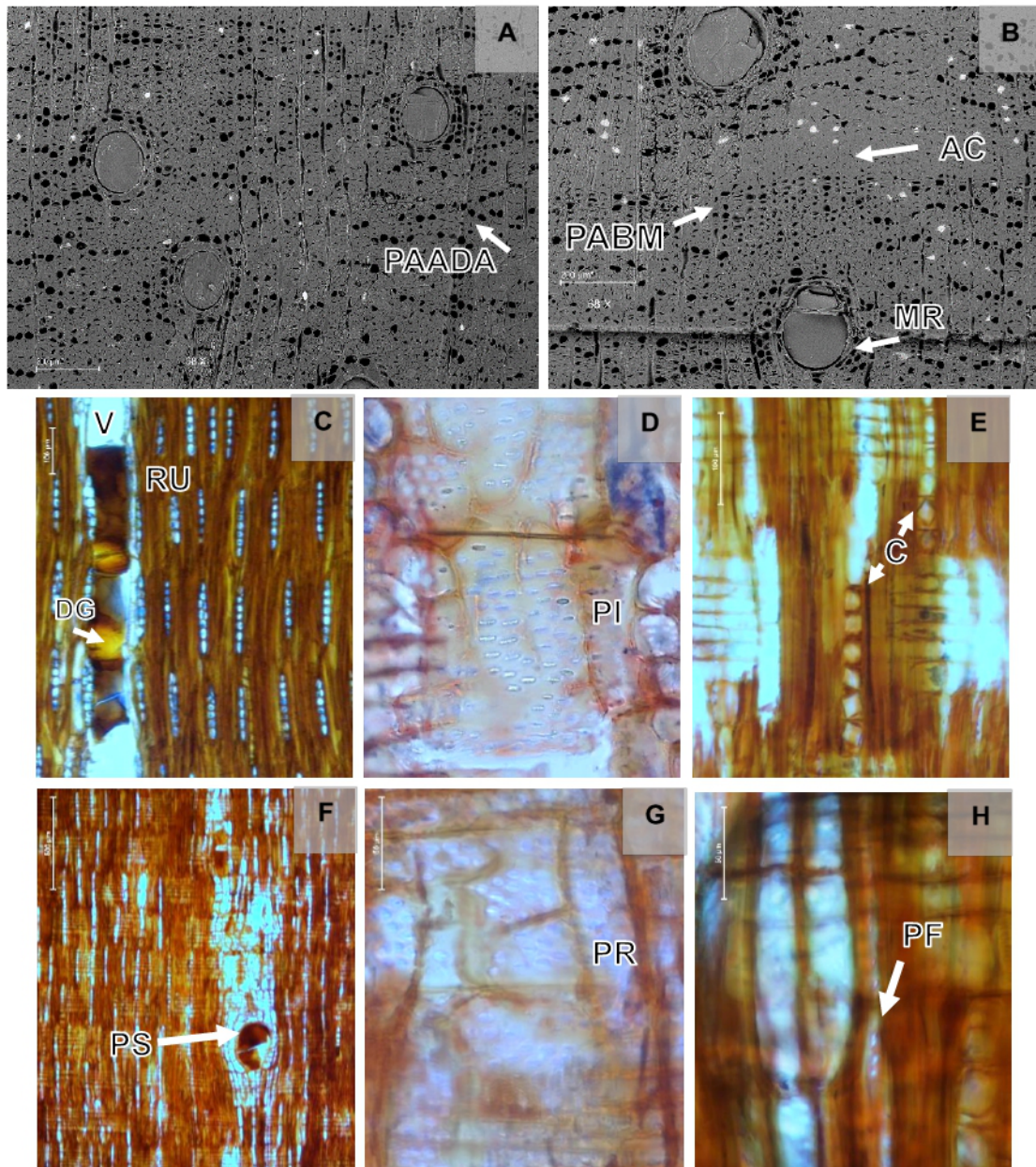
Parénquima axial: el parénquima axial apotraqueal es difuso y difuso en agregados, mientras que el parénquima axial paratraqueal es escaso y vasicéntrico, también presenta parénquima axial en bandas marginales de hasta tres células de ancho cercanas a los anillos de crecimiento. Las células del parénquima axial están constituidas en su mayoría por 2 a 3 células fusiformes (Fig. 4).

Parénquima radial: son predominantemente uniseriados y de hasta 3 células de ancho, son homocelulares (todas procumbentes) y heterocelulares

(procumbentes con una fila de células verticales o cuadradas). La altura de los radios es menor de 1 mm, van de 0.108 mm a 0.161 mm con un promedio de 0.135 mm,  $\pm$  0.014 mm por lo que se clasifican como bajos o chicos; presentan muchos radios por milímetro, la frecuencia es de 17 a 20 radios/mm, con un valor medio de 18.3 radios/mm  $\pm$  1.06 radios/mm (Fig. 4; cuadro 6).

Células estratificadas: el parénquima axial y radial, las fibras y los elementos del vaso están estratificados (Fig. 4).

Inclusiones minerales: el parénquima axial posee cristales prismáticos posicionados uno a uno por cámaras (Fig. 4; características compiladas en el cuadro 7).



**Figura 4. Características diagnósticas observadas en la madera de *Dalbergia retusa*.** **A.** Se observan los vasos solitarios, el parénquima axial apotraqueal difuso y difuso en agregados (PAADA). **B.** Anillos de crecimientos (AC) cercano al parénquima axial en bandas marginales (PABM) y vasos formando múltiples radiales (MR). **C.** Estructuras estratificadas, radios uniseriados (RU) y vasos (V) con depósito de gomas (DG). **D.** Punteaduras intervasculares del vaso (PI), similares a las radiovasculares. **E.** Cristales (C). **F.** Placa de perforación simple del vaso (PS). **G.** Punteaduras radiovasculares (PR). **H.** Punteaduras de las fibras (PF).

## **Diagnóstico de la madera de la morfoespecie 1**

### **Características generales**

En condición seca, el duramen es de color chocolate rojizo claro (2.5YR 6/4). De textura mediana, sin aroma distintivo. Con brillo mediano; de grano entrecruzado. La madera es blanda y liviana (Fig. 1).

### **Características macroscópicas**

Poros: son visibles a simple vista, la porosidad es difusa, los vasos son solitarios, con borde redondo y contienen gomas; algunos forman múltiples radiales; los anillos de crecimiento son indistintos y los vasos son de distintos tamaños.

Parénquima axial: visibles con el aumento de 10 x, presenta parénquima paratraqueal vasicéntrico.

Parénquima radial: es apenas visible con el aumento de 10 x, se aprecian hileras finas de parénquima (Fig. 5).

### **Características microscópicas**

Anillos de crecimiento: madera con anillos de crecimiento indefinidos y marcados por fibras más condensadas en zonas específicas, acompañadas de delgadas hileras de parénquima en banda marginal o aparentemente marginal (Fig. 5).

Vasos: la porosidad es difusa, los vasos se encuentran dispuestos irregularmente, se clasifican como grandes y son de distintos tamaños. Los vasos son solitarios (73.5%) y en múltiples radiales de 2 a 3. El diámetro tangencial de los vasos oscila

de 89-319  $\mu\text{m}$  con un promedio de  $194.23 \mu\text{m} \pm 63.72 \mu\text{m}$ . La longitud de los vasos es de 198.31–352.6  $\mu\text{m}$  con un promedio de  $260.91 \mu\text{m} \pm 41.71 \mu\text{m}$  por lo que se clasifican como chicos y pocos vasos, oscilan de 2 a 8 vasos/ $\text{mm}^2$  con un promedio de 4.9 vasos/ $\text{mm}^2$ . El borde de los vasos es redondeado, la placa de perforación es simple; los vasos contienen gomas (Fig. 5; cuadro 6).

Punteaduras: las punteaduras intervasculares son alternas, poligonales y ornamentadas; son de diámetro pequeño a mediano y oscilan entre 2.95-8.46  $\mu\text{m}$  con un promedio de  $4.46 \mu\text{m} \pm 1.41 \mu\text{m}$ . Las punteaduras radiovasculares son similares a las intervasculares en forma y tamaño. No se observan engrosamientos helicoidales (Fig. 5; cuadro 6).

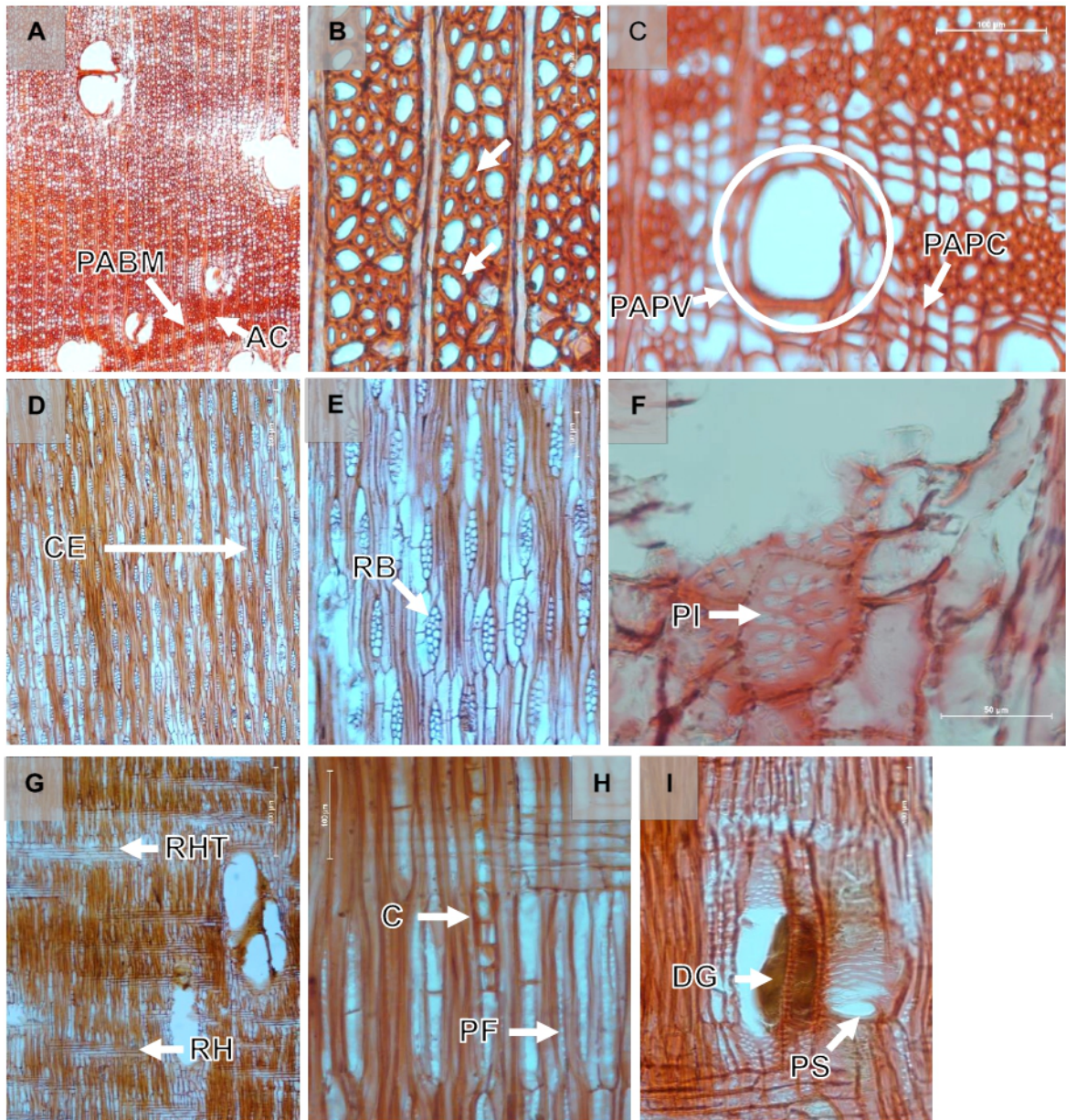
Fibras: son libriiformes, presentan punteaduras simples a pequeñas, no tienen septos, sus paredes son delgadas a medianas, con espesor de 2.61–6.58  $\mu\text{m}$  y promedio de  $3.95 \mu\text{m} \pm 0.86 \mu\text{m}$ ; el lumen de las fibras es de 3.73–23.42  $\mu\text{m}$  con un promedio de  $10.56 \mu\text{m} \pm 5.14 \mu\text{m}$  y de longitud media, oscilan entre 768.89–2083.66  $\mu\text{m}$  con un promedio de  $1,439.75 \mu\text{m} \pm 310.74 \mu\text{m}$  (Fig. 5; cuadro 6).

Parénquima axial: el parénquima axial apotraqueal es difuso y difuso en agregados, mientras que el parénquima paratraqueal es vasicéntrico, aliforme de ala fina y extendida y confluyente, también presenta parénquima axial en bandas marginales de hasta tres células de ancho. Las células del parénquima axial están constituidas en su mayoría por 2 a 3 células fusiformes (Fig. 5; cuadro 6).

Parénquima radial: son predominantemente biseriados y de hasta 3 células de ancho; son homocelulares (todas procumbentes) y heterocelulares (procumbentes predominantemente con una fila de células verticales o cuadradas). La altura de los radios es menor de 1 mm, van de 0.0744–0.162 mm con un promedio de  $0.122 \text{ mm} \pm 0.020 \text{ mm}$  por lo que se clasifican como bajos o chicos; presentan muchos radios por milímetro, la frecuencia es de 9 a 15 radios/mm lineal, con un valor medio de  $12.3 \text{ radios/mm lineal} \pm 1.77 \text{ radios/mm lineal}$  (Fig. 5; cuadro 6).

Células estratificadas: el parénquima axial y radial, las fibras y los elementos del vaso se encuentran estratificados (Fig. 5).

Inclusiones minerales: el parénquima axial posee cristales prismáticos posicionados uno a uno por cámaras (Fig. 5; características compiladas en el cuadro 8).



**Figura 5. Características diagnósticas observadas en la madera de la morfoespecie 1. A.** Vasos solitarios y en múltiples radiales, formación indistinta de anillos de crecimiento (AC) cercano al parénquima axial en bandas marginales (PABM) y el parénquima axial apotraqueal difuso y difuso en agregados. **B.** Pared de las fibras delgadas a medianas. **C.** Parénquima axial paratraqueal vasicéntrico (PAPV) y confluyente (PAPC). **D.** Células estratificadas (CE). **E.** Radios biseriados (RB). **F.** Punteaduras intervasculares (PI). **G.** Radios homocelulares (RH) y radios heterocelulares (RHT). **H.** Cristales (C) y punteaduras en las fibras (PF). **I.** Placa de perforación simple (PS) y vasos con depósito de gomas (DG).

## **Diagnóstico de la madera de la morfoespecie 2**

### **Características generales**

Duramen de color rojizo (10YR 5/6) con vetas oscuras (10YR2.5/1). Sin transición. De textura mediana, sin aroma característico. Con brillo mediano; de grano entrecruzado. La madera es moderadamente dura y pesada. La muestra de madera presentaba daños por insectos (Fig. 1).

### **Características macroscópicas**

Poros: son visibles a simple vista, la porosidad es difusa, los vasos son solitarios, con borde redondo y contienen gomas; algunos forman múltiples radiales; los anillos de crecimiento son indistintos y los vasos son de distintos tamaños.

parénquima axial: visible con el aumento de 10 x, presenta parénquima paratraqueal vasicéntrico, confluyente y en bandas.

Parénquima radial: solo visible con el aumento de 10 x, se aprecian delgadas hileras de parénquima (Fig. 6).

### **Características microscópicas**

Anillos de crecimiento: madera con anillos de crecimiento indefinidos y marcados por fibras más condensadas en zonas específicas, y acompañadas de delgadas hileras de parénquima en banda marginal o aparentemente marginal (Fig. 6).

