

APLICACIÓN DE ANATOMÍA DE MADERAS EN SELECCIÓN DE ESPECIES PARA GUITARRAS, BAJOS Y CUATROS

Wood anatomy applications in selection of species for manufacturing of guitars, bass guitars and cuatros

WILLIAMS J., LEÓN H. y MARTA F., CALDERON T.

Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Laboratorio de Anatomía de Maderas. Mérida, Venezuela.
wleon@ula.ve, martaftcturipe@gmail.com

Recibido Junio 2019 Aceptado Noviembre 2019

Resumen

El presente trabajo es un estudio anatómico comparativo de la madera de diez especies que crecen en Venezuela y especies tradicionalmente utilizadas en la manufactura de guitarras eléctricas, acústicas, bajo eléctrico y cuatros con el fin de sugerir posibles especies sustitutas a las tradicionalmente utilizadas en la elaboración de los instrumentos musicales mencionados. Mediante la revisión de fichas de instrumentos de reconocida calidad internacional, se determinó cuáles son las especies de mayor uso en la producción de estos instrumentos para conocer sus características anatómicas y seleccionar diez especies venezolanas (nativas e introducidas) que puedan ser utilizadas en ese campo. La descripción se realizó de acuerdo a lo estipulado por la Asociación Internacional de Anatomistas de la Madera. Con base a la anatomía de madera, las especies *Caesalpinia punctata*, *Carapa guianensis*, *Cedrela montana*, *Gmelina arborea*, *Handroanthus serratifolius*, *Hymenaea courbaril*, *Peltogyne paniculata*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Platymiscium pinnatum* y *Tabebuia rosea* pueden ser sugeridas como posibles fuentes de materia prima para los instrumentos estudiados. *Caesalpinia punctata*, *Handroanthus serratifolius*, *Hymenaea courbaril*, *Peltogyne paniculata* y *Platymiscium pinnatum* podrían ser utilizada en la producción de puentes y diapasones, sustituyendo a especies como *Diospyros ebenum* y *Dalbergia nigra*. *Carapa guianensis* es una opción para sustituir *Svietenia macrophylla*, *S. mahagoni* y *Cedrela odorata*. *Gmelina arborea*, especie introducida en Venezuela, ofrece posibilidades de ser utilizada para mástil y pala de guitarras eléctricas, bajos y en contratapa y laterales de guitarras acústicas, sustituyendo a especies del género *Acer*. Para el cuerpo de guitarras eléctricas y bajos, ***Tabebuia rosea*** es una alternativa que también puede ser utilizada en el mástil de cuatros en sustitución de *Fraxinus* sp. Con respecto a la madera de gimnospermas, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* es una posible alternativa en sustitución de especies del género *Picea*.

Palabras clave: anatomía de maderas comparativa, instrumentos de cuerda, instrumentos musicales, tecnología de la madera, xilema secundario.

Abstract

This paper deals about a comparative wood anatomy study between ten species growing in Venezuela and traditional woods used in international market for electric and acoustic guitars, electric bass and cuatros manufacture with aim to find natives species like substitutes of woods traditionally used. A review of technical data in instruments of international quality was made to determine the main woods used in guitars, bass and cuatro production. Ten venezuelan woods (natives and cultivated) were select like possible options to manufacture of mentioned instruments. Wood description was made using procedures established by International Association of Wood Anatomists. According wood anatomy, the following species could be alternatives in manufacture of instruments studied: *Caesalpinia punctata*, *Carapa guianensis*, *Cedrela montana*, *Gmelina arborea*, *Handroanthus serratifolius*, *Hymenaea courbaril*, *Peltogyne paniculata*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Platymiscium pinnatum* and *Tabebuia rosea*. *Caesalpinia punctata*, *Handroanthus serratifolius*, *Hymenaea courbaril*, *Peltogyne paniculata* and *Platymiscium pinnatum* could be used in substitution of *Diospyros ebenum* and *Dalbergia nigra* for bridge and fretboard manufacture. *Carapa guianensis* is a good option in pieces traditionally made with *Swietenia macrophylla*, *S. mahagoni* and *Cedrela odorata*. *Gmelina arborea*, introduced specie in Venezuela, is a possibility for use in neck and headstock of electric guitars, bass guitar or in side or back pieces for acoustic guitars, in substitution of *Acer* spp. For body in electric guitars and bass guitars *Tabebuia rosea* is an option; also could be used in neck for cuatros. In case of hardwoods, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* is a possible alternative for pieces where traditionally are used species from *Picea* genus.

Key words: comparative wood anatomy, string instruments, musical instruments, wood technology, secondary xylem.

1. Introducción

Desde comienzos de la humanidad la madera ha jugado un papel importante en el desarrollo del hombre. Ha sido una fuente de materia prima fundamental en la evolución del ser humano, siendo utilizada como combustible, medio de transporte, en la elaboración de instrumentos de caza, armas de guerra, construcción de viviendas, etc. Entre los muchos usos de la madera se encuentra el de materia prima para la manufactura de diferentes tipos de instrumentos musicales (Bennett, 2016) y una de sus cualidades fundamentales para este tipo de uso son sus propiedades de vibración (Angyalossy *et al.*, 2005). Especies distintas, con diferentes pesos y densidades, proporcionan tonos y vibraciones muy distintos (Mas, 1998). Según Bennett (2016), la guitarra es uno de los instrumentos de cuerda más populares e indica que en el año 2013 se vendieron en Estados Unidos 1.363.000 guitarras acústicas y 1.110.000 guitarras eléctricas; mientras que en China se exportaron más de diez millones de guitarras. Para Venezuela no existen datos de la cantidad de ventas de instrumentos

musicales pero cada vez es más común encontrar personas de diferentes edades con instrumentos de cuerda pulsada como medio de expresión musical. Esto cobra mayor importancia si se considera que la música tradicional venezolana tiene en el cuatro a uno de sus principales instrumentos.

Tradicionalmente, a nivel mundial, el tipo de madera utilizada en la manufactura de guitarras y bajos ha variado poco con el tiempo e independientemente de la marca del instrumento, los puntos de mayor coincidencia entre fabricantes es la especie de madera utilizada para las diferentes partes constituyentes del instrumento. Wegst (2006) señala que el rango y sofisticación de los instrumentos musicales ha variado mucho en los últimos cuatro siglos, pero la materia prima utilizada para su manufactura ha sufrido pocas variaciones y aunque se han desarrollado diferentes tipos de materiales como polímeros y compuestos, la madera sigue jugando un papel fundamental en este campo cultural. Bennet (2016) indica que las especies más utilizadas para guitarras acústicas se ubican tanto en el grupo de las gimnospermas (*Cupressus sempervirens*, *Picea abies*, *P. engelmannii*, *P. rubens*, *P. sitchensis*, *Thuja plicata*) como de las angiospermas (*Acacia koa*, *Acer macrophyllum*, *A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *A. saccharum*, *Cedrela odorata*, *Dalbergia latifolia*, *D. nigra*, *Diospyros celebica*, *D. crassiflora*, *D. ebenum*, *Swietenia macrophylla*, *S. mahagoni*) (Figura 1a).



Figura 1: (a) Guitarra Yamaha CG192S. Tipos de madera utilizadas en tapa, contratapa, laterales, mástil y diapasón (Yamaha, 2016). (b) Guitarra Gibson Les Paul. Tipos de madera utilizadas en el cuerpo y diapasón (Noriega, 1998). (c) Guitarra Fender Stratocaster Modelo 0144600506. Tipos de madera utilizadas en el cuerpo, mástil, pala y diapasón (Fender, 2016)

Por otra parte, Miquel (1999) señala que entre las maderas más conocidas para las guitarras eléctricas y bajos se encuentran *Swietenia macrophylla*, *S. mahagoni*; éstas proporciona un gran “sustain”, equilibrio y calidez, con agudos suaves y armónicos dulces; es la base de la clásica Gibson Les Paul (Figura 1b). También menciona las siguientes especies: *Acer* spp. (generalmente para los mástiles, Figura 1c, *Fraxinus* sp. (generalmente usada para el cuerpo), *Alder* sp. (proporciona tonos graves y agudos dulces con muchos armónicos, suele usarse junto al arce siendo la base del sonido

Fender), *Tilia americana* (en guitarras es conocida por ser usada para las Ibanez de gama alta como la JEM de Steve Vai, mientras que en bajos suele ser sinónimo de gama media-baja: BC Rich, algunos Ibanez, etc.

