



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE LOJA**

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES  
RENOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**“EVALUACIÓN ANATÓMICA DE 50 ESPECIES  
FORESTALES EN EL SUR DEL ECUADOR”**

*TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL*

**AUTOR:**

ANDRÉS ROOSEVELT ARMIJOS MONTAÑO

**DIRECTOR:**

ING. DARWIN ALEXANDER PUCHA COFREP Ph.D.

**LOJA - ECUADOR**

**2019**



**UNL**

Universidad  
Nacional  
de Loja

Laboratorio  
de Anatomía de  
Maderas Tropicales

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL**

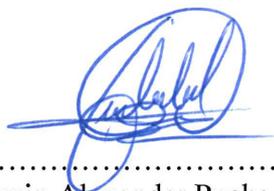
Yo, Darwin Pucha en calidad de Director de tesis

**CERTIFICO:**

Que el trabajo de tesis titulado **“EVALUACIÓN ANATÓMICA DE 50 ESPECIES FORESTALES EN EL SUR DEL ECUADOR”** de autoría del señor **Andrés Roosevelt Armijos Montaña** con número de cédula **1105006272**, estudiante de la Carrera de Ingeniería Forestal, ha sido dirigida, revisada y aprobada en su integridad de acuerdo al cronograma aprobado; por tal razón autorizo su presentación y publicación.

Loja, 31 de mayo de 2019

Atentamente,



.....  
Ing. Darwin Alexander Pucha Cofrep Ph.D.  
C.I.: 1104031529  
**DIRECTOR DE TESIS**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL**

Ing. Zhofre Huberto Aguirre Mendoza Ph.D.

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL CALIFICADOR DE LA TESIS**

**CERTIFICA:**

En calidad de presidente del Tribunal de Calificación de la Tesis titulada “**EVALUACIÓN ANATÓMICA DE 50 ESPECIES FORESTALES EN EL SUR DEL ECUADOR**” de autoría del señor egresado de la Carrera de Ingeniería Forestal **Andrés Roosevelt Armijos Montaña**, portador de la cédula N° 1105006272, se informa que la misma ha sido revisada e incorporadas todas las observaciones realizadas por el Tribunal Calificador, y luego de su revisión se ha procedido a la respectiva calificación. Por lo tanto, autorizo la versión final de la tesis y la entrega oficial para la sustentación pública.

Loja, 25 de junio de 2019

Atentamente,

  
.....  
Ing. Zhofre Huberto Aguirre Mendoza, Ph.D.  
**PRESIDENTE**

  
.....  
Ing. Dario Alfredo Veintimilla Ramos Mg. Sc.  
**VOCAL**

  
.....  
Ing. Vanessa Alexandra Granda Moser Mg. Sc.  
**VOCAL**

## AUTORÍA

Yo, Andrés Roosevelt Armijos Montaña declaro ser el autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepo y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

**Autor:** Andrés Roosevelt Armijos Montaña



**Firma:** .....

**Cédula:** 1105006272

**Fecha:** Loja 27 de junio del 2019

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Yo, Andrés Roosevelt Armijos Montaña, declaro se autor, de la tesis titulada “**EVALUACIÓN ANATÓMICA DE 50 ESPECIES FORESTALES EN EL SUR DEL ECUADOR**” como requisito para optar al grado de: Ingeniero Forestal, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja, para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los 27 días del mes de junio del dos mil diecinueve, firma autor.

**Firma:** .....

**Autor:** Andrés Roosevelt Armijos Montaña

**Número de Cédula:** 1105006272

**Dirección:** Av. 8 de diciembre y tribuno

**Correo electrónico:** asarmijos32@gmail.com

**Teléfono:** 2540088

**Celular:** +593996533131

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

Director de Tesis: Ing. Darwin Alexander Pucha Cofrep Ph.D.

Tribunal de Grado: Ing. Zhofre Huberto Aguirre Mendoza, Ph.D.      Presidente

Ing. Dario Alfredo Veintimilla Ramos, Mg. Sc.      Vocal

Ing. Vanessa Alexandra Granda Moser, Mg. Sc      Vocal

## **AGRADECIMIENTO**

*Expreso mi agradecimiento imperecedero a quienes hicieron posible y contribuyeron para que este trabajo investigativo sea posible.*

*Primeramente; a mi familia, principalmente a mis padres y hermanos por el apoyo incondicional que me han brindado; a mis amigos, compañeros y enamorada por cada palabra de aliento en el momento preciso, por su apoyo y sentido del humor, con los cuales he compartido grandes momentos.*

*A la Universidad Nacional de Loja, la Facultad Agropecuaria y Recursos Naturales Renovables y al Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales, y a todos los docentes durante mi formación profesional por haber sido mi segundo hogar de aprendizaje.*

*Finalmente, expreso mis más sinceros agradecimientos al Dr. Darwin Pucha PhD., por el conocimiento transmitido en esta etapa de mi vida.*

***Andrés Roosevelt Armijos Montaña***

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo de investigación, lo dedico a mis padres Roosevelt Armijos y Narcisa Montaña, quienes con amor, sabiduría y esfuerzo me han educado y enseñado a salir adelante; además, a mis hermanos: Kevin, Kelly y Daniel por su comprensión y apoyo en todo momento.*

*Y a todos quienes creyeron en mí, por apoyarme y por darme palabras de aliento para seguir adelante durante esta etapa de mi vida, sin la ayuda de todos ellos no habría sido posible este logro.*

***¡Con Gratitud y mucho respeto!***

***Andrés Roosevelt Armijos Montaña***

## ÍNDICE GENERAL

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
<b>PORTADA</b> .....	<b>I</b>
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>II</b>
<b>APROBACIÓN</b> .....	<b>III</b>
<b>AUTORÍA</b> .....	<b>IV</b>
<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>VI</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>VIII</b>
<b>TITULO</b> .....	<b>XVIII</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XIX</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>21</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>23</b>
2.1. Ecosistemas de la Región sur del Ecuador.....	23
2.1.1. Bosques Secos.....	23
2.1.2. Bosques Montanos.....	24
2.1.3. Bosques Húmedos.....	25
2.1.4. Gremios Ecológicos.....	26
2.1.4.1. Especies Heliófitas.....	26
2.1.4.2. Especies Esciófitas.....	26
2.2. Generalidades de la madera.....	27
2.2.1. Composición química de la madera.....	27
2.2.2. Características de la madera.....	28
2.2.2.1. Características macroscópicas.....	28
2.2.2.2. Características microscópicas.....	28
2.2.3. Planos de corte para el estudio anatómico de la madera.....	29
2.2.4. Densidad de la madera.....	30
2.3. Anatomía de la madera.....	31
2.3.1. Definición.....	31
2.3.2. Importancia de los estudios anatómicos de la madera.....	32

2.3.3. Anatomía de la madera en angiospermas (latifoliadas) .....	33
2.3.3.1. Estructura .....	34
a) Sección transversal.....	34
b) Sección Radial.....	34
c) Sección tangencial.....	34
2.3.4. Anatomía de la madera en gimnospermas (coníferas).....	34
2.3.4.1. Estructura.....	35
a) Sección transversal.....	35
b) Sección Radial.....	35
c) Sección tangencial.....	36
2.3.4.2. Diferencias entre la madera de coníferas y de latifoliadas.....	36
2.4. Asociación Internacional de Anatomistas de la Madera. IAWA.....	37
2.4.1. Objetivos de la IAWA.....	37
2.4.2. Lista de características microscópicas IAWA para la identificación de maderas latifoliadas (Wheeler et al., 1989).....	38
2.4.3. Lista de características microscópicas IAWA para la identificación de maderas coníferas (Richter et al., 2004).....	39
2.5. Análisis de conglomerados (Clústeres).....	39
2.5.1. Finalidad del Análisis de conglomerados.....	40
2.5.2. Principios básicos del análisis de conglomerados.....	41
2.5.3. Clasificación del análisis de conglomerados o análisis clúster.....	41
2.5.3.1. Métodos jerárquicos.....	41
2.5.3.2. Métodos no jerárquicos.....	42
2.5.4. Medidas de Asociación.....	43
2.5.5. Método de Agrupamiento Jerárquico de Ward.....	43
2.6. Visualización gráfica de datos.....	44
2.6.1. Dendrogramas.....	44
2.6.2. Mapa de calor (Heat map) .....	45
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>47</b>
3.1. Área de estudio. ....	47
3.2. Ubicación geográfica.....	47
3.3. Descripción del área de estudio.....	47
3.4. Metodología.....	48

3.4.1. Selección de las muestras .....	48
3.4.2. Digitalización y captura de imágenes anatómicas.....	51
3.4.3. Identificación de características anatómicas de acuerdo a la nomenclatura IAWA.	51
3.4.4. Procesamiento y análisis estadístico de los datos de especies latifoliadas.....	56
3.4.4.1. Metodología para el análisis y visualización grafica.....	57
a) Matriz de correlación.....	58
b) Mapas de calor (Heat maps) y dendrogramas.....	58
3.4.5. Análisis de las características anatómicas en especies coníferas.....	60
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>61</b>
4.1. Especies forestales en estudio.....	61
4.2. Características anatómicas de acuerdo a la nomenclatura IAWA.....	61
4.2.1. Características anatómicas de especies latifoliadas.....	61
4.2.2. Características anatómicas de especies coníferas.....	85
4.3. Correlación entre especies forestales.....	86
4.4. Características anatómicas comunes entre especies forestales a través de Mapas de calor Mapas de calor (Heat map).....	94
4.5. Clasificación y agrupación de especies forestales a través de dendrogramas.....	95
4.6. Difusión de los resultados.....	100
<b>5. DISCUSIÓN.....</b>	<b>102</b>
5.1. Caracterización de los principales elementos anatómicos.....	102
5.1.1. Anillos de crecimiento.....	102
5.1.2. Forma y agrupación de poros o vasos.....	103
5.1.3. Parénquima.....	105
5.1.4. Células radiales y radios.....	106
5.2. Similitud y clasificación anatómica de las maderas.....	106
5.2.1. Correlación entre especies forestales.....	106
5.2.2. Agrupación y clasificación anatómica de especies forestales.....	108
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>110</b>
<b>7. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>111</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>112</b>
<b>9. ANEXOS.....</b>	<b>126</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Pág.
<b>Figura 1.</b> Planos de corte para estudios anatómicos de madera.....	29
<b>Figura 2.</b> Aspecto microscópico tridimensional de la madera de latifoliadas.....	33
<b>Figura 3.</b> Aspecto microscópico tridimensional de la madera de coníferas.....	35
<b>Figura 4.</b> Diferencias anatómicas entre madera de especies conifera y latifoliadas...	37
<b>Figura 5.</b> Etapas en un análisis de conglomerados.....	40
<b>Figura 6.</b> Representación gráfica del método de Ward.....	44
<b>Figura 7.</b> Representación gráfica de un dendrograma mediante el método Herralical Clustering.....	45
<b>Figura 8.</b> Representación gráfica de un heat map o mapa de calor.....	46
<b>Figura 9.</b> Ubicación de los sitios de recolección de las muestras.....	50
<b>Figura 10.</b> (a) Microscopio Olympus modelo BX41TF. (b) Posición de la dirección en la cual deben estar los radios en un corte transversal (izq.) y en un corte radial (der.) .....	51
<b>Figura 11.</b> Matriz utilizada para la identificación de las características anatómicas....	56
<b>Figura 12.</b> (a) Matriz de correlación. (b) Heat Maps. (c) Dendrograma de similitud....	57
<b>Figura 13.</b> Estandarización y recategorización en variables en binarias.....	57
<b>Figura 14.</b> Representación gráfica del agrupamiento jerárquico a través del método Ward D, mediante la herramienta de visualización grafica mapa de calor (heat map).....	60
<b>Figura 15.</b> Estructura anatómica de <i>Annona cherimola</i> .....	61
<b>Figura 16.</b> Estructura anatómica de <i>Oreopanax rosei</i> .....	62
<b>Figura 17.</b> Estructura anatómica de <i>Gynoxys nítida</i> .....	62
<b>Figura 18.</b> Estructura anatómica de <i>Alnus acuminata</i> .....	63

<b>Figura 19.</b>	Estructura anatómica de <i>Handroanthus billbergii</i> .....	63
<b>Figura 20.</b>	Estructura anatómica de <i>Handroanthus chrysanthus</i> .....	64
<b>Figura 21.</b>	Estructura anatómica de <i>Handroanthus serratifolius</i> .....	64
<b>Figura 22.</b>	Estructura anatómica de <i>Jacaranda copia</i> .....	65
<b>Figura 23.</b>	Estructura anatómica de <i>Jacaranda mimosifolia</i> .....	65
<b>Figura 24.</b>	Estructura anatómica de <i>Jacaranda sparrei</i> .....	66
<b>Figura 25.</b>	Estructura anatómica de <i>Ochroma pyramidale</i> .....	66
<b>Figura 26.</b>	Estructura anatómica de <i>Pseudobombax millei</i> .....	67
<b>Figura 27.</b>	Estructura anatómica de <i>Dacryodes peruviana</i> .....	67
<b>Figura 28.</b>	Estructura anatómica de <i>Clethra fimbriata</i> .....	68
<b>Figura 29.</b>	Estructura anatómica de <i>Terminalia amazonia</i> .....	68
<b>Figura 30.</b>	Estructura anatómica de <i>Acacia macracantha</i> .....	69
<b>Figura 31.</b>	Estructura anatómica de <i>Anadenanthera colubrina</i> .....	69
<b>Figura 32.</b>	Estructura anatómica de <i>Cedrelinga cateniformis</i> .....	70
<b>Figura 33.</b>	Estructura anatómica de <i>Erythrina velutina</i> .....	70
<b>Figura 34.</b>	Estructura anatómica de <i>Inga marginata</i> .....	71
<b>Figura 35.</b>	Estructura anatómica de <i>Parkia multijuga</i> .....	71
<b>Figura 36.</b>	Estructura anatómica de <i>Schizolobium parahyba</i> .....	72
<b>Figura 37.</b>	Estructura anatómica de <i>Juglans neotropica</i> .....	72
<b>Figura 38.</b>	Estructura anatómica de <i>Aniba sp.</i> .....	73
<b>Figura 39.</b>	Estructura anatómica de <i>Cordia alliodora</i> .....	73

<b>Figura 40.</b>	Estructura anatómica de <i>Ocotea aciphylla</i> .....	74
<b>Figura 41.</b>	Estructura anatómica de <i>Heliocarpus americanus</i> . ....	74
<b>Figura 42.</b>	Estructura anatómica de <i>Cedrela montana</i> .....	75
<b>Figura 43.</b>	Estructura anatómica de <i>Cedrela odorata</i> .....	75
<b>Figura 44.</b>	Estructura anatómica de <i>Guarea kunthiana</i> .....	76
<b>Figura 45.</b>	Estructura anatómica de <i>Swietenia macrophylla</i> .....	76
<b>Figura 46.</b>	Estructura anatómica de <i>Clarisia racemosa</i> .....	77
<b>Figura 47.</b>	Estructura anatómica de <i>Ficus (aff. cuatrecasana)</i> .....	77
<b>Figura 48.</b>	Estructura anatómica de <i>Poulsenia armata</i> .....	78
<b>Figura 49.</b>	Estructura anatómica de <i>Osteophloeum platyspermum</i> .....	78
<b>Figura 50.</b>	Estructura anatómica de <i>Virola sebifera</i> .....	79
<b>Figura 51.</b>	Estructura anatómica de <i>Eucalyptus globulus</i> .....	79
<b>Figura 52.</b>	Estructura anatómica de <i>Eugenia orthostemon</i> .....	80
<b>Figura 53.</b>	Estructura anatómica de <i>Chionanthus pubesens</i> .....	80
<b>Figura 54.</b>	Estructura anatómica de <i>Oreocallis grandiflora</i> .....	81
<b>Figura 55.</b>	Estructura anatómica de <i>Alibertia edulis</i> .....	81
<b>Figura 56.</b>	Estructura anatómica de <i>Cinchona officinalis</i> .....	82
<b>Figura 57.</b>	Estructura anatómica de <i>Salix humboldtiana</i> .....	82
<b>Figura 58.</b>	Estructura anatómica de <i>Pouteria lucuma</i> .....	83
<b>Figura 59.</b>	Estructura anatómica de <i>Pouteria sp.</i> .....	83
<b>Figura 60.</b>	Estructura anatómica de <i>Tectona grandis</i> .....	84

<b>Figura 61.</b>	Estructura anatómica de <i>Vochysia guianensis</i> .....	84
<b>Figura 62.</b>	Estructura anatómica de <i>Pinus patula</i> .....	85
<b>Figura 63.</b>	Estructura anatómica de <i>Podocarpus oleifolius</i> .....	85
<b>Figura 64.</b>	Estructura anatómica de <i>Prumnopitys montana</i> .....	86
<b>Figura 65.</b>	Características anatómicas similares entre <i>Jacaranda mimosifolia</i> y <i>Jacaranda sparrei</i> .....	87
<b>Figura 66.</b>	Características anatómicas similares entre: <i>Vochysia guianensis</i> y <i>Ficus (aff. cuatrecasana)</i> .....	88
<b>Figura 67.</b>	Características anatómicas similares entre: <i>Pouteria lucuma</i> y <i>Handroanthus billbergii</i> .....	88
<b>Figura 68.</b>	Características anatómicas similares entre: <i>Virola Sebifera</i> y <i>Eucalyptus globulus</i> .....	89
<b>Figura 69.</b>	Comparación entre las características anatómicas de: <i>Jacaranda mimosifolia</i> y <i>Cordia alliodora</i> .....	90
<b>Figura 70.</b>	Comparación entre las características anatómicas de: <i>Jacaranda mimosifolia</i> y <i>Eugenia orthostemon</i> .....	91
<b>Figura 71.</b>	Comparación entre las características anatómicas de: <i>Handroanthus billbergii</i> y <i>Aniba sp</i> .....	92
<b>Figura 72.</b>	Comparación entre las características anatómicas de: <i>Oreopanax rosei</i> y <i>Cedrelinga cateniformis</i> . .....	93
<b>Figura 73.</b>	Características anatómicas que obtuvieron mayor número de presencias....	94
<b>Figura 74.</b>	Características anatómicas presentes únicamente en una especie.....	94
<b>Figura 75.</b>	Visualización grafica del número de clúster de agrupamiento cortados al máximo nivel de distancia (8).....	95
<b>Figura 76.</b>	Representación gráfica de las especies que obtuvieron mayores índices de correlación.....	97
<b>Figura 77.</b>	Especies forestales con menor distancia en el dendrogramas de similitud..	98
<b>Figura 78.</b>	Sección transversal (10X) de <i>Cedrela odorata</i> y <i>Swietenia macrophylla</i> ...	98
<b>Figura 79.</b>	Sección tangencial (10X) de <i>Cedrela odorata</i> y <i>Swietenia macrophylla</i> ....	99
<b>Figura 80.</b>	Sección radial (10X) de <i>Cedrela odorata</i> y <i>Swietenia macrophylla</i> .....	99
<b>Figura 81.</b>	Sección transversal (10X) de <i>Clethra fimbriata</i> y <i>Gynoxys nítida</i> .....	99

<b>Figura 82.</b>	Sección tangencial (10X) de <i>Clethra fimbriata</i> y <i>Gynoxys nítida</i> .....	99
<b>Figura 83.</b>	Sección radial (10X) de <i>Clethra fimbriata</i> y <i>Gynoxys nítida</i> .....	100
<b>Figura 84.</b>	Socialización de resultados de la investigación en la UNL.....	100
<b>Figura 85.</b>	Socialización de resultados de la investigación en la Universidad de Cuenca.....	101

## ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Listado de especies forestales estudiadas.....	48
<b>Tabla 2.</b> Matriz de Recopilación para la información general de las especies en estudio.....	49
<b>Tabla 3.</b> Caracteres anatómicos observados por especie para el presente estudio, de acuerdo a la nomenclatura IAWA para especies latifoliadas.....	52
<b>Tabla 4.</b> Caracteres anatómicos observados por especie para el presente estudio, de acuerdo a la nomenclatura IAWA para especies coníferas.....	53
<b>Tabla 5.</b> Especies forestales que presentaron correlación positiva alta.....	87
<b>Tabla 6.</b> Especies forestales que presentaron correlación negativa significativa.....	89
<b>Tabla 7.</b> Diferencias entre las características anatómicas de: <i>Jacaranda mimosifolia</i> y <i>Cordia alliodora</i> .....	90
<b>Tabla 8.</b> Diferencias entre las características anatómicas de: <i>Jacaranda mimosifolia</i> y <i>Eugenia orthostemon</i> .....	91
<b>Tabla 9.</b> Diferencias entre las características anatómicas de: <i>Handroanthus billbergii</i> y <i>Aniba sp.</i> .....	92
<b>Tabla 10.</b> Diferencias entre las características anatómicas de: <i>Oreopanax rosei</i> y <i>Cedrelinga cateniformis</i> .....	93
<b>Tabla 11.</b> Características anatómicas que presentaron un mayor número de presencia entre las especies dentro del Clúster A.....	96
<b>Tabla 12.</b> Características anatómicas que presentaron un mayor número de presencia entre las especies dentro del Clúster B.....	96

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 1.</b> Grupos de trabajo del período 2016-2018 dentro del Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales de la Universidad Nacional de Loja.....	126
<b>Anexo 2.</b> Preparación de las muestras para estudio anatómico dentro del laboratorio.	127
<b>Anexo 3.</b> Sitios de procedencia de las probetas de las 50 especies, recolectadas entre los años 2016-2018.....	130
<b>Anexo 4.</b> Listado completo de características microscópicas de la normativa IAWA para especies latifoliadas.....	131
<b>Anexo 5.</b> Listado completo de características microscópicas de la normativa IAWA para especies coníferas.....	135
<b>Anexo 6.</b> Identificación de características anatómicas en especies latifoliadas.....	139
<b>Anexo 7.</b> Identificación de características anatómicas en especies coníferas.....	142
<b>Anexo 8.</b> Código en R utilizado para la obtención de las herramientas gráficas: Matriz de correlación, Heat maps y Dendrogramas.....	143
<b>Anexo 9.</b> Difusión de resultados.....	156

**“EVALUACIÓN ANATÓMICA DE 50 ESPECIES FORESTALES EN EL SUR DEL  
ECUADOR”**

## RESUMEN

El estudio de maderas tropicales a través de sus características anatómicas ha tomado mayor importancia en años recientes como una herramienta clave para el control y manejo forestal. Por ello, en el presente estudio se realizó una clasificación automatizada de especies forestales de acuerdo a sus características anatómicas, utilizando métodos estadísticos no supervisados. Para ello se utilizó registros anatómicos de 50 especies forestales del Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales durante el período académico 2016-2018, analizándose 50 características anatómicas por cada especie en base a la normativa IAWA. El análisis estadístico para identificar similitudes entre especies, se realizó mediante dendrogramas con clustering tipo Ward D., matrices de correlación ( $r$  significativo con  $p < 0.05$ ) y mapas de calor a través la plataforma de programación estadística R. La información y resultados permitieron determinar que la familia y género no siempre influyen en las propiedades anatómicas de la madera, *Vochysia guianensis* (Vochysiaceae) y *Ficus* (*aff. cuatrecasana*) (Moraceae) a pesar de pertenecer a familias diferentes mostraron una alta similitud entre sus características anatómicas ( $r = 0,66$ ,  $p$ -value: 0.001), lo mismo fue el caso de *Pouteria lucuma* y *Handroanthus billbergii*, *Virola Sebifera* y *Eucalyptus globulus*. Sin embargo, en un sólo caso se encontró similitudes significantes entre especies de un mismo género como lo fue con *Jacaranda mimosifolia* y *Jacaranda sparrei* (Bignonaceae), y de una misma familia *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla* y *Guarea kunthiana* (Meliaceae). Por ello, es necesario continuar con estudios más profundos de caracterización anatómica, así como su relación con el sitio y condiciones climáticas para conocer a mayor precisión estas diferencias, y que sirvan como una herramienta para la identificación y origen de las maderas tropicales.