Vasos: la porosidad es difusa, los vasos se encuentran dispuestos irregularmente, se clasifican como grandes y son de distintos tamaños. Los vasos son solitarios

(57.69%) y en múltiplos radiales de 2 a 4. El diámetro tangencial de los vasos oscila de 50–240.03  $\mu\text{m}$  con un promedio de  $150.66 \mu\text{m} \pm 42.23 \mu\text{m}$ . La longitud de los vasos oscila de 184.8–306.96  $\mu\text{m}$  con un promedio de  $239.21 \mu\text{m} \pm 27.7 \mu\text{m}$  por lo que se clasifican como chicos; presenta pocos vasos, oscilando entre 1 a 9 vasos/ $\text{mm}^2$  con promedio de 5.2 vasos / $\text{mm}^2$ . El borde de los vasos es redondeado, la placa de perforación es simple; los vasos contienen gomas (Fig. 6; cuadro 6).

Punteaduras: las punteaduras intervasculares son alternas, poligonales y ornamentadas; son de diámetro pequeño y oscilan entre 4.22–7.67  $\mu\text{m}$  con un promedio de  $5.71 \mu\text{m} \pm 0.61 \mu\text{m}$ . Las punteaduras radiovasculares son similares a las intervasculares en forma y tamaño. No se observan engrosamientos helicoidales (Fig. 6; cuadro 6).

Fibras: son libriformes, presentan punteaduras simples a pequeñas, no tienen septos, sus paredes son delgadas a medianas, con espesor de 2.50–6.52  $\mu\text{m}$  y promedio de  $3.98 \mu\text{m} \pm 1.06 \mu\text{m}$ ; el lumen de las fibras es de 2.47–15.99  $\mu\text{m}$  con un promedio de  $9.41 \mu\text{m} \pm 3.45 \mu\text{m}$  y de longitud media, oscilan entre 566.65–1,587.59  $\mu\text{m}$  con un promedio de  $1,100.45 \mu\text{m} \pm 291.61 \mu\text{m}$  (Fig. 6; cuadro 6).

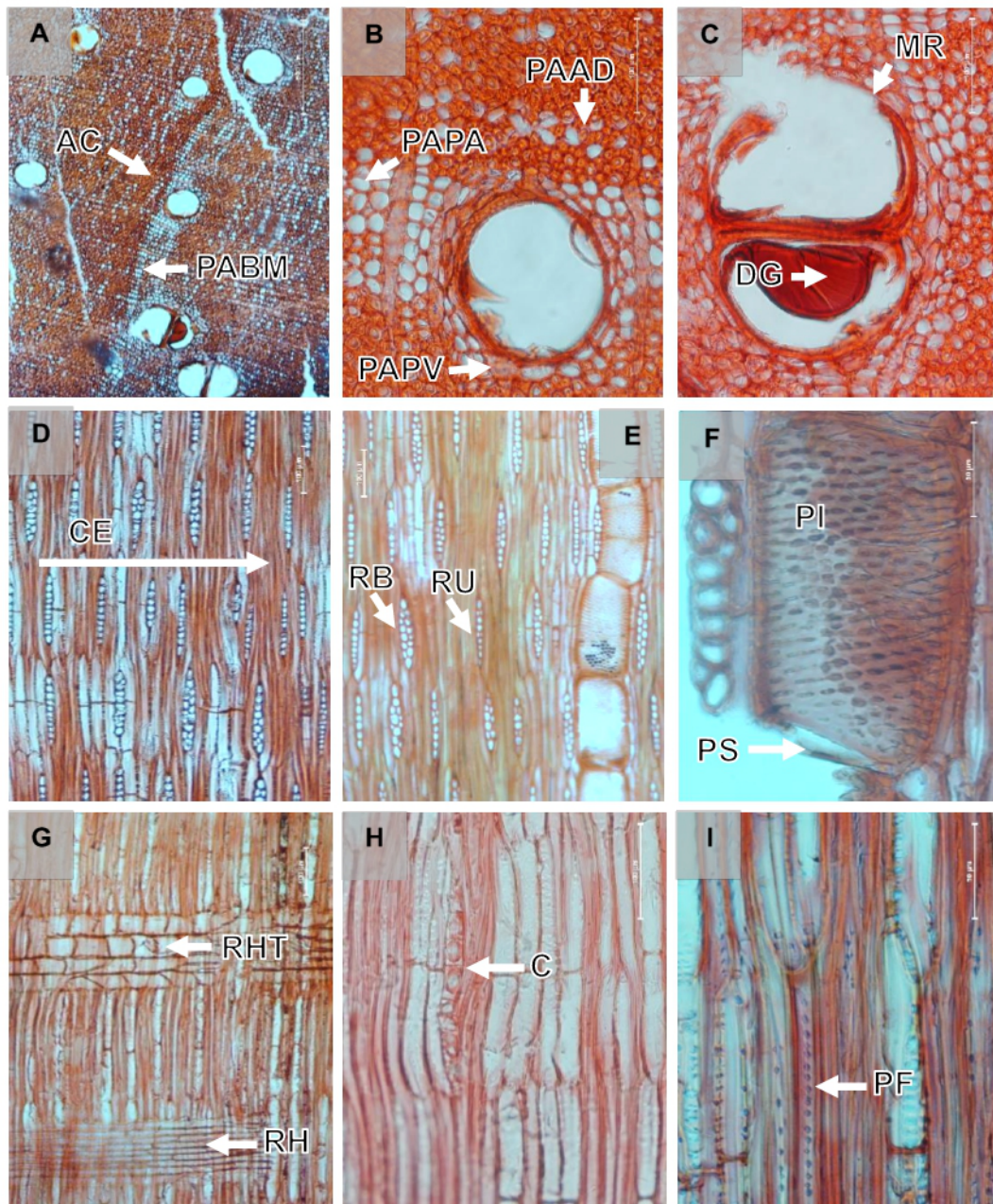
Parénquima axial: el parénquima axial apotraqueal es difuso y difuso en agregados, mientras que el parénquima paratraqueal es vasicéntrico, aliforme de ala fina y extendida y aliforme de ala corta y ancha y confluyente, también presenta

bandas de parénquima axial en bandas marginales o aparentemente marginales de hasta tres células de ancho. Las células del parénquima axial están constituidas por 2 a 3 células fusiformes (Fig. 6).

Parénquima radial: son biseriados y de hasta 3 células de ancho y se alternan entre radios uniseriados. Estos radios son homocelulares (todas procumbentes) y heterocelulares (procumbentes con una o dos células verticales o cuadradas 2 a 4. La altura es menor de 1 mm, van de 0.113–0.177 mm con un promedio de 0.148 mm  $\pm$  0.013 mm, por lo que se clasifican como bajos o chicos; presentan pocos radios por milímetro, la frecuencia es de 8 a 14 radios por milímetro lineal con un valor medio de 10.9 radios/mm lineal  $\pm$  1.59 radios/mm lineal (Fig. 6; cuadro 6).

Células estratificadas: el parénquima axial y radial, las fibras y los elementos del vaso se encuentran estratificados (Fig. 6).

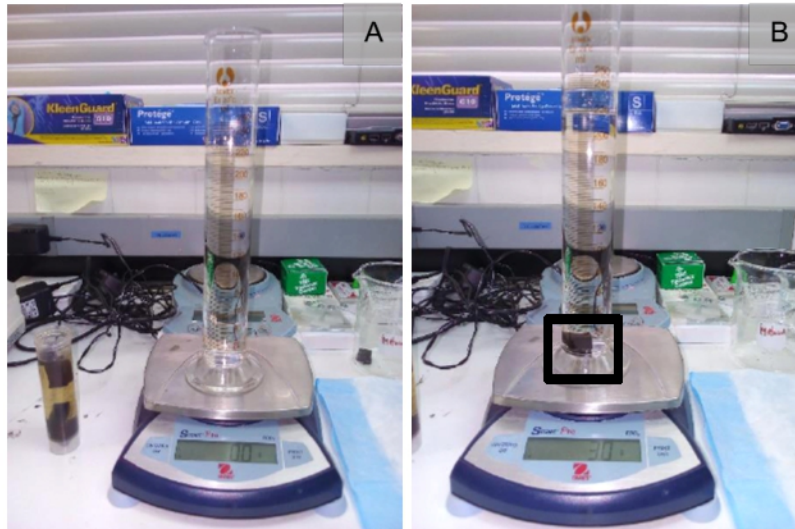
Inclusiones minerales: el parénquima axial posee cristales prismáticos posicionados uno a uno por cámaras (Fig. 6; características compiladas en el cuadro 9).



**Figura 6. Características diagnósticas observadas en la madera de la morfoespecie 2.** **A.** Formación indistinta de anillos de crecimiento (AC), parénquima axial en bandas marginales (PABM). **B.** Parénquima axial paratraqueal aliforme (PAPA), vasicéntrico (PAPV) y apotraqueal difuso (PAAD) y difuso en agregados. **C.** Vasos en múltiples radial (MR) y vasos con depósito de gomas (DG). **D.** Células estratificadas (CE). **E.** Radios biseriados (RB) y uniseriados (RU). **F.** Punteaduras intervasculares (PI) y placa de perforación simple del vaso (PS). **G.** Radios heterocelulares (RHT) y homocelulares (RH). **H.** Cristales (C). **I.** Fibras con punteaduras (PF).

#### 4.2 Densidad de las maderas estudiadas

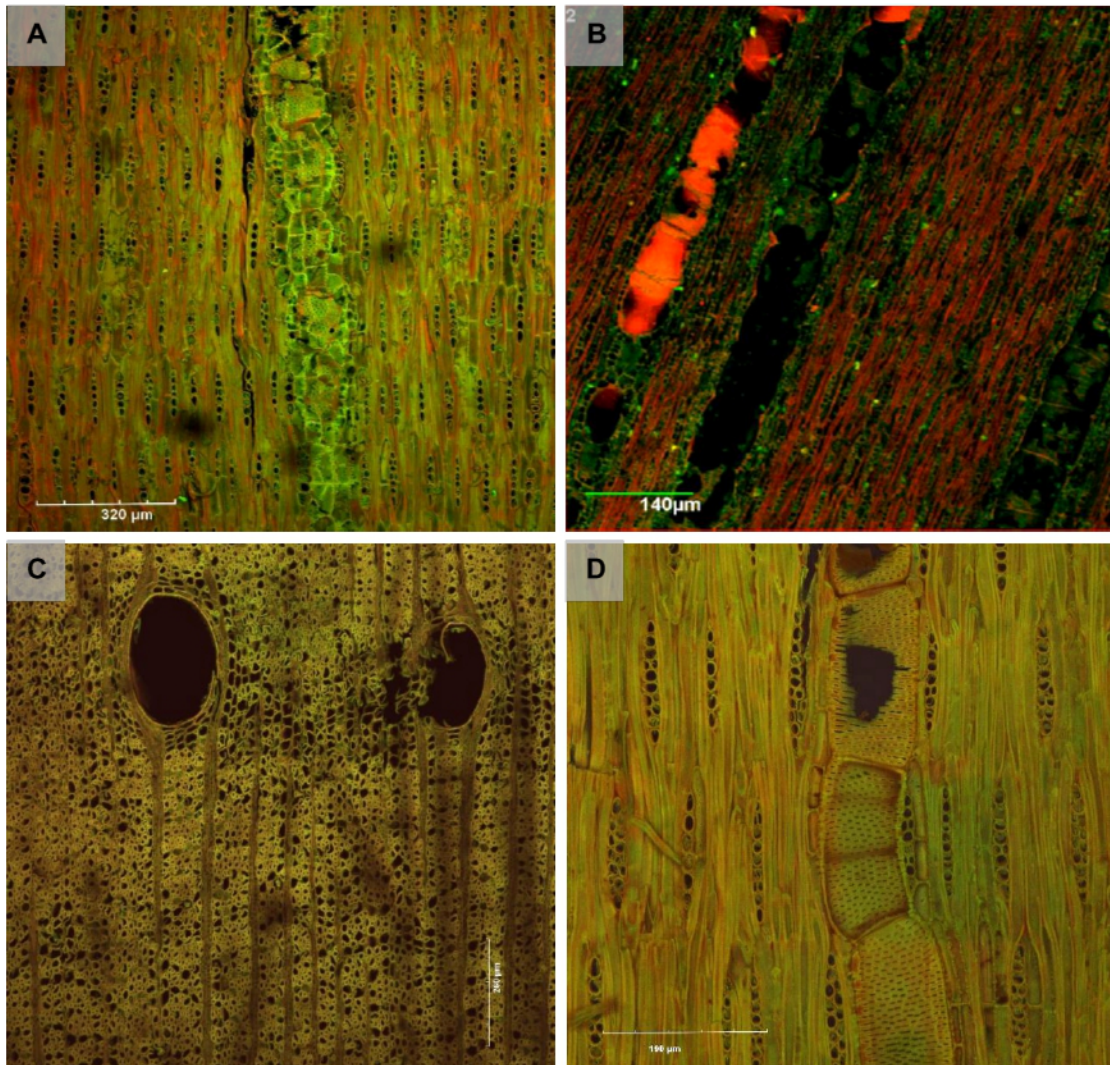
La gravedad básica de la madera del tronco central de *Dalbergia retusa* y la morfoespecie 1 y la rama de la morfoespecie 2 fue de 0.76 (alta), 0.59 (mediana) y 0.71 (mediana) g/cm<sup>3</sup>, respectivamente (Fig.7).



**Figura 7. Medida del volumen de las maderas para determinar la densidad.**  
A. Desde el inicio con las muestras saturadas, hasta el siguiente paso B. al introducir las maderas en el cilindro graduado.

#### 4.3 Presencia o ausencia de fluorescencia

Las tres maderas analizadas presentaron fluorescencia. La madera de *Dalbergia retusa* presentó los colores: rojo y verde. En la madera de la morfoespecie 1 se observaron los colores: rojo y verde. La madera de la morfoespecie 2 también presentó fluorescencia, en esta se aprecian los colores: rojo, un débil color verde y amarillo (Fig.8).



**Figura 8. Fluorescencia en las maderas analizadas. A-B. *Dalbergia retusa*. C. Morfoespecie 1. D. Morfoespecie 2.**

#### 4.4 Análisis estadísticos

**Cuadro 2.** Resultados del análisis de varianzas (ANOVA) para las variables analizadas.

Caracteres	Valor de p
Diámetro de punteaduras	* 0.00001
Diámetro tangencial de los vasos	* 0.002
Frecuencia de vasos por/mm <sup>2</sup>	* 0.001
Longitud de vasos	* 0.009
Longitud de fibras	* 0.0001
Lumen de fibras	0.226
Pared de fibras	* 0.0001
Frecuencia de radios/mm lineal	* 0.0001
Altura de radios	* 0.0001

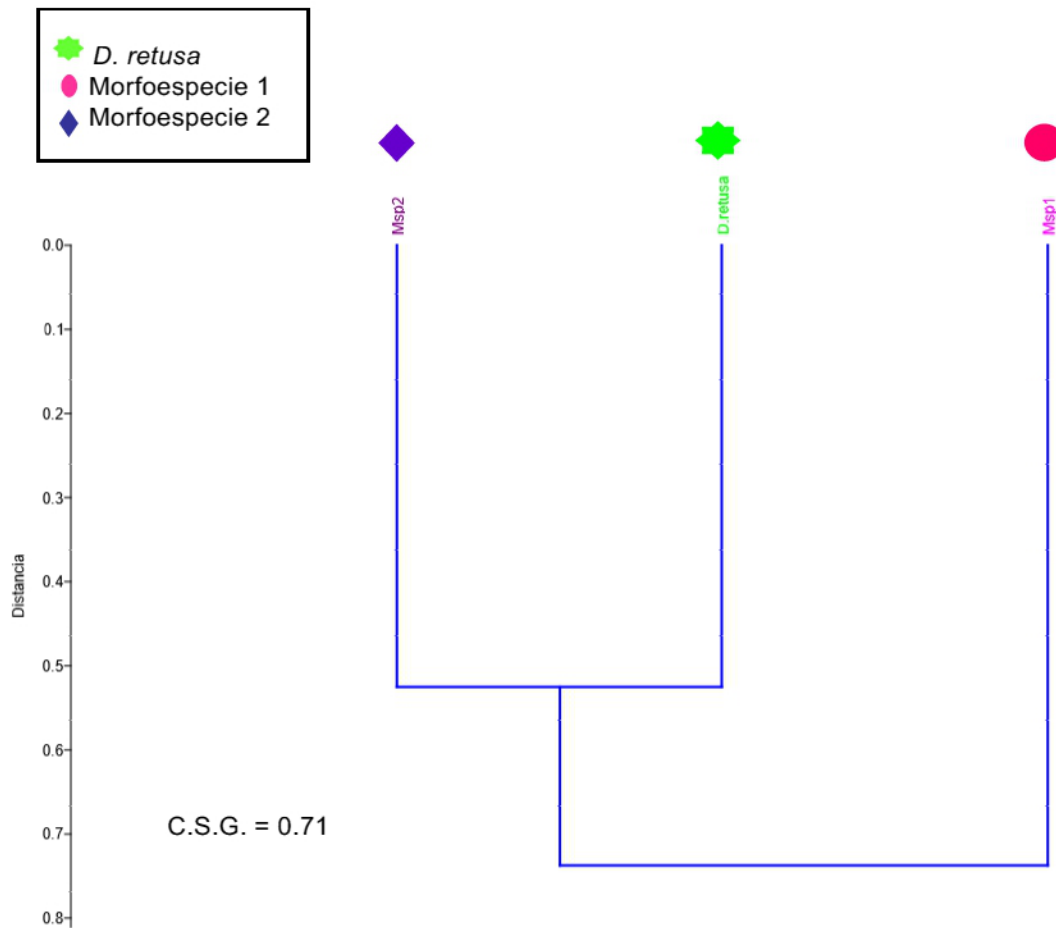
\*: resultados significativos

El valor del análisis de pruebas pareadas de Tukey para cada uno de los grupos de variables continuas analizadas son los siguientes adjuntados en el (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Resultado del análisis de pruebas pareadas de Tukey para las variables analizadas.