Dalbergia nigra (palosanto de Brasil, conocida también como rosewood, es la principal madera para la construcción de diapasones), *Diospyros ebenum* (generalmente encontrado en diapasones de guitarras de elevados precios pues es una madera de difícil trabajo y costosa), *Agathis* (caracterizada para brindar un sonido más duro), *Abies* sp. (utilizada en guitarras de gama alta y para la construcción de la tapa armónica), *Cupressus* sp., *Juglans* sp. Muchas de las especies utilizadas en la producción de guitarras acústicas también son adecuadas en la manufactura de cuatros: Borrero (2016), D'Gucci (2016), Sandoval (2016) y Ramírez (2016) mencionan que como luthiers de ese instrumento han utilizado madera de *Acer pseudoplatanus*, *Cedrela odorata*, *Dalbergia latifolia*, *Diospyros ebenum*, *Fraxinus americana*, *Hymenaea courbaril*, *Khaya* spp., *Peltogyne paniculata*, *Picea sitchensis*, *Platymiscium pinnatum* y *Swietenia macrophylla* (Figura 2).

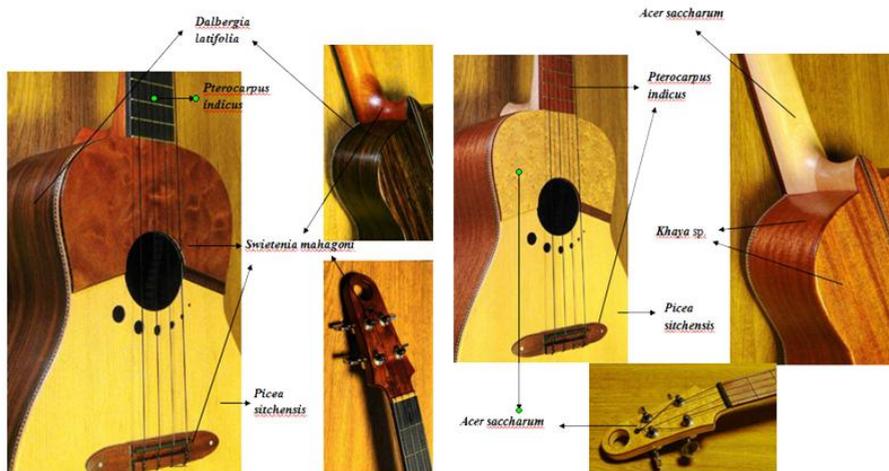


Figura 2: Cuatro modelo (a) palo santo y (b) caoba africana (www.tucuatro.com)

De las especies indicadas para los diferentes instrumentos objeto de estudio, *Cedrela odorata*, *Dalbergia nigra*, *Swietenia macrophylla* y *S. mahagoni* se encuentran en la lista de especies protegidas por CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres). Algunas de estas especies también son declaradas en protección en algunos de los países donde se distribuyen naturalmente como Colombia (Cárdenas & Salinas, 2007) y Venezuela (Llamoza *et al.*, 2003).

Destaca que las especies tradicionales mencionadas por Bennet (2016),

especialmente las del grupo de las angiospermas, pertenecen taxonómicamente a familias y géneros que se encuentran en Venezuela. Según Hokche *et al.* (2008), en el país se encuentran especies de los géneros *Acacia* Mill. (siete especies), *Cedrela* P. Browne (tres especies), *Dalbergia* L.f. (once especies), *Diospyros* L. (18 especies) y *Swietenia* Jacq. (dos especies). Con respecto a las gimnospermas, el género *Cupressus* L. se encuentra representado por tres especies introducidas y entre ellas se incluye *C. sempervirens*; mientras que la familia Pinaceae, específicamente la especie *Pinus caribaea*, constituye la principal fuente de materia prima para la industria maderera nacional.

Muchas de las maderas apreciadas tanto por los constructores de guitarras y los propios guitarristas como el palosanto (*Dalbergia nigra*), caoba (*Swietenia macrophylla*), koa (*Acacia koa*) y ébano (*Diospyros ebenum*) afrontan un futuro incierto en todo el mundo. En algunos casos provienen de regiones tropicales y esos bosques han menguado de manera gradual debido a que se han sobreexplotado durante décadas o incluso siglos y, especialmente en países en vías de desarrollo, debido a la falta de un modelo de gestión forestal que sirva de soporte a un consumo sostenible de dichos recursos (Kirlin, 2015).

Estos aspectos, unidos a los altos costos que representa utilizar maderas tradicionales para construir instrumentos musicales, establecen la necesidad de buscar especies sustitutas que permitan obtener instrumentos de buena calidad y a menor costo.

León y Espinoza (2001) indican que mediante el conocimiento de la estructura de la madera se pueden hacer inferencias sobre sus propiedades físicas y mecánicas, técnicas de procesamiento y utilización y esas inferencias son posibles porque el comportamiento de la madera va a ser un reflejo de sus características anatómicas. Wegst (2006) señala que en la selección de madera para la elaboración de instrumentos musicales se deben tomar en consideración sus propiedades acústicas, las cuales dependen de la densidad, módulo de Young y capacidad de transmisión ya que esto determina la velocidad del sonido.

Son pocas las investigaciones que se han realizado estableciendo relaciones entre anatomía de maderas e instrumentos musicales y entre ellas se pueden mencionar la de Angyalossy *et al.* (2005) quienes estudiaron los aspectos anatómicos de maderas utilizadas en la fabricación de arcos para instrumentos de cuerda. Por otra parte, Bennet (2016) realizó un análisis de la selección de maderas para la construcción de guitarras acústicas y presenta información de especies utilizadas tradicionalmente y sugerencias de algunas especies que podrían ser sustitutas de las tradicionales tomando como criterio de selección las comparaciones de densidad y módulo de elasticidad.

En Venezuela, la producción de instrumentos como guitarras (acústicas, eléctricas), bajos y cuatros presenta problemas en relación al tipo de materia prima (madera) que se utiliza para los mismos, debido a que muchas de estas maderas son importadas. Por tal razón es necesaria la incorporación de especies nativas o introducidas que no se encuentren bajo régimen de protección y que garanticen la

producción de instrumentos de gran calidad tanto desde el punto de vista sonoro como estético. El estudio de las características anatómicas de maderas nacionales y su respectiva comparación con la de especies tradicionalmente valiosas en el mercado internacional para la construcción de guitarras, cuatros y bajos, puede ser una herramienta de gran valor para encontrar especies que podrían actuar como sustitutas de aquellas que se han venido utilizando y cuya adquisición en la actualidad se ve limitada por razones de precios y disponibilidad. El objetivo del presente trabajo es realizar un estudio anatómico comparativo entre algunas especies que crecen en Venezuela con las especies tradicionalmente utilizadas en el mercado internacional para la manufactura de guitarras, bajos y cuatros.

2. Materiales y métodos

Se realizó una revisión en revistas científicas, fichas técnicas de instrumentos de marcas reconocidas a nivel internacional y sitios webs de luthiers especializados para determinar cuáles son las especies de gimnospermas y angiospermas más utilizadas en el mercado internacional para la manufactura de guitarras (eléctricas, acústicas), bajos eléctricos y cuatros (Cuadros 1, 2, 3).