**Palabras clave:** anatomía madera, correlación, identificación de maderas.

## ABSTRACT

The study of tropical woods through their anatomical characteristics has taken on greater importance in recent years and is of great importance as a key tool for forest control and management. Therefore, in the present study, an automated classification of forest species according to their anatomical characteristics was carried out using unsupervised statistical methods. Anatomical records of 50 forest species from the Tropical Timber Anatomy Laboratory were used during the 2016-2018 academic period, considering the main 50 anatomical characteristics for each species based on IAWA standards. The statistical analysis to identify similarities between species was carried out by means of dendrograms with clustering type Ward D., correlation matrix (significant  $r$  with  $p < 0.05$ ) and heat maps through the statistical programming platform R. The information and results allowed us to determine that the family and genus do not always influence the anatomical properties of the wood. *Vochysia guianensis* (Vochysiaceae) and *Ficus* (*aff. cuatrecasana*) (Moraceae) even though belonging to different families showed a high similarity between their anatomical characteristics ( $r = 0.66$ ,  $p$ -value: 0.001), the same was the case of *Pouteria lucuma* and *Handroanthus billbergii*, *Virola Sebifera* and *Eucalyptus globulus* among others. However, in only one case were found significant similarities between species of the same genus as it was with *Jacaranda mimosifolia* and *Jacaranda sparrei* (Bignoniaceae), and of the same family *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, and *Guarea kunthiana* (Meliaceae). For this reason, it is necessary to continue with more detailed studies related to anatomical characterization, as well as its relationship with the site, and climatic conditions know these differences with greater precision, and to serve us as a tool for the identification and origin of tropical woods.

**Key words:** wood anatomy, correlation, wood identification.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los recursos forestales contribuyen de forma vital al desarrollo y bienestar de la sociedad, ya sea desde el punto de vista ecológico y socioeconómico en Latinoamérica, constituyéndose en un importante insumo del proceso industrial primario y secundario (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2001). Ecuador es considerado como uno de los 17 países mega diversos del mundo por su diversidad florística que asciende a un total de 18198 especies de plantas vasculares (Aguirre et al., 2015), y de ellas 7048 especies están en la Región sur del Ecuador, por lo que es considerada como la región con mayor diversidad biológica del país.

A nivel industrial el Ministerio del Ambiente Ecuatoriano (MAE) supervisa las etapas primarias de producción, tenencia, aprovechamiento y comercialización de materias primas forestales (MAE, 2014). Sin embargo, la explotación forestal en Ecuador trae como consecuencia una fuerte disminución en sus poblaciones naturales por la alta demanda de madera. Por ello, las maderas de alto valor comercial son las más vulnerables, de manera que se deja de lado a otras especies por no contar con estudios que permitan conocer sus características y cualidades para un aprovechamiento forestal sostenible.

El potencial de una madera está expresado a través de sus propiedades y características físico-mecánicas, macroscópicas y microscópicas que obedecen a las condiciones del medio en el que se desarrollan. Rendle (1932) mencionó que el vínculo entre la silvicultura y la botánica se centra en la Anatomía de la Madera, dado que el estudio de los árboles mediante sus características morfológicas permite la identificación y clasificación taxonómica; la madera analizada desde sus características microscópicas, de la misma manera permite llegar a un nivel de clasificación e identificación taxonómica. La diferencia de las características microscópicas anatómicas es como una huella digital para identificar una especie maderable de otra (Feijoo et al., 2018).

Hasta el momento, el número de publicaciones que facilitan la identificación de maderas partir de sus características anatómicas es limitado tomando en cuenta el número total de especies arbóreas que existen en Ecuador (Ganzhi, 2006; Tamayo, 2008; Benítez, 2011; Baños, 2017; Armijos et al, 2017; Saigua, 2018; Llerena, 2018; Ocampo, 2018; Águila et al, 2018; Barrera et al. 2018; Feijoo et al., 2018 y Salinas, 2019). Esta dificultad también limita la capacidad de las autoridades ambientales para supervisar la presencia de especies forestales en los centros de

aserrío o comercio de madera, o bien, en los centros de control dirigidos a la detección de madera de procedencia ilegal.

Una de las cosas más difíciles de hacer en la identificación de la madera es saber a qué nivel (familia, género, grupo de especies o especie) una madera puede ser identificada y cuándo estar de acuerdo con una identificación (Wheeler y Baas, 1998). Ante este problema, una técnica promisoría para la identificación de las especies forestales se basa en la anatomía de sus maderas (Bass, 1982; León y Espinoza, 2001; World Wildlife Fund (WWF), 2013; The Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES), 2017).

En este contexto, la presente investigación generó información base respecto al conocimiento de las características anatómicas de maderas regionales, conocer cuáles son las características anatómicas comunes entre especies y consolidar una base de datos inicial dentro del Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales de la Universidad Nacional de Loja (Ecuador). Para ello, los objetivos propuestos en la investigación fueron:

Objetivo general:

- Generar información primaria sobre las características anatómicas de la madera en 50 especies forestales del sur del Ecuador.

Objetivos específicos:

- Identificar las características anatómicas comunes entre 50 especies forestales del sur del Ecuador.
- Difundir los resultados y metodología del proyecto de investigación a los actores involucrados en el sector forestal.

Este documento contiene información sobre: la descripción de características anatómicas de 50 especies forestales; así como, la similitud y diferencia entre ellas basadas en la presencia/ausencia de anillos de crecimiento, forma y agrupación de poros/vasos, parénquima, radios y tipo de células radiales; y, el agrupamiento e identificación de pares de especies que presentan relación anatómica entre sí.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Ecosistemas de la Región sur del Ecuador**

La región sur del Ecuador es la menos extensa del país, pero es una de las regiones biológicamente más diversas e importantes a nivel nacional y mundial (Aguirre et al., 2001; Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES), 2010). La posición tropical, presencia de la Cordillera de los Andes, formación fitogeográfica Huancabamba, cuencas hidrográficas, vientos alisios, influencia étnica, aislamiento geográfico, corrientes Marinas (fría de Humboldt y cálida de El Niño) y suelos, influyen en el alto nivel de diversidad (Samaniego et al., 2015) encontrándose 7048 especies de plantas vasculares (Lozano, 2002), más de 1000 especies de aves (Correa y Ordoñez, 2007), cerca de 127 especies de mamíferos y alrededor de 130 especies de reptiles y 110 anfibios (SENPLADES, 2010).

#### **2.1.1. Bosques secos**

Los bosques secos ecuatorianos albergan remanentes de importancia global para la conservación con especies y hábitats únicos y se constituye como un ecosistema clave que sostiene la vida productiva de más de 65 000 habitantes, especialmente como fuente generadora de agua (The Nature Conservancy, 2011), siendo formaciones vegetales donde más del 75 % de su flora pierde estacionalmente sus hojas. Sin embargo, esto no implica que se produzca un auténtico periodo de descanso fisiológico, ya que muchas especies florecen en esa época (Aguirre et al., 2001; Aguirre y Kvist, 2005).

Constituyen un tipo de vegetación muy frágil, que se desarrolla en condiciones climáticas extremas (Klitgard et al., 1999), donde los meses secos fluctúan entre tres y ocho con un promedio de lluvia anual inferior a 2000 mm y una temperatura que varía entre 20 y 27°C. En la provincia de Loja el 31 % de la superficie total está considerado como bosque seco con características edafológicas particulares: suelos llanos y pedregosos, subsuelos rocosos, altas concentraciones salinas y estratos arcillosos impermeables que no le permiten la retención de humedad. Al llegar las lluvias, el agua se escurre y no se acumula en el suelo, en consecuencia, sus suelos son vulnerables a deslaves e inundaciones (Bustamante, 2009).

Los bosques secos occidentales en la provincia de Loja son considerados como el Centro de Endemismo Tumbesino (Kessler, 1992), debido a un alto número de especies de aves endémicas, también llamado Centro de Endemismo de Plantas Áridas del Guayas (Madsen et

al., 2001), análisis de distribución demuestran que el endemismo en los bosques secos es tan alto como en los bosques húmedos (Jiggins et al., 1999), dado que se caracteriza por la presencia de vegetación de tipo costera y se extiende desde la parte centro-norte hacia el sur del país, con elementos florísticos adaptados y especializados en estos ecosistemas con condiciones extremas de aridez (Loja y Solano, 2015).

Estudios realizados por Aguirre et al., (2006); Aguirre y Kvist (2005) demuestran que la composición y estructura de los bosques secos son típicos: *Ceiba trichistandra*, *Eriotheca ruizii*, *Simira ecuadorensis*, *Handroanthus chrysanthus*, *Handroanthus bilbergii*, *Terminalia valverdeae*, *Cordia macrantha*, *Cochlospermum vitifolium*, *Bursera graveolens*, *Caesalpinia glabrata*, *Piscidia carthagenensis*, *Geoffroea spinosa*, *Cordia lutea*, *H. chrysanthus* y *H. bilbergii* “guayacán” son especies características de los bosques secos del Ecuador y su abundancia depende del grado de intervención antrópica que ha soportado. Su fenología depende directamente de factores climáticos, especialmente la precipitación. Al tratarse de especies caducifolias, éstas se defolian, brotan y forman botones florales cuando aparecen las primeras lluvias.

### **2.1.2. Bosques montanos**

El Bosque montano también conocido como "bosque de niebla" o “bosque andino”, hace referencia a un conjunto de ecosistemas ubicados en las laderas de las zonas montañosas, a ambos lados de la cordillera andina (Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales (MECN), 2009); y albergan una gran diversidad de flora y fauna nativa, en su mayoría endémica (MAE y FAO, 2015).

Los bosques montanos de la provincia de Loja han demostrado ser florísticamente más diversos que los que se encuentran al norte del país dado que presentan una alta biodiversidad. Muestreos de vegetación en la parte occidental del Parque Nacional Podocarpus a 2 800 msnm, indican una densidad de 2 310 árboles  $\geq 5$  cm por hectárea (Madsen y Ollgaard, 1994).

Se caracterizan también por la presencia de epífitas y musgos que crecen en los árboles. La mayoría de especies de epífitas son Orchidaceae, pero las Araceae y Bromeliaceae son las más abundantes (Webster, 1995). Se localizan en las provincias de Zamora Chinchipe, Loja y El Oro; en El Oro en los rangos altitudinales de 2000–2800 msnm en las partes altas de Chilla. En la provincia de Loja en el rango altitudinal 2300–2900 msnm en la zona del flanco occidental del Parque Nacional Podocarpus (Cajanuma, Cerro Toledo, Cruz del Soldado en el cruce de

Sabanilla Loja–Zamora), al norte en Acacana, La Cofradía, Loma del Oro, Fierro-Urco, entre Celén y Selva alegre, Bellavista (Manú), Cerro Santa Ana, Bosque de Angashcola en Amaluza (Lozano et al., 2002).

La vegetación característica de este tipo de bosques es: *Cinchona officinalis* y *C. macrocalyx* (Rubiaceae), *Mutisia magnifica* (Asteraceae), *Symplocos truncata* (Symplocaceae), *Podocarpus oleifolius* y *Podocarpus sprucei* (Podocarpaceae), *Polylepis incana* (Rosaceae), *Ceroxylon parvifrons*, *Geonoma lindeniana* (Arecaceae), *Desfontainia spinosa* (Loganiaceae); *Berberis pichinchensis* (Berberidaceae); *Alnus acuminata* (Betulaceae); *Weinmannia macrophylla* (Cunoniaceae); *Cyathea caracasana* (Cyatheaceae); *Persea ferruginea* (Lauraceae); *Miconia obscura* (Melastomataceae), *Chusquea scandens* (Poaceae); *Serjania paniculata* (Sapindaceae) (Lozano et al., 2002).

### **2.1.3. Bosques húmedos**

Los bosques tropicales se encuentran aproximadamente entre las latitudes 10° N y 10° S y representan casi un 25 % de la superficie total de bosques en el mundo. Según la FAO (1993), éstos incluyen: bosques húmedos, bosques húmedos bajos, bosques siempre verdes, bosques húmedos semi-caducifolios, terrenos boscosos y sabanas arboladas, en regiones donde la precipitación media anual es superior a 1 000 mm.

La región amazónica del Ecuador (RAE) con aproximadamente 82 120 km<sup>2</sup> representa cerca del 30 % del territorio nacional, pero en el contexto regional solo el 2 % de la Cuenca Amazónica. Incluye las planicies de inundación de los ríos de origen andino y amazónico, sus interfluvios, así como las cordilleras amazónicas que se levantan hacia el sur. Esta región abarca un rango altitudinal desde 150 msnm en la parte más baja de la llanura amazónica y 3 100 msnm en las cumbres de las cordilleras amazónicas (MAE, 2015).

La vegetación característica de este tipo de bosques es:

*Mauritia flexuosa* (Arecaceae), *Iriartea deltoidea* (Arecaceae), *Socratea exorrhiza* (Arecaceae), *Euterpe precatoria* (Arecaceae), *Cedrela odorata* (Meliaceae), *Cedrela fissilis* (Meliaceae), *Carapa guianensis* (Meliaceae), *Swietenia macrophylla* (Meliaceae), *Guarea kunthiana* (Meliaceae), *Jacaranda copaia* (Bignoniaceae), *Clarisia racemosa* (Moraceae) (Aguirre et al., 2016).

#### **2.1.4. Gremios ecológicos**

Un gremio ecológico se define como un grupo de especies que explota la misma clase de recursos del ambiente de una manera similar, sin considerar la posición taxonómica (Root, 1967), como el caso de condiciones de iluminación para su desarrollo, propiedades de la madera, tasas de crecimiento, métodos de dispersión y longevidad (Finegan 1996; Salazar, 2001). Donde el gradiente lumínico es reconocido como el factor ambiental que presenta mayor variación, de ahí que las especies forestales se clasifican de acuerdo a dos estrategias básicas conocidas como esciofitismo y heliofitismo (Swaine y Whitmore, 1988).

##### **2.1.4.1. Especies Heliófitas**

Las plantas heliófitas o "pioneras", también denominadas intolerantes a la sombra, son aquellas que requieren de un alto grado de iluminación para desarrollarse. Se les pueden atribuir propiedades comunes como: a) casi la totalidad de las especies se dispersan con el viento; b) producen abundantes semillas; c) colonizan claros que se abren en el bosque; y, d) son agresivas y de rápido crecimiento.

A su vez, las especies heliófitas pueden subdividirse en: efímeras y durables (Finegan, 1992). El grupo de las heliófitas efímeras, también llamadas gremio de regeneración, lo componen aquellas especies pioneras que colonizan los diferentes claros, son preferentemente grandes, presentan crecimiento rápido, ciclo de vida relativamente corto y se encuentran con mayor densidad en claros recientes.

En cambio, las heliófitas durables o gremio de sol, son especies de vida relativamente larga, que pueden tener un crecimiento entre rápido y regular y alcanzar grandes dimensiones, tanto en diámetro como en altura (Finegan, 1996).

##### **2.1.4.2. Especies Esciófitas**

Las esciófitas o "no-pioneras" son aquellas plantas tolerantes a la sombra en una primera fase de su desarrollo y se caracterizan por lo general por: a) su lento crecimiento; b) su capacidad de establecerse y crecer bajo sombra; c) diámetros pequeños a medianos de los árboles adultos; y, d) producción de semillas pesadas de tamaño mediano a grande, con una latencia mayor a la del grupo de las heliófitas (Clark y Clark, 1987; Finegan, 1996).

## **2.2. Generalidades de la madera**

El elemento fundamental y anatómico de la madera es la célula. La unión de las células forma el tejido, el conjunto de los tejidos determinan la masa leñosa o xilemática (Bosco, 1971). La madera proviene (del lat. materia), xilema (del griego lignificarse) o leño (del lat. lignum) es considerada como un material heterogéneo y anisotrópico correspondiente a la parte sólida de los árboles; con propiedades y características muy diferentes de acuerdo a la dirección considerada (García et al., 2003).

La madera es una materia prima de origen vegetal considerada como una sustancia dura y fibrosa que se desarrolla hacia la parte interna entre la medula y el cambium vascular lo que técnicamente se conoce con el nombre de xilema secundario; así como, en el tallo sus ramas y raíces formando parte del tronco de los árboles (León y Espinoza, 2001), siendo su función la de transportar agua y sustancias nutritivas del suelo hacia las hojas, dar soporte a las ramas que forman la copa y fijación de las sustancias de reserva almacenando los productos transformados en las hojas (Aguilar y Guzowski, 2011), distinguiéndose dos grupos de elementos estructurales: elementos macroscópicos y elementos microscópicos (León y Espinoza, 2001).

### **a) Elementos macroscópicos:**

Son aquellos que se observan a simple vista o con el uso de lentes de mano (lupas con aumento hasta de 10X) (León y Espinoza de Pernía, 1995).

### **b) Elementos microscópicos:**

Incluyen todos aquellos elementos cuya observación requiere de grandes aumentos, es decir, que es necesario el uso del microscopio óptico para su detección.

### **2.2.1. Composición química de la madera**

Las propiedades de la madera se las puede determinar mediante su estructura anatómica y su composición química (Igartúa, 2013). La madera es una mezcla de tres polímeros naturales: celulosa, lignina y hemicelulosas, que guardan una relación aproximada de 50:25:25, según el tipo de árbol, las variaciones biológicas y las condiciones de crecimiento.

Al igual que cualquier sustancia de origen natural orgánico, la madera se encuentra formada por: Carbono (50 %), Oxígeno (42 %), Hidrógeno (6 %), Nitrógeno (0,2 %) y además de otros elementos inorgánicos como fósforo, sodio o calcio (Presa, 2015).

Esto refleja que, dentro de la composición química elemental, no hay ninguna diferencia importante entre los bosques ya que los elementos químicos principales de madera están presentes en varias especies, incluso maderas Gimnospermas o blandas y Angiospermas o maderas duras, muestra la proporción de elementos, en porcentaje.

## **2.2.2. Características de la madera**

### **2.2.2.1. Características macroscópicas**

Las características macroscópicas son aquellas características observables a simple vista o con la ayuda de una lupa de mano de ampliación 10X o superior, la cual se la puede realizar directamente en terreno (León y Espinoza de Pernia, 1995). Las cuales están incluidas en tres categorías:

- **Características Estructurales:** anillos de crecimiento, madera temprana, madera tardía, albura y duramen.
- **Características Anatómicas:** vasos o poros, parénquima, radios, conductos, floema incluso.
- **Características Organolépticas:** sabor, olor, color, brillo o lustre, textura, grano, peso específico, dureza o hendibilidad y diseño o vetado.

### **2.2.2.2. Características microscópicas**

La estructura está determinada por el tipo de célula, tamaño y disposición. La madera es un tejido anisotrópico y ha sido descrito como un material ortotrópico produciendo material diferente en tres direcciones principales (Schachner et al., 2000).

Las características microscópicas son demasiado diminutas para ser observadas a simple vista o con una lupa de mano. Es por ello que para poder observarlas se precisa un microscopio óptico o electrónico; dentro un laboratorio especializado debido a que las características de la estructura de la madera no son sólo diferentes dentro de un género y especie, sino también dentro de un mismo árbol.

Cuando se trata de identificar una muestra de madera recurriendo a sus características anatómicas, es preciso entender qué plano (la “cara”, la “sección/corte” o la “superficie”) se está examinando para identificar la estructura de la madera. Las muestras muy labradas o muy delgadas pueden resultar difíciles de identificar. Para una identificación anatómica, procure, siempre que sea posible, extraer una muestra de al menos 1 a 3 cm<sup>3</sup> (CITES, 2015).

### 2.2.3. Planos de corte para el estudio anatómico de la madera

La madera, leño, o xilema se caracteriza por ser un material heterogéneo y anisotrópico, (Puertas et al., 2013) es decir sus propiedades y características anatómicas difieren de acuerdo con su plano de observación (Figura 1).

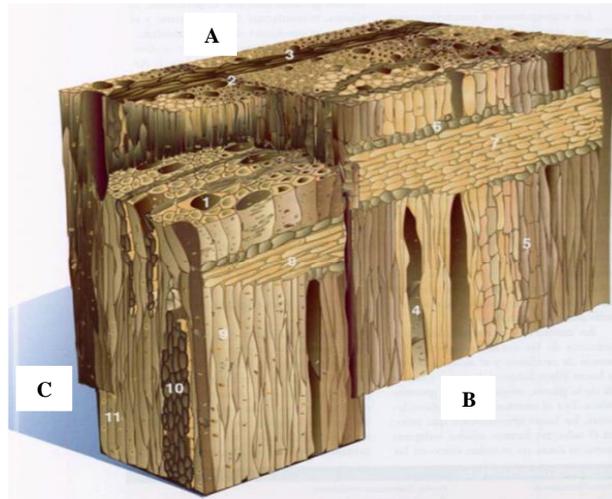


Figura 1. Planos de corte para estudios anatómicos de madera: A) sección transversal B) sección radial C) sección tangencial, A) 1: vaso 2: parénquima longitudinal 3: radio leñoso, B) 4: elemento vascular 5: parénquima longitudinal 6: células erectas 7: células procumbentes, 8: radio leñoso heterogéneo, 9: fibras, C) 10: radio leñoso multiseriado 11: fibras (García et al., 2003).

Se conoce como planos o secciones de corte en la madera a las superficies que resultan al cortar una pieza de madera en diferentes planos (Giménez et al., 2005). Debido a la manera como crece el árbol y el arreglo de las células xilemáticas dentro del tallo, se reconocen tres planos principales en los cuales la madera es examinada ordinariamente. Estos planos o superficies son: transversal, radial y tangencial.