Grupos/ valor de p	Msp. 1 y Msp. 2	Msp. 1 y <i>D. retusa</i>	Msp. 2 y <i>D. retusa</i>
Diámetros de punteaduras	* 0.001	* 0.001	* 0.001
Diámetro tangencial de los vasos	* 0.002	* 0.023	0.689
Frecuencia de vasos por mm <sup>2</sup>	0.938	* 0.004	* 0.002
Longitud de vasos	* 0.008	0.980	* 0.012
Longitud de fibras	* 0.0001	* 0.0001	0.607
Lumen de fibras	0.477	0.211	0.855
Pared de fibras	0.652	* 0.0001	* 0.0001
Frecuencia de radios/mm lineal	0.113	* 0.0001	* 0.0001
Altura de radios	* 0.0001	0.314	* 0.004

Msp.: morfoespecie; \*: resultados significativos.



**Figura 9. Resultados del análisis de coeficiente de similitud de Gower.**

Msp.: morfoespecie. C.S.G.: coeficiente de similitud de Gower.

## V. DISCUSIÓN

### 5.1 Características diagnósticas de familia y subfamilia de las morfoespecies estudiadas

Los caracteres anatómicos de las maderas estudiadas denominadas “cocobolo” presentan características diagnósticas de la familia Fabaceae detalladas a continuación: anillos de crecimiento, porosidad difusa, perforaciones simples,

punteaduras ornamentadas; depósitos de gomas; fibras con punteaduras y sin septos; parénquima axial apotraqueal difuso y difuso en agregados, parénquima axial paratraqueal vasicéntrico, aliforme y de otras formas; radios de 1 a 3 células, los unicelulares varían de completamente homocelulares a heterocelulares; son estratificados los radios, el parénquima axial y las fibras; además contienen cristales prismáticos en el parénquima axial (Carlquist, 1998; Baas *et al.*, 2000; Gasson *et al.*, 2009).

La ornamentación en las punteaduras se ha originado unas pocas veces en dicotiledóneas leñosas, la aparición de esta característica es de considerable importancia sistemática, y las variaciones en la ornamentación también. En las Fabaceae, algunos géneros tienen punteaduras ornamentadas, mientras que otros no, por lo tanto, constituyen características distintivas excelentes desde el punto de vista de la sistemática de esta familia de plantas (Quirk & Miller, 1985; Carlquist, 1988).

Los distintos tipos de radios descritos por Kribs (1968) pueden ser de un solo tipo en algunas familias, mientras que dos o más tipos de radios pueden caracterizar otras familias. Un ejemplo de esta última tendencia sucede en la familia Fabaceae, en la que se producen los seis tipos de radios de Kribs. De ellos, los radios heterogéneos, homogéneos y uniseriados de las diversas clases se observaron en la madera de las morfoespecies 1 y 2.

En la lista elaborada por Record (1942a) sobre maderas americanas, se citan las familias que presentan anillos de crecimiento porosos y semi porosos en menor o gran proporción. Entre estas familias se encuentra la Fabaceae, la cual

presenta maderas con formación de anillos porosos y semi porosos en menor proporción; esta característica también fue observada en la madera de las morfoespecies 1 y 2.

La lista de Record (1919) ha servido de apoyo a los diversos autores que han clasificado familias con estructuras estratificadas. El mayor número de géneros descritos con estructuras estratificadas se encuentra en Asteraceae y Fabaceae. Según Carlquist (1966) la familia Fabaceae presenta estratificación en los elementos traqueales imperforados, fibras, parénquima axial, radios y elementos del radio.

Respecto a las características diagnósticas a nivel de subfamilia Bretta (1979) ha señalado que la presencia de parénquima axial en bandas es una característica poco común en la subfamilia Mimosoideae. En tanto que Pulido *et al.* (2011) sostiene que las características anatómicas determinantes en la madera de la subfamilia Caesalpinoideae son: la diferenciación de anillos de crecimiento, porosidad difusa, poros solitarios sin patrón de disposición, con contenidos gomosos y placas de perforación simple; punteaduras intervasculares areoladas, alternas y ornamentadas; fibras no septadas, con punteaduras simples o reborde reducido; parénquima paratraqueal; radios de 1 a 3 células de ancho, compuestos principalmente por células procumbentes.

Estas cualidades son muy similares a las características anatómicas de Papilionoideae, pero Höhn (1999), señala que uno de los caracteres que permite diferenciar Papilionoideae de las otras dos subfamilias del orden Fabales es la presencia de estructuras estratificadas. Aunque la subfamilia Papilionoideae se

caracteriza por poseer una estructura anatómica bastante homogénea (Espinoza & León, 2002), lo cual dificulta su identificación; los caracteres anatómicos cualitativos de las dos morfoespecies estudiadas coinciden con las características anatómicas del género *Dalbergia*; reportadas por Espinoza & León (2002).

Estas características son: porosidad difusa, con poros solitarios y múltiples radiales cortos, con depósitos de goma y sin patrón de disposición definido; punteaduras ornamentadas; fibras de paredes gruesas; parénquima paratraqueal y parénquima axial en bandas anchas; radios homocelulares de células procumbentes, 1 a 4 células de ancho, menores de 1 mm de altura; estructuras estratificadas presente; cristales prismáticos en células parenquimáticas radiales y/o axiales.

## **5.2 Características diagnósticas de género de las morfoespecies estudiadas**

Las morfoespecies 1 y 2 presentan parénquima paratraqueal aliforme, con alas laterales que se extienden tangencialmente como se aprecia en sección transversal (Fig. 12). El parénquima axial paratraqueal aliforme es común en leguminosas tropicales. En maderas que tienen parénquima paratraqueal aliforme, las transiciones a parénquima paratraqueal confluyente y vasicéntrico son comunes (Carlquist, 1988); tal como se observó en las maderas analizadas en este estudio. El parénquima paratraqueal confluyente es de un tipo de parénquima axial en el que los vasos solitarios y múltiples radiales se encuentran unidos por bandas tangenciales de parénquima. Las bandas de parénquima pueden ser

indefinidas en extensión, pero pueden continuar hacia vasos cercanos tangencialmente en sección transversal (Carlquist, 1988). El término confluyente implica interconexión; en muchos casos, la confluencia es transicional entre el parénquima aliforme y el parénquima en bandas que se extiende indefinidamente. Las instancias transicionales pueden denominarse aliforme confluyente; estas características han sido reportadas en especies del género *Dalbergia* (Jane, 1956).

Las morfoespecies 1 y 2 poseen estructuras anatómicas características de la madera del género *Dalbergia*. Presentando los siguientes caracteres, según las normas técnicas del Comité Internacional de Anatomía de maderas (IAWA) (IAWA Committee, 1989), descritas por Record & Garratt (1923), Richter *et al.* (1996), Gasson *et al.* (2010) y Espinoza *et al.* (2015): porosidad difusa, placa de perforación simple; punteaduras intervasculares alternas y ornamentadas, punteaduras radiovasculares similares a las punteaduras intervasculares en forma y tamaño; vasos con depósitos de goma; fibras no septadas, con punteaduras rebordeadas simples a pequeñas; parénquima axial apotraqueal difuso y difuso en agregados; composición radial homocelular y heterocelular, conformados por 1 a 3 células de ancho, radios estratificados; parénquima axial y/o elementos del vaso estratificados y presencia de cristales prismáticos.

### **5.3 Comparación de la madera de *Dalbergia retusa* con estudios previos**

Las cualidades generales como el color, aroma y la naturaleza pesada de la madera con densidad mayor de 0.76 g/cm<sup>3</sup> concuerdan con lo mencionado por

Kribs (1968), Richter *et al.* (1996) y Richter & Dallwitz (2000). La madera identificada como *Dalbergia retusa* Hemsl. presenta una coloración rojiza anaranjada tornándose muy oscura y aromática al secado, tal como ha sido descrita por Record & Garrat (1923); Gottwald (1958) y Richter *et al.* (1996).

La madera de *D. retusa* presenta anillos de crecimiento irregulares, visibles con dificultad y porosidad difusa; sus vasos son solitarios y comúnmente en múltiplos radiales de 2 a 4 vasos con una frecuencia promedio de 1.8 vasos/mm, coincidiendo con la descripción de Record & Garrat (1923), Richter & Dallwitz (2000) y Moya *et al.* (2013). Aunque Richter & Dallwitz (2000) reportan que los múltiplos radiales contienen 2 a 3 vasos por múltiplo y que pueden tener distintos tamaños, como también lo reportan Moya *et al.* (2013).

De acuerdo con el diámetro tangencial de los vasos, éstos son grandes, oscilan en un rango de 80-320  $\mu\text{m}$  coincidiendo con los reportes de Record & Garrat (1923), Richter & Dallwitz (2000) y Moya *et al.* (2013). La placa de perforación simple en los vasos ha sido reportada para todas las Leguminosae (Record & Garrat, 1923), conteniendo punteaduras intervasculares y radiovasculares alternas, similares en forma y tamaño. Al respecto, Record & Garrat (1923) mencionan que las punteaduras radiovasculares son ligeramente más grandes que las punteaduras intervasculares. Estas últimas, pueden ser redondeadas o poligonales, coincidiendo con Record & Garrat (1923); de tamaño medio (5-10  $\mu\text{m}$ ), aunque Moya *et al.* (2013) reportan que el diámetro de las punteaduras es menor (2.8  $\mu\text{m}$ ) o clasificando como pequeño. En los vasos es posible encontrar

depósitos de gomas y otras sustancias (Record & Garrat, 1923; Richter & Dallwitz, 2000; Moya *et al.*, 2013).

Las fibras de *Dalbergia retusa* son estratificadas y presentan paredes muy gruesas y punteaduras pequeñas; la longitud de las fibras es media, entre 900-1,6000  $\mu\text{m}$  como lo reporta Kribs (1968); el lumen de la fibra es de 3.22-18.90  $\mu\text{m}$  con un valor medio de 8.74  $\mu\text{m}$ ; valores cercanos a los resultados publicados por Moya *et al.* (2013), donde mencionan que el valor medio de la longitud y anchura del lumen de las fibras es 600  $\mu\text{m}$ ) y 19.2  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

Los radios unicelulares, algunos conformados por 2 a 3 células, se pueden presentar con una frecuencia de más de 12 radios/mm lineal; estos pueden ser homocelulares y heterocelulares, con una fila de células verticales; estratificados y sin cristales; estas características de los radios coinciden con los reportes de Record & Garrat (1923), Kribs (1968), Richter & Dallwitz (2000) y Moya *et al.* (2013) para *Dalbergia retusa*.

El parénquima axial apotraqueal es difuso y difuso en agregados, así como el parénquima axial en bandas marginales o aparentemente marginales (Record & Garrat, 1912; Kribs, 1968; Richter & Dallwitz, 2000; Moya *et al.*, 2013). El parénquima axial paratraqueal es escaso como reportan Moya *et al.* (2013) y vasicéntrico (Record & Garrat, 1923 y Moya *et al.*, 2013); las células del parénquima axial están conformadas principalmente por 2 células o escasamente 3-4 células, como lo describen Kribs (1968), Richter & Dallwitz (2000) y Moya *et al.* (2013); no presenta o presenta muy escaso parénquima paratraqueal confluyente como lo reporta Kribs (1968).

Las descripciones de Record & Garrat (1912), Kribs (1968), Richter & Dallwitz (2000) y Moya *et al.* (2013), mencionan diversos tipos de parénquima axial paratraqueal en la madera de *Dalbergia retusa*. El parénquima axial de las maderas denominadas “palo rosa” (nombre comercial con el que se conocen algunas especies de *Dalbergia* en el mercado internacional) es diverso. El énfasis en tipos particulares de parénquima axial, podrían llevar a pensar que una madera dada tiene característicamente un solo tipo de parénquima, sin embargo, algunas maderas presentan simultáneamente dos o tres tipos de parénquima axial (Carlquist, 1988). Otro aspecto por considerar es la variabilidad de los tipos de parénquima dentro de una especie. Lo cual sugiere el cuidado que se debe tener al clasificar los tipos de parénquima como caracteres taxonómicos si se dispone de cantidades limitadas de muestras (Carlquist, 1988).

Como se mencionó anteriormente, las estructuras de los elementos de los vasos, radios, el parénquima axial y las fibras se encuentran estratificadas en la madera reconocida como *Dalbergia retusa*; tanto en este estudio como en reportes anteriores. También se observaron inclusiones minerales de cristales prismáticos, localizados uno a uno dentro de cámaras en el parénquima axial (Record & Garrat, 1912; Kribs, 1968; Richter & Dallwitz, 2000 y Moya *et al.*, 2013) (Cuadro 7).

**Cuadro 4.** Comparación anatómica de las características de la madera de *Dalbergia retusa* con las descripciones realizadas en estudios previos.

<b>Caracteres anatómico</b>	<b>Muestra estudiada</b>	<b>IAWA</b>	<b>(Record &amp; Garrat, 1923)</b>	<b>(Moya et al., 2013)</b>
Anillos de crecimiento	Distintivos e indistinto	Distintivos e indistinto	Indistinto o ausente	Distintivos e indistinto
Porosidad	Difusa	Difusa	Difusa	Difusa
Vasos	Solitarios y en múltiplos de 2 a 4	-	Solitarios y en pequeños grupos radiales	Solitarios y en múltiplos; distintos tamaños
Placa de perforación	Simple	Simple	Simple	Simple
Punteaduras intervasculares	Alternas, poligonales y ornamentadas	Alternas, poligonales y ornamentadas	Alternas, poligonales y ornamentadas	Alternas y ornamentadas
Punteaduras radiovasculares	SPI	SPI	SPI	SPI
Gomas	Presente	Presente	Presente	Presente
Fibras	NS, FPA	NS, FPA	NS, FPA	NS, FPA
Parénquima axial apotraqueal	D, DA	D, DA	D, DA	D, DA
Parénquima axial paratraqueal	E, VC, BM	VC, CN, AL, BE, RT, BM	VC, BM	E, VC, BM, BTC
Composición de radios	Uniseriados, 1 a 3 células	Uniseriados, 1 a 3 células	Uniseriados, 1 a 3 células	1 a 3 células
Composición celular de los radios	Homocelular, heterocelular	Homocelular, heterocelular	Homocelular, heterocelular	Homocelular, heterocelular
Estratificación celular	R, PA, F y EV	R, PA, F y EV	R, PA, F y EV	R, PA, F y EV
Inclusiones minerales	PA	PA	PA	PA

SPI: similares a las punteaduras intervasculares en forma y tamaño; NS: no septadas; FPA: fibras con punteaduras areoladas; D: difuso; DA: difuso en agregados; VC: vasicéntrico; E: escaso; CN: confluyente; AL: aliforme; BE: bandas estrechas o líneas de hasta tres células de ancho; BM: bandas marginales de tres células; RT: reticulado; BTC: bandas de tres células; R: radios; PA: parénquima axial; F: fibras; EV: elementos del vaso.