Cuadro 1: Especies tradicionales utilizadas en la manufactura de guitarras eléctricas y/o bajos

Especie (s)	Familia	Parte del instrumento	Fuente
<i>Acacia koa</i> A. Gray.	Fabaceae	Cuerpo, mástil	Ramos, 1997
<i>Acer macrophyllum</i> Pursh, <i>A. platanoides</i> L., <i>A. pseudoplatanus</i> L., <i>A. saccharum</i> Marshall	Sapindaceae	Mástil, pala	Miquel, 1997b; Noriega, 1997; Mas, 1997; 2000
<i>Dabergia latifolia</i> Roxb., <i>D. nigra</i> (Vell.) Benth.	Fabaceae	Diapasón, Puente	Noriega, 1997; Guardiola, 1997; Mas, 1997; 2000
<i>Fraxinus</i> sp.	Oleaceae	Cuerpo	Mastermusic, 2015; Noriega, 1997
<i>Juglans</i> sp.	Juglandaceae	Cuerpo	Arco, 1998; Miquel, 1997b
<i>Swietenia macrophylla</i> King, <i>S. mahagoni</i> L.	Meliaceae	Cuerpo, mástil, pala	Ramos, 1998; Noriega, 1997; Guardiola, 1997; Mas, 2000
<i>Tilia americana</i> L.	Malvaceae	Cuerpo	Mas, 1997

Cuadro 2: Especies tradicionales utilizadas en la manufactura de guitarras acústicas

Especie	Familia	Parte del instrumento	Fuente
<i>Acacia koa</i> A. Gray.	Fabaceae	Tapa, contratapa, laterales	Bennet, 2016
<i>Acer macrophyllum</i> Pursh, <i>A. platanooides</i> L., <i>A. pseudoplatanus</i> L., <i>A. saccharum</i> Marshall	Sapindaceae	Contratapa, laterales	Bennet, 2016
<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	Contratapa, laterales, mástil	Bennet, 2016
<i>Cupressus sempervirens</i> L.	Cupressaceae	Contratapa, laterales	Bennet, 2016
<i>Dabergia latifolia</i> Roxb., <i>D. nigra</i> (Vell.) Benth.	Fabaceae	Contratapa, laterales, diapasón	Bennet, 2016; Picazos, 1998
<i>Diospyros celebica</i> Bakh., <i>D. crassiflora</i> Hiern, <i>D. ebenum</i> J. Koenig. ex Retz	Ebenaceae	Puente, diapasón	Bennet, 2016
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst., <i>P. engelmannii</i> Parry ex Engelm., <i>P. rubens</i> Sarg., <i>P. sitchensis</i> (Bong.) Carrière	Pinaceae	Tapa de caja de resonancia	Bennet, 2016
<i>Swietenia macrophylla</i> King, <i>S. mahagoni</i> L.	Meliaceae	Tapa, contratapa, laterales, mástil	Bennet, 2016; Miquel, 1997a; Picazos, 1998
<i>Thuja plicata</i> Donn ex D. Don.	Cupressaceae	Tapa de caja de resonancia	Bennet, 2016

Cuadro 3: Especies tradicionales utilizadas en el mercado nacional e internacional para la manufactura de cuatros

Especie	Familia	Parte del instrumento	Fuente
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	Aceraceae	Cuerpo	Sandoval, 2016
<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	Caja de resonancia, mástil, pala	Borrero, 2016; Borrero 2016; Sandoval, 2016
<i>Dabergia latifolia</i> Roxb.	Fabaceae	Cuerpo	Sandoval, 2016; D'Gucci, 2016
<i>Diospyros ebenum</i> J. Koenig. ex Retz	Ebenaceae	Cuerpo	Sandoval, 2016
<i>Fraxinus americana</i> L.	Oleaceae	Mástil	D'Gucci, 2016
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Fabaceae	Golpeador	Ramírez, 2016
<i>Khaya</i> spp.	Meliaceae	Contratapa, laterales, mástil	D'Gucci, 2016
<i>Peltogyne paniculata</i> Benth.	Fabaceae	Diapasón, puente	Sandoval, 2016
<i>Picea sitchensis</i> (Bong.) Carrière	Pinaceae	Cuerpo	D'Gucci, 2016
<i>Platymiscium pinnatum</i> (Jacq.) Dugand	Fabaceae	Caja de resonancia	Ramírez, 2016
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Meliaceae	Caja de resonancia, mástil, pala, diapasón	Borrero, 2016; Sandoval, 2016

Se seleccionaron algunas especies presentes en Venezuela, bien sea como nativas o introducidas (Cuadro 4), que mostraran similitudes con las encontradas como valiosas en la producción de los instrumentos musicales bajo estudio y se realizó un estudio anatómico comparativo entre especies utilizadas y especies de Venezuela que podrían ser posibles sustitutas.

Cuadro 4: Especies estudiadas (nombre científico, familia, muestras de xiloteca MERw y herbario MER).

Especie	Familia	Nº xiloteca, y muestra de herbario (número de colector)
<i>Caesalpinia punctata</i> Willd.	Fabaceae	X1162 (Ruíz Terán 322), X3551 (s/mb).
<i>Carapa guianensis</i> Aublet	Meliaceae	X250 (Bernardi 2123), X1496 (J. Conejos 27), X1777 (Marcano Berti 301), X2552 (Marcano Berti132), X6421 (s/mb)
<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz.	Meliaceae	X126 (Bernardi 1167), X336 (Bernardi6210), X6121 (Rangel, Flores & Rondón)
<i>Gmelina arborea</i> Roxb. ex Sm.	Lamiaceae	X6422 (s/mb), X6423 (s/mb), X6424 (s/mb), X6425 (s/mb)
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Fabaceae	X4564 (H. Gutiérrez 153), X4565(H. Gutiérrez 154), X4566 (H. Gutiérrez 156), X5589 (Hernández, Angarita & León V15 1Bo), X5590 (Hernández, Angarita & León V15 2Bo),
<i>Peltogyne paniculata</i> Benth.	Fabaceae	X5634 (Hernández, Angarita & León V19 1Bo), X5635 (Hernández, Angarita & León V19 2Bo), X5636 (Hernández, Angarita & León V19 3Bo)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> (Sénécl.) W. H. Barret & Golfari	Pinaceae	X6041(s/mb), X6042(s/mb), X6043 (s/mb), X6044 (s/mb)
<i>Platymiscium pinnatum</i> (Jacq.) Dugand	Fabaceae	X5842 (H. Rodríguez 524.), X6702 (Gámez & Parra, Herbario 54535).
<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S. O. Grose	Bignoniaceae	X1529 (J. Conejos 60), X2558 (Marcano Berti D55), X3670 (PE 36)
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) A. DC.	Bignoniaceae	X4527 (H. Gutiérrez 51), X5640 (Hernández, Angarita & León V10 2Ba), X5643 (V10 5Ba)

Para éstas últimas, se preparó material para la descripción anatómica mediante la extracción de cubos de madera de, aproximadamente, 1,5 cm³ los cuales fueron sometidos a procesos de ablandamiento en agua hirviendo (24-96 h) para realizar cortes de las secciones transversal, radial y tangencial con un micrótopo de deslizamiento. En el caso de *Caesalpinia punctata*, el ablandamiento se realizó sumergiendo la pieza de madera en una solución de etilendiamina y sometiéndola a un proceso de vacío durante 12 h. A las secciones obtenidas se les aplicó safranina (3-4 h) para la respectiva tinción y se realizó la deshidratación y aclaramiento a través de baños sucesivos de alcohol (50 %, 15 min; 70 %, 15 min; 75 % 15 min; 95 % 2-3 h;

alcohol-xilol, 30 min; xilol, 2-3 h). El montaje se hizo con resina sintética como medio de adhesión. Para la determinación de longitud de fibras y elementos de los vasos se preparó tejido macerado sumergiendo astillas de madera en una solución de peróxido de hidrógeno y ácido acético (1:1), llevadas a estufa (12 h, 60 °C) para proceder a la individualización de elementos celulares mediante fricción mecánica, tinción con safranina y montaje utilizando bálsamo de Canadá como medio de adhesión. Para la descripción se siguió el modelo de León (2002), a nivel macroscópico, y lo estipulado por IAWA Committee (1989), a nivel microscópico. Con respecto a las descripciones de las especies tradicionalmente utilizadas en la manufactura de guitarras, bajos y cuatros; se tomaron de bibliografía especializada (Kribs, 1968; Mainieri & Peres, 1989; García *et al.*, 2002; Lens, 2005; Gasson *et al.*, 2010; León, 2014; Insidewood, 2017). Se realizaron las respectivas comparaciones xilémáticas para seleccionar posibles especies sustitutas de las tradicionalmente utilizadas en la manufactura de los instrumentos musicales bajo estudio.