Vásquez y Ramírez (2011) manifiestan que las células que componen la madera se disponen y se puede apreciar en diferentes direcciones, cambiando su aspecto y en ciertas ocasiones facilita su observación. En investigaciones con madera debe considerar los planos o secciones de corte:

a) Sección transversal: Es el corte perpendicular al eje longitudinal del tronco. Es la superficie observable en el extremo de una troza.

En este plano se observan los anillos de crecimiento y sus características: porcentaje de madera temprana y madera tardía y tipo de transición entre las mismas. Si los radios son lo suficientemente grandes se observan como líneas que cruzan los anillos de crecimiento en ángulo recto (León y Espinoza, 2001). Otros elementos macroscópicos que se observan en esta sección, son el tipo de porosidad, agrupación y disposición de los poros, contenido de los poros,

tamaño de los poros, tamaño de los radios, tipo de parénquima, textura y el tipo de transición que existe entre albura y duramen.

Al cortar a lo largo el tallo; este puede ser:

- b) Sección radial: Es el corte paralelo al eje longitudinal del tronco o tallo, en donde el mismo es paralelo a los radios y perpendicular a los anillos de crecimiento. A nivel macroscópico, en este plano se observa el tamaño de los radios, tipo de grano y el lustre o brillo de la madera.
- c) Sección tangencial: Es el corte paralelo al eje longitudinal del tronco o tallo, en donde el mismo es perpendicular a los radios o tangente a los anillos de crecimiento. En este plano, a nivel macroscópico, se observa la presencia de magnitud de las líneas vasculares. Los radios son visibles, a nivel macroscópico, solo si son de tamaño mediano a grande y se presentan como pequeñas líneas oscuras que se extienden en la dirección.

#### **2.2.4. Densidad de la madera**

La densidad es una característica física expresada por la relación entre la masa de un cuerpo y su respectivo volumen y su variación, depende en alto grado de la altura y sección del árbol, incluso está influenciada por la estructura genética del árbol, variando a su vez por la cantidad y clases de sustancias que contiene, por ejemplo resinas y ligninas (Silva, 2009).

Da Silva et al., (2009) menciona que la densidad de la madera es considerada como uno de los mejores indicadores de la resistencia y propiedades mecánicas en la madera, además de ser una de las propiedades físicas más importantes debido a la relación que tienen con otras propiedades y con la utilización de la madera.

La densidad o peso específico de la madera es la expresión física de algunas características anatómicas (Ninin, 1993). Si se analizan cada uno de esos factores: tamaño de las células, el espesor de sus paredes y la interacción entre el número de células de diferentes tipos; se puede observar que corresponden a la estructura anatómica de la madera (Pashin y De Zeeuw, 1980; Arroyo, 1983).

Sin embargo, para una misma densidad se pueden presentar algunas diferencias a nivel celular que ocasionan cambios en las propiedades de la madera (León, 2010). Por eso es importante conocer la forma como las características anatómicas afectan o influyen sobre la densidad o peso específico (Rathgeber et al., 2006).

## **2.3. Anatomía de la madera**

### **2.3.1. Definición**

Sólo entendiendo la estructura anatómica de la madera es posible entender por qué se forma una característica específica de la madera y cómo afecta a la forma en que se utiliza la madera. En última instancia, cada pregunta sobre las características de la madera es en realidad una cuestión de anatomía de la madera. Esto es cierto tanto para la madera de las zonas templadas como para la de los trópicos (Richter, 2010).

La Anatomía de la madera, es una rama de la Biología encargada de estudiar el xilema, leño o madera con el fin de: conocerlo y darle un uso correcto, determinar especies, predecir usos adecuados, prever el comportamiento del leño en procesos industriales y evaluar la aptitud tecnológica de la madera (Giménez et al., 2005).

Bamber, 1984 (citado en Román, 2016), menciona que existen dos líneas principales de investigación en el estudio anatómico de la madera: el estudio descriptivo de la madera, donde se describen los distintos tipos y características de las células que componen la madera, así como la variabilidad entre especies; y la identificación de maderas como aplicación práctica.

La identificación de la madera, según León y Espinoza (2001) tiene como objetivo conocer el árbol o la planta que la produce y esto se logra mediante el análisis de la estructura anatómica de la pieza en estudio. Esta identificación podría llevar a conocer el nombre de la especie a la cual pertenece la muestra de madera, pero muchas veces diferentes especies de un mismo género son muy similares en cuanto a su estructura anatómica y por ello sólo podemos conocer el género al cual pertenece la pieza de madera.

Es posible que muestras de madera en un árbol puedan diferir si se obtienen a diferentes alturas o distancias de la médula (Leal et al., 2007). La determinación de la anatomía de la madera es el primer paso hacia el establecimiento de posibles usos de un bosque en particular. Dado que a través del conocimiento de la estructura anatómica de la madera se puede conseguir información (Taxonomía, Ecología, Filogenia etc.), la misma que puede servir para la solución adecuada de problemas de explotación forestal, procesamiento y utilización de la madera, evolución de especies (León y Espinoza, 2001).

### **2.3.2. Importancia de los estudios anatómicos de la madera**

El estudio anatómico de especies maderables es de gran importancia como punto de partida de una correcta identificación de maderas, lo cual es necesario no sólo en el contexto comercial y legal, sino también para realizar un adecuado procesamiento, permitiéndonos comprender y predecir su comportamiento tecnológico, lo que a su vez es fundamental para un aprovechamiento del recurso forestal y el desarrollo de la industria relacionada a la madera.

En los últimos años se ha comprobado la aplicación de la anatomía de la madera en una variedad de contextos como en dendrocronología, arqueología, paleontología y en el campo forense, lo cual amplía aún más el campo de influencia de este tipo de estudio.

García et al., (2003) enfatizan que la Anatomía de la Madera ha visto incrementada su importancia, debido a que cada vez son más frecuentes las consultas sobre identificación de maderas a nivel de especie, en campos tan diversos como arqueología terrestre y marina, bellas artes, restauración de edificios, comercio nacional e internacional, tráfico de especies protegidas; etc.

Según Wheeler y Bass (1998) la correcta identificación de una especie es de gran importancia desde el punto de vista comercial, arqueológico y paleontológico, pero además está en relación con un apropiado procesamiento de la madera, especialmente el secado ya que especies aún parecidas requieren diferentes programas. Agrega, que cuando surgen problemas durante el procesamiento (maquinado o acabado) una de las primeras preguntas es si la madera fue correctamente identificada.

La correcta identificación forma parte de uno de los principales objetivos de esta ciencia tal como explica Pérez (1986) al indicar una serie de aportes y contribuciones de la anatomía de la madera, dos de los cuales son:

*a. Ayuda para la identificación ordinaria de maderas, mencionando varios factores como:*

De ayuda para el botánico sistemático, en aquellos casos en que el correspondiente material de herbario es estéril o insuficiente, o cuando la identificación botánica mediante hojas, flores, etc. presenta algunas dificultades. En muchas ocasiones se hace necesario identificar maderas en la forma de trozas, listones, muebles, tableros contrachapados, entre otros.

De interés para el comerciante de maderas, mediante los servicios del anatomista de madera, quien realiza una identificación correcta de una especie, ya que las mismas pueden ser

confundidas a simple vista; es más, pueden tener el mismo nombre vulgar, sin embargo, al presentar diferentes características y componentes diferentes en su estructura, propiedades y usos, la anatomía de la madera juega un rol importante para lograr una correcta identificación.

Utilidad en el control de explotación, importación y exportación de maderas; con cierta frecuencia, principalmente en el mercado internacional dado que la aplicación de estudios anatómicos permite recabar información fundamental sobre la estructura de las maderas de una localidad o región determinada, mediante la elaboración de claves, descripciones o su incorporación a una base de datos.

*b. En la tecnología de la madera; indica que el comportamiento físico de la madera está constituido por una serie de propiedades, las cuales pueden definirse como propiedades físicas de la madera, las que dependen de factores que determinan su organización estructural.*

### **2.3.3. Anatomía de la madera en angiospermas (latifoliadas)**

León (2010) menciona que, en comparación con las coníferas, las maderas latifoliadas se especializan por presentar una mayor heterogeneidad en cuanto a tipo, proporción y distribución de tejidos xilemáticos. Esto hace que sea más complicado establecer relaciones anatómicas en comparación con las maderas de gimnospermas (Figura 2).

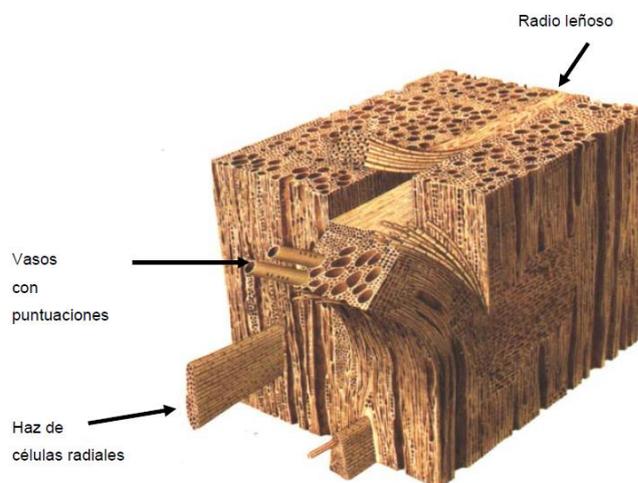


Figura 2. Aspecto microscópico tridimensional de la madera de latifoliadas. (Giménez et al., 2005).

Kollman (1959) menciona que la estructura anatómica de las frondosas es mucho más compleja; por ello su aspecto microscópico se complica y se hace irregular. Los vasos, que a simple vista parecen poros, dan un aspecto característico a la sección transversal y su distribución se ajusta a leyes determinadas y está constituida por fibras (JUNAC,1989)

que son células alargadas, agrupadas en haces, provistas de puntuaciones para facilitar el paso de nutrientes y que cumplen funciones de sostén en el cuerpo leñoso.

### **2.3.3.1. Estructura**

#### **a) Sección transversal**

a) *Elementos vasculares (Poros).*

- Tipo de poros.
- Solitarios.
- Múltiples radiales.

b) *Inclusiones (gomas, tilosis en los poros).*

c) *Tipos de parénquimas longitudinales:*

- Apotraqueal. (Marginal. Bandeado, Difuso).
- Paratraqueal (Aliforme, Confluente, Vasicéntrico.)

d) *Radios leñosos.*

e) *Fibras.*

#### **b) Sección Radial**

a) *Elementos vasculares (vasos).*

- Puntuaciones íter vasculares y cristales.

b) *Radios leñosos (paquetes) con tipos de células procumbentes y erectas.*

c) *Parénquima longitudinal.*

d) *Fibras.*

#### **c) Sección tangencial**

a) *Elementos vasculares (Vasos).*

- Puntuaciones íter vasculares y perforaciones.
- Radios uní seriados y multiseriados.
- Parénquima longitudinal.
- Canales laticíferos o células oleíferas.
- Fibras.

### **2.3.3. Anatomía de la madera en gimnospermas (coníferas)**

Las Gimnospermas difieren botánica y estructuralmente de las Angiospermas. El leño de las Gimnospermas (coníferas) es homogéneo, y el de las Latifoliadas es heterogéneo. La madera de coníferas posee una estructura anatómica mucho más simple que las latifoliadas. Las coníferas aparecieron primero que las latifoliadas (Cruz, 2007) razón por lo cual presentan una construcción celular más simple, así como una especialización celular menos marcada. Las coníferas están compuestas de dos tipos de células: traqueidas y células parenquimáticas (Figura 3).

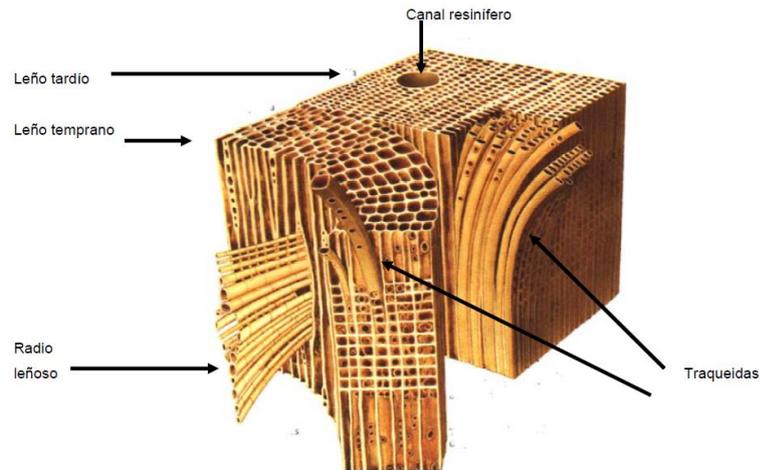


Figura 3. Aspecto microscópico tridimensional de la madera de coníferas (Giménez et al., 2005).

### 2.3.3.1. Estructura

El elemento principal de este tipo de maderas son las traqueidas, las cuales se encargan de realizar las funciones de conducción y sostén. El tejido de reserva está constituido fundamentalmente por el parénquima radial (Biset, 1951). Los radios pueden estar formados por traqueidas y por células parenquimáticas. Son principalmente de tipo uniseriado y, algunas veces, presentan canales resiníferos.

En la madera de coníferas no se presenta la disposición estratificada que puede observarse en algunas maderas latifoliadas (Tuset y Duran, 1986). En el leño de las Coníferas se encuentran los siguientes elementos estructurales (León y Espinoza, 2001).

#### a) Sección transversal

- Canales Resiníferos Longitudinales.
- Células de parénquima epitelial (que bordea los canales resiníferos)
- Traqueidas longitudinales de la madera de primavera y verano.
- Radios leñosos (parénquima radial).

#### b) Sección Radial

- Traqueidas longitudinales de la madera de primavera y de verano.
- Puntuaciones aereoladas.
- Canal de la puntuación.
- Anillo de la puntuación.
- Radios leñosos (parénquima radial)
- Puntuaciones simples.
- Canales resiníferos transversales.

### c) Sección tangencial

- Radios leñosos uniseriados.
- Radios leñosos multiseriados.
- Canales resiníferos transversales.
- Traqueidas longitudinales de la madera de primavera y verano.

Las traqueidas, son células alargadas orientadas longitudinalmente que presentan puntas ahusadas y formas rectangulares, cuadradas y pentagonales. Se pueden presentar como traqueidas de madera temprana con lúmenes amplios y paredes delgadas y traqueidas de madera tardía con lúmenes estrechos y paredes gruesas. Las traqueidas se conectan entre sí por perforaciones en la pared celular denominadas puntuaciones areoladas, las cuales sirven para el flujo de líquidos.

La transición entre las traqueidas de la madera temprana y las traqueidas de la madera tardía puede ser abrupta o gradual. Las células parenquimáticas se caracterizan porque presentan un contenido celular vivo, tienen forma prismática y están orientadas horizontal y verticalmente. Sus funciones son almacenar, transformar y conducir sustancias en la madera (Cruz, 2007).

Las células parenquimáticas también están interconectadas con las células vecinas por medio de puntuaciones simples. En especies con canales resiníferos las células epiteliales también son células parenquimáticas y sirven para la excreción de resina. De acuerdo con su orientación en el árbol, las células parenquimáticas se clasifican como parénquima longitudinal (vertical o axial) y parénquima radial o parénquima de los radios.

#### 2.3.4.2. Diferencias entre la madera de coníferas y de latifoliadas

Existen algunas diferencias entre la madera de especies coníferas y latifoliadas (Chavesta, 2007), tales como:

##### *Coníferas*

- Sin poros.
- Estructura homogénea.
- Anillos de crecimiento bien definidos.
- Radios poco definidos.
- Albura y duramen generalmente poco marcados.

##### *Latifoliadas*

- Con poros.
- Estructura heterogénea.
- Anillos de crecimiento poco definidos.
- Radios definidos.
- Albura y duramen bien marcados.

Sin embargo, debe indicarse que las dos primeras características, son consideradas como las más importantes (Figura 4).

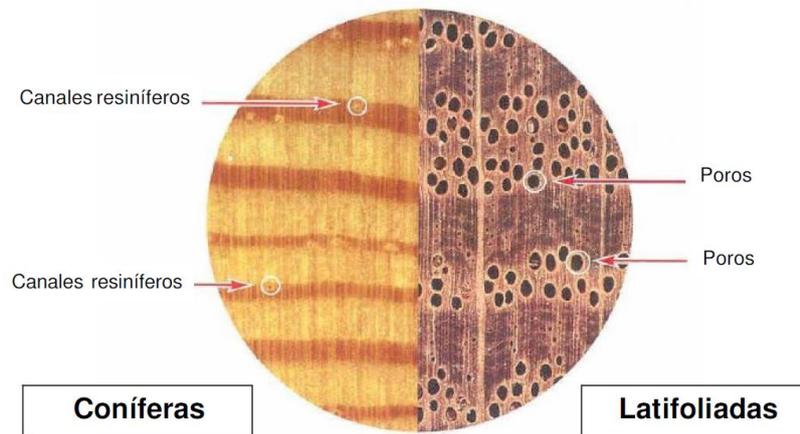


Figura 4. Diferencias anatómicas entre madera de especies conífera y latifoliadas. (Chavesta, 2007).

## 2.4. Asociación Internacional de Anatomistas de la Madera (IAWA)

Las grandes cantidades de información incluidas dentro de los estudios de anatomía de la madera, ya sea con fines de identificación o con un interés en la sistemática y la evolución, son potencialmente abordados por medio de la computadora, a pesar de la gran cantidad del trabajo involucrado en la preparación y el ingreso de las bases de datos apropiadas, aumentando significativamente y útil el uso de las computadoras en la anatomía de la madera (Carlquist, 1930).

Un trabajo de Burley y Miller (1982) dentro de este campo demuestra que se ha intentado crear listas estandarizadas de características para la informatización (Miller, 1980; IAWA Committee, 1981; Pearson y Wheeler, 1981; y Wheeler y Pearson, 1985). Sin embargo, estos documentos muestran que puede ser necesaria una experiencia adicional antes de conseguir los formatos ideales para la informatización, y que puede haber más de un tipo de formato ideal desarrollando una terminología que debe avanzar a medida que se desarrolla la nueva información sobre la anatomía de la madera.

IAWA por sus siglas en inglés International Association of Wood Anatomist es la Asociación Internacional de Anatomistas de la Madera, que define una lista estandarizada de características microscópicas para la identificación de la madera tanto de especies coníferas como de especies latifoliadas.

### 2.4.1. Objetivos de la IAWA

Facilitar la toma, almacenamiento y el intercambio de materiales de investigación; proporcionar bases racionales para el uso coherente de la terminología en las descripciones de la madera y la

corteza, y cooperar con otros que tengan objetivos similares en otros campos relacionados con la anatomía vegetal.

Estimular la publicación de artículos científicos sobre anatomía de la madera y campos relacionados (incluida la anatomía de la corteza y los monocotiledones "leñosos"); fomentar y apoyar el estudio y la enseñanza de la anatomía de la madera y campos afines; promover la investigación en el campo de la anatomía de la madera y campos afines, así como cualquier otra actividad que sea coherente con los objetivos de la Asociación.

#### **2.4.2. Lista de características microscópicas IAWA para la identificación de maderas latifoliadas (Wheeler et al., 1989)**

Esta lista de características microscópicas para la identificación de la madera dura es la sucesora de la lista estándar de caracteres adecuados para la identificación de madera computarizada, publicada a través de (Boletín de IAWA n.º 2:99 – 145) (Miller, 1981). La publicación estimuló enormemente el intercambio internacional de información y experiencia en personajes aptos para la identificación de maderas nobles e inspiró un debate considerable sobre los procedimientos de codificación y los programas de identificación más deseables.

En la reunión del IAWA durante el XIV Congreso Internacional de botánica en Berlín, en julio de 1987, se decidió revisar la lista estándar. Debido a los continuos desarrollos en tecnología y programación informática, se acordó limitar el alcance de la nueva lista a definiciones, comentarios explicativos e ilustraciones de descriptores anatómicos de madera, en lugar de concentrarse en codificar Procedimientos.

Un nuevo Comité fue nombrado por el Consejo de IAWA para trabajar hacia la nueva lista, y gracias a una subvención sustancial del programa de becas de investigación competitiva del USDA – utilización de la madera (Grant no. 88-33541-4081). El Comité celebró un taller del 2 al 7 de octubre de 1988, en el Departamento de madera y Ciencias del papel, Universidad Estatal de Carolina del norte, Raleigh, NC, EE.UU., bajo los auspicios conjuntos de IAWA y IUFRO División 5. Durante el taller se preparó una lista preliminar. Se invitó a los miembros de IAWA a comentar esta lista, y estos comentarios ayudaron con la preparación final de la nueva lista.

La Lista de características microscópicas IAWA para la identificación de maderas latifoliadas consta de un total de 221 características anatómicas, divididas en 163 características anatómicas y 58 diversas, las cuales se pueden observar en los diferentes planos de corte (transversal, tangencial y radial); no es una lista completa que abarque todos los patrones estructurales que

uno puede encontrar en las maderas duras. Sin embargo, es una lista concisa de características útiles para fines de identificación. (ver lista completa en Anexo 4).

Además, los números asignados a cada entidad en la lista actual no están destinados a ser códigos para un programa informático, sino que están pensados para servir de referencia fácil, y para ayudar a traducir datos de un programa/base de datos a otro.

### **2.4.3. Lista de características microscópicas IAWA para la identificación de maderas coníferas (Richter et al., 2004)**

Durante mucho tiempo se ha necesitado una lista definitiva de rasgos anatómicos de maderas coníferas. La lista de maderas latifoliadas (IAWA Committee, 1989) se ha adoptado en todo el mundo, no menos importante porque proporciona un breve e inequívoco glosario ilustrado de caracteres de las maderas que se puede utilizar para una variedad de propósitos, no solo para la identificación.

La lista de características microscópicas IAWA para la identificación de maderas coníferas está destinada a hacer el mismo trabajo. La identificación de las maderas latifoliadas se basa en la observación cuidadosa de una total de 124 caracteres anatómicos, y se ha tomado gran cuidado para mostrar fotomicrografías de alta calidad que eliminan la mayor parte de la ambigüedad que las definiciones solo proporcionarían.

A diferencia del Comité de maderas latifoliadas, el Comité de SOFTWOOD nunca se reunió en su composición completa. Los miembros del Comité de blanda que asistieron al XVI Congreso botánico internacional en St. Louis en agosto de 1999 se reunieron por un día para discutir un borrador temprano.

Esta edición de la lista fue coordinada por Jorgo (H.G.) Richter. En la reunión de IAWA en Portland, Oregón, en julio de 2003, varios miembros del Comité redactaron el primer borrador. Todas las fotografías fueron tomadas por Dietger Grosser e Immo Heinz, cuyo trabajo de tesis de M. Sc fue el catalizador para la formación del Comité. Peter GASSON luego hizo la edición final y referencias cruzadas de texto y planchas antes de enviar toda la obra a Leiden para su publicación en 2004 (Ver lista completa en Anexo 5).