#### 5.4 Comparación anatómica de las tres maderas estudiadas.

Se han comparado y confirmado las características diagnósticas de la madera de *Dalbergia retusa* con las descripciones de Record & Garrat (1923), Kribs (1968), Richter & Dallwitz (2000) y Moya *et al.* (2013). En cuanto a las maderas denominadas “cocobolo”, las morfoespecies 1 y 2, difieren en características generales de *D. retusa*, tales como: color y aroma. En *D. retusa* se aprecia una coloración amarilla o naranja cuando joven que cambia a rojiza a chocolate o pardo oscuro en las maderas más viejas, con aroma distintivo, dulce y aromático. Por su parte, la madera de la morfoespecie 1 es de color rojizo a rosado claro y la morfoespecie 2 es de color rojizo, con tonalidades violetas y naranjas separadas por líneas y bandas concéntricas de color negro. Ninguna de las morfoespecies presenta aroma distintivo (Fig. 1 y 11).

Al comparar los caracteres microscópicos, se encontró que las tres maderas estudiadas presentan una formación de anillos de crecimiento distintivos a indistintos o ausentes como lo reporta Record (1942a) para el género *Dalbergia*. En el caso de las morfoespecies 1 y 2 se observó que el diámetro de las fibras disminuye en la zona próxima a la banda de parénquima axial marginal, tal como lo describe Espinoza *et al.* (2015) para el género *Dalbergia* (Fig. 11 y 12; cuadro 5).

Las tres maderas estudiadas presentan porosidad difusa, lo cual es común en el orden Fabales según Baas *et al.* (2000) y Gasson *et al.* (2010). Los vasos contienen depósitos de gomas, presentan bordes circulares, son grandes, con diámetro tangencial de 150 a 300  $\mu\text{m}$ , con un valor promedio de: 160.87  $\mu\text{m}$  para

*D. retusa*, 194.23  $\mu\text{m}$  para la morfoespecie 1 y 150.66  $\mu\text{m}$  para la morfoespecie 2, coincidiendo con la descripción dada por Espinoza *et al.* (2015) para *Dalbergia* (Fig. 11 y 12; cuadro 6). Los vasos son solitarios, siendo 66.6 %, 73.5 % y 57.69 % la proporción de esta característica para *D. retusa*, la morfoespecie 2 y la morfoespecie 3, respectivamente (Fig. 12; cuadro 5).

Los vasos de las maderas estudiadas forman múltiplos radiales, de 2 a 3 en la morfoespecie 1 y de 2 a 4 vasos en *D. retusa* y en la morfoespecie 2. Estos valores coinciden con las descripciones de Espinoza *et al.* (2015) y Espinoza & León (2002) sobre los caracteres generales del género *Dalbergia* y otras especies de la subfamilia Papilionoideae. En cuanto a la frecuencia de vasos, la madera de *D. retusa* presenta menos de 2 vasos por  $\text{mm}^2$  como lo reportan Espinoza *et al.* (2015), pero en este estudio las morfoespecies 1 y 2 presentan valores de 4.9 vasos/ $\text{mm}^2$  y 5.2 vasos/ $\text{mm}^2$ , respectivamente, los cuales están por encima del valor estimado.

Estadísticamente, la frecuencia de vasos por milímetro cuadrado de las morfoespecies 1 y 2 son significativamente distintas a la frecuencia de vasos en *D. retusa*. (Fig. 12 y 14). Los elementos de los vasos de las tres maderas estudiadas son cortos ya que son ( $\leq 350 \mu\text{m}$ ), oscilan entre 150-300  $\mu\text{m}$ , siendo sus valores promedio: 237.43  $\mu\text{m}$ , 260.91  $\mu\text{m}$  y 239.21  $\mu\text{m}$  para *D. retusa* y las morfoespecies 1 y 2, respectivamente; por lo que presentan diferencia significativa (Fig. 11, 12 y 15; cuadro 5).

Según Zimmermann & Jeje (1981) los vasos más largos están generalmente correlacionados con vasos de mayor diámetro. Los vasos tienden a ser más largos en las raíces, seguido del tallo y más cortos en las ramas (Zimmermann & Potter, 1982). La placa de perforación de los vasos es simple, como ha sido reportado para todas las Leguminosae (Record & Garrat, 1923) (Fig. 12).

Las punteaduras intervasculares son alternas, ornamentadas y las punteaduras radiovasculares son similares a las intervasculares en forma y tamaño como indican Baas *et al.* (2000), Gasson *et al.* (2010) y Espinoza *et al.* (2015) (Cuadro 8). Según Espinoza *et al.* (2015), en *Dalbergia* el valor medio del diámetro de las punteaduras puede ser de 10 a 12  $\mu\text{m}$ . El valor promedio en las maderas estudiadas está por debajo de este rango, siendo: 7.93  $\mu\text{m}$ , 4.46  $\mu\text{m}$  y 5.71  $\mu\text{m}$  para *D. retusa*, la morfoespecie 1 y la morfoespecie 2, respectivamente (Fig. 12 y 16; cuadro 6).

Las fibras presentan punteaduras areoladas, son libriformes y no están septadas, coincidiendo con los reportes de Baas *et al.* (2000), Gasson *et al.* (2010), Moya *et al.* (2013) y Espinoza *et al.* (2015). Las punteaduras son cavidades en la pared de la célula, ausentes de deposición de pared secundaria. Las punteaduras vecinas usualmente se ubican de forma opuesta una de otra para crear una conexión o túnel por donde fluye el transporte simplástico (cuando las células están vivas); este carácter potencialmente podría tener un rol funcional y es de mucho valor taxonómico en la identificación de maderas (IAWA, 1989) (Fig. 10; cuadro 5).

Con respecto a las fibras, el valor medio de su longitud varía entre 900 a 1, 300  $\mu\text{m}$  según Espinoza *et al.* (2015). En las maderas analizadas, las fibras son medianas y presentan una longitud promedio de 1, 159.69  $\mu\text{m}$ , 1, 439.75  $\mu\text{m}$  y 1, 100.45  $\mu\text{m}$  en *D. retusa*, la morfoespecie 1 y la morfoespecie 2, respectivamente (Fig. 10 y 21; cuadro 6). El diámetro de la pared de las fibras estudiadas es de: 6.02  $\mu\text{m}$ , 3.95  $\mu\text{m}$  y 3.98  $\mu\text{m}$  en *D. retusa*, la morfoespecie 1 y la morfoespecie 2, respectivamente; siendo muy gruesas para *D. retusa* y de delgadas a gruesas para las morfoespecies 1 y 2 (Fig. 10 y 20). Aunque estadísticamente no hay diferencia significativa en la anchura del lumen de las fibras estudiadas, los valores obtenidos fueron: 8.74  $\mu\text{m}$  en *D. retusa*, 10.56  $\mu\text{m}$  en la morfoespecie 1 y 9.41  $\mu\text{m}$  en la morfoespecie 2 (Fig. 10, 19 y 21).

Según estudios realizados por Martínez *et al.* (2009), la proporción del lumen de las fibras esta inversamente asociada con la temperatura y positivamente asociada con la precipitación; en tanto que la proporción de la pared de las fibras disminuye ligeramente en sitios con mayor precipitación como la que se registra en la región de procedencia de las morfoespecies 1 y 2. En el caso de *Dalbergia retusa* las paredes son muy gruesas, respondiendo a que esta especie tiene buenas habilidades para crecer en sitios de sequía y estrés nutricional (Hall & Ashton, 2016) (Fig. 10).

Las características de las especies del orden Fabales y específicamente las especies del género *Dalbergia* descritas por Espinoza & León (2002), Baas *et al.* (2000), Gasson *et al.* (2010), Espinoza *et al.* (2015) y Ravaomanalina *et al.* (2017), coinciden con las maderas de *D. retusa*, la morfoespecie 1 y la morfoespecie 2 en

el tipo de parénquima axial apotraqueal difuso y difuso en agregados. Sin embargo, las tres maderas estudiadas también presentan distintos tipos de parénquima axial paratraqueal.

En *D. retusa* se observó parénquima axial paratraqueal escaso, vasicéntrico y en bandas marginales; en la morfoespecie 1 se observó el parénquima axial paratraqueal vasicéntrico, aliforme de ala fina y extendida, confluyente y parénquima axial en bandas marginales. En la morfoespecie 2 se observó parénquima axial paratraqueal vasicéntrico, aliforme de ala fina y extendida y aliforme de ala corta y ancha, confluyente; así como parénquima axial en bandas marginales. Cualitativamente, los distintos tipos de parénquima axial paratraqueal de las morfoespecies 1 y 2 son quizá los caracteres más variables entre las tres maderas analizadas; diferenciándose de *D. retusa* ya que presentan abundante parénquima axial paratraqueal vasicéntrico, aliforme, confluyente y en bandas.

El parénquima axial paratraqueal en las tres maderas de este estudio, se encuentra conformado principalmente por 2 a 3 células, en las cuales se observan cristales prismáticos organizados individualmente dentro de espacios o cámaras (Fig. 12) (Record & Garrat, 1912; Kribs, 1968; Richter *et al.*, 1996; Richter & Dallwitz, 2000; Gasson *et al.*, 2010; Moya *et al.*, 2013; Espinoza *et al.*, 2015).

El parénquima axial que predomina en *D. retusa* es el parénquima apotraqueal difuso y difuso en agregados; en tanto que en la morfoespecie 1 predomina el parénquima paratraqueal vasicéntrico y el parénquima apotraqueal difuso en agregados; por su parte, en la morfoespecie 2 predomina el parénquima axial

paratraqueal vasicéntrico y aliforme y el parénquima apotraqueal difuso en agregados (Fig. 12).

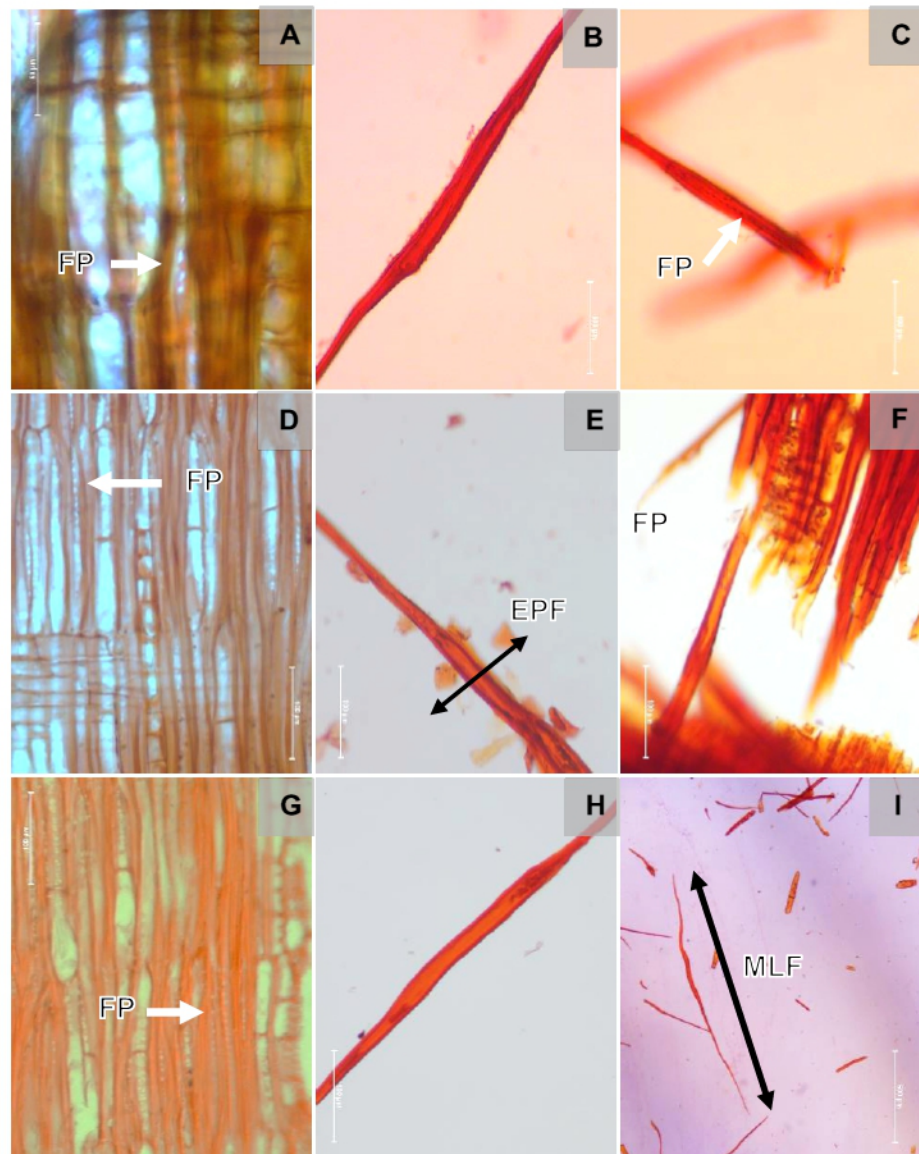
El parénquima axial paratraqueal aliforme y sus variantes (aliforme-extendido y tipo rombo) y confluyente, observados en las morfoespecies 1 y 2, podría deberse a que el parénquima axial aliforme es común en ciertas leguminosas tropicales. En maderas que presentan parénquima aliforme, las transiciones a parénquima paratraqueal confluyente y vasicéntrico son comunes (Carlquist, 1988) (Fig. 12).

Según Espinoza & León (2002), Baas *et al.* (2000), Gasson *et al.* (2010), Espinoza *et al.* (2015) y Ravaomanalina *et al.* (2017), los radios de las maderas del orden Fabales y especies del género *Dalbergia* presentan radios homocelulares de células procumbentes y heterocelulares con 1 a 4 células verticales o cuadradas. Son uniseriados y ocasionalmente biseriados, conformados por 1 a 3 células; la altura de estos varía de 0.11 a 0.3 mm. En esta investigación, los radios de *D. retusa* son principalmente uniseriados y algunos están conformados de 1 a 3 células de ancho; pueden ser homocelulares y heterocelulares. La altura promedio de estos es de 0.135 mm y es posible encontrar hasta 18.3 radios/mm lineal (Fig. 12).

Los radios de la morfoespecie 1 son principalmente biseriados y algunos están conformados de 1 hasta 3 células; son homocelulares y heterocelulares con 2 a 4 filas de células marginales verticales o cuadradas. La altura promedio de estos radios es de 0.122 mm y es posible hallar 12.3 radios/mm lineal. Por su parte, los radios de la morfoespecie 2 son principalmente biseriados y se alternan con radios uniseriados; son homocelulares y heterocelulares (con 2 a 4 filas de células

marginales verticales o cuadradas). La altura promedio de estos radios es de 0.148 mm y es posible hallar 10.9 radios/mm lineal (Fig. 12, 17 y 18).

Los radios, el parénquima axial, los elementos del vaso y las fibras se encuentran estratificados como reportan Espinoza & León (2002), Baas *et al.* (2000) y Gasson *et al.* (2010) (Fig. 12; cuadro 8 y 9).