3. Resultados y discusión

Tomando como base la información de las especies tradicionalmente utilizadas en el mercado internacional en la manufactura de guitarras y bajos (Cuadros 1, 2), así como en la producción de cuatros a nivel nacional e internacional (Cuadro 3), se seleccionaron las especies indicadas en el Cuadro 4 mediante comparaciones anatómicas entre las especies de uso en la producción de los instrumentos indicados y las que crecen en Venezuela. La descripción macroscópica y microscópica de las diez especies seleccionadas se indica en los Cuadros 5, 6 y 7.

Cuadro 5: Características macroscópicas de las especies estudiadas.

Especie	Color albura-duramen	Olor y sabor	Lustre	Textura	Grano	Peso y dureza
<i>Caesalpinia punctata</i>	Albura: amarillo (2.5Y 8/8) Duramen: marrón oscuro (7.5YR 3/2) a negro (7.5YR 2/0). Transición: abrupta	Indistintos	Alto a mediano	Fina	Entrecruzado	Dura y pesada
<i>Carapa guianensis</i>	Albura: color rosado (7.5YR 7/4) Duramen: marrón rojizo (5YR 6/4) a rojo amarillento (5YR 5/6). Transición: abrupta	Indistintos	Alto a mediano	Fina a mediana	Recto a entrecruzado	Moderadamente dura y pesada
<i>Cedrela montana</i>	Albura: marrón muy pálido (10YR 8/3) Duramen: marrón (7.5YR 5/4). Transición: abrupta	Indistintos	Alto	Mediana	Recto a inclinado	Moderadamente dura y pesada
<i>Gmelina arborea</i>	Albura y duramen: blanco (10YR 8/2) a marrón muy pálido (10YR 8/3). Transición: sin transición	Indistintos	Alto	Mediana	Recto a entrecruzado	Blanda y liviana a mod. dura y pesada
<i>Handroanthus serratifolius</i>	Albura: amarillo (10YR 8/6) Duramen: marrón amarillento (10YR 5/4). Transición: abrupta	Indistintos	Mediano	Fina	Entrecruzado	Dura y pesada
<i>Hymenaea courbaril</i>	Albura: marrón muy pálido (10YR 8/4) a rosado (7.5YR 8/4) Duramen: marrón rojizo (5YR 5/4; 5YR 4/3). Transición: abrupta	Indistintos	Alto	Mediana	Recto a entrecruzado	Dura y pesada
<i>Peltogyne paniculata</i>	Albura: marrón muy pálido (10YR 8/3) Duramen: morado. Transición: abrupta	Indistintos	Alto a mediano	Fina	Recto a entrecruzado	Dura y pesada
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	Albura y duramen: amarillo (10YR 8/6) Transición: sin transición	Olor aromático, sabor indistinto	Bajo a mediano	---	Recto a inclinado	Dura y pesada
<i>Platymiscium</i>	Albura: marrón muy pálido (10YR	Indistintos	Alto a mediano	Mediana	Recto a	Dura y pesada

<i>pinnatum</i>	8/4, 10YR 8/6) Duramen: rojo (10R 5/6) a marrón rojizo (2.5YR 5/4). Transición: abrupta				entrecruzado	
<i>Tabebuia rosea</i>	Albura y duramen: gris rosáceo (7.5YR 7/2) Transición: sin transición	Indistintos	Alto	Fina	Recto a inclinado	Dura y pesada

Cuadro 6: Anillos de crecimiento y características anatómicas de elementos de conducción y soporte en las especies estudiadas

Especie	Anillos de crecimiento	Vasos / traqueidas	Fibras
<i>Caesalpinia punctata</i>	Definidos (parénquima marginal)	Porosidad difusa. Poros sin patrón definido de disposición, solitarios y múltiples radiales de 2-3 (4), 9-14 poros por mm ² , diámetro tangencial (45) 56-114 (170) μm. Longitud de elementos vasculares (130) 162 (190) μm. Platinas de perforación simples. Punteaduras intervasculares alternas, circulares a ovaladas, pequeñas a medianas, diámetro (5) 6,25-7,5 μm, ornadas. Punteaduras radiovasculares similares a las intervasculares. Depósitos de goma en los poros.	Fibras no septadas, paredes muy gruesas, longitud (710) 892 (1040) μm, punteaduras indistintamente areoladas.
<i>Carapa guianensis</i>	Definidos (parénquima marginal)	Porosidad difusa. Poros sin patrón definido de disposición, solitarios y múltiples radiales de 2 (3), ocasionalmente arracimados, 5-9 por mm ² ; diámetro tangencial (105) 140-186 (220) μm. Longitud de elementos vasculares (215) 359-461 (680) μm. Platinas de perforación simples. Punteaduras intervasculares alternas, circulares a ovaladas, diminutas, diámetro de 2,5-3,75 μm. Punteaduras radiovasculares similares a las intervasculares. Depósitos de goma presentes.	Fibras septadas, paredes medianas a gruesas, longitud (915) 1287-1545 (1805) μm, punteaduras indistintamente areoladas.
<i>Cedrela montana</i>	Definidos (porosidad semicircular, parénquima marginal)	Porosidad semicircular, poros sin patrón definido de disposición; solitarios, múltiples radiales de 2-3, algunos arracimados y múltiples tangenciales; 4-9 poros por mm ² ; diámetro tangencial (90) 145-173 (250) μm, longitud de elementos vasculares (220) 369-377 (610) μm, platinas de perforación simples, punteaduras intervasculares alternas, circulares a ovaladas, pequeñas, diámetro 5-6,25 μm, punteaduras radiovasculares similares a las intervasculares, depósitos de goma en los poros.	Fibras septadas y no septadas, paredes delgadas, longitud (900) 1150-1233 (1460) μm, punteaduras indistintamente areoladas.
<i>Gmelina</i>	Definidos	Porosidad difusa; ocasionalmente con tendencia a semicircular. Poros	Fibras septadas, paredes delgadas

<i>arborea</i>	(parénquima marginal)	sin patrón definido de disposición, solitarios y múltiples radiales de 2-3, algunos arracimados, 6-7 poros/mm ² , diámetro tangencial (110) 160-179 (250) μm. Longitud de elementos vasculares (130) 242-268 (440) μm. Platinas de perforación simples, ocasionalmente foraminadas. Punteaduras intervasculares alternas, circulares a ovaladas, ocasionalmente poligonales, medianas, diámetro 7,5-10 μm. Punteaduras radiovasculares de areola reducida o aparentemente simples, de forma redondeada. Tíldes presente.	a medianas, longitud (1155) 1297-1481 (2040) μm, punteaduras indistintamente areoladas.
<i>Handroanthus serratifolius</i>	Indistintos	Porosidad difusa. Poros sin patrón definido de disposición, solitarios y múltiples radiales de 2-3 (4), 12-23 poros por mm ² , diámetro tangencial (85) 125-129 (160) μm. Longitud de elementos vasculares (170) 214-317 (360) μm. Platinas de perforación simples. Punteaduras intervasculares alternas, circulares a ovaladas, medianas a grandes, diámetro (7,5) 8,75-11,25 μm. Punteaduras radiovasculares similares a las intervasculares. Tíldes presente, poco; depósitos de lapachol presentes.	Fibras no septadas, paredes muy gruesas, punteaduras indistintamente areoladas, longitud de (850) 1064-1193 (1510) μm.
<i>Hymenaea courbaril</i>	Definidos (parénquima marginal)	Porosidad difusa. Poros sin patrón definido de disposición, solitarios y múltiples radiales de 2-4, ocasionalmente arracimados, 3-4 poros por mm ² , diámetro tangencial (110) 144-199 (245) μm. Longitud de los elementos vasculares (150) 267-327 (510) μm. Platinas de perforación simples. Punteaduras intervasculares alternas, circulares a ovaladas, pequeñas a medianas, diámetro 6,25-7,5 (10) μm, ornadas. Punteaduras radiovasculares similares a las intervasculares. Depósitos de goma presentes en los poros.	Fibras no septadas, paredes gruesas a muy gruesas, ocasionalmente medianas, longitud (1060) 1364-1689 (2120) μm, punteaduras indistintamente areoladas.
<i>Peltogyne paniculata</i>	Ligeramente definidos (parénquima marginal)	Porosidad difusa. Poros sin patrón definido de disposición, solitarios y múltiples radiales de 2-3 (-4-5), 18-20 poros por mm ² , diámetro tangencial (80) 102-111 (130) μm. Longitud de los elementos vasculares (165) 294-353 (450) μm. Platinas de perforación simples. Punteaduras intervasculares alternas, circulares a ovaladas, pequeñas a medianas, diámetro 5-8,75, ornadas. Punteaduras radiovasculares similares a las intervasculares. Depósitos de goma presentes en los poros.	Fibras no septadas, paredes muy gruesas, longitud (1190) 1565-1705 (2050) μm, punteaduras indistintamente areoladas.
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	Definidos	Traqueidas longitudinales con punteaduras uniseriadas y biseriadas, longitud (2440) 3546-4013(5890) μm, paredes muy gruesas en madera tardía. Traqueidas radiales de paredes lisas a dentadas, ocasionalmente reticuladas.	