### **2.5. Análisis de conglomerados (Clústeres)**

El Análisis de Conglomerados o Análisis clúster es una técnica de Análisis Exploratorio de Datos para resolver problemas de clasificación (Chauza y Villa, 2011). El objetivo consiste en

prescribir elementos (personas, cosas, animales, plantas, variables) en grupos (conglomerados o clúster) de forma que el nivel de asociación/similitud entre miembros del mismo clúster sea más fuerte que el grado de asociación/similitud entre miembros de diferentes conglomerados.

Vilà et al., (2014) menciona que el clúster es una “técnica de clasificación que sirve para poder detectar y describir subgrupos de sujetos o variables homogéneas en función de los valores observados dentro de un conjunto aparentemente heterogéneo. Se fundamenta en el estudio de las distancias entre ellos, permitiendo en el análisis, cuantificar el grado de similitud, en el caso de las proximidades, y el grado de diferencia, en el caso de las distancias.” Como resultado aparecen agrupaciones o clúster homogéneos después de cumplir el procedimiento correcto de los datos (Figura 5) a través de un programa estadístico especializado.

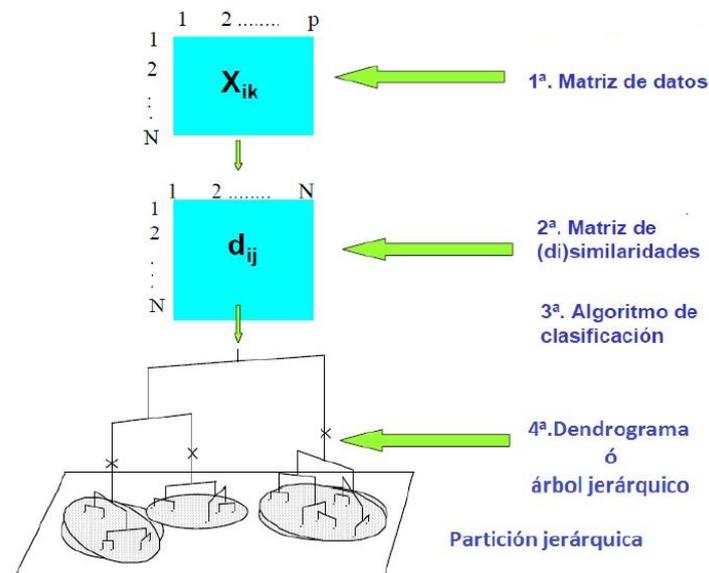


Figura 5. Etapas en un análisis de conglomerados: (1) Matriz de datos (2) Matriz de similaridades (3) Algoritmo de clasificación y (4) Dendrograma o árbol jerárquico (Chauza y Villa, 2011).

### 2.5.1. Finalidad del Análisis de conglomerados

El análisis clúster permite descubrir asociaciones y estructuras en los datos que no son obvias a simple vista pero que pueden ser útiles una vez que se han encontrado, contribuyendo a la definición formal de un esquema de clasificación tal como una taxonomía para un conjunto de objetos sugerir modelos estadísticos para describir poblaciones, asignar nuevos individuos a las clases para diagnóstico e identificación (Chauza y Villa, 2011).

Es una técnica, eminentemente exploratoria y descriptiva sin variables dependientes. Comparándolas con otras pruebas de clasificación, como por ejemplo el análisis discriminante

(Torrado y Berlanga, 2013), las agrupaciones o conglomerados que se establecen se especifican a posteriori. En este caso el investigador no tiene conocimiento de la existencia de los subgrupos o conglomerados, ni del número resultante, ni mucho menos de las características que los definen.

### **2.5.2. Principios básicos del análisis de conglomerados**

Los principios básicos del análisis de conglomerados recogidos por Pérez (2009) son:

- Es un método estadístico multivariante de clasificación automática de datos.
- Tiene la finalidad de revelar concentraciones en los datos para un agrupamiento eficiente en conglomerados según su homogeneidad.
- El agrupamiento puede ser para casos o variables (cualitativas o cuantitativas).
- Es esencial un uso adecuado del concepto de distancia, ya que los grupos se realizan según la proximidad o lejanía de unos con otros.
- Es fundamental que dentro de un conglomerado los elementos sean homogéneos, y lo más diferentes a los contenidos del resto.
- Es una técnica de clasificación post hoc: el número de conglomerados se determina en función de los datos, y puede no ser definido de antemano.

### **2.5.3. Clasificación del análisis de conglomerados o análisis clúster**

Existen dos grandes tipos de análisis de clúster: no jerárquicos y jerárquicos (De la Fuente, 2011; Vilà et al., 2014; Chauza y Villa, 2011; Kumar et al., 2006).

#### **2.5.3.1. Métodos jerárquicos**

Se denominan jerárquicos a los que configuran grupos con estructura arborescente, de forma que clúster de niveles más bajos van siendo englobados en otro clúster de niveles superiores.

**Objetivo:** Agrupar clúster para formar un nuevo o separar alguno ya existente para dar origen a otros dos de forma que se maximice una medida de similaridad o se minimice alguna distancia.

#### **Clasificación:**

Asociativos o Aglomerativos: Se parte de tantos grupos como individuos hay en el estudio y se van agrupando hasta llegar a tener todos los casos en un mismo grupo.

- Simple Linkage (Vecino más próximo)
- Complete Linkage (Vecino más lejano)

- Promedio entre Grupos
- Método del Centroide
- Método de la Mediana
- Método de Ward

Disociativos: Se parte de un solo grupo que contiene todos los casos y a través de sucesivas divisiones se forman grupos cada vez más pequeños. Los métodos jerárquicos permiten construir un árbol de clasificación o dendrograma.

- Linkage Simple
- Linkage Comple
- Promedio entre Grupos
- Método del Centroide
- Método de la Mediana
- Método de Ward
- Análisis de Asociación

### **2.5.3.2. Métodos no jerárquicos**

Se conocen como no jerárquicos a aquellos métodos que asignan los casos o grupos diferenciados que el propio análisis considera, sin que unos dependan de otros. Los métodos no jerárquicos pueden, a su vez, producir clúster disjunto (cada caso pertenece sólo a un clúster), o bien clúster solapados (un caso puede pertenecer a más de un grupo) estos últimos de difícil interpretación, son poco utilizados (Kumar et al., 2006).

Están diseñados para la clasificación de individuos (no de variables) en K grupos. El procedimiento es elegir una partición de los individuos en k grupos e intercambiar los miembros del clúster para tener una partición mejor (Vilà et al., 2014).

Los tipos de métodos no jerárquicos son:

Reasignación:

- K Medias
- Nubes Dinámicas

Búsqueda de densidad:

- Análisis Modal
- Búsqueda Métodos Taxap
- No de densidad Método de Fortin
- Jerárquicos Método de Wolf

Métodos Directos: Block Clustering

Métodos Reductivos: Análisis Factorial tipo Q

#### **2.5.4. Medidas de Asociación**

Para poder unir variables o individuos es necesario tener algunas medidas numéricas que caractericen las relaciones entre las variables o los individuos (De la Fuente, 2011). Cada medida refleja asociación en un sentido particular y es necesario elegir una medida apropiada para el problema concreto que se esté tratando.

La medida de asociación puede ser una distancia o una similitud.

- Cuando se elige una distancia como medida de asociación (por ejemplo, la distancia euclídea) los grupos formados contendrán individuos parecidos de forma que la distancia entre ellos tiene que ser pequeña.
- Cuando se elige una medida de similitud (por ejemplo, el coeficiente de correlación) los grupos formados contendrán individuos con una similitud alta entre ellos. La correlación de Pearson y los coeficientes de Spearman y de Kendall son índices de similitud.

#### **2.5.5. Método de Agrupamiento Jerárquico de Ward**

Ward es el único método de agrupamiento entre los algoritmos de agrupamiento Aglomerativo que se basa en un criterio clásico de suma de cuadrados, produciendo grupos que minimizan la dispersión dentro del grupo en cada fusión binaria. Además, el método de Ward es interesante porque busca clústeres en el espacio euclidiano multivariado. Éste es también el espacio de referencia en los métodos de ordenación multivariante, y en particular en el análisis de componentes principales (Legendre y Murtagh, 2014).

En este método también se calculan las distancias como medida de similitud entre los objetos, pero a la hora de unirlos para establecer grupos, los objetos o grupos son unidos con el criterio de que sean lo más compactos u homogéneos posibles (Larrechi, sf). El criterio consiste en unir aquellos objetos para los cuales este valor resulte mínimo. Aunque las representaciones finales difieren en cuanto a las distancias que unen a unos objetos con otros, las agrupaciones encontradas normalmente suelen ser las mismas (Figura 6).

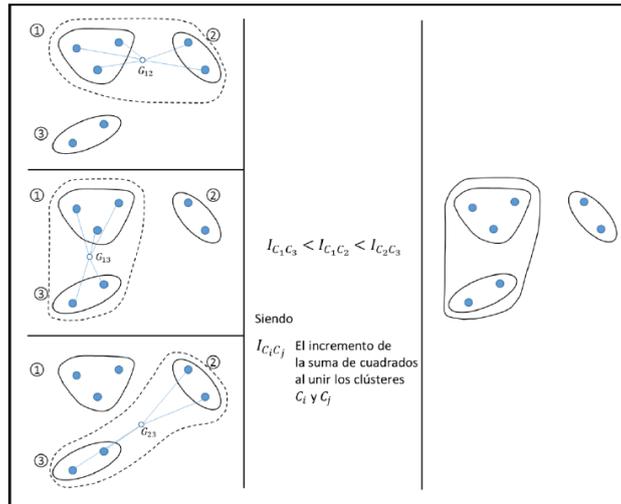


Figura 6. Representación gráfica del método de Ward. Fuente: (Dongo, 2017) Adaptado de Predret (2003).

Este procedimiento crea grupos homogéneos y con tamaños similares. Como método de conglomeración se elige el método de Ward. El proceso comienza con la elección de la distancia a considerar, puesto que el método de agrupamiento se realiza sobre esta matriz de distancias. Por ello, lo primero que se realiza es medir qué grado de similitud o de diferencia tienen los casos seleccionados. La elección de la medida de distancia varía en función de la métrica de las variables utilizadas.

## 2.6. Visualización gráfica de datos

### 2.6.1. Dendrogramas

Un dendrograma es una representación gráfica en forma de árbol que resume el proceso de agrupación en un análisis de clústeres. Las unidades similares se conectan mediante enlaces cuya posición en el diagrama está determinada por el nivel de similitud/disimilitud entre los objetos (Figura 7).

El dendrograma se encarga de demostrar los grupos que se forman al crear análisis de conglomerados o clúster de observaciones en cada paso y sus niveles de similitud. El nivel de similitud se mide en el eje vertical (alternativamente se puede mostrar el nivel de distancia) y las diferentes observaciones se especifican en el eje horizontal (Núñez et al., 2003).

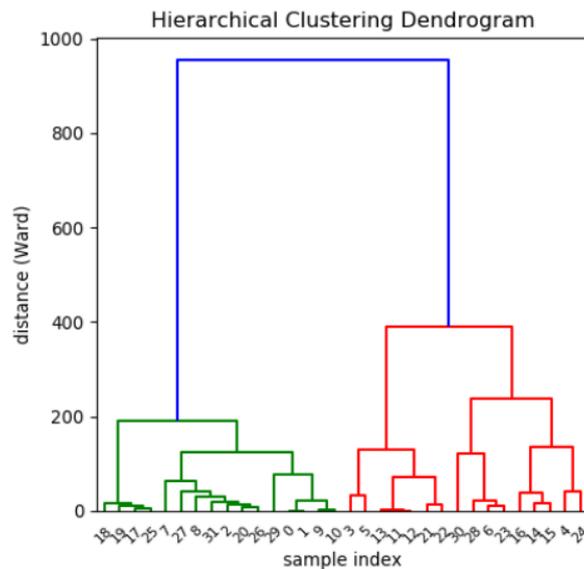


Figura 7. Representación gráfica de un dendrograma mediante el método herrical clustering. Fuente: The phyton graph gallery.

*Los dendrogramas tienen como fin:*

- Realizar un clustering jerárquico para organizar los datos en una serie de particiones anidadas
- Organizar por niveles los datos, quienes están agrupados son más similares entre sí que los de otros grupos.

La herramienta dendrograma utiliza un algoritmo de clustering jerárquico. El programa primero calcula las distancias entre cada par de clases en el archivo de firma de entrada. Después, se fusiona iterativamente el par de clases más cercano y se fusiona sucesivamente el siguiente par de clases más cercano y el siguiente más cercano hasta que se fusionan todas las clases. Después de cada fusión, se actualizan las distancias entre todos los pares de clases. Las distancias a las que se fusionan las firmas de clases se utilizan para construir un dendrograma.

### **2.6.2. Mapa de calor (Heat map)**

Un mapa de calor o Heat map es una representación gráfica de datos en la que los valores individuales contenidos en una matriz se representan como colores mediante el cual podemos visualizar datos de alta dimensión, en el que una tabla de números está codificada como una cuadrícula de celdas de colores (Figura 8). Las filas y columnas de la matriz se ordenan para resaltar patrones y a menudo van acompañados de "dendrogramas" (filas o columnas). para visualizar observaciones y correlaciones, patrones de valores perdidos, y más (Galili et al., 2018).

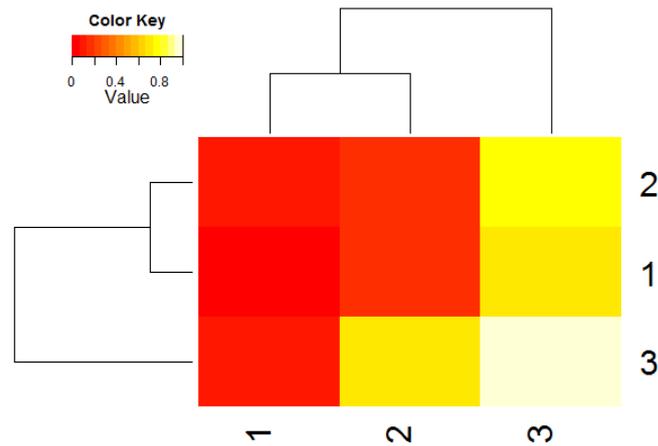


Figura 8. Representación gráfica de un heat map o mapa de calor. Fuente: stackoverflow.com.

Hay muchas variaciones del mapa de calor, como el mapa de calor web y el mapa de árboles. Los mapas de calor y la agrupación se utilizan con frecuencia en los estudios de análisis de expresión para la visualización de datos y el control de calidad (Zhao et al., 2014). Además permiten la inspección de un valor específico al pasar el ratón por encima de una celda, así como al hacer zoom en una región del "Heat maps" arrastrando un rectángulo alrededor del área correspondiente. Es realmente útil para mostrar una vista general de datos numéricos, no para extraer datos específicos del punto.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Área de estudio**

La investigación se realizó en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe, las cuales se encuentran entre rangos altitudinales entre 800 msnm hasta 2 800 msnm, pertenecientes a la Zona 7 de planificación, la cual posee una superficie de 27 491,9 km<sup>2</sup> que representa el 11 % de la superficie del País (SENPLADES, 2015; Instituto Geográfico Militar (IGM), 2010).

#### **3.2. Ubicación geográfica**

El área de muestreo en la región sur de Ecuador se encuentra entre las siguientes coordenadas geográficas:

Latitud sur: 3°30' 5°0'

Longitud Oeste: 78°20' 80°30'

#### **3.3. Descripción del área de estudio**

La región sur de Ecuador constituye una de las regiones más biodiversas del Ecuador y del mundo; comprende un mosaico de ecosistemas a lo largo de la gradiente pacífico-amazónica (p.ej., manglar, bosque deciduo, bosque semideciduo, bosque montano occidental, bosque montano oriental, páramo, bosque húmedo tropical amazónico y bosque semideciduo amazónico), que constituye el hogar y fuente de bienes y servicios ecosistémicos para más de 1,1 millones de habitantes, que mantienen actividades económicas de interés para el país (Aguirre et al., 2015).

La región sur de Ecuador es importante biológicamente, debido a factores intrínsecos asociados a: ubicación en los andes tropicales que condiciona una variada topografía, diversidad climática y presencia de la depresión de Huancabamba (Richter et al., 2009).

Estas características hacen que esta región sea considerada como uno de los puntos calientes de biodiversidad o hotspots más importantes en el Ecuador y del mundo (Barthlott et al., 2007); en razón que se han registrado un alto grado de endemismo de especies de plantas (Lozano et al., 2003).

### 3.4. Metodología

#### 3.4.1. Selección de las muestras

Se utilizó muestras anatómicas y registros fotográficos de cortes microscópicos de madera de la región sur de Ecuador, de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe, que fueron recolectadas y posteriormente trabajadas, por los estudiantes de la carrera de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional de Loja, durante los periodos académicos de los años 2016-2018 (ver información en el Anexo 1 y procedimiento de preparación de las muestras en Anexo 2), dentro del Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales.

Para efectuar la identificación de las características anatómicas, se recopiló muestras anatómicas y registros fotográficos de cortes microscópicos de 50 especies forestales (Tabla 1) provenientes de 31 sitios cuya ubicación geográfica se indican en la Figura 9 y el nombre de cada sitio en el Anexo 3, tomando en consideración el potencial comercial y la utilidad que las comunidades les da a estas especies, las mismas que fueron organizadas por fecha, taxonomía, sitio (ver encabezado de la base de datos en la Tabla 2).

Tabla 1. Listado de especies forestales estudiadas.

Nro.	Nombre Científico	Familia	Nombre Común	Hábitat
1	<i>Annona cherimola</i> Miller.	Anonaceae	Chirimoya	Bosque Andino
2	<i>Oreopanax rosei</i> Harms.	Araliaceae	Pumamaqui	Bosque Andino
3	<i>Gynoxys nitida</i> Muschl.	Asteraceae	Tunash	Bosque Andino
4	<i>Alnus acuminata</i> Kunth.	Betulaceae	Aliso	Bosque Andino
5	<i>Handroanthus billbergii</i> (Bereau & K. Schum.) S. O. Grose.	Bignoniaceae	Guayacán	Bosque Seco
6	<i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S. O. Grose.	Bignoniaceae	Guayacán	Bosque Seco
7	<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.O.Grose.	Bignoniaceae	Guayacán	Bosque Humedo Tropical
8	<i>Jacaranda copia</i> (Aubl.) D. Don	Bignoniaceae	Arabisco	Bosque Humedo Tropical
9	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don.	Bignoniaceae	Arabisco	Bosque Andino
10	<i>Jacaranda sparrei</i> A.H. Gentry.	Bignoniaceae	Arabisco	Bosque Andino
11	<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. ex Lam.).	Bombacaceae	Balsa	Bosque Humedo Tropical
12	<i>Pseudobombax millei</i> (Standl.) A. Robyns.	Bombacaceae	Beldaco	Bosque Seco
13	<i>Dacryodes peruviana</i> (Loes.) H.J. Lam.	Burseraceae	Copal	Bosque Humedo Tropical
14	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth.	Clethraceae	Almizcle,	Bosque Andino
15	<i>Terminalia amazonia</i> J.F. Gmel.) Exell.	Combretaceae	Yumbingue	Bosque Humedo Tropical
16	<i>Acacia macracantha</i> Humb. & Bonpl.	Fabaceae	Faique	Bosque Seco
17	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Bren.	Fabaceae	Wilco	Bosque Andino
18	<i>Cedrelinga cateniformis</i> D. Duke.	Fabaceae	Seique	Bosque Humedo Tropical
19	<i>Erythrina velutina</i> Willd.	Fabaceae	Porotillo	Bosque Seco
20	<i>Inga marginata</i> Willd.	Fabaceae	Guabillo	Bosque Humedo Tropical

21	<i>Parkia multijuga</i> Benth.	Fabaceae	Huilco	Bosque Humedo Tropical
22	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F. Blake.	Fabaceae	Pachaco	Bosque Humedo Tropical
23	<i>Juglans neotropica</i> Diels.	Juglandaceae	Nogal	Bosque Andino
24	<i>Aniba</i> sp.	Lauraceae	Amarillo	Bosque Humedo Tropical
25	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken.	Lauraceae	Laurel costeño	Bosque Humedo Tropical
26	<i>Ocotea aciphylla</i> (Nees & Mart.) Mez.	Lauraceae	Canelo	Bosque Humedo Tropical
27	<i>Heliocarpus americanus</i> L.	Malvaceae	Balsilla	Bosque Andino
28	<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz	Meliaceae	Cedro	Bosque Andino
29	<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	Cedro	Bosque Humedo Tropical
30	<i>Guarea kunthiana</i> A. Juss	Meliaceae	Yanza	Bosque Humedo Tropical
31	<i>Swietenia macrophylla</i> King.	Meliaceae	Caoba	Bosque Seco
32	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	Moraceae	Pituca	Bosque Humedo Tropical
33	<i>Ficus</i> aff. <i>cuatrecasana</i> Dugand.	Moraceae	Higuerón	Bosque Humedo Tropical
34	<i>Poulsenia armata</i> (Miq.) Standl.	Moraceae	Yamila	Bosque Humedo Tropical
35	<i>Osteophloeum platyspermum</i> (Spruce ex A. DC.) Warb.)	Myristicaceae	Lotería	Bosque Humedo Tropical
36	<i>Virola sebifera</i> Aubl.	Myristicaceae	Sangre	Bosque Humedo Tropical
37	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	Myrtaceae	Eucalipto	-
38	<i>Eugenia orthostemon</i> O. Berg.	Myrtaceae	Eugenia	Bosque Andino
39	<i>Chionanthus pubesens</i> Kunth.	Oleaceae	Arupo	Bosque Andino
40	<i>Pinus patula</i> Schltld. & Cham	Pinaceae	Pino	-
41	<i>Podocarpus oleoifolius</i> D. Don ex Lamb.)	Podocarpaceae	Romerillo	Bosque Andino
42	<i>Prumnopitys montana</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) de Laub.	Podocarpaceae	Romerillo	Bosque Andino
43	<i>Oreocallis grandiflora</i> (Lam.) R. Br.	Proteaceae	Cucharillo	Bosque Andino
44	<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A. Rich.	Rubiaceae	Juan Colorado	Bosque Humedo Tropical
45	<i>Cinchona officinalis</i> L.	Rubiaceae	Cascarilla	Bosque Andino
46	<i>Salix humboldtiana</i> Willd.	Salicaceae	Sauce llorón	-
47	<i>Pouteria lucuma</i> (Ruiz & Pav.) Kuntze	Sapotaceae	Luma	Bosque Andino
48	<i>Pouteria</i> sp.	Sapotaceae	Yarazo	Bosque Humedo Tropical
49	<i>Tectona grandis</i> L. f.	Verbenaceae	Teca	Bosque Humedo Tropical
50	<i>Vochysia guianensis</i> Aubl.	Vochysiaceae	Bella María	Bosque Humedo Tropical

Tabla 2. Matriz de Recopilación para la información general de las especies en estudio.