**Figura 10. Características de las fibras de las maderas analizadas. A-C. *Dalbergia retusa*. D-F. Morfoespecie 1. G-I. Morfoespecie 2. Fibras libriformes, con punteaduras areoladas (FP). Medida de la longitud de las fibras (MLF) y espesor de pared (EPF).**

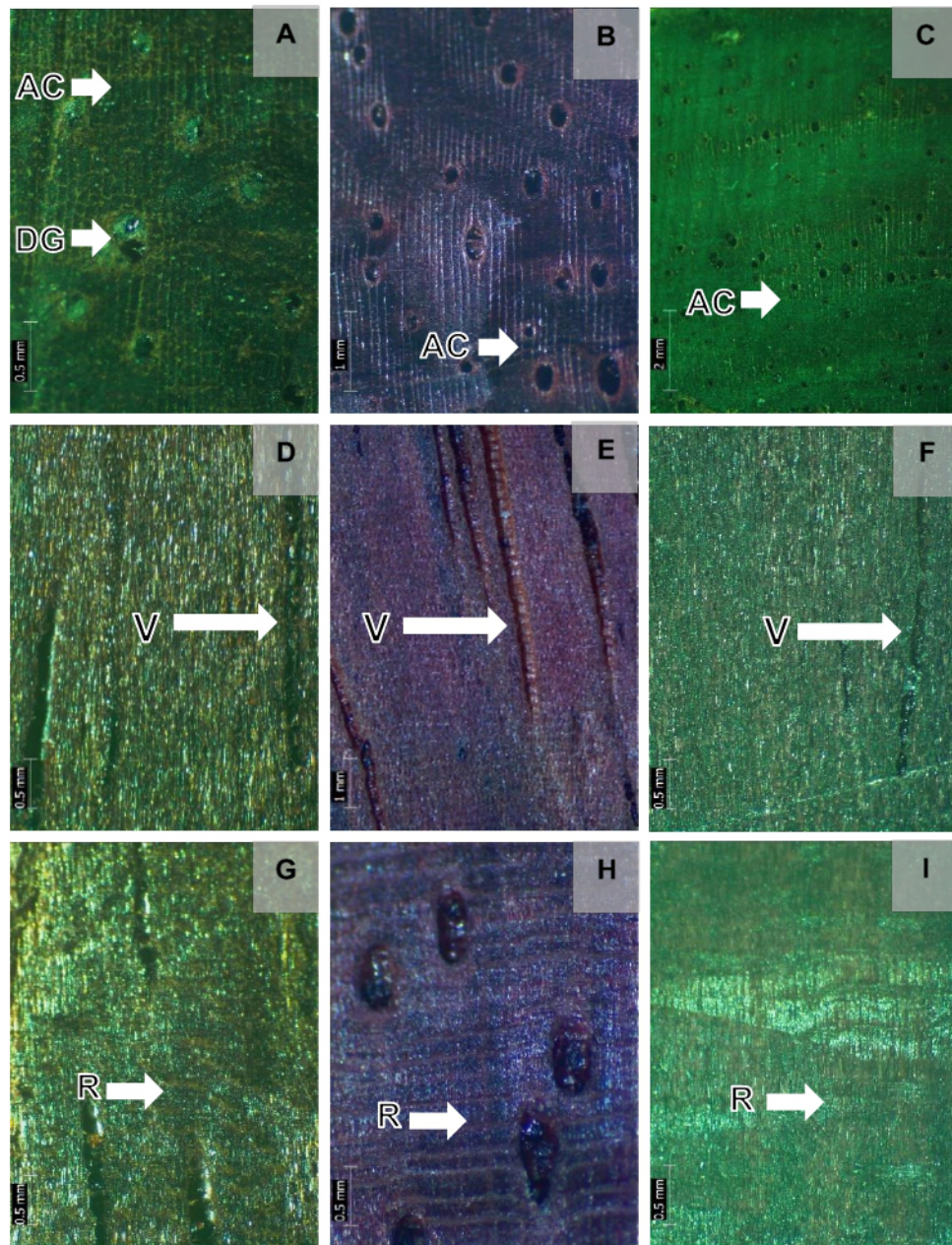
**Cuadro 5.** Comparación anatómica de las características de las tres maderas estudiadas.

<b>Caracter anatómico</b>	<i>Dalbergia retusa</i>	Morfoespecie 1	Morfoespecie 2
Anillo de crecimiento	Distintivos e indistinto	Distintivos e indistinto	Distintivos e indistinto
Porosidad	Difusa	Difusa	Difusa
Vasos	Solitarios y en múltiplos de 2 a 4	Solitarios y en múltiplos de 2 a 3	Solitarios y en múltiplos de 2 a 3
Placa de perforación	Simple	Simple	Simple
Punteaduras intervasculares	Alternas, poligonales y ornamentadas	Alternas, poligonales y ornamentadas	Alternas, poligonales y ornamentadas
Punteaduras radiovasculares	Similares a las intervasculares en forma y tamaño	Similares a las intervasculares en forma y tamaño	Similares a las intervasculares en forma y tamaño
Gomas	Presente	Presente	Presente
Fibras	No septadas, punteaduras areoladas; paredes muy gruesas	No septadas, punteaduras areoladas; paredes delgadas a gruesas	No septadas, punteaduras areoladas; paredes delgadas a gruesas
Parénquima axial apotraqueal	Difuso y difuso en agregados	Difuso y difuso en agregados	Difuso y difuso en agregados
Parénquima axial paratraqueal	Escaso, vasicéntrico; bandas marginales	Vasicéntrico, aliforme de ala fina y extendida, confluyente; en bandas marginales	Vasicéntrico, aliforme de ala fina y extendida y de ala corta y ancha, confluyente; en bandas marginales
Parénquima radial	Uniseriados, 1 a 3 células	Biseriados, 1 a 3 células	Biseriados alternando con uniseriados
Composición celular de los radios	Todas procumbentes, una fila de células verticales	Todas procumbentes, una fila y 2 a 4 filas de células verticales	Todas procumbentes, una fila y 2 a 4 filas de células verticales
Estratificación celular	Radios, parénquima, elementos del vaso y fibras	Radios, parénquima, elementos del vaso y fibras	Radios, parénquima, elementos del vaso y fibras
Inclusiones minerales	Parénquima axial	Parénquima axial	Parénquima axial
Densidad	0.76 g/cm <sup>3</sup>	0.59 g/cm <sup>3</sup>	0.71 g/cm <sup>3</sup>

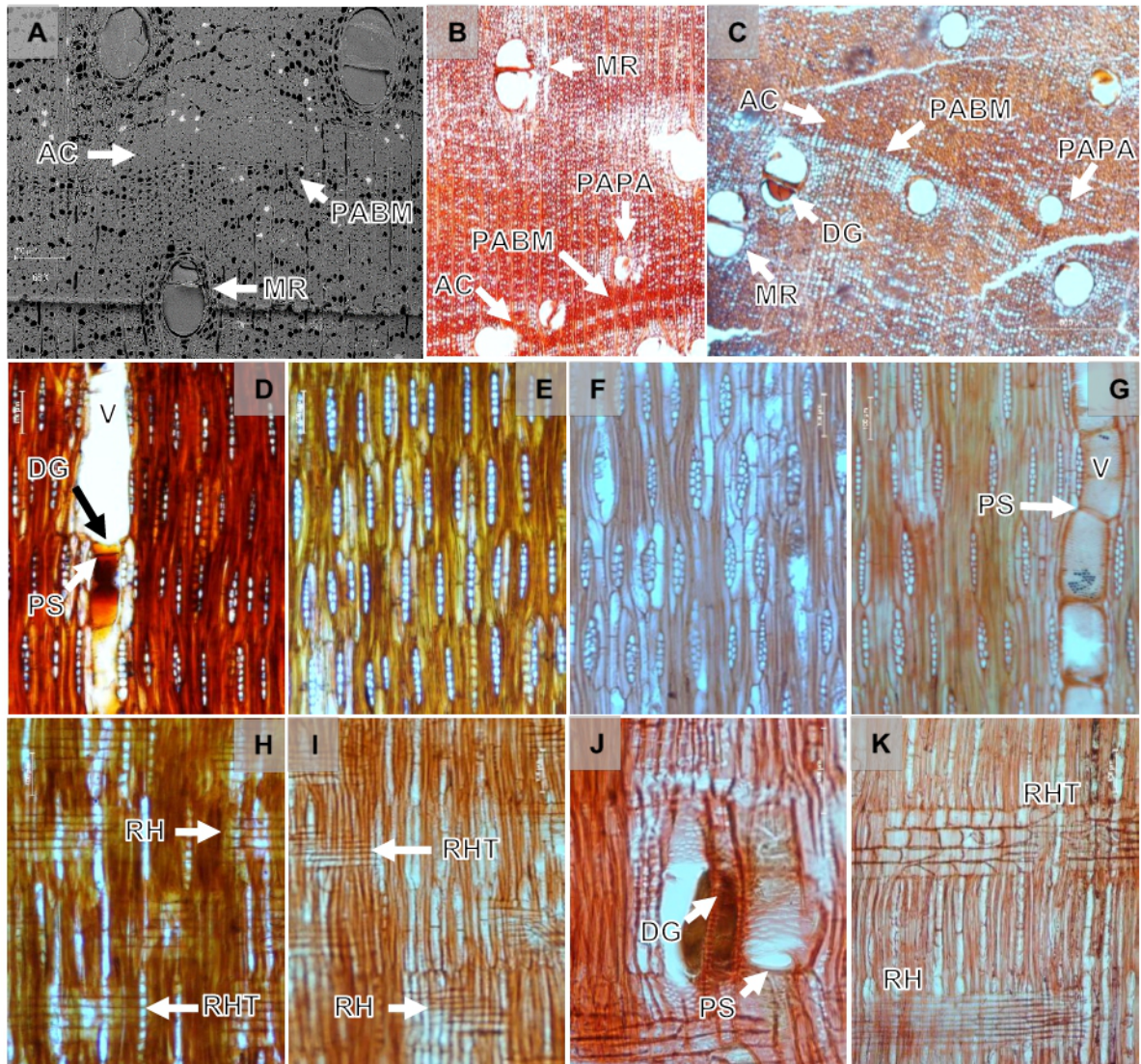
**Cuadro 6.** Características cuantitativas de las maderas estudiadas.

		Vasos		Punt.	Radios		Fibras			
		Frecu. (v/mm <sup>2</sup> )	Diámetro (μm)	Long. (μm)	Diám. (μm)	Altura (mm)	Frecu. (r/mm)	Diám. lumen (μm)	Diám. pared (μm)	Long. (μm)
<i>Dalbergia retusa</i>	Media	1.8	160.87	237.43	7.93	0.135	18.3	8.74	6.02	1,159.69
	Desviación estándar	1.033	32.68	36.59	1.48	0.014	1.06	3.46	1.57	143.46
	Mínimo	1	84.73	132.21	5.27	0.108	17	3.22	3.37	795.91
	Máximo	4	214.22	296.82	10.7	0.161	20	18.9	9.6	1,544.08
	Variación	3	129.49	164.61	5.43	0.15	3	15.68	6.23	748.17
	Clasificación	Pocos	Grandes	Cortos	Mediano	Chicos	Muchos	-	Grueso	Mediano
Morfoespecie 1	Media	4.9	194.23	260.91	4.46	0.122	12.3	10.56	3.95	1,439.75
	Desviación estándar	1.97	63.72	41.71	1.41	0.0198	1.77	5.14	0.86	310.74
	Mínimo	2	89	198.31	2.95	0.074	9	3.73	2.61	768.89
	Máximo	8	319	352.6	8.46	0.162	15	23.42	6.58	2,083.66
	Variación	6	230	154.28	5.51	0.087	6	19.69	3.97	1,314.77
	Clasificación	Pocos	Grandes	Cortos	Pequeño	Chicos	Muchos	-	Mediano	Mediano
Morfoespecie 2	Media	5.2	150.66	239.21	5.71	0.148	10.9	9.41	3.98	1,100.45
	Desviación estándar	2.57	42.23	27.7	0.61	0.0127	1.59	3.45	1.06	291.61
	Mínimo	1	50	184.8	4.22	0.113	8	2.47	2.5	566.65
	Máximo	9	240.03	306.96	7.67	0.177	14	15.99	6.52	1,587.59
	Variación	8	190.03	122.16	3.45	0.064	6	13.53	4.02	1,020.94
	Clasificación	Pocos	Grandes	Cortos	Pequeño	Chicos	Pocos	-	Mediano	Mediano

Frecu.: frecuencia; Diám.: diámetro; Long.: longitud; Punt.: punteaduras.



**Figura 11. Secciones: transversal, tangencial longitudinal y radial longitudinal de las tres maderas estudiadas. A, D, G. *Dalbergia retusa*. B, E, H. Morfoespecie 1. C, F, I. Morfoespecie 2. AC: anillo de crecimiento. DG: depósito de Gomas. V: vasos. R: radios.**



**Figura 12. Comparación de características anatómicas presentes en las maderas estudiadas. A, D, E, H.** Corresponden a *Dalbergia retusa*. **B, F, I, J.** Corresponden a la morfoespecie 1. **C, G, K.** Corresponden a la morfoespecie 2. Maderas con formación indistinta de anillos de crecimiento (AC), vasos (V) con depósito de gomas (DP), formando múltiples radiales (MR). Parénquima axial en bandas marginales (PABM), paratraqueal aliforme (PAPA). Placa de perforación simple (PS). Radios homocelulares (RH) y heterocelulares (RHT).

### **5.5 Densidad de las maderas estudiadas**

El valor de la densidad básica de la madera es una información de suma importancia, ya que este valor puede ser útil para separar especies de interés comercial de aquellas que no lo son (IAWA, 1989).

La densidad de un tipo particular de madera depende del tamaño, forma y arreglo de sus constituyentes celulares (Metcalf & Chalk, 1983). La diferencia de densidades entre especies se debe principalmente a la diferencia en la porosidad de la madera (Kollmann & Coté, 1968). Esta propiedad representa el peso seco de la madera por el volumen obtenido, aunque este no es un carácter descriptivo de la estructura de la madera, puede ser muy informativo ante la ausencia de detalles anatómicos; su valor es principalmente determinado por la fracción de madera ocupada por las paredes de las fibras (Ziemińska *et al.*, 2014).

Es muy probable que la diferencia de densidades contribuya a una discriminación entre especies, ya que la anatomía de la madera de la tribu Dalbergieae por si sola es similar a la del género *Dalbergia*, en especial en el corte tangencial (Gasson, 2011). Se ha demostrado que la densidad esta correlacionada positivamente con las propiedades hidráulicas y propiedades físico – mecánicas de las fibras (Garibaldi *et al.*, 1987; Fujiwara *et al.*, 1991; Jacobsen *et al.*, 2007; Martínez *et al.*, 2009), de las cuales se derivan sus recomendaciones de uso. En tanto, la baja densidad de las maderas esta correlacionada con mayor capacitancia (Meinzer *et al.*, 2003).

Según Martínez *et al.* (2009) y Ziemińska *et al.* (2014), en maderas con alta proporción de lumen en las fibras o elevada proporción de parénquima, como se

observó en la morfoespecie 1, la densidad es la más baja  $0.59 \text{ g/cm}^3$ , correspondiéndole la categoría de mediana densidad. En cambio, la densidad básica del tronco central de *Dalbergia retusa* fue la mayor  $0.76 \text{ g/cm}^3$ , correspondiéndole la categoría de muy alta densidad y es clasificada como alta. Los árboles que crecen en bajas altitudes y latitudes, con un alto déficit de humedad o en climas con una pronunciada estación seca tienen mayor densidad (Plumptre, 1984).

Aunque algunos autores difieren, entre especies, la densidad de la madera puede variar por factores ambientales como la temperatura y la precipitación (Barajas, 1987; Wiemann & Williamson, 2002; Swenson & Enquist, 2007; Martinez *et al.*, 2009). A pesar de este amplio patrón relacionado con el clima, la densidad de la madera también tiende a variar ampliamente entre especies que coexisten (Wiemann & Williamson, 2002; Muller, 2004). La densidad de la rama de la morfoespecie 2 fue  $0.71 \text{ g/cm}^3$ , correspondiéndole la categoría de mediana densidad, siendo esta la segunda densidad más alta entre las tres maderas analizadas; es probable que este valor sea mayor en la madera del tronco principal (Fig. 10; cuadro 4).