<i>Platymiscium pinnatum</i>	Definidos (parénquima marginal)	Porosidad difusa. Poros sin patrón definido de disposición, solitarios, múltiples radiales de 2-4 (7), 2-3 poros/mm ² , diámetro tangencial (105) 148-205 (270) μm. Longitud de elementos vasculares (165) 238-283 (350) μm. Platinas de perforación simples. Punteaduras intervasculares alternas, circulares a ovaladas, medianas a grandes, diámetro 7,5-12,5 μm, ornadas. Punteaduras radiovasculares similares a las intervasculares. Depósitos de goma en los poros.	Fibras no septadas, paredes gruesas, longitud (830) 993-1082 (1285) μm, punteaduras indistintamente areoladas.
<i>Tabebuia rosea</i>	Definidos (parénquima marginal, zona ausente de poros)	Porosidad difusa. Poros con tendencia a la disposición tangencial, solitarios y múltiples radiales de 2 (5), 6-11 poros por mm ² , diámetro tangencial (110) 137-161 (200) μm. Longitud de elementos vasculares de (175) 321-364 (455) μm. Platinas de perforación simples, ocasionalmente foraminadas. Punteaduras intervasculares alternas, circulares a ovaladas, diminutas a pequeñas, diámetro 3,75-6,25 μm. Punteaduras radiovasculares similares a las intervasculares. Tíldes presente, poco.	Fibras no septadas, paredes medianas a gruesas, longitud (900) 1115-1246 (1520) μm, punteaduras indistintamente areoladas.

Cuadro 7: Parénquima axial, radios y otras características anatómicas en las especies estudiadas

Especie	Parénquima axial	Radios	Otras características
<i>Caesalpinia punctata</i>	Parénquima paratraqueal aliforme de ala corta o extendida, confluyente, unilateral, predominantemente en bandas, marginal; fusiforme y en series de 2-4 células.	Radios homocelulares de células procumbentes, 10-14 (18) radios por mm, 1-3 células de ancho, predominantemente biseriados, altura (100) 127-186 (230) μm.	Estructura estratificada en radios y parénquima axial, 4,5-7 estratos de radios por mm. Cristales prismáticos en parénquima axial formando series parenquimáticas cristalíferas, abundantes, ocasionalmente en parénquima radial, un cristal por cámara.
<i>Carapa guianensis</i>	Parénquima apotraqueal difuso, paratraqueal escaso, vasicéntrico delgado, bandas marginales; en series de 4-8 (10) células.	Radios heterocelulares con 1-2 (3) rutas de células marginales; 3-7 radios por mm lineal; 1-5 células de ancho, predominantemente 3-5; altura (360) 523-653 (1035) μm.	Cristales prismáticos presentes en células cuadradas o erectas de los radios; un cristal por célula.
<i>Cedrela montana</i>	Parénquima paratraqueal escaso, vasicéntrico, ocasionalmente aliforme de ala corta, marginal; en series de (2) 4-5 (8) células.	Radios homocelulares de células procumbentes y heterocelulares con 1 (2) rutas de células marginales; 3-7 radios por mm lineal; 2-6 células de ancho, altura (210) 269-382 (540) μm.	Cristales prismáticos en células parenquimáticas radiales y, ocasionalmente, en parénquima axial, un cristal por célula.

<i>Gmelina arborea</i>	Parénquima paratraqueal escaso, vasicéntrico, aliforme, confluyente, marginal; en series de 2-4 (5) células.	Radios homocelulares y heterocelulares con una ruta de células marginales; 3-6 radios por mm lineal; 1-4 (5) células de ancho; altura (250) 340-376 (595) μm .	Cristales aciculares en las células parenquimáticas radiales.
<i>Handroanthus serratifolius</i>	Parénquima paratraqueal escaso, vasicéntrico delgado, aliforme de ala corta, confluyente, unilateral, algunas veces formando bandas; predominantemente aliforme y confluyente; en series de 2-4 células.	Radios homocelulares de células procumbentes, 5-11 radios por mm, 1-3 células de ancho, predominantemente biseriados, altura (130) 159-244 (290) μm .	Estructura estratificada presente en radios y parénquima, algunas veces en las fibras, (3) 4-5 estratos de radios por mm.
<i>Hymenaea courbaril</i>	Parénquima paratraqueal aliforme de ala corta, confluyente, marginal, en series de 2-4 (8) células, predominantemente 4 células.	Radios homocelulares de células procumbentes, ocasionalmente heterocelulares con una ruta de células marginales, (3) 4-7 radios por mm, (1) 4-6 células de ancho, altura (285-) 433-639 (-1070) μm .	Cristales prismáticos formando series parenquimáticas cristalíferas, un cristal por cámara.
<i>Peltogyne paniculata</i>	Parénquima paratraqueal aliforme de ala extendida, confluyente, unilateral, marginal, en series de 2-4 (6) células, predominantemente 4 células.	Radios homocelulares de células procumbentes, 4-6 radios por mm, 1-4 células de ancho, predominantemente 3-4 células, altura (330) 812-1048 (2115) μm .	Estructura estratificada en parénquima axial. Cristales prismáticos formando series parenquimáticas cristalíferas, un cristal por cámara.
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	Ausente.	Células parenquimáticas radiales con paredes extremas y horizontales lisas. Radios uniseriados con altura (160) 207-330 (560) μm y fusiformes con altura (190) 264-465 (680) μm .	Punteaduras del área de cruce de tipo pinoide, 1-5 (6) punteaduras por área de cruce. Conductos resiníferos longitudinales y transversales, células epiteliales de paredes delgadas.
<i>Platymiscium pinnatum</i>	Parénquima apotraqueal difuso, en agregados, predominantemente paratraqueal aliforme de ala corta y ala larga, confluyente, marginal, en series de 2 (4) células, ocasionalmente fusiforme.	Radios homocelulares de células procumbentes, (7) 9-13 radios por mm, 1-2 células de ancho, predominantemente uniseriados, altura (170-) 225-257 (-355) μm .	Estructura estratificada en radios, parénquima axial y fibras, 3,5-4 estratos de radios por mm. Cristales prismáticos formando series parenquimáticas cristalíferas, abundantes, un cristal por cámara.
<i>Tabebuia rosea</i>	Parénquima paratraqueal aliforme de ala corta, confluyente, unilateral,	Radios homocelulares de células procumbentes, 5-9 (11) radios por mm,	Estructura estratificada presente en radios y parénquima axial, algunas veces en fibras, 3-

	predominantemente en bandas con más de tres células de ancho, marginal; en series de 2-4 células.	1-3 células de ancho, predominantemente biseriados, altura (200) 245-285 (330) μm .	3,5 estratos de radios por mm.
--	---	--	--------------------------------

Para la anatomía comparativa, se seleccionaron especies que tuvieran similitudes con las utilizadas en la manufactura de instrumentos y con las utilizadas en el mercado internacional. El tipo de comparación se muestra en los Cuadros 8, 9 y 10 para *Diospyros ebenum*; de igual forma se procedió con el resto de las especies.