Título: “Evaluación Anatómica de 50 especies forestales del sur del Ecuador”									
Periodo Académico	Nombre Científico	Familia	Nombre Común	Forma de Vida	Sector	DAP (cm)	HT (m)	Coordenadas X (long.)	Coordenadas Y (lat.)

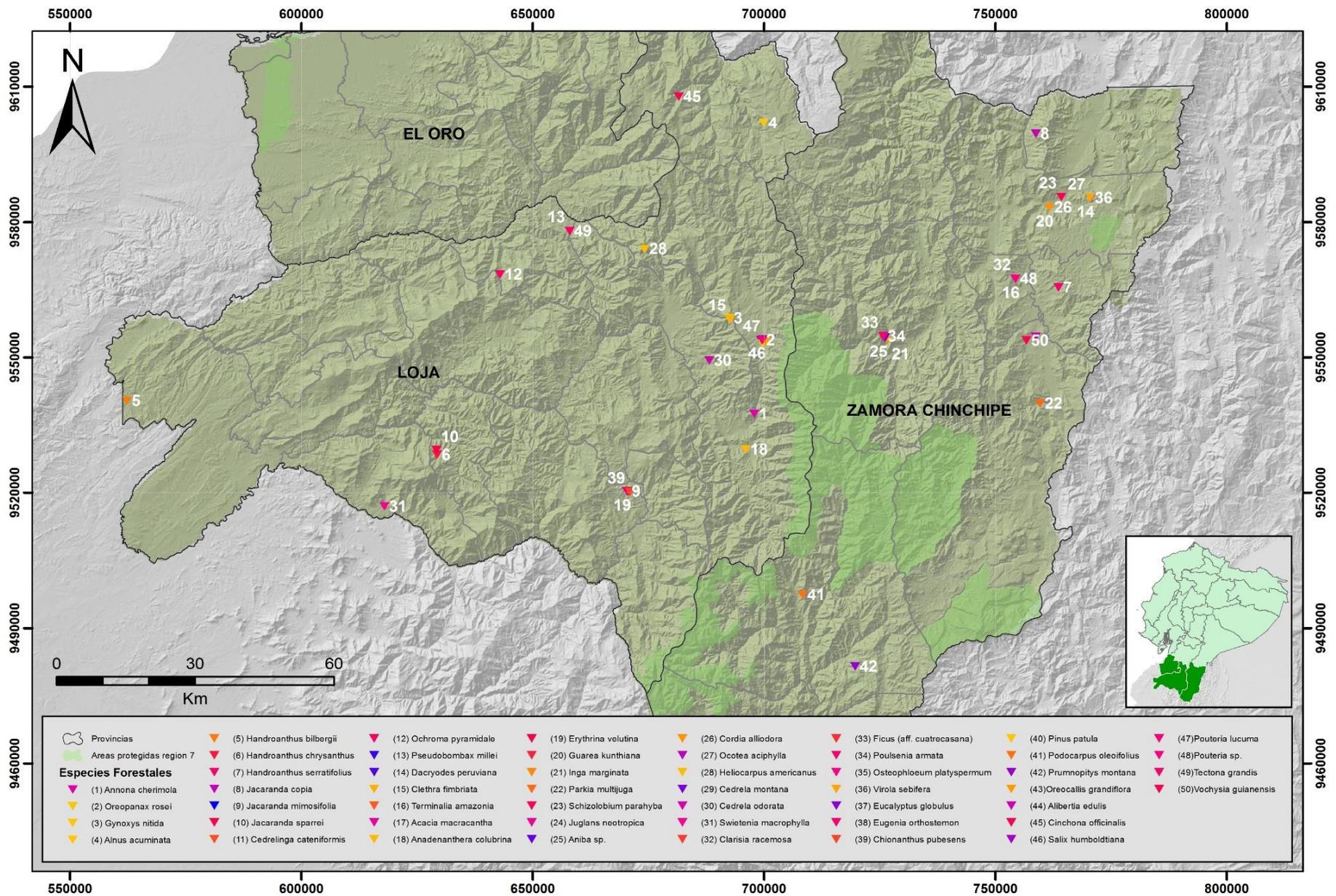


Figura 9. Ubicación de los sitios de recolección de las muestras para estudio anatómico.

### 3.4.2. Digitalización y captura de imágenes anatómicas

Para las especies que no existió registros fotográficos se digitalizó y capturó imágenes de sus características microscópicas; para esto fueron observadas con ayuda de un microscopio (Olympus, modelo BX41TF, Figura 10 a) equipado con una cámara digital de alta resolución y un analizador de imágenes usando el software específico del equipo.

Para realizar la captura de una imagen, se debe ajustar primero la dirección de la muestra. Para ello los radios tanto en cortes transversales o tangenciales siempre deben estar en sentido vertical y los radios en un corte radial deben estar en sentido horizontal (Figura 10 b).

Se capturaron tres fotografías por cada lente (4X, 10X y 20X) que muestran los planos transversal, tangencial y radial captando detalles anatómicos microscópicos de cada una de las maderas en estudio. Es muy importante chequear que el número de lente del microscopio coincida con el número de lente en la configuración del software, para que la escala de la imagen salga con las medidas precisas al momento de realizar las captura.

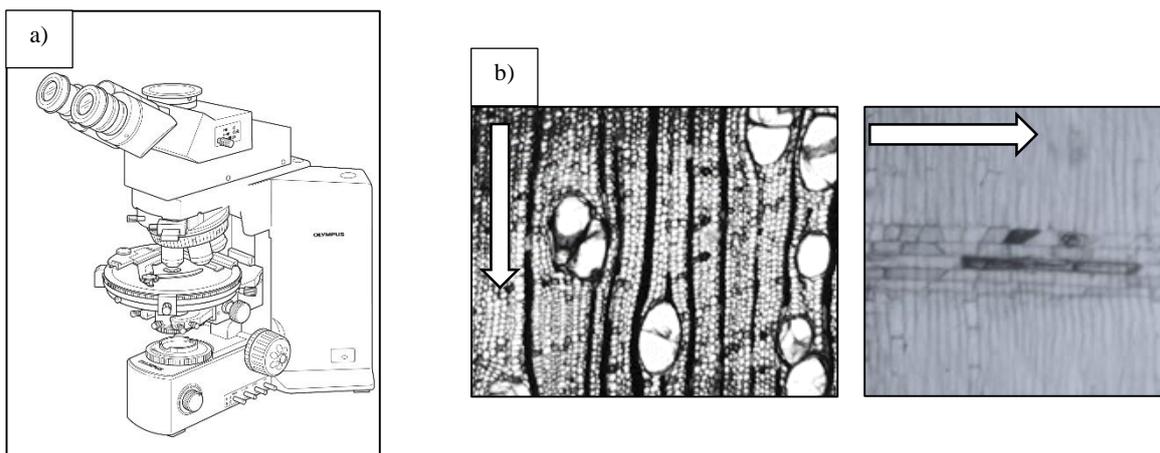


Figura 10. (a) Microscopio Olympus modelo BX41TF. Olympus (2004). (b) Posición de la dirección en la cual deben estar los radios en un corte transversal (izq.) y en un corte radial (der.) (Feijoo et al. 2018).

### 3.4.3. Identificación de las características anatómicas de acuerdo a la nomenclatura IAWA

La identificación de las características anatómicas se basó en la determinación de 50 características de las listas propuestas por la normativa IAWA (Wheeler y Gasson, 1989; Richter y Gasson, 2004) para la identificación de características microscópicas de maderas latifoliadas y coníferas (Tablas 3 y 4) (ver listado completo Anexo 4 y 5), considerándose además los términos propuestos por Espinoza y León (2001), los criterios de la Comisión Pan-

Americana de Normas Técnicas (COPANT) (1974) y las Normas y Procedimientos en Estudios de Anatomía de Madera (IBAMA, 1992).

Tabla 3. Características anatómicas observadas en cada especie para el presente estudio, de acuerdo a la nomenclatura IAWA para especies latifoliadas.

Nro. Caract.	Nro. IAWA	Nombre de la característica
		<b>Anillos de crecimiento</b>
<b>1</b>	1	Anillos de crecimiento visibles
<b>2</b>	2	Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes
		<b>Vasos</b>
		<b>Porosidad</b>
<b>3</b>	3	Anillos porosos
<b>4</b>	4	Anillos semiporosos
<b>5</b>	5	Anillos con poros difusos
		<b>Disposición de los vasos o poros</b>
<b>6</b>	6	Vasos (poros) en bandas tangenciales
<b>7</b>	7	Vasos (poros) en patrones radiales o diagonales
<b>8</b>	8	Vasos (poros) en patrones dendríticos
		<b>Agrupación de vasos</b>
<b>9</b>	9	Vasos (poros) exclusivamente solitarios (90% o más)
<b>10</b>	10	Vasos (poros) en grupos radiales de 4 o más
<b>11</b>	11	Vasos (poros) en grupos comunes (de 3 o más vasos)
		<b>Perfil de vasos solitarios</b>
<b>12</b>	12	Perfil angular de vasos solitarios
		<b>Tilosis y depósitos en vasos</b>
<b>13</b>	56	Tilosis común
<b>14</b>	57	Tilosis esclerótica
<b>15</b>	58	Gomas y otros depósitos en vasos del duramen.
		<b>Parénquima axial</b>
<b>16</b>	75	Parénquima axial ausente o extremadamente raro.
		<b>Parénquima axial apotraqueal</b>
<b>17</b>	76	Parénquima axial difuso
<b>18</b>	77	77. Parénquima axial difuso en agregados.
		<b>Parénquima axial paratraqueal</b>
<b>19</b>	78	Parénquima axial paratraqueal escaso
<b>20</b>	79	Parénquima axial vasicéntrico
<b>21</b>	80	Parénquima axial aliforme
<b>22</b>	81	Parénquima axial adiamantado aliforme
<b>23</b>	82	Parénquima axial alado aliforme
<b>24</b>	83	Parénquima axial confluyente
<b>25</b>	84	Parénquima axial unilateral paratraqueal
		<b>Parénquima en bandas</b>
<b>26</b>	85	Parénquima axial en bandas con más tres células de ancho
<b>27</b>	86	Parénquima axial en bandas finas o líneas de hasta tres células de ancho

Nro. Caract.	Nro. IAWA	Nombre de la característica
28	87	Parénquima axial reticulado
29	88	Parénquima axial escaliforme
30	89	Parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales
		<b>Parénquima axial por tipo de células / longitud de hebra</b>
31	90	Células de parénquima fusiforme
32	91	Dos células por hebra de parénquima
33	92	Cuatro (3-4) células por hebra de parénquima
34	93	Ocho (5-8) células por hebra de parénquima
35	94	Más de ocho células por hebra de parénquima
36	95	Parénquima no lignificado
		<b>Radios</b>
		<b>Ancho de radio</b>
37	96	Radios exclusivamente uniseriados
38	97	Radios con ancho de 1 a 3 series
39	98	Radios comúnmente de 4 a 10 series
40	99	Radios comúnmente mayores a 10 series
41	100	Radios con porciones multiseriadas y porciones uniseriadas.
		<b>Radios agregados</b>
42	101	Radios agregados
		<b>Altura de radio</b>
43	102	Radios de altura mayor a 1mm
		<b>Radios de dos tamaños distintos</b>
44	103	Radios de dos tamaños distintos
		<b>Radios: composición celular</b>
45	104	Todas las células procumbentes
46	105	Todas las células verticales y/o cuadradas
47	106	Cuerpo del radio con células procumbentes y una sólo fila de células verticales y/o cuadradas marginales
48	107	Cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales
49	108	Cuerpo del radio con células procumbentes con más de 4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales
50	109	Radios con una mezcla de células procumbentes, cuadradas y verticales

Tabla 4. Características anatómicas observadas en cada especie para el presente estudio, de acuerdo a la nomenclatura IAWA para especies coníferas.

Nro.	Nro. IAWA	Nombre de la característica
		<b>Propiedades físicas</b>
		<b>Color duramen</b>
1	26	Marrón o tonos de marrón
2	27	Rojo o tonos de rojo
3	28	Amarillo o tonos de amarillo
4	29	Color claro (blanquecino, cremoso, gris)

<b>Nro.</b>	<b>Nro. IAWA</b>	<b>Nombre de la característica</b>
5	30	Púrpura o tonos de púrpura
6	31	Otro que no sea el anterior (especifique)
		<b>Diferencia entre el color del duramen y el de la albura</b>
7	32	Color duramen similar al color albura
8	33	Color del duramen distinto del color de la albura
		<b>Anillos de crecimiento</b>
		<b>Presencia de límites en el anillo de crecimiento</b>
9	40	Límites del anillo de crecimiento distintos
10	41	Límites del anillo de crecimiento borrosos o ausentes
		<b>Transición de la madera temprana a la madera tardía</b>
11	42	Abrupto
12	43	Gradual
		<b>Traqueidas</b>
		<b>Punteaduras en traqueidas en paredes radiales (sólo en madera tempr.)</b>
13	44	(predominantemente) Uniseriados
14	45	(predominantemente) Dos o más seriados
		<b>Disposición de (dos o más seriados) punteaduras de traqueidas en paredes radiales (sólo madera temprana)</b>
15	46	Opuesto
16	47	Alternos
		<b>Depósitos orgánicos (en las traqueidas del duramen)</b>
17	48	Presente
		<b>Longitud promedio de traqueidas</b>
18	49	... < $\mu\text{m}$ > >
		<b>Longitud media de la traqueída (clases de tamaño)</b>
19	50	Corto (menos de 3000 $\mu\text{m}$ )
20	51	Medio (3000 a 5000 $\mu\text{m}$ )
21	52	Largo (más de 5000 $\mu\text{m}$ )
		<b>Espacios intercelulares en toda la madera (en sección transversal)</b>
22	53	Presente
		<b>Grosor de paredes en traqueidas de la madera tardía</b>
23	54	Pared delgada (espesor de pared doble menor que el diámetro del lumen radial)
24	55	Pared gruesa (espesor de pared doble mayor que el diámetro del lumen radial)
		<b>Parénquima axial</b>
		<b>Parénquima axial (excluidas las células epiteliales y subsidiarias de los canales intercelulares)</b>
25	72	Presente
		<b>Disposición del parénquima axial</b>
26	73	Difusa (distribuida uniformemente a lo largo de todo el crecimiento)
27	74	Tangencialmente

<b>Nro.</b>	<b>Nro. IAWA</b>	<b>Nombre de la característica</b>
28	75	Marginal
		<b>Paredes transversales</b>
29	76	Lisas
30	77	Engrosamiento irregular
31	78	Perlas o nodular
		<b>Composición de los radios</b>
		<b>Traqueidas radiales</b>
32	79	Comúnmente presente
33	80	Ausente o muy raro
		<b>Tamaño de radios</b>
		<b>Altura media del radio</b>
34	101	... < $\mu\text{m}$ > >
		<b>Altura media del rayo (número de celdas)</b>
35	102	Muy bajo (hasta 4 células)
36	103	Medio (5 a 15 células)
37	104	Alto (de 16 a 30 células)
38	105	Muy alta (más de 30 células)
		<b>Canales intercelulares</b>
		<b>Canales intercelulares axiales (resina)</b>
39	109	Presente
		<b>Canales intercelulares radiales (resina)</b>
40	110	Presente
		<b>Canales traumáticos (de resina) (axiales, radiales)</b>
41	111	Presente
		<b>Células epiteliales (de canales intercelulares)</b>
42	116	De pared gruesa
43	117	De pared delgada
		<b>Inclusiones minerales</b>
		<b>Cristales</b>
44	118	Presente
		<b>Tipo de cristales</b>
45	119	Prismático
46	120	Drusas
47	121	Otras formas (especifique)
		<b>Cristales localizados en</b>
48	122	Radios
49	123	Parénquima axial
50	124	Células asociadas a canales intercelulares

Las características antes mencionadas se transcribieron a un formulario (ver Anexo 6 y 7), que sirvió posteriormente para alimentar la base de datos inicial dentro del programa Microsoft Office Excel, tomando como base la clasificación de características anatómicas establecidas por el IAWA tanto para especies latifoliadas y coníferas, herramienta usada para facilitar la construcción de la base de datos y procesamiento de los resultados.

Este listado de características fue identificado a través de planos transversales, radiales y tangenciales existentes a las láminas con cortes histológicos, ilustrándose con fotografías tangencial tomadas con un microscopio electrónico Olympus, modelo BX41TF con ayuda de lupas de 4x, 10x y 20x de aumento.

A partir de este listado de características se realizó la identificación mediante la presencia y ausencia de las características en cada una de las especies en estudio y se organizó la información en una tabla, la cual está estructurada de acuerdo a los elementos encontrados y a las características basada en la normativa IAWA (Figura 11).

Características (Español)	Características anatómicas y microscópicas de la madera de acuerdo a la Nomenclatura IAWA.							
	Cedrela montana	Cleburna firmiflora	Symoga nitida	Heliconarpus americanus	Pouzania lucuma	Oreocolla grandiflora	Eugenia orthostemon	Oreopanax roseum
<b>Anillos de crecimiento</b>								
1. Anillos de crecimiento visibles	X				X	X	X	X
2. Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes		X	X	X				X
<b>Porosidad</b>								
3. Anillos porosos	X					X	X	X
4. Anillos semiporosos								
5. Anillos con poros difusos		X	X	X	X			
<b>Disposición de los vasos o poros</b>								
6. Vasos (poros) en bandas tangenciales						X		
7. Vasos (poros) en patrones radiales o diagonales	X						X	X
8. Vasos (poros) en patrones dendríticos							X	
<b>Agrupación de vasos</b>								
9. Vasos (poros) exclusivamente solitarios (90% o más)		X	X	X			X	
10. Vasos (poros) en grupos radiales de 4 o más	X				X			X
11. Vasos (poros) en grupos comunes (de 3 o más vasos)						X		
<b>Perfil de vasos solitarios</b>								
12. Perfil angular de vasos solitarios		X	X					
<b>Tilosis y depósitos en vasos</b>								
56. Tilosis común							X	
57. Tilosis esclerótica								X
58. Gommas y otros depósitos en vasos del duramen								X
<b>Parénquima axial</b>								
<b>Parénquima axial apotraqueal</b>								
75. Parénquima axial ausente o extremadamente raro		X		X			X	X
76. Parénquima axial difuso	X							

Figura 11. Matriz utilizada para la identificación de las características anatómicas. Las celdas de color verde representan la presencia de la característica dentro de esa especie, mientras que las celdas vacías indican ausencia de la característica.

### 3.4.4. Procesamiento y análisis estadístico de los datos de especies latifoliadas

Para identificar las características anatómicas similares y establecer la relación que existe entre ellas, se realizó una clasificación no supervisada mediante la importación de los datos de la base de datos realizada, hacia el programa estadístico R (R Development CoreTeam, 2008) y software de manejo y visualización RStudio (Versión 1.1.463—© 2009-2018 RStudio, Inc.).

Para el análisis de la información, se trabajó con varios paquetes o librerías estadísticas, principalmente con el paquete “corrplot” especializado para la visualización de una matriz de correlación (Figura 12 a); Así como, también con la función Hierarchical Clustering “hclust” del paquete de estadísticas R “stat”, el cual permitió obtener los conglomerados; a través, de dendrogramas de similitud (Figura 12 b), Heatmaps (Figura 12 c) mediante el método Method Ward D. Los códigos utilizados para la obtención de cada una de las herramientas graficas se detallan en el Anexo 8.

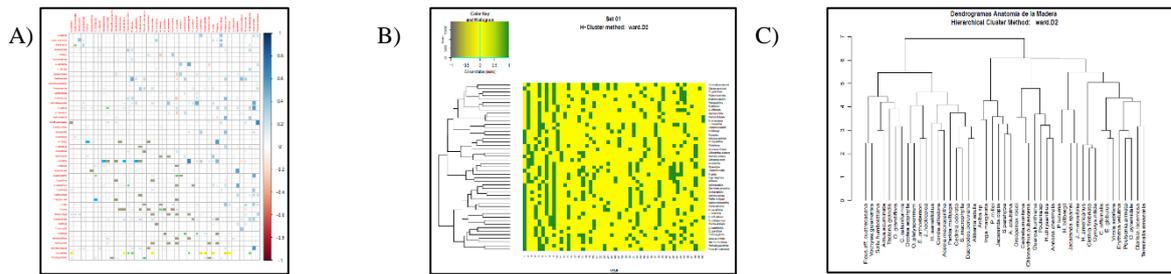


Figura 12. (a) Matriz de correlación. (b) Heat Maps. (c) Dendrograma de similitud.

### 3.4.4.1. Metodología para el análisis y visualización gráfica

Para el análisis de conglomerados se realizó la selección de las variables que entraron a participar del mismo, para ello los datos ingresados se estandarizaron y re-categorizaron en variables binarias (Figura 13) para que no existan unidades diferentes y poder aplicar a éstas una distancia apropiada para este tipo de medidas.

Nro.	Características	Cedrela montana	Clethra fimbriata	Gynoxys nitida	Heliocarpus americanus	Pouteria lucuma	Oreocallis grandiflora
1	1. Anillos de crecimiento visibles	1	0	0	0	1	1
2	2. Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes	0	1	1	1	0	0
3	3. Anillos porosos	1	0	0	0	0	0
4	4. Anillos semiporosos	0	0	0	0	0	1
5	5. Anillos con poros difusos	0	1	1	1	1	0
6	6. Vasos (poros) en bandas tangenciales	0	0	0	0	0	1
7	7. Vasos (poros) en patrones radiales o diagonales	1	0	0	0	0	0
8	8. Vasos (poros) en patrones dendríticos	0	0	0	0	0	0
9	9. Vasos (poros) exclusivamente solitarios (90% o más)	0	1	1	1	1	0
10	10. Vasos (poros) en grupos radiales de 4 o más	0	0	0	0	1	0
11	11. Vasos (poros) en grupos comunes (de 3 o más vasos)	1	0	0	0	0	1
12	12. Perfil angular de vasos solitarios	0	1	1	0	0	0
13	13. Perfil común	0	0	0	0	0	0
14	14. 56. Tilosis común	0	0	0	0	0	0
15	15. 57. Tilosis esclerótica	0	0	0	0	0	0
16	16. 58. Gomas y otros depósitos en vasos del duramen.	0	0	0	0	0	0

Figura 13. Estandarización y recategorización en variables binarias, (1= presencia y 0= ausencia).