## **5.6 Fluorescencia**

Las tres maderas analizadas presentaron fluorescencia y la coloración fue la misma en todas, por lo que este carácter no contribuye a separar la madera de *Dalbergia retusa* y las morfoespecies estudiadas. Moya *et al.* (2013) realizaron pruebas de fluorescencia en la superficie de la madera de varias especies y

podieron separar solo seis especies de las 45 analizadas en su investigación, pero no reportan fluorescencia en la muestra de la madera de *Dalbergia retusa* analizada. Por su parte, Richter *et al.* (1996), observaron fluorescencia superficial débil en *Dalbergia retusa* en México, pero no en otras ocho especies del género. En otro estudio, Wiemann & Ruffinatto (2012) encontraron fluorescencia superficial en algunos especímenes de *Dalbergia stevensonii*, pero no en *Dalbergia tucurensis*.

### **5.7 Análisis estadísticos**

El análisis de varianzas (ANOVA) demostró que existe variación significativa entre las siguientes variables: diámetro de punteaduras, diámetro tangencial de vasos, longitud de vasos, radios por mm<sup>2</sup>, altura de radios, radios por mm lineal, pared de fibras y longitud de fibras, excepto por el lumen de las fibras. La madera de *D. retusa* presenta fibras con paredes muy gruesas, mientras que las paredes de las fibras de las morfoespecies 1 y 2 son medianas a muy gruesas como lo describen Espinoza *et al.* (2015) para el género *Dalbergia*. Pero también poseen alta proporción de lumen en las fibras; esto podría deberse a la fisiología de estas especies caducifolias y el posible rol funcional de las fibras cuando están vivas (Ziemińska *et al.*, 2014) (Fig. 10).

Basado en el resultado del análisis de pruebas pareadas de Tukey para comparar las medias, la morfoespecie 1 difiere significativamente de *D. retusa* en seis variables: diámetro de punteaduras, diámetro tangencial de los vasos,

frecuencia de vasos/mm<sup>2</sup>, longitud de fibras y frecuencia de radios/mm lineal, excepto por la longitud de los vasos, el lumen de las fibras y la altura de radios.

Por su parte, la morfoespecie 2 difiere significativamente de *D. retusa* en seis variables: diámetro de punteaduras, frecuencia de vasos/mm<sup>2</sup>, longitud de vasos, pared de fibras, frecuencia de radios/mm lineal y altura de radios, excepto en el diámetro tangencial de los vasos, longitud de fibras y lumen de fibras.

La morfoespecie 1 difiere significativamente de la morfoespecie 2 en cinco variables: diámetro de punteaduras, diámetro tangencial de vasos, longitud de vasos, longitud de fibras y altura de los radios, excepto en la frecuencia de vasos por mm<sup>2</sup>, lumen de fibras, pared de fibras y frecuencia de radios/mm lineal.

En general, los valores del diámetro tangencial de los vasos de las maderas estudiadas fueron significativamente distintos entre las morfoespecies 1 y 2 y *D. retusa*; esto podría deberse a la alta variación del diámetro tangencial de *D. retusa* y las dos morfoespecies. En las tres maderas estudiadas se observa variabilidad en el tamaño de los vasos, no obstante, es importante considerar que la madera de la morfoespecie 2 proviene de una rama y a ello podría atribuirse los valores inferiores de algunos caracteres. La altura de los radios es distinta entre las morfoespecies 1 y 2 así como en *D. retusa*, pero no hay diferencia significativa entre la morfoespecie 1 y *D. retusa*; coincidiendo con Espinosa *et al.* (2015), quienes reportan que los radios de todas las especies del género son chicos.

En el análisis de agrupación de Gower se forman dos grupos, en los que *D. retusa* y la morfoespecie 2 son más similares en un 70 % y se encuentran agrupadas. Mientras que la morfoespecie 1 se encuentra formando una nueva

división totalmente separada de *D. retusa* en un 100 %. El coeficiente de similitud de Gower fue de 0.71 por lo que hay una similitud media entre los tres individuos estudiados.

Con esta investigación se aspira a fomentar el conocimiento y la protección de las poblaciones de las especies de *Dalbergia* nativas. Aunque estas evidencias no son suficientes para aseverar que las morfoespecies 1 y 2 son taxones distintos, los resultados obtenidos sugieren que así podría ser. Esta conclusión coincide con el dictamen del especialista en Leguminosas, Nelson Zamora, quien luego de haber comparado el material botánico vegetativo de las morfoespecies 1 y 2, afirmó que estas son especímenes del género *Dalbergia* y podría tratarse de especies diferentes (comunicación personal).

Es posible que, con análisis fitoquímicos, fisicoquímicos, cromatográficos y genéticos, en conjunto con la comparación del material botánico de las morfoespecies 1 y 2 del género *Dalbergia*, estas puedan separarse como taxones distintos a la especie *Dalbergia retusa*.

## VI. CONCLUSIÓN

Las descripciones anatómicas de la madera identificada como *Dalbergia retusa* Hemsl. en la xiloteca del Laboratorio de Ecología y Maderas Tropicales del Instituto de Ciencias Ambientales y Biodiversidad (LABICAB-UP) de la Universidad de Panamá coinciden con las características de la especie reportadas en la literatura hasta la fecha por diversos autores.

Basado en los caracteres anatómicos observados y los análisis estadísticos descriptivos y cuantitativos realizados en las morfoespecies denominadas “cocobolo”, se confirma que estas maderas corresponden a la familia Fabaceae, subfamilia Papilionoideae y se sugiere que estas maderas también corresponden a individuos del género *Dalbergia*. No obstante, en base a los caracteres observados y las variables medidas se hallaron diferencias significativas entre la madera de las dos morfoespecies estudiadas entre sí y con *Dalbergia retusa*.

Las pruebas de fluorescencia realizadas no permitieron separar las maderas estudiadas. Sin embargo, los valores de densidad, muy alta en *Dalbergia retusa*, y mediana en las morfoespecies 1 y 2 es un carácter que ayudó a separar ambas maderas debido a las implicaciones de esta variable en las propiedades y uso de la madera.

## VII. RECOMENDACIONES

Continuar los estudios del diagnóstico anatómico de las especies del género *Dalbergia* reportadas en Panamá y las dos morfoespecies analizadas en este trabajo, así como la incorporación de análisis de alta tecnología que permitan discernir y esclarecer las causas de las similitudes y diferencias encontradas; pues podría tratarse de fenómenos de especiación local del género. Entre ellos, se sugiere incorporar estudios fitoquímicos, fisicoquímicos y cromatográficos de los especímenes estudiados.

## VIII. LITERATURA CITADA

ASTM (American Society for Testing and Materials). 1969. Standard method for testing small clear specimens of timber. Part 16. Designation D 143-52: 69-126.

Baas, P., Wheeler, E., & Chase, M. 2000. Dicotyledonous wood anatomy and the APG system of angiosperm classification. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 134(1-2): 3-17.

Barajas-Morales, J. 1987. Wood specific gravity in species from two tropical forests in Mexico. *IAWA Bulletin*, 8(2), 143–148.

Barragán-Huerta, B. E., Peralta-Cruz, J., González-Laredo, R. F., & Karchesy, J. 2004. Neocandenatone, an isoflavan-cinnamylphenol quinone

methide pigment from *Dalbergia congestiflora*. *Phytochemistry*, 65(7): 925-928.

Bernal, R. Gradstein, S., Celis, M. 2016. *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia*. Primera edición. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá). Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencias Naturales. 1497 pp.

Bretta-Kuipers, T. 1979. Wood anatomy of *Archidendron* F. v. Mueller, Mimosoideae, Leguminosae. *IAWA Bulletin*, 2(3): 47-50.

Carlquist, S. 1966. Wood anatomy of Compositae: a summary, with comments on factors controlling wood evolution. *Aliso*, 6(2): 25-44.

Carlquist, S. 1988. *Comparative wood anatomy: systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York. 435 pp.

Cervantes-Maldonado, A. 2016. La Conservación del granadillo en México: una carrera contra el tiempo. CONABIO. *Biodiversitas*, 128:6-11.

Chave, J. 2006. Medición de densidad de madera en árboles tropicales. Manual de campo. *Panamazonia*, 7.

Cites. 2009. *Cedrela, D., retusa, D., granadillo, & D. stevensonii*. The Plants Committee Shall.

- Cites, U. W. 2017. The Checklist of CITES Species Website. Appendices I, II and III valid from 04 April 2017. CITES Secretariat, Geneva, Switzerland. Compiled by UNEPWCMC, Cambridge, UK.
- COPANT (Comisión Panamericana de Normas Técnica, BR). 1973. Descripción macroscópica, microscópica y general de la madera. Sao Paulo. v.30, p 1-19. (Esquema 1).
- Correa, M.D., Galdames, C. & Stapf, M.S. 2004. *Catálogo de las plantas vasculares de Panamá*. Universidad de Panamá, Editora Novo Art. 599 pp.
- Croat, T. B. 1978. *Flora of Barro Colorado Island*. Stanford University Press.
- Espinoza, N. E., & León, W. J. 2002. Estudio Anatómico del leño de 56 especies. *Rev. Forest. Venezuela*, 46(1): 59-71.
- Espinoza, E. O., Wiemann, M. C., Barajas-Morales, J., Chavarria, G. D., & McClure, P. J. 2015. Forensic analysis of CITES-protected *Dalbergia* timber from the Americas. *Iawa Journal*, 36(3): 311-325.
- Friedman, J. H., & Meulman, J. J. 2004. Clustering objects on subsets of attributes (with discussion). *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 66(4):815-849.
- Fujiwara, S., Sameshima, K., Kuroda, K. & Takamura, N. 1991. Anatomy and properties of Japanese hardwoods. I. Variation of fibre dimensions and

- tissue proportions and their relation to basic density. *IAWA Journal*, 12(4): 419–24.
- Garibaldi, C., Melgarejo, K., González, G., Yau, N. 1987. Propiedades y usos de la madera de 15 especies forestales del Darién, Panamá. Serie técnica Vol. 1. Panamá, República de Panamá. 150-214.
- Garrett, L., McGough, H. N., Groves, M., & Clarke, G. 2010. *CITES & Timber. Ramin. Royal Botanic Gardens Kew, UK.*
- Gasson, P., Miller, R., Stekel, D. J., Whinder, F., & Ziemińska, K. 2010. Wood identification of *Dalbergia nigra* (CITES Appendix I) using quantitative wood anatomy, principal components analysis and naïve Bayes classification. *Annals of Botany*, 105(1): 45-56.
- Gasson, P. 2011. How precise can wood identification be? Wood anatomy's role in support of the legal timber trade, especially CITES. *IAWA Journal*, 32(2): 137-154.
- Gasson, P., Baas, P., & Wheeler, E. 2011. Wood anatomy of CITES-listed tree species. *IAWA Journal*, 32(2): 155-198.
- Gottald, H. 1958. *Handelsholzer*. Ferdinand Holzman Verlag, Hamburg.
- Gower, J. 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics*, 27:857-871.

- Gutiérrez, R. M. P., & Baez, E. G. 2013. Citotoxic activity of isoflavan-cinnamylphenols from *Dalbergia congestiflora* on HeLa cells. *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(40): 2992-2998.
- Gutiérrez-Zúñiga, C. G., Arriaga-Alba, M., Ordaz-Pichardo, C., Gutiérrez-Macías, P., & Barragán-Huerta, B. E. 2014. Stability in candy products of neocandenatone, a non-genotoxic purple pigment from *Dalbergia congestiflora* heartwood. *Food Research International*, 65: 263-271.
- Guzmán, J. S., Richter, H. G., Anda, R. R., & Talavera, F. F. 2008. Wood fluorescence of commercial timbers marketed in Mexico. *IAWA Journal*, 29(3): 311-322.
- Hall, J. S., & Ashton, M. 2016. *Guía de crecimiento y sobrevivencia temprana de 64 especies de árboles nativos de Panamá y el Neotrópico*. Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales. Panamá, Panamá. 171 pp.
- Hammel, B. E., M. H. Grayum, C. Herrera, and N. Zamora. 2010. Manual de Plantas de Costa Rica. Volumen V. *Dicotiledóneas (Clusiaceae–Gunneraceae)*. Missouri, Missouri Botanical Garden Press, US: St. Louis. 119:1-970.
- Heinrichs, J. F., & Lassen, L. E. 1970. Improved technique for determining the volume of irregularly shaped wood blocks. *Forest Products Journal*, 20: 4.

- Höhn, a. 1999. Wood anatomy of selected west african species of Caesalpinoideae and Mimosoideae (Leguminosae): a comparative study. *IAWA Journal* Journal, 20(2), 115-146.
- Holdridge, L. 1967. *Life Zone Ecology*. Rev. Ed., Tropical Science Center, San José, Costa Rica. Editorial IICA, San José, Costa Rica. 206 pp.
- Holdridge, L. R., & Poveda, A. 1975. *Árboles de Costa Rica: volumen I palmas, otras monocotiledóneas arbóreas y árboles con hojas compuestas o lobuladas*. Centro Científico Tropical. 546 pp.
- IAWA Committee. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Journal*, 10 (3): 219– 332 p.
- IBAMA (Instituto de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, BR). 1992. Normas e procedimentos em estudos de anatomía de madeira: angiospermas e gimnospermas. Brasília: Directoria de Incentivo á Pesquisa e Divulgacao. 17 pp. (Serie técnica, 15).
- Innes, J. L. 2010. Madagascar rosewood, illegal logging and the tropical timber trade. *Madagascar Conservation & Development*, 5(1).
- Jacobsen, A.L., R. Brandon Pratt, Ewers, F.W. & Davis, S.D. 2007. Cavitation resistance among 26 chaparral species of Southern California. *Ecological Monographs*, 77(1): 99–115.
- Jane, F. W. 1956. *The structure of wood*. Mcmillan, New York, vii + 427 pp.

- Jeffrey, E. C. 1917. *The anatomy of woody plants*. Chicago Ill, The University of Chicago Press. 478 p.
- Jenkins, A., Bridgland, N., Hembery, R., Malessa, U., Hewitt, J., & Hin Keong, C. 2012. Background paper 1: Precious woods: exploitation of the finest timber. In: *Chatham House Workshop: Tackling the trade in illegal precious woods* (Vol. 23, p. 24).
- Kite, G. C., Green, P. W., Veitch, N. C., Groves, M. C., Gasson, P. E., & Simmonds, M. S. 2010. Dalnigrin, a neoflavonoid marker for the identification of Brazilian rosewood (*Dalbergia nigra*) in CITES enforcement. *Phytochemistry*, 71(10): 1122-1131.
- Kollmann, F.F. & Coté W. A. 1968. Principles of wood science and technology. I. *Solid wood*. Springer, New York.
- Kribs, D. A. 1968. *Commercial foreign woods on the American market*. Dover Publications, New York. 241 pp.
- Lancaster, C., & Espinoza, E. 2012. Analysis of select *Dalbergia* and trade timber using direct analysis in real time and time-of-flight mass spectrometry for CITES enforcement. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 26(9): 1147-1156.
- Lewis, G. P. 2005. *Legumes of the World*. Royal Botanic Gardens Kew: Royal Botanic Gardens; 592 pp.

- Linares, J., & Sousa, M. 2007. Nuevas especies de *Dalbergia* (Leguminosae: Papilionoideae: Dalbergieae) en México y Centroamérica. *Ceiba*, 48(1-2): 61-82.
- Linnaeus, C., & von Linné, C. 1781. *Supplementum plantarum Systematis vegetabilium, editionis decimæ tertiae, Generum plantarum editionis sextæ, et Specierum plantarum editionis secundæ*. impensis Orphanotrophei.
- Martin, C. 1984. Tropical timbers of the world. *Agriculture handbook (USA)*. no. 607.
- Martínez-Cabrera, H.I., Jones, C.S., Espino, S. & Schenk, H.J. 2009. Wood anatomy and wood density in shrubs: responses to varying aridity along transcontinental transects. *American Journal of Botany*, 96(8): 1388–1398.
- Meinzer, F.C., James, S.A., Goldstein, G. & Woodruff, D. 2003. Whole-tree water transport scales with sapwood capacitance in tropical forest canopy trees. *Plant, Cell & Environment*, 26(7):1147–1155.
- Metcalf, C. R. & Chalk, L. 1983. *Anatomy of the Dicotyledons II*. Wood structure and conclusions. Oxford: The Clarendon Press.
- Miller, R. B., & Wiemann, M. C. 2006. *Separation of Dalbergia nigra from Dalbergia spruceana*. Madison, WI. US Department of Agriculture, Research paper FPL-RP-632. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, USA.