Cuadro 8: Características organolépticas comparativas entre *Diospyros ebenum* y cinco especies nativas de Venezuela

Especie	Color albura	Color duramen	Transición	Grano	Textura	Lustre	Peso y dureza
<i>Diospyros ebenum</i> *	Amarillo pálido	Negro	Abrupta	Recto	Fina	Alto	Muy dura y pesada
<i>Caesalpinia punctata</i>	Amarillo	Marrón oscuro a negro	Abrupta	Entrecruzado	Fina	Alto a mediano	Muy dura y pesada
<i>Handroanthus serratifolius</i>	Amarillo	Marrón amarillento	Abrupta	Entrecruzado	Fina	Mediano	Muy dura y pesada
<i>Peltogyne paniculata</i>	Amarillo muy pálido	Morado	Abrupta	Recto a entrecruzado	Fina	Alto	Dura y pesada
<i>Piranhea longepedunculata</i>	Marrón amarillento	Marrón oscuro	Abrupta	Recto	Fina	Bajo a mediano	Dura y pesada
<i>Platymiscium pinnatum</i>	Marrón muy pálido	Rojo	Abrupta	Recto a entrecruzado	Mediana	Alto a mediano	Dura y pesada

*Kribs (1968)

Cuadro 9: Anatomía comparativa de vasos entre *Diospyros ebenum* y cinco especies nativas de Venezuela.

Especie	Porosidad	Agrupación	Disposición	Frecuencia	Diámetro (μm)	Punteaduras (tipo y forma)	Punteaduras (tamaño)	Placas de perforación	Depósitos
<i>Diospyros ebenum</i> *	Difusa	Solitarios, múltiples radiales	Sin patrón definido	Numerosos	57-120	Alternas, circulares a ovaladas	Pequeñas	Simples	Goma

<i>Caesalpinia punctata</i>	Difusa	Solitarios, múltiples radiales	Sin patrón definido	9-14	56-114	Alternas, circulares a ovaladas	Pequeñas a medianas	Simples	Goma
<i>Handroanthus serratifolius</i>	Difusa	Solitarios, múltiples radiales	Sin patrón definido	12-23	125-129	Alternas, circulares a ovaladas	Medianas a grandes	Simples	Tíldes, lapachol
<i>Peltogyne paniculata</i>	Difusa	Solitarios, múltiples radiales	Sin patrón definido	18-20	102-111	Alternas, circulares a ovaladas	Pequeñas a medianas	Simples	Goma
<i>Piranhea longepedunculata</i>	Difusa	Solitarios, múltiples radiales	Sin patrón definido	21-22	82-93	Alternas, circulares a ovaladas	Pequeñas a grandes	Simples	Tíldes, esclerotíldes
<i>Platymiscium pinnatum</i>	Difusa	Solitarios, múltiples radiales	Sin patrón definido	2-3	148-205	Alternas, circulares a ovaladas	Medianas a grandes	Simples	Goma

*Kribs (1968)

Cuadro 10: Anatomía comparativa de fibras, parénquima, radios y otras características anatómicas entre *Diospyros ebenum* y cinco especies nativas de Venezuela.

Especie	Fibras			Parénquima axial		Radios			Otras características
	Grosor de paredes	Septas	Punteaduras	Parénquima (transversal)	Parénquima (tangencial)	Tipo	Ancho	Altura (µm)	
<i>Diospyros ebenum</i> *	Muy gruesas	No	Indistintam. areoladas	Apotraqueal difuso en agregado, paratraqueal escaso, vasicéntrico, bandas estrechas	Series de 3-4 células	Heterocelulares, 2-4 rutas	1 (-2)	---	Cristales en radios y parénquima axial
<i>Caesalpinia punctata</i>	Muy gruesas	No	Indistintam. areoladas	Paratraqueal aliforme de ala corta o extendida, confluyente, unilateral, predominantemente en bandas, marginal	Fusiforme y series de 2-4 células	Homocelulares de células procumbentes	1-3, pred. 2	127-186	Cristales en parénquima axial, ocasionalmente en radial; estratificación en radios y

									parénquima
<i>Handroanthus serratifolius</i>	Muy gruesas	No	Indistintam. areoladas	Paratraqueal escaso, vasicéntrico, aliforme de ala corta, confluyente, unilateral, bandas estrechas	Series de 2-4 células	Homocelulares de células procumbentes	1-3, pred. 2	159-244	Estratificación de radios, parénquima
<i>Peltogyne paniculata</i>	Muy gruesas	No	Indistintam. areoladas	Paratraqueal aliforme de ala larga, confluyente, unilateral, marginal	Series de 2-4 (-6), pred. 6 células	Homocelulares células procumbentes	(1-) 3-4	812-1048	Cristales en parénquima axial; estratificación en parénquima
<i>Piranhea longepedunculata</i>	Muy gruesas	No	Indistintam. areoladas	Apotraqueal difuso en agregados, paratraqueal escaso, aliforme confluyente, unilateral, marginal	Series de 3-10 células	Homocelulares células procumbentes, heterocelulares con una ruta de células	1-2 (-3)	411-457	Cristales en parénquima axial
<i>Platymiscium pinnatum</i>	Gruesas	No	Indistintam. areoladas	Apotraqueal difuso, en agregados, pred. paratraqueal aliforme de ala corta y a la larga, confluyente, marginal	Series de 2 (-4) células, ocasionalmente fusiforme	Homocelulares de células procumbentes	1-2, pred. 2	225-257	Cristales en parénquima; estratificación de radios, fibras, parénquima

*Kribs (1968)

Caesalpinia punctata, *Carapa guianensis*, *Cedrela montana*, *Gmelina arborea*, *Handroanthus serratifolius*, *Hymenaea courbaril*, *Peltogyne paniculata*, *Pinus caribaea* var. *bondurensis*, *Platymiscium pinnatum*, *Tabebuia rosea* presentan características que, de manera comparativa, pueden indicar su idoneidad en la producción de diferentes partes de los instrumentos musicales bajo estudio.

Carapa guianensis muestra grandes similitudes con *Svietenia macrophylla* y anatómicamente es muy difícil la separación de ambas especies. En la manufactura de los instrumentos estudiados *C. guianensis* podría ser sustituta de *S. macrophylla*, *S. mahagoni* y *Cedrela odorata* (Figura 3); especies que tradicionalmente se han utilizado para cuerpo, mástil y pala de guitarras eléctricas y bajos (Noriega, 1997; Guardiola, 1997; Ramos, 1998; Mas, 2000), tapa, contratapa, laterales y mástil de guitarras acústicas (Miquel, 1997a; Picazos, 1998; Bennet, 2016) y caja de resonancia, mástil y pala de cuatros (Borrero, 2016; Sandoval, 2016).