### **a) Matriz de correlación**

Para determinar la asociación entre las variables a través de sus características anatómicas, se aplicó la matriz de correlaciones con un nivel de significancia de  $p\text{-value} < 0,05$  la cual expresa el grado de asociación lineal entre las variables de estudio.

Se utilizó la función denominada “`corrplot.mixed(M)`” del paquete “`corrplot`” con un método de visualización cuadrado “`square`”, función que permite tener estilos de agrupación y visualización mixtos. Para lo cual se partió desde la siguiente función:

```
corrplot.mixed(data, tl.pos="lt", upper="square", tl.cex = 0.6, number.cex= 0.22,
mar=c(0,0,1,0), main = "Correlación entre especies (p-value = 0.05)", p.mat = pval, sig.level
= 0.01, insig = "blank")
```

Las correlaciones positivas se mostraron en color azul y las correlaciones negativas en color rojo, donde la intensidad del color y el tamaño del recuadro son proporcionales a los coeficientes de correlación (ver matriz de correlación completa en Anexo 8), dichos valores se encuentran entre -1 y 1 y entre más alta sea la proximidad a 1 se dirá que las especies tienen una correlación de tipo positiva, y si la proximidad es al valor -1, se dice entonces que existe una correlación de tipo negativa. Valores próximos a cero indica la posible inexistencia de asociación lineal entre las especies.

### **b) Mapas de calor (Heat maps) y dendrogramas**

El análisis de conglomerados o clúster se realizó mediante la función Hierarchical Clustering “`hclust`” de “`stat`” paquete de estadísticas R, el cual realiza un análisis de clúster jerárquico utilizando un conjunto de diferencias para los (n) objetos que se agrupan. Inicialmente, cada objeto se asigna a su propio clúster y luego el algoritmo procede de manera iterativa (que se repite muchas veces), en cada etapa uniéndose a los dos clústeres más similares, continuando hasta que haya un solo clúster.

Para ello primero se calculó la medida de asociación; a través de la distancia “euclídea” dado que los grupos que se formen contengan individuos parecidos, de forma que la distancia entre ellos tiene que ser pequeña y esto se realizó con la siguiente función:

```
distance= dist(data, method ="euclidean")
```

La función del paquete estadístico de R utilizado para generar las herramientas graficas del agrupamiento jerárquico “hclust” fue la siguiente:

```
hclust(data, method = "complete", members = NULL)
```

```
## S3 method for class 'hclust'  
plot(x, labels = NULL, hang = 0.1, check = TRUE,  
     axes = TRUE, frame.plot = FALSE, ann = TRUE,  
     main = "Cluster Dendrogram",  
     sub = NULL, xlab = NULL, ylab = "Height", ...)
```

Los métodos de aglomeración utilizados fueron: "ward.D", "ward.D2", "single", "complete", "average", "mcquitty", "median" o "centroid". Sin embargo, tomando en cuenta que existen dos grandes tipos de análisis clúster: Método jerárquico y no jerárquico; y la finalidad del estudio fue determinar las características similares entre las 50 especies forestales del sur de Ecuador, se trabajó con un método jerárquico de tipo Asociativo o Aglomerativo, debido a que se parte de un solo grupo que contiene todos los datos a analizar; y a través de sucesivas divisiones se forman grupos cada vez más pequeños permitiendo construir un árbol de clasificación o dendrograma.

En este contexto, para aplicar todos los métodos de agrupación jerárquica con su medida de asociación se creó las herramientas gráficas Heat maps con dendrogramas a través de la función:

```
pdf("nombre.pdf", onefile=TRUE, paper="a4r", width=0, height=0)  
for (i in 1:8) {  
  heatmap.2(data.raw.wa,  
            main = paste ("Set 01", "\nH-Cluster method: ", HC_method(i)),  
            sub= "YEAR", trace="none", margins =c(5,7), col=my_palette,  
            breaks=col_breaks, dendrogram="row", Rowv = dend1_List((i)), Colv = "NA",  
            ey.xlab = "Concentration (index)", cexRow =0.8, cexCol = 0.8, na.rm = TRUE,  
            RowSideColors = col_labels_List((i)), colRow = col_labels_List((i))  
  )  
}  
dev.off()
```

Aquí se produce la reordenación de las filas y columnas de acuerdo a un conjunto de valores (media de filas o columnas) dentro de las restricciones impuestas por el dendrograma. Finalmente, y con el propósito de representar de mejor forma los resultados obtenidos, se eligió el método jerárquico de Ward debido a que el criterio de este método consiste en unir aquellos objetos para los cuales este valor resulte mínimo creando grupos homogéneos y con tamaños similares.

La visualización gráfica de los datos dentro del mapa de calor, se realizó mediante una representación de los valores individuales a través de colores contenidos dentro de una matriz que muestra la ocurrencia (presente = verde, ausente = amarillo) y la distribución de las características anatómicas en las 50 especies forestales en estudio.

Con respecto a los resultados obtenidos por el mapa de calor se obtuvo mediante el método Ward D, debido a que los grupos son unidos con el criterio de que sean lo más compactos u homogéneos posible y se encuentra representado de la siguiente forma:

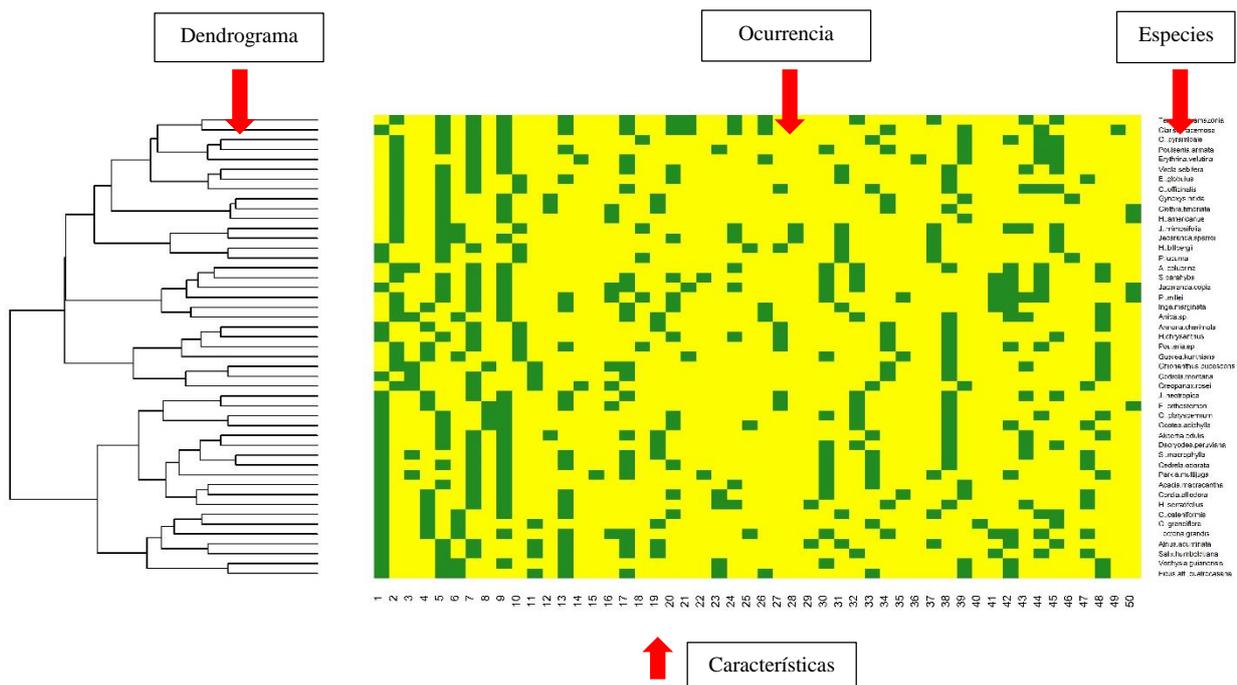


Figura 14. Representación gráfica del agrupamiento jerárquico a través del método Ward D, mediante la herramienta de visualización grafica mapa de calor (heat map).

### 3.4.5. Análisis de las características anatómicas en especies coníferas

La investigación incluyó tres especies coníferas, dos especies de la familia Podocarpaceae (*Podocarpus oleoifolius* y *Prumnopitys montana*) y una especie para la familia Pinaceae (*Pinus patula*). Para la descripción microscópica de la madera se utilizó la lista estándar de identificación microscópica de maderas de coníferas estipulado por IAWA Committee (2004).

Para conocer las características similares entre especies coníferas se realizó de forma manual debido a que las herramientas de visualización grafica utilizadas en el procesamiento y análisis de especies latifoliadas, no era necesario su uso dado que el número de variables fue reducido a diferencia de especies latifoliadas.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Especies forestales en estudio

Del total de 50 especies seleccionadas desde la colección de maderas del Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales de la Universidad Nacional de Loja se identificó 26 familias botánicas, siendo las más representativas Fabaceae con seis géneros y Meliaceae con cuatro géneros. Los géneros más representativos en ésta colección fueron *Handroanthus* (3 especies) y *Jacaranda* (3 especies) ambos de la familia Bignoniaceae.

De esta colección, se identificaron 23 especies correspondientes al bosque húmedo tropical, 16 a bosque andino y 6 de bosque seco del sur de Ecuador. Así mismo, cabe recalcar que *Prumnopitys montana*, *Podocarpus oleifolius*, *Pinus patula* fueron las únicas 3 especies coníferas dentro del estudio.

### 4.2. Características anatómicas de la madera de acuerdo a la nomenclatura IAWA

Para cada especie estudiada se identificaron de forma detallada las principales 50 características de la normativa IAWA (ver Tablas 3 y 4). Se describe la caracterización anatómica de cada especie, tomando en cuenta sus tres planos de corte Transversal, Tangencial, y Radial; ver descripción anatómica de cada especie desde la Figura 15 hasta la Figura 60.

#### 4.2.1. Características anatómicas de especies latifoliadas

##### *Annona cherimola* Miller. (Chirimoya)

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (4x)*

*Sección Radial (4x)*

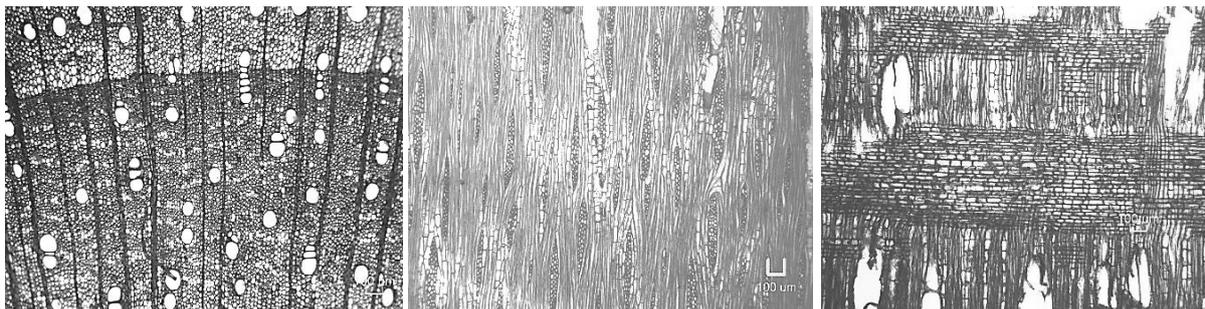


Figura 15. Estructura anatómica de *Annona cherimola* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (característica 1), anillos semiporosos (característica 4), vasos (poros) en patrones radiales o diagonales (característica 7), vasos en grupos radiales de 4 o más (característica 10), Parénquima axial paratraqueal escaso (característica 78), parénquima axial en bandas finas o líneas de hasta tres células de ancho (característica 86), ocho (5-8) células por hebra de parénquima (característica 93), radios con ancho de 1 a 3 series (característica 97) y

cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales (característica 107). Ver lista y nombre de las características para especies latifoliadas en Tabla 3 y Anexo 6.

***Oreopanax rosei* Harms. (Pumamaqui)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*



Figura 16. Estructura anatómica de *Oreopanax rosei* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), anillos porosos (3), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos en grupos comunes (de 3 o más vasos) (11), tilosis esclerótica (57), cuatro (3-4) células por hebra de parénquima (92), radios comúnmente de 4 a 10 series (98) y cuerpo del radio con células procumbentes y una sola fila de células verticales y/o cuadradas marginales (106).

***Gynoxys nítida* Muschl. (Tunash)**

*Sección Transversal (10x)*

*Sección Tangencial (20x)*

*Sección Radial (10x)*

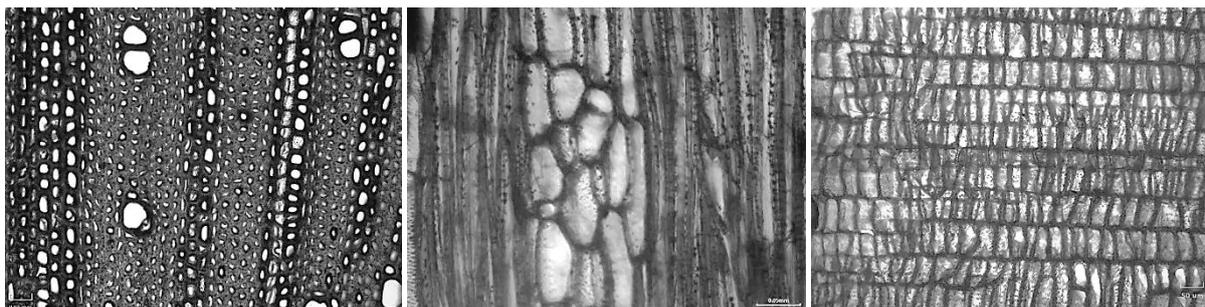


Figura 17. Estructura anatómica de *Gynoxys nítida* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), anillos con poros difusos (5), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), perfil angular de vasos solitarios (12), parénquima axial paratraqueal escaso (78), ocho (5-8) células por hebra de parénquima (93), radios comúnmente de 4 a 10 series (98) y todas las células verticales y/o cuadradas (105).

***Alnus acuminata* Kunth. (Aliso)**

*Sección Transversal (10x)*

*Sección Tangencial (20x)*

*Sección Radial (10x)*

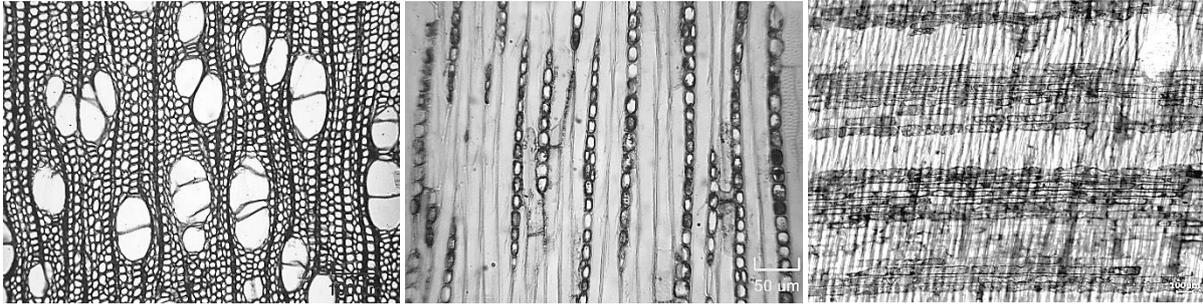


Figura 18. Estructura anatómica de *Alnus acuminata* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), anillos con poros difusos (5), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos en grupos comunes (de 3 o más vasos) (11), tilosis común (56), parénquima axial difuso (76), parénquima axial paratraqueal escaso (78), radios exclusivamente uniseriados (96), radios agregados (101), todas las células procumbentes (104).

***Handroanthus billbergii* (Bureau & K. Schum.) S. O. Grose. (Guayacán)**

*Sección Transversal (10x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (20x)*

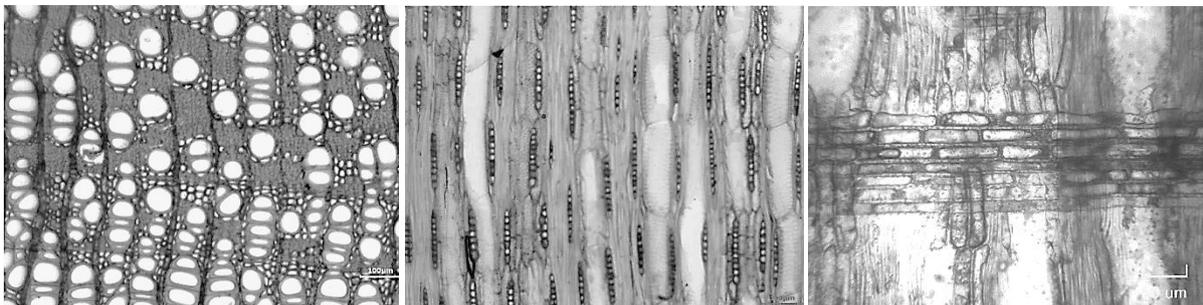


Figura 19. Estructura anatómica de *Handroanthus billbergii* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), anillos con poros difusos (5), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos en grupos radiales de 4 o más (10), parénquima axial unilateral paratraqueal (84), parénquima axial en bandas finas o líneas de hasta tres células de ancho (86), células de parénquima fusiforme (90), radios exclusivamente uniseriados (96) y todas las células procumbentes (104).

***Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S. O. Grose. (Guayacán)**

*Sección Transversal (10x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (20x)*

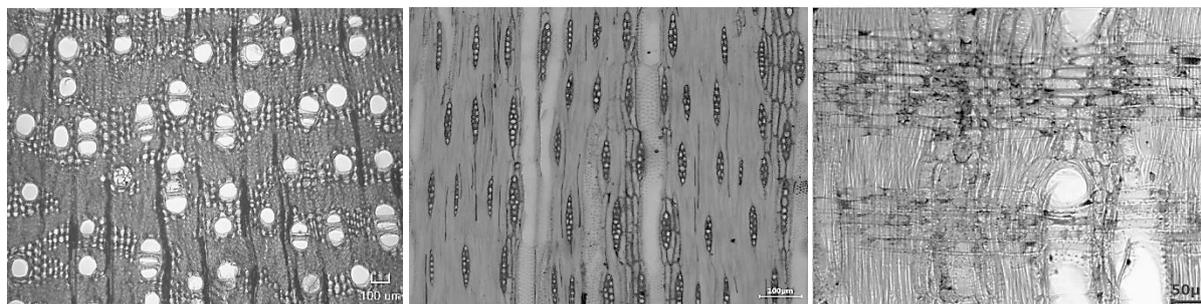


Figura 20. Estructura anatómica de *Handroanthus chrysanthus* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), anillos con poros difusos (5), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos en grupos radiales de 4 o más (10), parénquima axial vasicéntrico (79), parénquima axial confluyente (83), parénquima axial en bandas finas o líneas de hasta tres células de ancho (86), ocho (5-8) células por hebra de parénquima (93), radios con ancho de 1 a 3 series (97) y todas las células procumbentes (104).

***Handroanthus serratifolius* (Vahl) S.O. Grose. (Guayacán)**

*Sección Transversal (10x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (20x)*

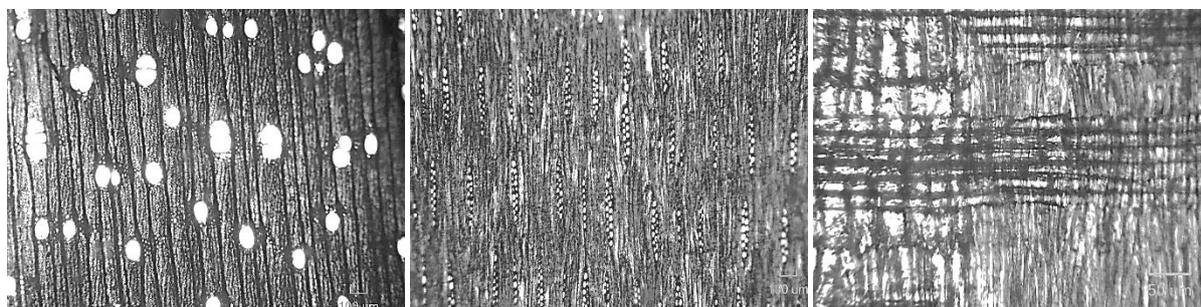


Figura 21. Estructura anatómica de *Handroanthus serratifolius* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), tilosis común (56); parénquima axial alado aliforme y confluyente (82,83), parénquima axial escaliforme (88), ocho (5-8) células por hebra de parénquima (93), radios con ancho de 1 a 3 series (97), radios de altura mayor a 1mm (102), cuerpo del radio con células procumbentes y una sola fila de células verticales y/o cuadradas marginales (106).

***Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don. (Arabisco)**

*Sección Transversal (10x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

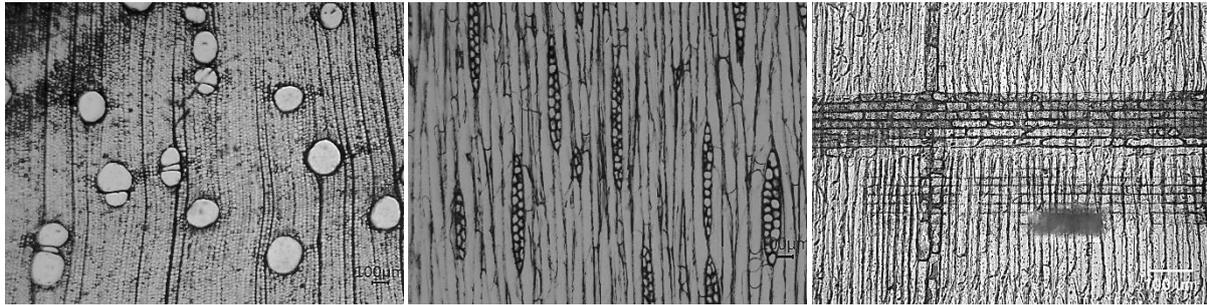


Figura 22. Estructura anatómica de *Jacaranda copaia* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), anillos con poros difusos (5), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), parénquima axial difuso (76), parénquima axial alado aliforme (82), parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales (89), dos células por hebra de parénquima (91), radios con porciones multiseriadas y porciones uniseriadas (100) y radios con una mezcla de células procumbentes, cuadradas y verticales (109).