- Ministerio de Ambiente. 2018. *Estrategia y Plan de Acción Nacional de Biodiversidad 2018-2050 de Panamá*. Panamá, Ciudad de Panamá. 136 pp.
- Moya, R., Wiemann, M. C., & Olivares, C. 2013. Identification of endangered or threatened Costa Rican tree species by wood anatomy and fluorescence activity. *Revista de biología tropical*, 61(3): 1113-1156.
- Muller-Landau, H.C. 2004. Interspecific and inter-site variation in wood specific gravity of tropical trees. *Biotropica*, 36, 20–32.
- Munsell Soil Color Charts. 2000. Munsell Soil Color Charts, Revised Washable Edition. New Windsor, New York.
- Parker, T. 2008. *Trees of Guatemala* (No. CG/582.16097281 P3).
- Peña, C. 2011. Plan de Manejo Forestal Sostenible de la Comunidad de Nuevo Vigía Tuqueza, Comarca Emberá-Waunaan, Región de Darién-Panamá. (pp. 7-8). Panamá, República de Panamá.
- Pigozzo, R. J.B., R.D. Humphreys & G.C.T. Ceccantini. 2010. Use of near infrared spectroscopy (NIR) to identify *Dalbergia nigra*. Abstract in Final program, IAWS/IAWA/IUFRO Conference, University of Wisconsin, Madison, USA, June.
- Plumptre, R. A. 1984. *Pinus caribaea* volume 2: Wood properties, 17. Commonwealth Forestry Institute, University of Oxford.

- Pulido Rodríguez, E. N., Mateus, D., & Lozano, D. 2011. Xylem anatomy of the Caesalpinaceae registered in wood collection of the Universidad Distrital Francisco José de Caldas. *Colombia Forestal*, 14(2): 145-173.
- Quiñones, J. R., Windeisen, E., & Schumacher, P. 1995. Anti fungal activity of heartwood extracts from *Dalbergia granadillo* and *Enterolobium cyclocarpum*. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 53(5): 308-308.
- Quirk, J., Miller, R. 1985. Vestured pits in the tribe Cassieae Bronn (Leguminosae). *IAWA Journal*, 6(3):200-212.
- Ravaomanalina, B. H., Crivellaro, A., & Schweingruber, F. H. 2017. *Stem Anatomy of Dalbergia and Diospyros Species from Madagascar: With a Special Focus on Wood Identification*. Springer.
- Record, Samuel J. and George A. Garratt. 1923. 'Cocobolo'. *Yale University School of Forestry Bulletin*, Series 18, 8: 5-43.
- Record, S. J. 1919. Storied or tier-like structure of certain dicotyledonous woods. *Bulletin of the Torrey Bot Club*, 46(7):253-273.
- Record, S. 1942 a. Keys to american woods. I. Ring porous woods. *Trop. Woods*, 72:19-29.
- Richter, H. G., Krause, V. J., & Muche, C. 1996. *Dalbergia congestiflora* Standl.: wood structure and physico-chemical properties compared with other Central American species of Dalbergia. *Iawa Journal*, 17(3): 327-341.

- Sneath, P. H., & Sokal, R. R. 1973. *Numerical taxonomy*. The principles and practice of numerical classification. W. H. Freeman, San Francisco, CA. 573 pp.
- Sprent, J. I. 2009. *Legume Nodulation: A Global Perspective*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
- Standley, P. & Record, S. 1936. Forests and Flora of British Honduras. *Field Museum Of Natural History*, Chicago, 12(350), 1-432.
- Stevens, W.D., Ulloa., C., Pool, A. & Montiel, O.M. 2001. *Flora de Nicaragua* (Vol. 85, No. 1, p. 943). St. Louis: Missouri Botanical Garden Press. 2,666 pp.
- Swenson, N.G. & Enquist, B.J. 2007. Ecological and evolutionary determinants of a key plant functional trait: wood density and its community-wide variation across latitude and elevation. *American Journal of Botany*, 94(3), 451–459.
- Tardif, J. C., & Conciatori, F. 2015. Microscopic examination of wood: sample preparation and techniques for light microscopy. *In Plant Microtechniques and Protocols* (pp. 373-415). Springer, Cham.
- Testa, M. 2018. El 32% de la madera que se comercializa en Panamá es ilegal. *La Estrella de Panamá*, sección Vida y Cultura. Recuperado de: <http://laestrella.com.pa/vida-de-hoy/planeta/32-madera-comercializa-panama-ilegal/24061780/foto/399119#gallery>.

- Vatanparast, M., Klitgard, B. B., Adema, F. A. C. B., Pennington, T., Yahara, T. & Kajita T. 2013. "First molecular phylogeny of the pantropical genus *Dalbergia*: implications for infrageneric circumscription and biogeography", *South African Journal of Botany*, 89: 143-149.
- Villaseñor, J.L. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3):559-902.
- Wheeler, E. A. 1986. Vessels per square millimetre or vessel groups per square millimetre?. *IAWA Journal*, 7(1): 73-74.
- Wheeler, E. A. 2011. InsideWood - a web resource for hardwood anatomy. *IAWA Journal*, 32(2): 199– 211.
- Wiemann, M. & Williamson, G. 2002. Geographic variation in wood specific gravity: effects of latitude, temperature, and precipitation. *Wood and Fiber Science*, 34(1), 96– 107.
- Wiemann, M. C., & Ruffinatto, F. 2012. *Separation of Dalbergia stevensonii from Dalbergia tucurensis*. US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Research Paper, FPL-RP-665, 665, 1-9.
- Wilmé, L., Schuurman, D., Lowry II, P. P. & Raven, P. H. 2009a. Precious trees pay off – but who pays? An update. Document prepared for the COP15, Copenhagen Meeting, 7-15 December 2009.
- Zamora, N. 2000. Nuevas especies y combinaciones en Leguminosas de Mesoamérica. *Novon*, 10(2):175-180.

- Ziemińska, K., Butler, D.W., Gleason, S.M., Wright, I.J. & Westoby, M. 2013. Fibre wall and lumen fractions drive wood density variation in twigs across 24 Australian angiosperms. *Anatomical variations in twig wood across Australian angiosperms*, 5, p. 97.
- Ziemińska, K., Wright, I.J., & Westoby, M. 2014. Wood anatomical variation largely independent of wood density in twigs of 69 Australian angiosperms. *Anatomical variations in twig wood across Australian angiosperms*, p. 151.
- Zimmermann, M. H., & Jeje A. 1981. Vessel-length distribution in stems of some American woody plants. *Can J. Bot.*, 59(10):1889-1892.
- Zimmermann, M. H., & Potter, D. 1982. Vessel-length distribution in branches, stems, and roots of *Acer rubrum* L. *IAWA Bull*, 3:103-109.

## I. INFOGRAFÍA

InsideWood. 2004 onwards. <http://insidewood.lib.ncsu.edu/search> [accessed 9 July 2019].

Richter, H.G., and Dallwitz, M.J. 2000 onwards. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. In English, French, German, Portuguese, and Spanish. Version: 9th April 2019. Recuperado de:

<https://www.delta-intkey.com/wood/es/www/caepgysp.htm>.

The Plant list. 2013. Recuperado de:

<http://www.theplantlist.org/1.1/browse/A/Leguminosae/>

Tropicos org. Missouri Botanical Garden. 2019a. Recuperado de:

<http://tropicos.org/Name/40021450?projectid=3>.

Tropicos org. Missouri Botanical Garden. 2019b. Recuperado de:

<http://tropicos.org/Name/40021450?projectid=66>.

Tropicos org. Missouri Botanical Garden. 2019c. Recuperado de:

<http://tropicos.org/Name/40021450?projectid=11>.

Tropicos org. Missouri Botanical Garden. 2019d. Recuperado de:

<http://tropicos.org/Name/40021450?projectid=56>.

## **II. ANEXOS**

**Cuadro 7.** Clave de características anatómicas y código de identificación de maderas de *Dalbergia retusa* Hemsl.

Código IAWA	Descripción de los caracteres IAWA
1	Anillo de crecimiento visible
2	Anillo de crecimiento indistinto o ausente
5	Porosidad difusa
13	Placa de perforación simple
22	Punteaduras intervasculares alternas
23	Punteaduras de forma poligonal
26	Punteaduras intervasculares medianas (7-10 $\mu\text{m}$ )
29	Punteaduras ornamentadas
30	Punteaduras intervasculares similares a las radiovasculares en forma y tamaño
42	Diámetro tangencial de los vasos (100-200 $\mu\text{m}$ )
45	Vasos de dos diámetros diferentes, madera sin anillos porosos
46	Frecuencia de vasos $\leq 5$ vasos/ $\text{mm}^2$
52	Longitud media de los elementos del vaso $\leq 350$ $\mu\text{m}$
58	Gomas y otros depósitos en los vasos
61	Fibras con punteaduras bordeadas, simples a pequeñas
66	Fibras no septadas
70	Pared de fibras muy gruesa
72	Longitud de las fibras (900-1,600 $\mu\text{m}$ )
76	Parénquima axial apotraqueal difuso
77	Parénquima axial apotraqueal difuso en agregados
78	Parénquima axial paratraqueal escasamente paratraqueal
79	Parénquima axial paratraqueal vasicéntrico
89	Parénquima axial en bandas marginales o aparentemente marginales
90	Células del parénquima axial fusiforme
91	Dos células por hebra de parénquima axial
92 v	3 a 4 células por hebra de parénquima axial
96	Radios exclusivamente uniseriados
97 v	Radios con 1 a 3 células
104	Todas las células del parénquima radial procumbentes
106	Células del parénquima radial procumbentes con una fila de células cuadradas o verticales
116	$\geq 12$ radios/ $\text{mm}$ lineal

118	Todos los radios estratificados
120	Parénquima axial y/o elementos del vaso estratificados
121	Fibras estratificadas
136	Cristales prismáticos presentes
142	Cristales prismáticos dentro de cámaras en el parénquima axial

**Cuadro 8.** Clave de características anatómicas y código de identificación de maderas de la morfoespecie 1.

Código IAWA	Descripción de los caracteres IAWA
1	Anillo de crecimiento visible
2	Anillo de crecimiento indistinto o ausente
5	Porosidad difusa
13	Placa de perforación simple
22	Punteaduras intervasculares alternas
23	Punteaduras de forma poligonal
25	Punteaduras intervasculares pequeñas (4-7 $\mu\text{m}$ )
29	Punteaduras ornamentadas
30	Punteaduras intervasculares similares a las radiovasculares en forma y tamaño
42	Diámetro tangencial de los vasos (100-200 $\mu\text{m}$ )
45	Vasos de dos diámetros diferentes, madera sin anillos porosos
46	Frecuencia de vasos $\leq 5$ vasos/ $\text{mm}^2$
52	Longitud media de los elementos del vaso $\leq 350$ $\mu\text{m}$
58	Gomas y otros depósitos en los vasos
61	Fibras con punteaduras bordeadas, simples a pequeñas
66	Fibras no septadas
69	Pared de fibras delgadas a medianas
72	Longitud de las fibras (900-1,600 $\mu\text{m}$ )
76	Parénquima axial apotraqueal difuso
77	Parénquima axial apotraqueal difuso en agregados
79	Parénquima axial paratraqueal vasicéntrico
80	Parénquima axial paratraqueal aliforme
82	Parénquima axial paratraqueal aliforme-alado
83	Parénquima axial paratraqueal confluyente
89	Parénquima axial en bandas marginales o aparentemente marginales
90	Células del parénquima axial fusiformes
91	Dos células por hebra de parénquima axial
92 v	3 a 4 células por hebra de parénquima axial
97	Radios con 1 a 3 células
104	Todas las células del parénquima radial procumbentes
106	Células del parénquima radial procumbentes con una fila de células cuadradas o verticales

107	Células del parénquima radial procumbentes con 2 a 4 filas de células cuadradas o verticales
115	4 a 12 radios/mm lineal
116	$\geq$ 12 radios/mm lineal
118	Todos los radios estratificados
120	Parénquima axial y/o elementos del vaso estratificados
121	Fibras estratificadas
136	Cristales prismáticos presentes
142	Cristales prismáticos dentro de cámaras en el parénquima axial

**Cuadro 9.** Clave de características anatómicas y código de identificación de maderas de la morfoespecie 2.

Código IAWA	Descripción de los caracteres IAWA
1	Anillo de crecimiento visible
2	Anillo de crecimiento indistinto o ausente
5	Porosidad difusa
13	Placa de perforación simple
22	Punteaduras intervasculares alternas
23	Punteaduras de forma poligonal
25	Punteaduras intervasculares pequeñas (4-7 $\mu\text{m}$ )
29	Punteaduras ornamentadas
30	Punteaduras intervasculares similares a las radiovasculares en forma y tamaño
42	Diámetro tangencial de los vasos (100-200 $\mu\text{m}$ )
45	Vasos de dos diámetros diferentes, madera sin anillos porosos
47	Frecuencia de vasos 5-20 vasos/ $\text{mm}^2$
52	Longitud media de los elementos del vaso $\leq 350 \mu\text{m}$
58	Gomas y otros depósitos en los vasos
61	Fibras con punteaduras bordeadas, simples a pequeñas
66	Fibras no septadas
69	Pared de fibras de delgadas a medianas
72	Longitud de las fibras (900-1,600 $\mu\text{m}$ )
76	Parénquima axial apotraqueal difuso
77	Parénquima axial apotraqueal difuso en agregados
79	Parénquima axial paratraqueal vasicéntrico
80	Parénquima axial paratraqueal aliforme
81	Parénquima axial paratraqueal aliforme-romboide
82	Parénquima axial paratraqueal aliforme-alado
83	Parénquima axial paratraqueal confluyente
89	Parénquima axial en bandas marginales o aparentemente marginales
90	Células del parénquima axial fusiforme
91	Dos células por hebra de parénquima axial
92 v	3 a 4 células por hebra de parénquima axial
97	Radios con 1 a 3 células
104	Todas las células del parénquima radial procumbentes

106	Células del parénquima radial procumbentes con una fila de células cuadradas o verticales
107	Células del parénquima radial procumbentes con 2-4 filas de células cuadradas o verticales
115	4 a 12 radios/mm lineal
116	$\geq 12$ radios/mm lineal
118	Todos los radios estratificados
120	Parénquima axial y/o elementos del vaso estratificados
121	Fibras estratificadas
136	Cristales prismáticos presentes
142	Cristales prismáticos dentro de cámaras en el parénquima axial

Resultados de la prueba pareada de Tukey.  
**a** (*D. retusa*), **b** (Msp. 1), **c** (Msp. 2).  
Msp.: morfoespecie

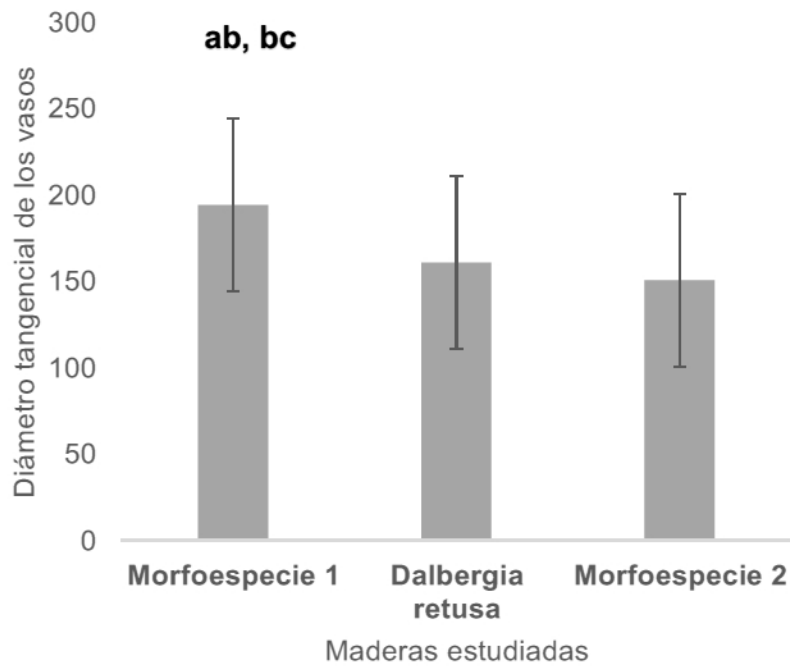


Figura 13. Diámetro tangencial de los vasos de la madera de *D. retusa* y las morfoespecies 1 y 2.