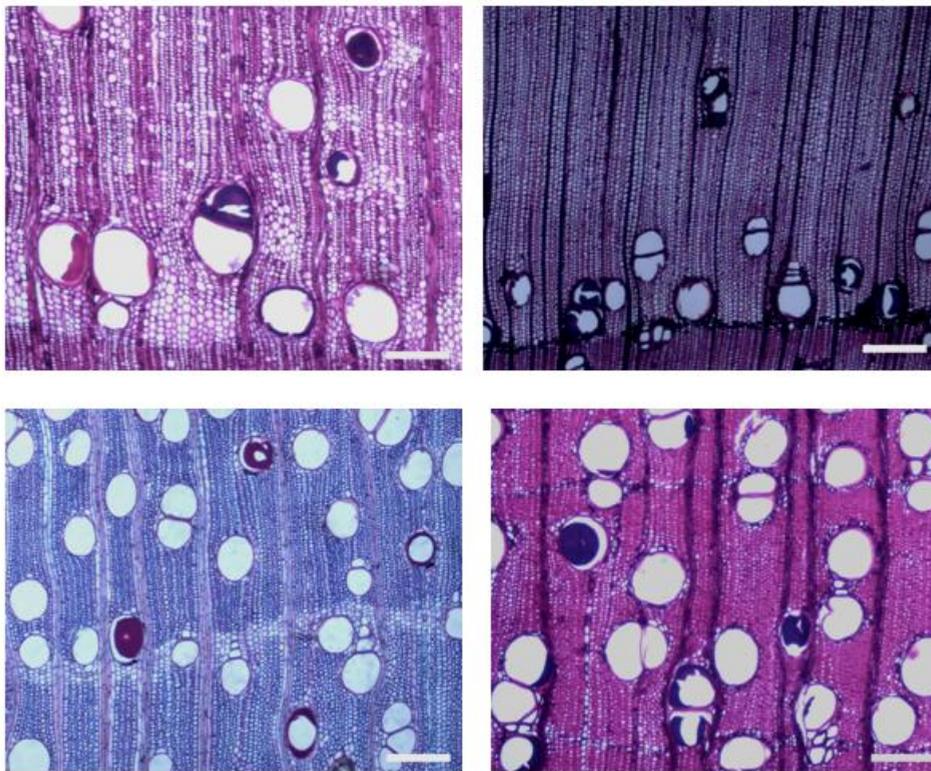


Figura 3: Secciones transversales de *Cedrela odorata* (a), *C. montana* (b), *Swietenia macrophylla* (c) y *Carapa guianensis* (d) (Barra = 300 μ m).

Es importante acotar que *Carapa guianensis* es una de las especies en los planes de aprovechamiento que lleva a cabo la Empresa Nacional Forestal en la Reserva Forestal Imataca (estado Bolívar). También se pudo observar la notable similitud entre *C. odorata* y *C. montana*, especies que de acuerdo a Espinoza (1987) sólo pueden separarse por caracteres cuantitativos. Por su parte, *Caesalpinia punctata* tiene características anatómicas que podrían dar la posibilidad de utilizarla como sustituta de *Dyospiros ebenum* en la producción de puentes y diapason para guitarras eléctricas, acústicas y bajos. Aun cuando se trata de especies de grupos taxonómicos diferentes, hay algunas características en *Caesalpinia punctata* que coinciden con *Dyospiros ebenum* (alta densidad, poros pequeños, fibras de paredes muy gruesas, radios bajos, ausencia de estructuras secretoras, color negro (Figura 4), textura fina) que pueden indicarla como posible sustituta de una de las maderas más valiosas dentro del mercado internacional como lo es *Dyospiros ebenum*. *Handroanthus serratifolius* y *Peltogyne paniculata* también podrían sustituir a *D. ebenum*. Por otra parte, especies como *Hymenaea courbaril* y *Platymiscium pinnatum* presentan una estructura anatómica que permite sugerirlas como sustitutas de *Dalbergia nigra* en lo que corresponde a puentes y diapason de guitarras y bajos ya que

características como su alta densidad, poros pequeños a medianos, fibras de paredes gruesas muy gruesas y textura fina indican su factibilidad de ser usada en este tipo de manufactura, además de tener como elemento adicional un color atractivo. Es importante acotar que *Hymenaea courbaril*, *Peltogyne paniculata* y *Platymiscium pinnatum* se han venido incorporando en partes de cuatros, pero no se ha tomado en consideración para guitarras y bajos en marcas de reconocida calidad.

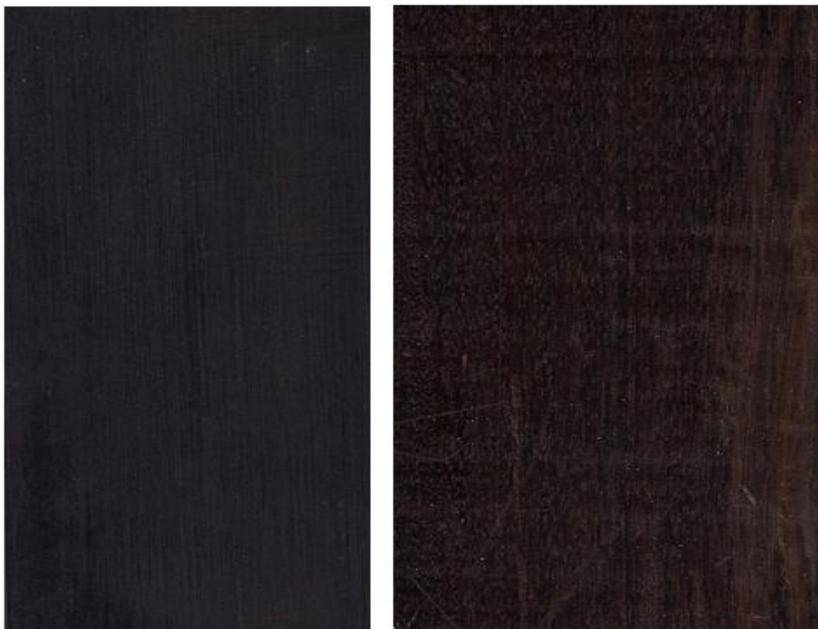


Figura 4: *Diospyros ebenum* (a) y *Caesalpinia punctata* (b)

Por otra parte, *Gmelina arborea* muestra similitudes con algunas especies de *Acer* las cuales son de amplio uso en la producción de mástil y pala de guitarras eléctricas y bajos (Miquel, 1997b; Noriega, 1997; Mas, 1997; 2000). Según las descripciones presentadas por Pashin & de Zeeuw (1980), para *Acer macrophyllum* y *A. saccharum*; se encontraron similitudes con *Gmelina arborea* en los siguientes aspectos: tipo de porosidad, agrupación y disposición de vasos, tipo y tamaño de punteaduras, tipo de placa de perforación, grosor de paredes de las fibras, ancho de radios, grado de dureza y también en las variaciones en cuanto a dirección del grano. Las similitudes anatómicas y de apariencia son un indicativo de poder usar la madera de *Gmelina arborea* para partes de los instrumentos antes mencionados. En cuanto a la disponibilidad de esa especie en el país, se han establecido plantaciones en los llanos occidentales de manera exitosa lo cual indica la factibilidad de disponer de materia prima en cantidades adecuadas y garantizar un suministro a largo plazo.

Con relación a *Fraxinus* sp., es una especie que se utiliza para el cuerpo de

guitarras eléctricas y bajos (Noriega, 1997; Mastermusic, 2015) y mástil de cuatros (D'Gucci, 2016). A pesar de las diferencias en cuanto a dureza, porosidad, grosor de paredes de las fibras y estratificación de algunos elementos anatómicos (radios, parénquima), *Tabebuia rosea* podría ser una especie sustitutiva de *Fraxinus*. Adicionalmente, también se tienen experiencias exitosas de plantaciones de *Fraxinus americana* en el estado Mérida, lo que podría constituir una alternativa para la manufactura de partes de instrumentos musicales.