***Jacaranda mimosifolia* D. Don. (Arabisco)**

*Sección Transversal (10x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

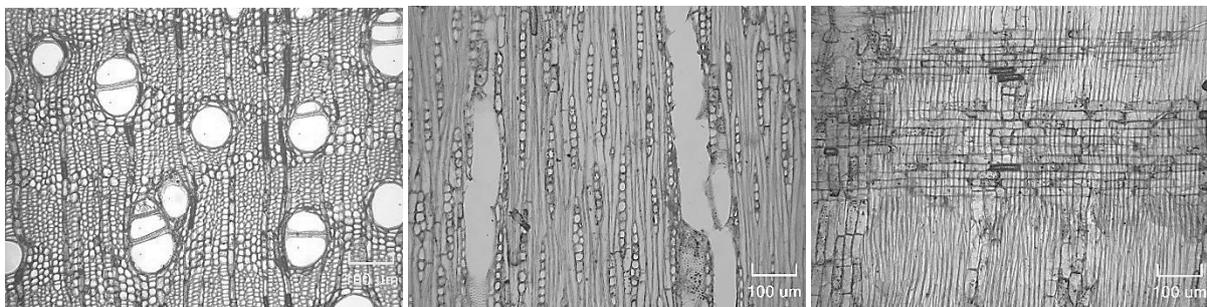


Figura 23. Estructura anatómica de *Jacaranda mimosifolia* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), anillos con poros difusos (5), vasos en bandas tangenciales (6), vasos en grupos radiales de 4 o más (10), parénquima axial difuso en agregados (77), parénquima axial confluyente (93), radios exclusivamente uniseriados (96) y todas las células procumbentes (104).

***Jacaranda sparrei* A.H. Gentry. (Arabisco)**

*Sección Transversal (10x)*

*Sección Tangencial (20x)*

*Sección Radial (20x)*

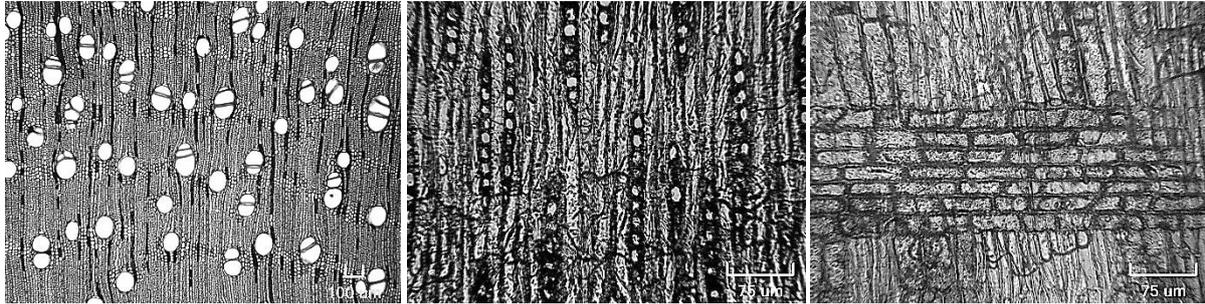


Figura 24. Estructura anatómica de *Jacaranda sparrei* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), anillos con poros difusos (5), vasos en bandas tangenciales (6), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), parénquima axial vasicéntrico confluyente (79,83), radios exclusivamente uniseriados (96), y todas las células procumbentes (104).

***Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) (Balsa)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

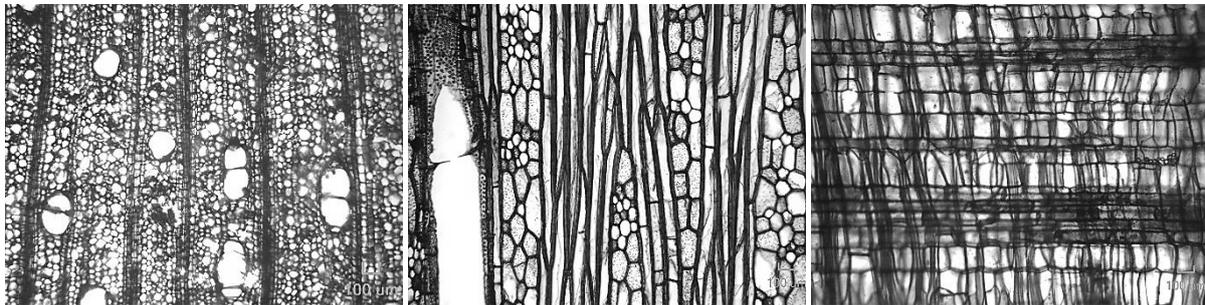


Figura 25. Estructura anatómica de *Ochroma pyramidale* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), anillos con poros difusos (5), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), parénquima axial difuso en agregados (77), cuatro (3-4) células por hebra de parénquima (92), radios comúnmente de 4 a 10 series (98), y todas las células procumbentes (104).

***Pseudobombax millei* (Standl.) A. Robyns. (Beldaco)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

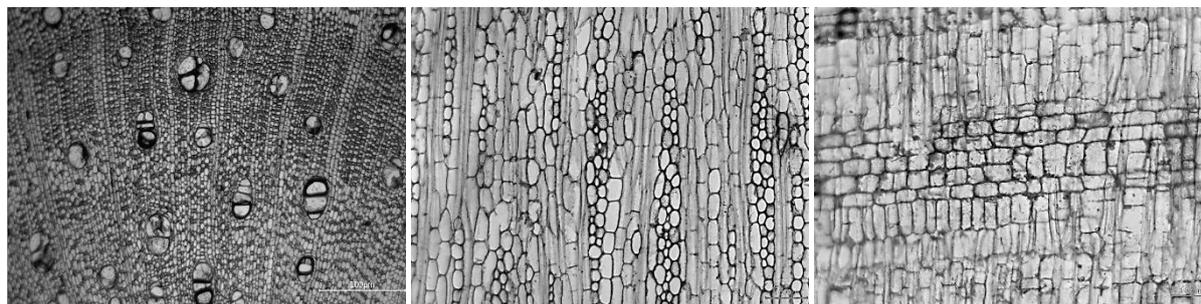


Figura 26. Estructura anatómica de *Pseudobombax millei* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), anillos con poros difusos (5), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), tilosis común (56), parénquima axial difuso en agregados (77), parénquima axial vasicéntrico (79), parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales (89), más de ocho células por hebra de parénquima (94), radios con porciones multiseriadas y porciones uniseriadas (100) y radios con una mezcla de células procumbentes, cuadradas y verticales (109).

***Dacryodes peruviana* (Loes.) H.J. Lam. (Copal)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*



Figura 27. Estructura anatómica de *Dacryodes peruviana* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), anillos con poros difusos (5), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), parénquima axial paratraqueal escaso (78), parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales (89), dos células por hebra de parénquima (91), radios con ancho de 1 a 3 series (97) y todas las células procumbentes (104).

### ***Clethra fimbriata* Kunth. (Almizcle, Tulpai)**

*Sección Transversal (10x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*



Figura 28. Estructura anatómica de *Clethra fimbriata* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), anillos con poros difusos (5), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), parénquima axial paratraqueal escaso (78), ocho (5-8) células por hebra de parénquima (93), radios con ancho de 1 a 3 series (97) y radios con una mezcla de células procumbentes, cuadradas y verticales (109).

### ***Terminalia amazonia* J.F. Gmel. Exell. (Yumbingue)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

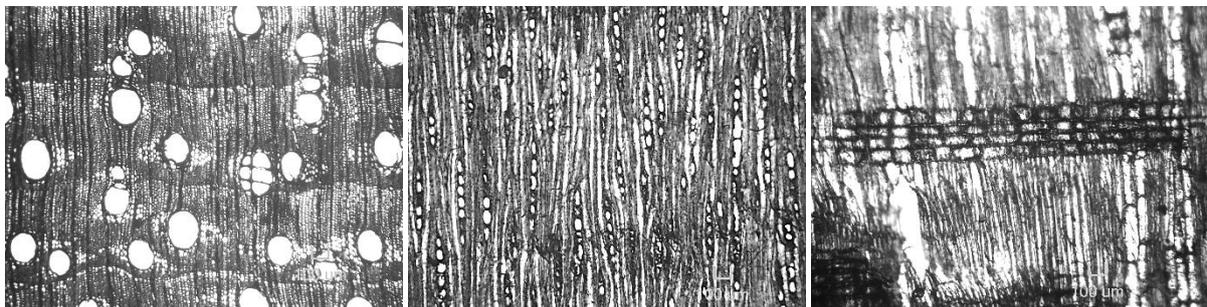


Figura 29. Estructura anatómica de *Terminalia amazonia* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), anillos con poros difusos (5), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), tilosis común (56), parénquima axial difuso (76), parénquima axial vasicéntrico, aliforme y confluyente (79,80,83), dos células por hebra de parénquima (91), radios exclusivamente uniseriados (96) y todas las células procumbentes (104).

### ***Acacia macracantha* Humb. & Bonpl. (Faique)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

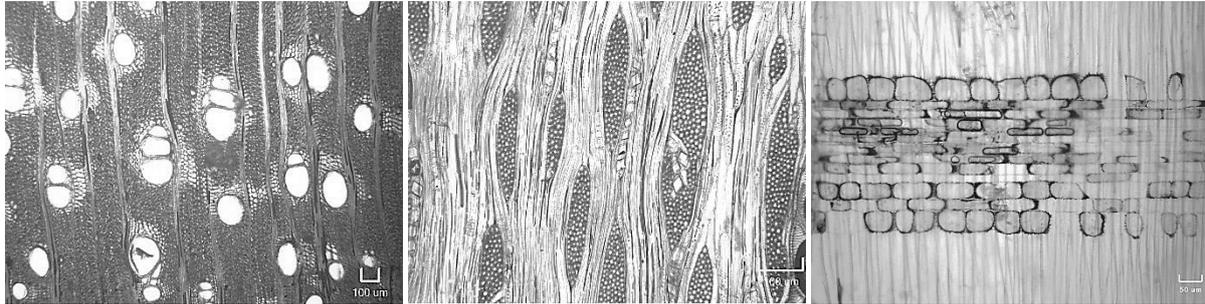


Figura 30. Estructura anatómica de *Acacia macracantha* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), anillos con poros difusos (5), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), parénquima axial confluyente (83), parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales (89), cuatro (3-4) células por hebra de parénquima (92), radios comúnmente de 4 a 10 series (98) y cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales (107).

### ***Anadenanthera colubrina* (Vell.) Bren. (Wilco)**

*Sección Transversal (10x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

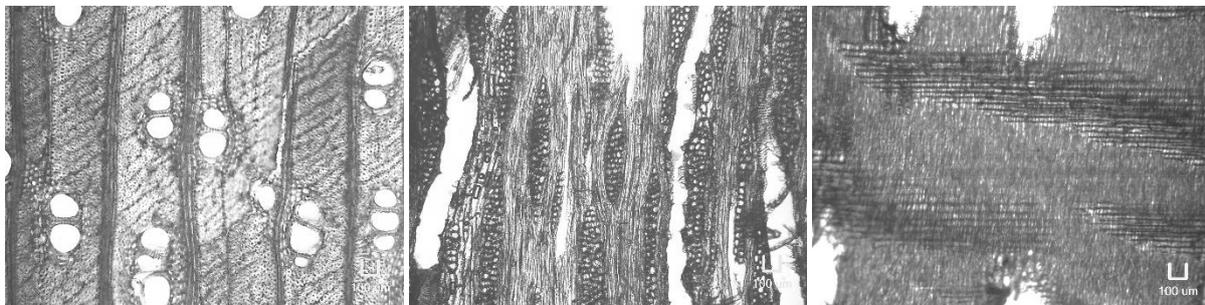


Figura 31. Estructura anatómica de *Anadenanthera colubrina* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), parénquima axial confluyente (93), parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales (89), dos células por hebra de parénquima (91) y radios con ancho de 1 a 3 series (97) y cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales (107).

### ***Cedrelinga cateniformis* D. Duke. (Seique)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

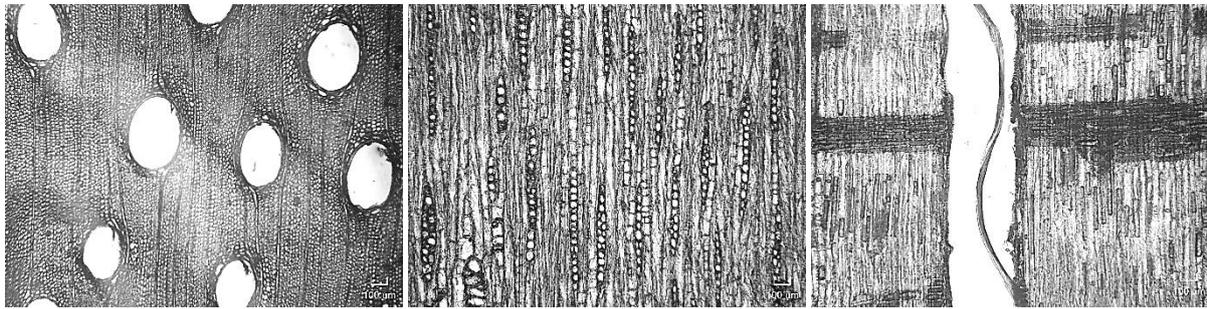


Figura 32. Estructura anatómica de *Cedrelinga cateniformis* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), vasos en bandas tangenciales (6), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), tilosis común (56), parénquima axial vasicéntrico (79), células de parénquima fusiforme (90), radios exclusivamente uniseriados (96) y todas las células procumbentes (104).

### ***Erythrina velutina* Willd. (Porotillo)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

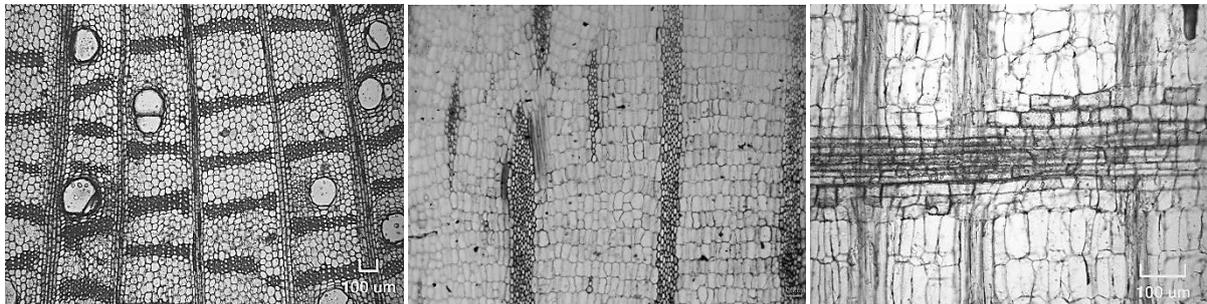


Figura 33. Estructura anatómica de *Erythrina velutina* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), tilosis esclerótica (57), parénquima axial difuso (76), parénquima axial en bandas con más tres células de ancho (85), parénquima no lignificado (95), radios comúnmente de 4 a 10 series (98) y todas las células procumbentes (104).

### ***Inga marginata* Willd. (Guaba)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*



Figura 34. Estructura anatómica de *Inga marginata* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), tilosis común (56), parénquima axial difuso (76), parénquima axial vasicéntrico (79), parénquima axial en bandas con más tres células de ancho (85), radios con porciones multiseriadas y porciones uniseriadas (100) y cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales (107).

### ***Parkia multijuga* Benth. (Huilco)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

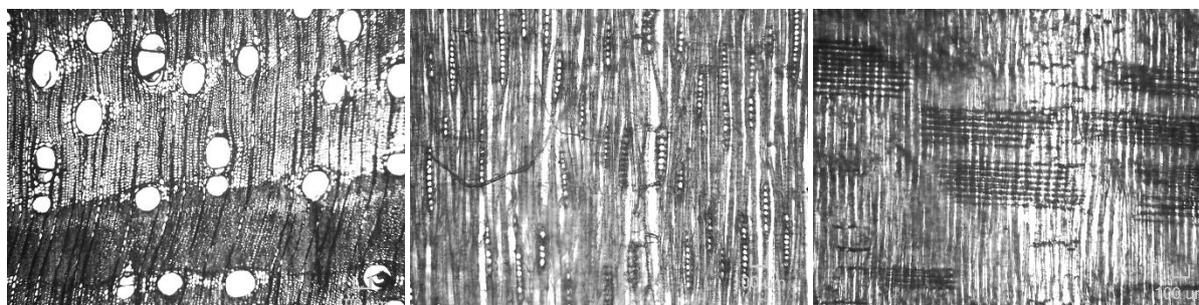


Figura 35. Estructura anatómica de *Parkia multijuga* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), gomas y otros depósitos en vasos del duramen (58), parénquima axial difuso (76), parénquima axial adiamantado aliforme (81), parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales (89), cuatro (3-4) células por hebra de parénquima (92), radios exclusivamente uniseriados (96) y cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales (107).

***Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake. (Pachaco)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

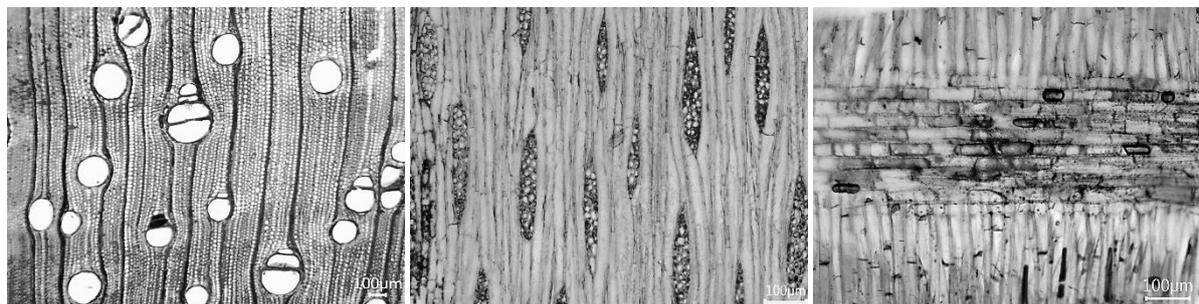


Figura 36. Estructura anatómica de *Schizolobium parahyba* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), anillos con poros difusos (5), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), parénquima axial difuso (76), parénquima axial vasicéntrico y adiamantado aliforme (79, 81), parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales (89), dos células por hebra de parénquima (91), radios con porciones multiseriadas y porciones uniseriadas (100) y cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales (107).

***Juglans neotropica* Diels. (Nogal)**

*Sección Transversal (10x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

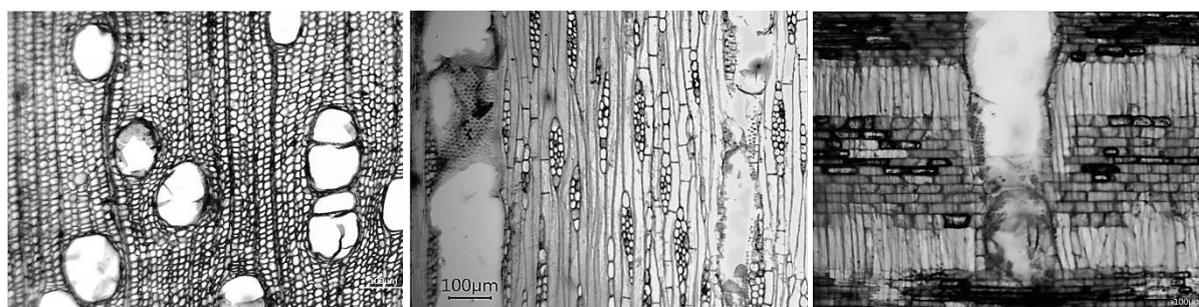


Figura 37. Estructura anatómica de *Juglans neotropica* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), tilosis común (56), parénquima axial difuso (76), parénquima axial en bandas finas o líneas de hasta tres células de ancho, dos células por hebra de parénquima (91), radios con ancho de 1 a 3 series (97) y todas las células procumbentes (104).

### ***Aniba sp.* (Amarillo)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

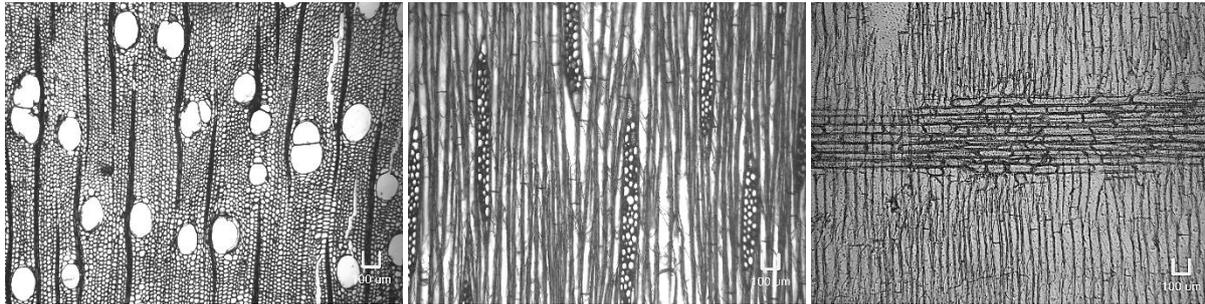


Figura 38. Estructura anatómica de *Aniba sp.* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), vasos en bandas tangenciales (6), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), parénquima axial difuso (76), parénquima axial paratraqueal escaso (78), parénquima axial en bandas con más tres células de ancho (85), dos células por hebra de parénquima (91), radios con ancho de 1 a 3 series (97) y cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales (107).

### ***Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken. (Laurel costeño)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

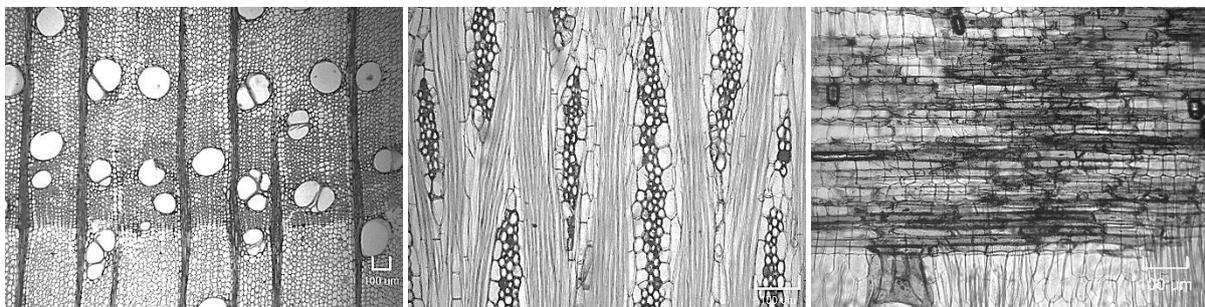


Figura 39. Estructura anatómica de *Cordia alliodora* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), tilosis común (56); parénquima axial vasicéntrico y alado aliforme (82), parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales (89), más de ocho células por hebra de parénquima (94), radios comúnmente de 4 a 10 series (98), cuerpo del radio con células procumbentes y una sola fila de células verticales y/o cuadradas marginales (106).