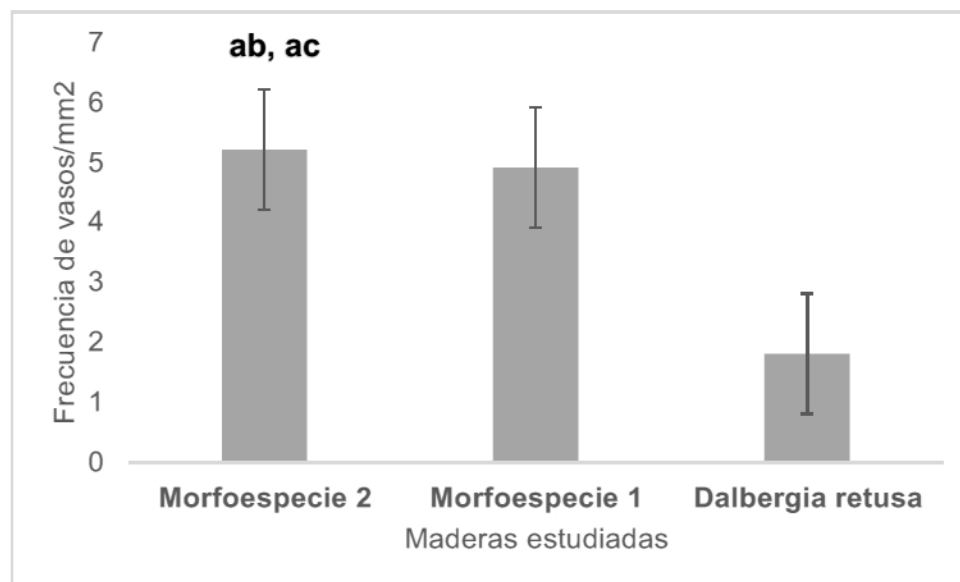
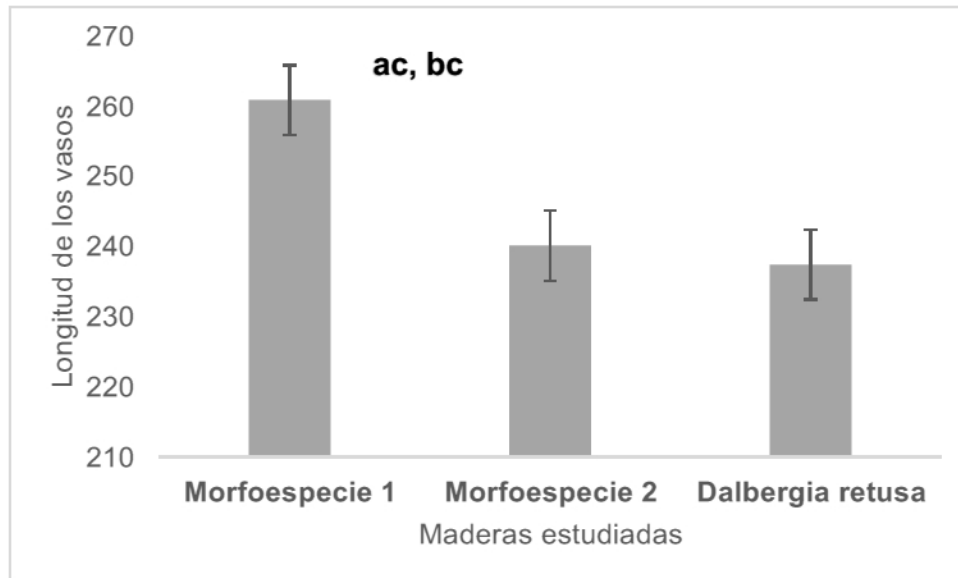
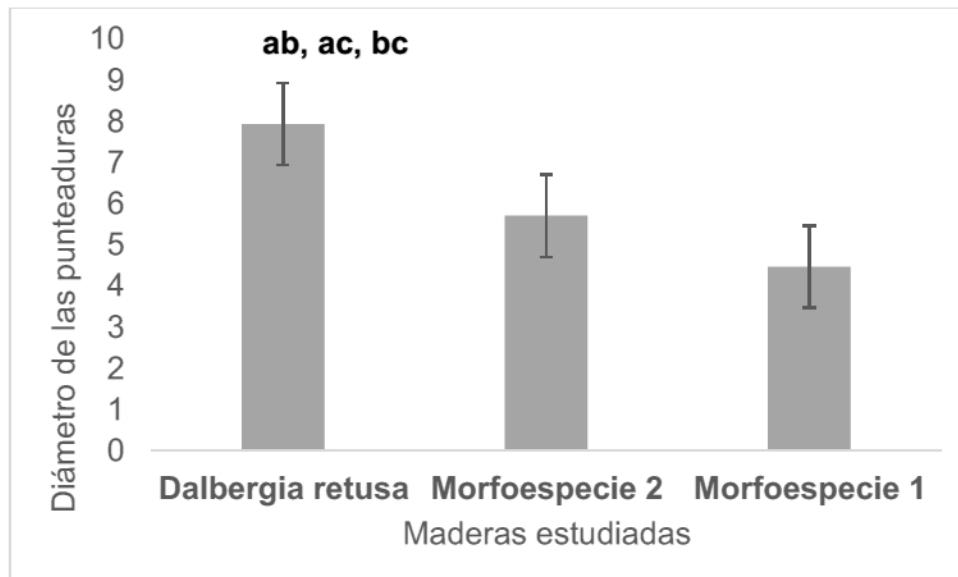


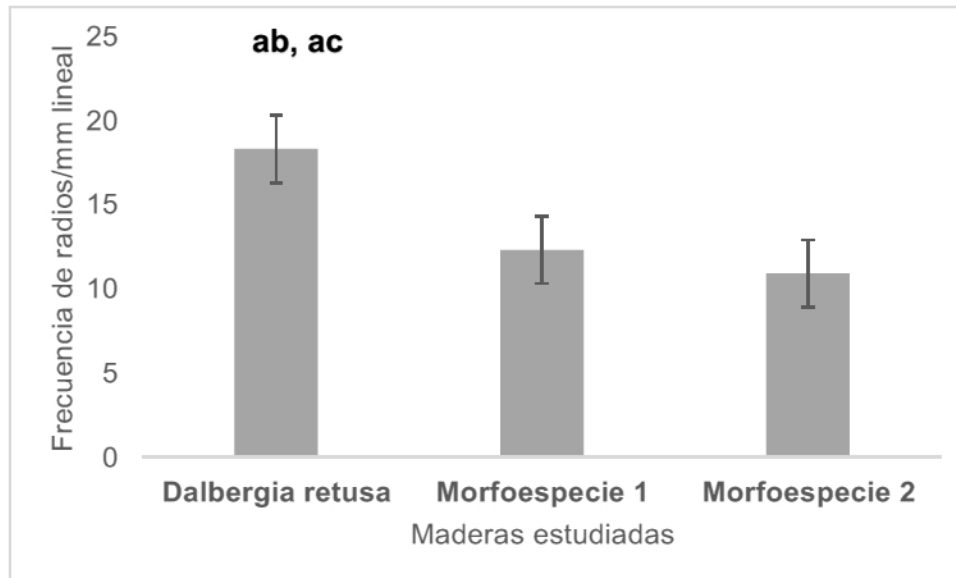
Figura 14. Frecuencia de vasos por mm<sup>2</sup> de la madera de *D. retusa* y las morfoespecies 1 y 2.



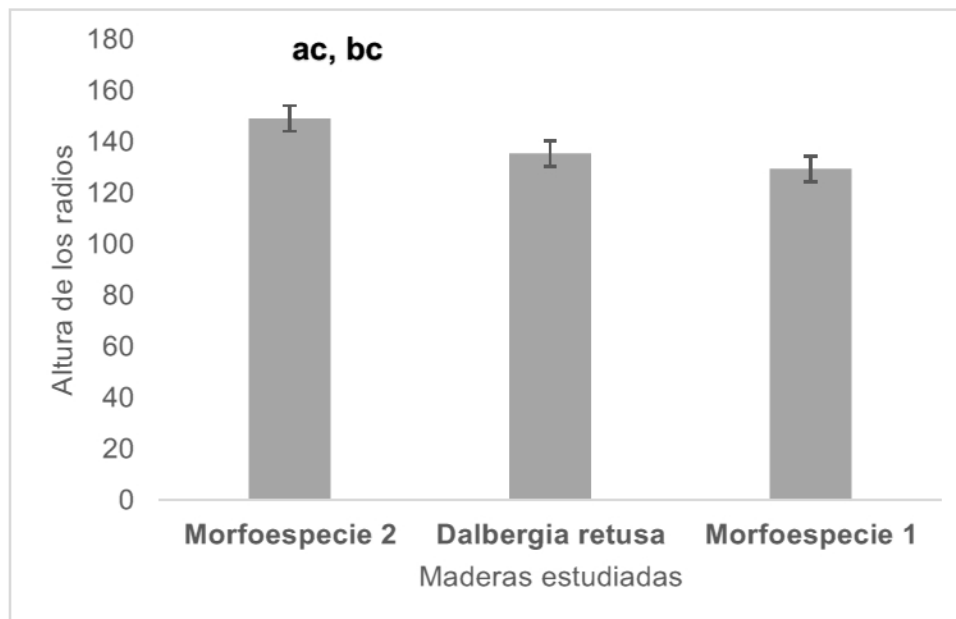
**Figura 15. Longitud de los vasos de la madera de *D. retusa* y las morfoespecies 1 y 2.**



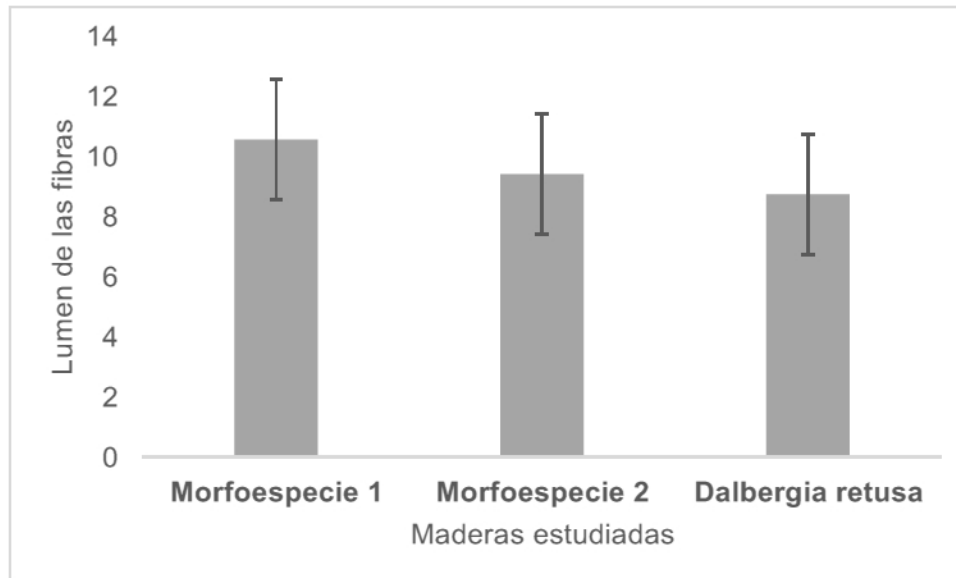
**Figura 16. Diámetro de las punteaduras de la madera de *D. retusa* y las morfoespecies 1 y 2.**



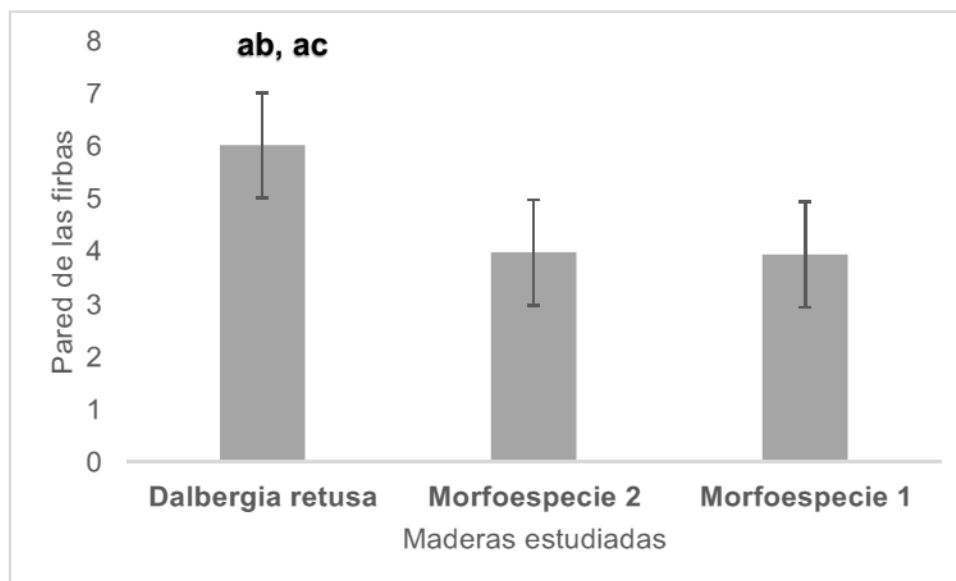
**Figura 17. Frecuencia de radios/mm lineal de la madera de D. retusa y las morfoespecies 1 y 2.**



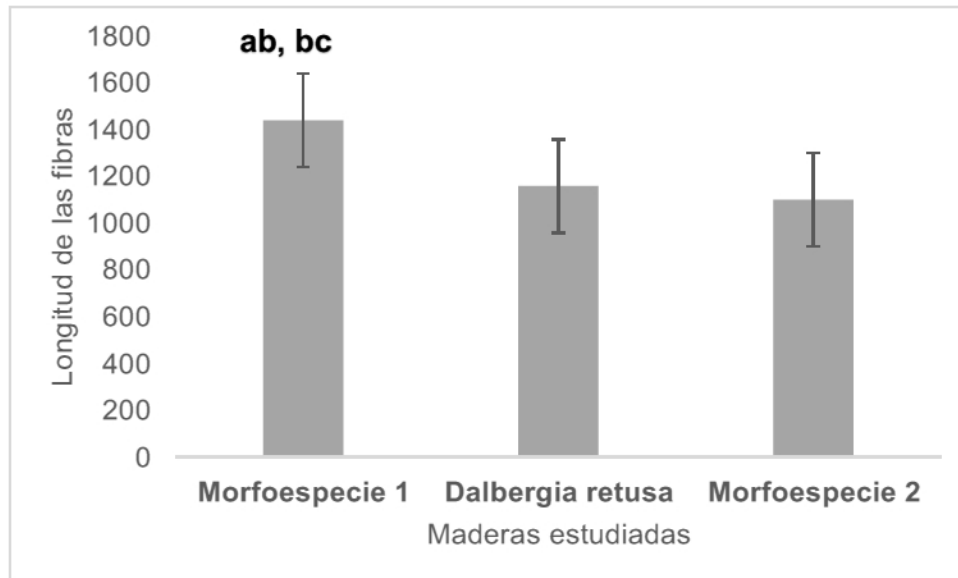
**Figura 18. Altura de radios de la madera de D. retusa y las morfoespecies 1 y 2.**



**Figura 19. Lumen de las fibras de la madera de *D. retusa* y las morfoespecies 1 y 2.**



**Figura 20. Anchura de la pared de las fibras de la madera de *D. retusa* y las morfoespecies 1 y 2.**



**Figura 21. Longitud de las fibras de la madera de *D. retusa* y las morfoespecies 1 y 2.**