Con respecto a especies de gimnospermas, Bennett (2016) señala algunas especies de *Picea* (*P. abies*, *P. engelmannii*, *P. rubens*, *P. sitchensis*) como una de las más utilizadas en tapas de cajas de resonancia de guitarras acústicas; mientras que D'Gucci (2016) utiliza *P. sitchensis* para el cuerpo de cuatros. Al establecer comparaciones entre lo observado en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* con las descripciones presentadas por Pashin & de Zeeuw (1980) para *Picea* spp. se encuentran notables similitudes y la principal diferencia radica en el tipo de punteaduras del área de cruce: pinoide en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* y piceoide en *Picea* spp. además de la presencia de conductos resiníferos de mayor tamaño en *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

4. Conclusiones

De acuerdo a la anatomía de la madera, las especies *Caesalpinia punctata*, *Carapa guianensis*, *Cedrela montana*, *Gmelina arborea*, *Handroanthus serratifolius*, *Hymenaea courbaril*, *Peltogyne paniculata*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Platymiscium pinnatum*, *Tabebuia rosea* representan buenas alternativas para la sustitución de especies tradicionalmente valiosas en la manufactura de guitarras eléctricas, acústicas, bajos eléctricos y cuatros. *Caesalpinia punctata* podría ser utilizada en la producción de puentes y diapasones, sustituyendo a las altamente valiosas y costosas *Diospyros ebenum* y *Dalbergia nigra*. Otras especies que podrían ser utilizadas para puentes y diapasones son *Handroanthus serratifolius*, *Hymenaea courbaril*, *Peltogyne paniculata* y *Platymiscium pinnatum*. *Carapa guianensis* presenta características que la muestran como adecuada para cuerpo, mástil y pala de guitarras eléctricas y bajos; así como también para cajas de resonancia, mástil, pala y diapasones de guitarras acústicas y cuatros. En este caso es una opción para sustituir *Swietenia macrophylla*, *S. mahagoni* y *Cedrela odorata*. Esta última también puede ser sustituida por *Cedrela montana*. *Gmelina arborea*, especie introducida en Venezuela, ofrece posibilidades de ser utilizada para mástil y pala de guitarras eléctricas, bajos y en contratapa y laterales de guitarras acústicas, sustituyendo a especies del género *Acer*. Para el cuerpo de guitarras eléctricas y bajos, *Tabebuia rosea* es una alternativa que también puede ser utilizada en el mástil de cuatros en sustitución de *Fraxinus* sp. Adicionalmente, también se puede visualizar la alternativa de establecer plantaciones de *Fraxinus americana* basándose en algunas experiencias exitosas en el estado Mérida. Con respecto a la madera de gimnospermas, el material de plantaciones de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* presenta características que la hacen una posible alternativa para tapa de cajas de resonancia de guitarras acústicas y cuerpo de cuatros, en sustitución de especies del género *Picea*. También podría ser adecuada para el cuerpo y mástil de guitarras eléctricas y bajos.

5. Referencias bibliográficas

- ANGYALOSSY, V., E. AMANO & E. SEGALA. 2005. Madeiras utilizadas na fabricacao de arcos para instrumentos de corda: aspectos anatomicos. *Act. Bot. Bras.* 19 (4): 819-834.
- BENNETT, B. 2016. The sound of trees: Wood selection in guitars and other cordophones. *Economic Botany* XX (X): 1:15. doi: 10.1007/s12231-016-9336-0
- BORRERO, P. 2016. Luthier Pedro Borrero. <http://tucuatro.com/info/luthier/pedro-borrero/>
- CÁRDENAS L., D. & N. SALINAS. 2007. *Libro rojo de plantas de Colombia V. 4: Especies maderables amenazadas primera parte*. Instituto Alexander von Humboldt, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Bogotá, Colombia. 232 p.
- D' GUCCI, Y. 2016. El cuatro venezolano: La serie de las maderas preciosas. http://tucuatro.com/info/wp-content/uploads/sites/6/CuatroCeleste_2015_SP.pdf
- ESPINOZA de P., N. 1987. Estudio xilológico de algunas especies de *Cedrela* y *Toona*. *Revista Pittieria* 14: 5-32.
- FENDER. 2016. Fender American Elite Stratocaster. <http://intl.fender.com/es-VE/guitars/stratocaster/american-elite-stratocaster-rosewood-fingerboard-3-color-sunburst/>
- GARCÍA, L., P. DE PALACIOS, A. GUINDEO, L. GARCÍA, I. LÁZARO, L. GONZÁLEZ, Y. RODRÍGUEZ, F. GARCÍA, I. BOBADILLA & A. CAMACHO. 2002. *Anatomía e identificación de maderas de coníferas a nivel de especie*. Fundación Conde del Valle de Salazar-Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 421 p.
- GASSON, P., R. MILLER, D. STEKEL, F. WHINDER & K. SIEMINSKA. 2010. Wood identification of *Dalbergia nigra* (CITES Appendix 1) using quantitative wood anatomy, principal components analysis and naïve Bayes classification. *Annals of Botany* 105: 45-56.
- GUARDIOLA, P. 1997. Washburn Sammy Hagar RR 100. *Guitar Player* 64: 68-70.
- HOKCHE, O., P. BERRY & O. HUBER. 2008. *Nuevo catálogo de la flora vascular de Venezuela*. Fundación Instituto Botánico de Venezuela. Caracas, Venezuela. 859 p.
- IAWA COMMITTEE. 1989. IAWA List of microscopic features for hardwood identification. *LAWA Bull. n. s.* 10 (3): 219-332.
- INSIDEWOOD. 2017. The InsideWood database. <http://insidewood.lib.ncsu.edu/search>

- KIRLIN, J. 2015. El futuro de la explotación forestal de madera para instrumentos. *Wood & Steel* 81: 10-12.
- KRIBS, D. 1968. *Commercial foreign woods in the american market*. Dover Publications Inc. New York. 241 p.
- LENS, F. 2005. *Systematic significance of wood anatomical characters in Ericales*. Proefschrift, Laboratorium voor Systematik, K.U. Leuven, Belgium, 290 p.
- LEÓN H., W. 2002. *Anatomía e Identificación Macroscópica de Maderas*. Universidad de Los Andes. Consejo de Publicaciones y Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico. Mérida, Venezuela.
- LEÓN H., W. 2014. Anatomía de maderas de 108 especies de Venezuela. *Revista Pittieria*. Serie Publicaciones Especiales PE1. 263 pp.
- LEÓN H., W. & N. ESPINOZA de P. 2001. *Anatomía de la Madera*. Universidad de Los Andes. Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico. Mérida, Venezuela.
- LLAMOZAS, S., R. DUNO DE STEFANO, W. MEIER, R. RIINA, F. STAUFFER, G. AYMARD, O. HUBER & R. ORTIZ. 2003. *Libro rojo de la flora venezolana*. PROVITA- Fundación POLAR-Fundación Instituto Botánico de Venezuela-Conservación Internacional. Caracas. 555 p.
- Mainieri, C. & J. Peres. 1989. *Fichas de características das madeiras brasileiras*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Divisao de Madeiras. Sao Paulo. 418 p.
- MAS, A. 1997. Fender Tex Mex Strat. *Guitar Player* 64: 14-15.
- MAS, A. 1998. Hamer Artits Studio59. *Guitar Player* 70: 68-69
- MAs, A. 2000. ESP Eclipse Arch-Top. *Guitar Player* 86: 12-13.
- MASTERMUSIC. 2015. Tipos de maderas para los instrumentos musicales. <http://mastermusicperu.blogspot.com/2015/08/tipos-de-maderas-para-los-instrumentos.html>
- MIQUEL, M. 1997a. Takamine Garth Brooks. *Guitar Player* 63: 14-16.
- MIQUEL, M. 1997b. Rickenbacker Dakota 620. *Guitar Player* 63: 12-13.
- MIQUEL, R. 1999. Madera: El corazón de la guitarra y el bajo. *Guitar Player* 74: 36-44.
- NORIEGA, A. 1998. Gibson Les Paul Studio. *Guitar Player* 97: 14-16.
- PASHIN, A. & C. DE ZEEUW. 1980. *Textbook of wood technology*. McGraw-Hill Inc. Series in Forest Resources. 3rd ed. New York. 722 p.
- PICAZOS, J. 1998. Takamine Ltd 98. *Guitar Player* 70: 70-74.
- SANDOVAL, A. 2016. Luthier Alfonso Sandoval./ <http://tucuatro.com/info/luthier>

/alfonso-sandoval/

RAMÍREZ, L. 2016. Luthier Luis Ramírez Hernández. <http://tucuatro.com/info/luthier/luthier-luis-ramirez-hernandez/>

RAMOS, M. 1998. Gibson SG all american. *Guitar Player* 68: 14.

YAMAHA. 2016. Classical guitars. http://usa.yamaha.com/products/musical-instruments/guitars-basses/cl-guitars/cg/#tab=product_lineup

WEGST, U. 2006. Wood for sound. *American Journal of Botany* 93 (10): 1439-1448.