***Ocotea aciphylla* (Nees & Mart.) Mez. (Canelo)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

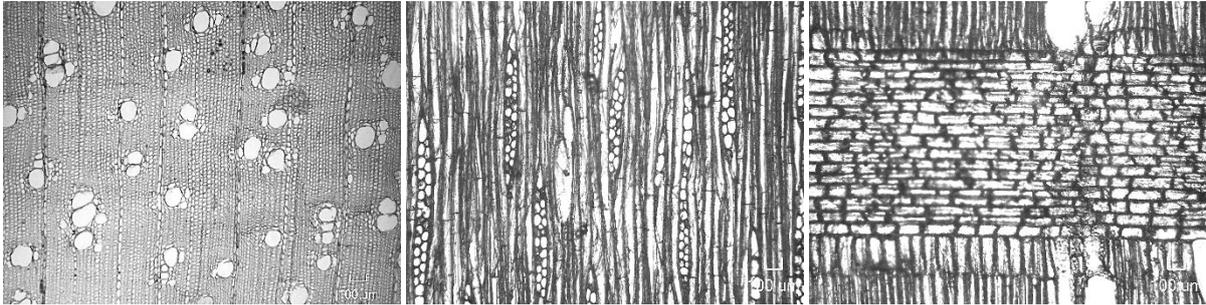


Figura 40. Estructura anatómica de *Ocotea aciphylla* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), anillos con poros difusos (5), vasos en patrones dendríticos (8), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9); parénquima axial vasicéntrico y unilateral paratraqueal (79,84), dos células por hebra de parénquima (91), radios con ancho de 1 a 3 series (97) y cuerpo del radio con células procumbentes y una sola fila de células verticales y/o cuadradas marginales (106).

***Heliocarpus americanus* L. (Balsilla)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

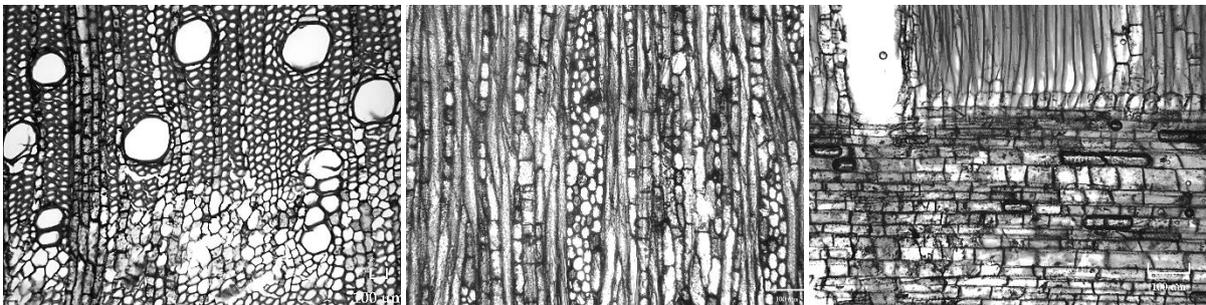


Figura 41. Estructura anatómica de *Heliocarpus americanus*. en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), anillos con poros difusos (5), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), radios comúnmente de 4 a 10 series (98) y radios con una mezcla de células procumbentes, cuadradas y verticales (109).

### ***Cedrela montana* Moritz ex Turcz. (Cedro)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

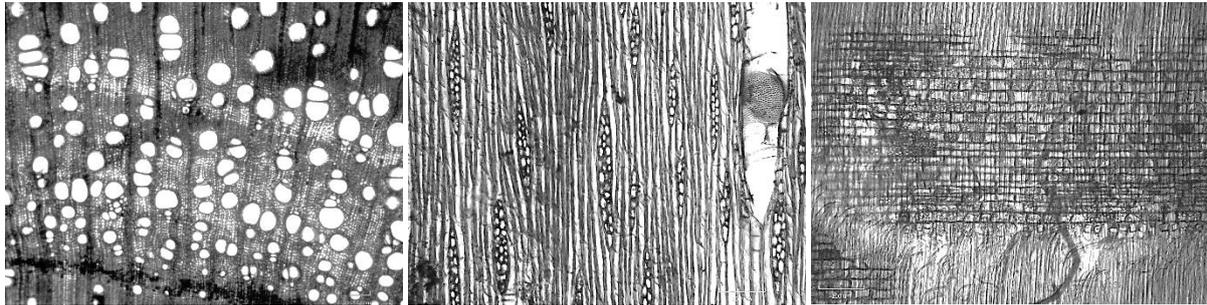


Figura 42. Estructura anatómica de *Cedrela montana* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos en grupos comunes (de 3 o más vasos) (11), parénquima axial difuso (76), radios con ancho de 1 a 3 series (97) y cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales (107).

### ***Cedrela odorata* L. (Cedro)**

*Sección Transversal (10x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*



Figura 43. Estructura anatómica de *Cedrela odorata* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), anillos con poros difusos (5), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), tilosis común (56), parénquima axial difuso (76), parénquima axial vasicéntrico (79), parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales (89), cuatro (3-4) células por hebra de parénquima (92), radios con ancho de 1 a 3 series (97), cuerpo del radio con células procumbentes y una sola fila de células verticales y/o cuadradas marginales (106).

***Guarea kunthiana* A. Juss. (Yanza)**

*Sección Transversal (10x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

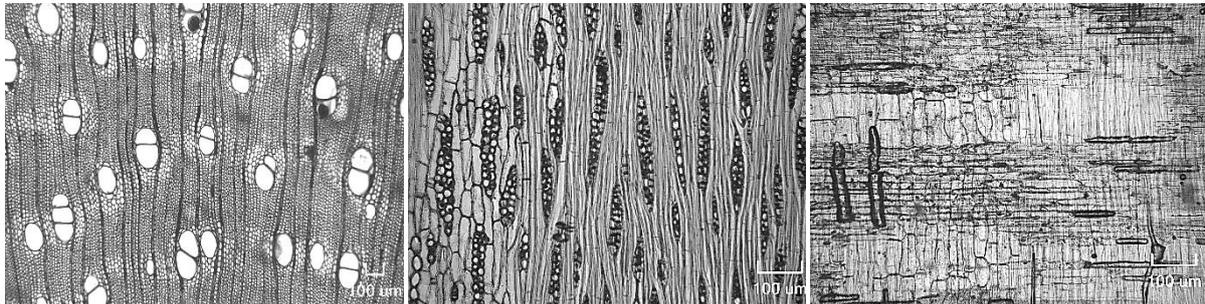


Figura 44. Estructura anatómica de *Guarea kunthiana* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), vasos en bandas tangenciales (6), vasos en grupos radiales de 4 o más (10), parénquima axial aliforme (80), más de ocho células por hebra de parénquima (94), radios con ancho de 1 a 3 series (97) y cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales (107).

***Swietenia macrophylla* King. (Caoba)**

*Sección Transversal (10x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

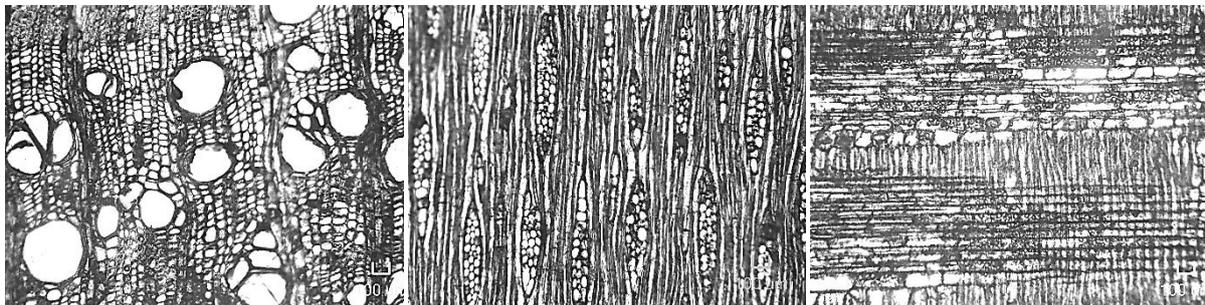


Figura 45. Estructura anatómica de *Swietenia macrophylla* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), tilosis común (56), parénquima axial difuso (76), parénquima axial paratraqueal escaso (78), parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales (89), cuatro (3-4) células por hebra de parénquima (92), radios con ancho de 1 a 3 series, cuerpo del radio con células procumbentes y una sola fila de células verticales y/o cuadradas marginales (106).

***Clarisia racemosa* Ruiz & Pav. (Pituca)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

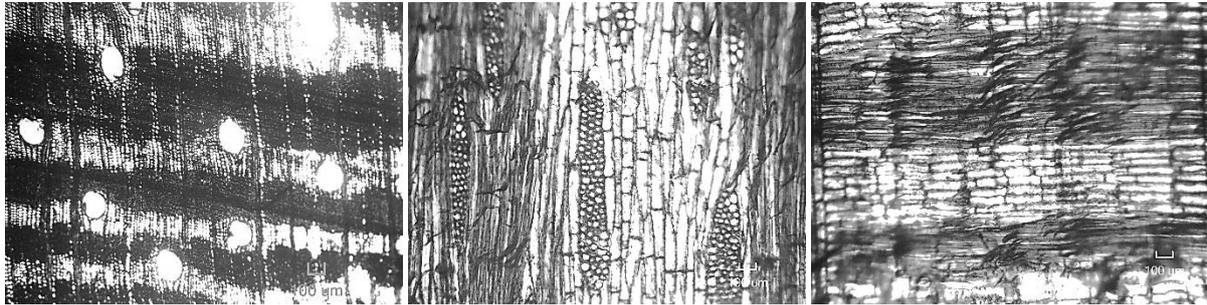


Figura 46. Estructura anatómica de *Clarisia racemosa* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), anillos con poros difusos (5), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), tilosis común (56), parénquima axial difuso (76); parénquima axial vasicéntrico aliforme y confluyente (79, 83), parénquima axial en bandas con más tres células de ancho (85), ocho (5-8) células por hebra de parénquima (93), radios comúnmente de 4 a 10 series (98), cuerpo del radio con células procumbentes con más de 4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales (108).

***Ficus aff. cuatrecasana* Dugand. (Higuerón)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (4x)*

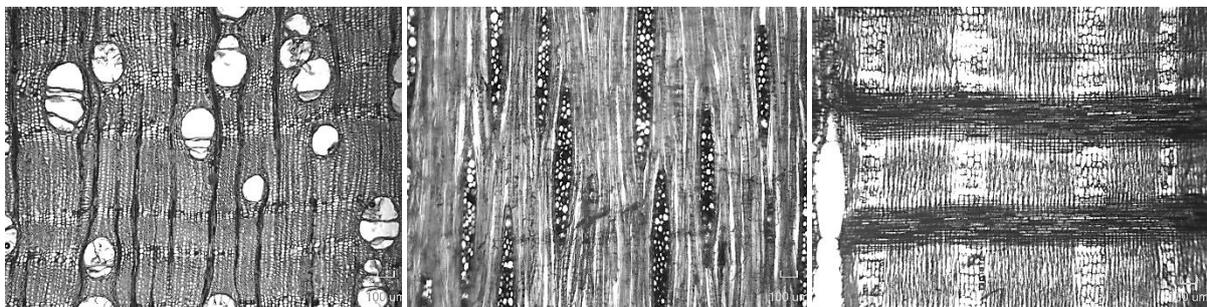


Figura 47. Estructura anatómica de *Ficus (aff. cuatrecasana)* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), anillos con poros difusos (5), vasos en bandas tangenciales (6), vasos en grupos comunes (de 3 o más vasos), tilosis común (56), parénquima axial difuso (76), parénquima axial alado aliforme (82), parénquima axial en bandas con más tres células de ancho (85), cuatro (3-4) células por hebra de parénquima (92), radios comúnmente de 4 a 10 series (98) y cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales (107).

### ***Poulsenia armata* (Miq.) Standl. (Yamila)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

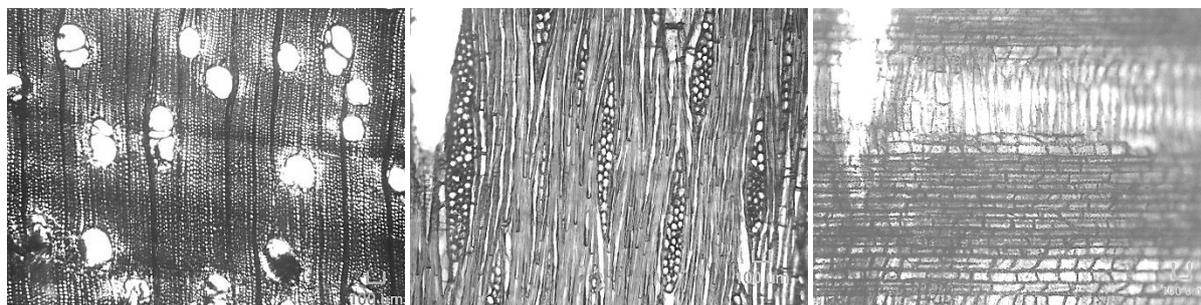


Figura 48. Estructura anatómica de *Poulsenia armata* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), anillos con poros difusos (5), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), tilosis común (56), parénquima axial alado aliforme (82), parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales (89), ocho (5-8) células por hebra de parénquima (93), radios comúnmente de 4 a 10 series (98) y todas las células procumbentes (104).

### ***Osteophloeum platyspermum* (Spruce ex A. DC.) Warb. (Loteria)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

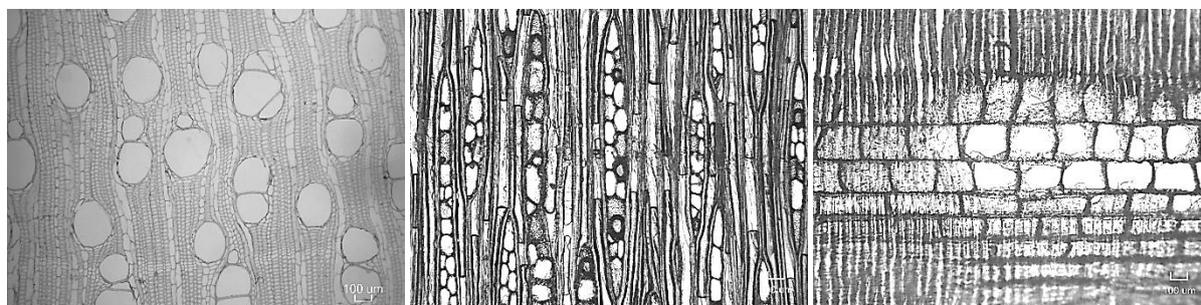


Figura 49. Estructura anatómica de *Osteophloeum platyspermum* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), anillos con poros difusos (5), vasos en patrones dendríticos (8), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), parénquima axial vasicéntrico (79), parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales (89), dos células por hebra de parénquima (91), radios con ancho de 1 a 3 series (97) y cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales (107).

### ***Virola sebifera* Aubl. (Sangre)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

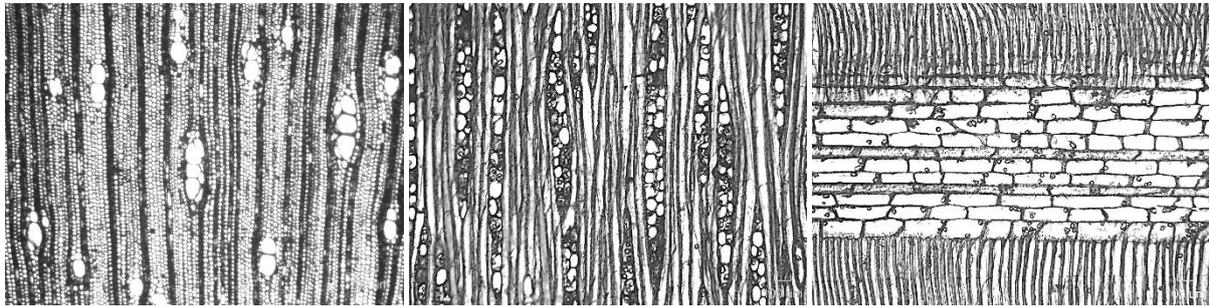


Figura 50. Estructura anatómica de *Virola sebifera* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), anillos con poros difusos (5), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), parénquima axial difuso (76), parénquima axial vasicéntrico (79), células de parénquima fusiforme (90), radios con ancho de 1 a 3 series (97) y todas las células procumbentes (104).

### ***Eucalyptus globulus* Labill. (Eucalipto)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

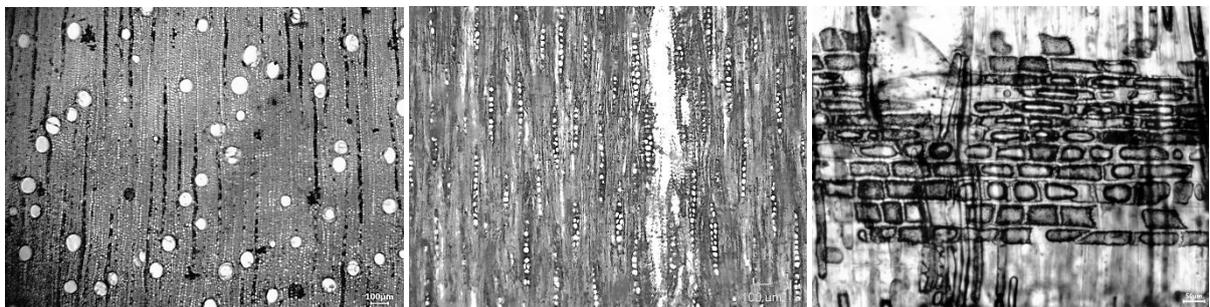


Figura 51. Estructura anatómica de *Eucalyptus globulus* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), anillos con poros difusos (5), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos en grupos radiales de 4 o más (10), tilosis común (56), parénquima axial vasicéntrico (79), células de parénquima fusiforme (90), radios con ancho de 1 a 3 series (97) y cuerpo del radio con células procumbentes y una sola fila de células verticales y/o cuadradas marginales (106).

### ***Eugenia orthostemon* O. Berg. (Eugenia)**

*Sección Transversal (10x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

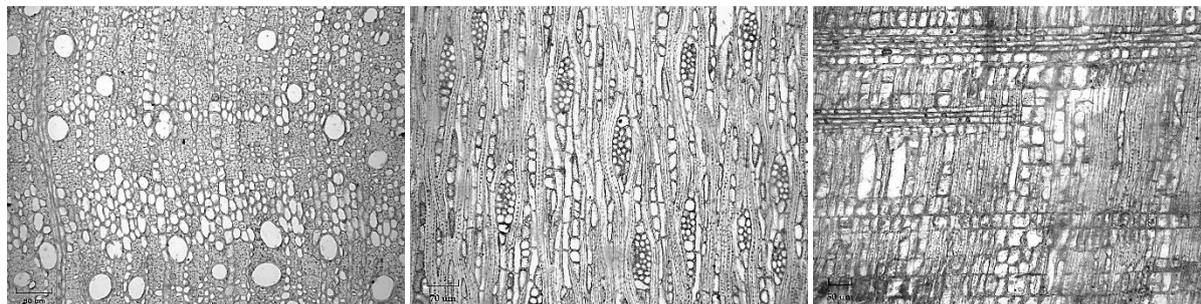


Figura 52. Estructura anatómica de *Eugenia orthostemon* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), vasos en patrones dendríticos, vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), tilosis común (56), parénquima axial ausente o extremadamente raro (75), parénquima axial en bandas finas o líneas de hasta tres células de ancho (86), dos células por hebra de parénquima (91), radios con ancho de 1 a 3 series (97) y radios con una mezcla de células procumbentes, cuadradas y verticales (109).

### ***Chionanthus pubescens* Kunth. (Arupo)**

*Sección Transversal (10x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

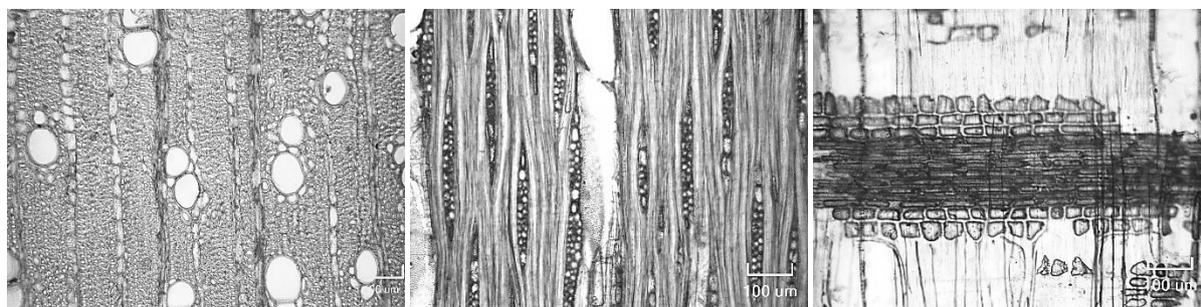


Figura 53. Estructura anatómica de *Chionanthus pubescens* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), vasos en patrones dendríticos (8), vasos en grupos comunes (de 3 o más vasos) (11), parénquima axial ausente o extremadamente raro (75), parénquima axial difuso (76), ocho (5-8) células por hebra de parénquima (93), radios con ancho de 1 a 3 series (97) y cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales (107).

***Oreocallis grandiflora* (Lam.) R. Br. (Cucharillo)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

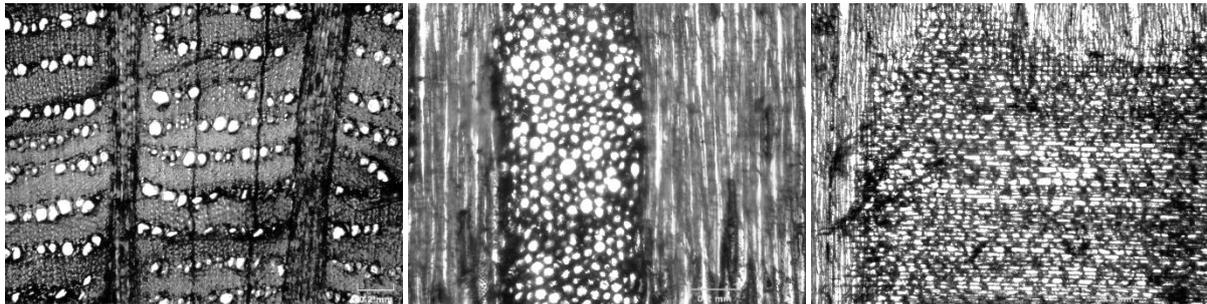


Figura 54. Estructura anatómica de *Oreocallis grandiflora* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento falsos visibles, vasos en bandas tangenciales (6), vasos en grupos comunes (de 3 o más vasos) (11), parénquima axial paratraqueal escaso (78), cuatro (3-4) células por hebra de parénquima (92), radios comúnmente mayores a 10 series (99) y todas las células procumbentes (104).

***Alibertia edulis* (Rich.) A. Rich. (Juan Colorado)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*



Figura 55. Estructura anatómica de *Alibertia edulis* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), anillos con poros difusos (5), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), perfil angular de vasos solitarios (12), parénquima axial difuso (76), parénquima axial paratraqueal escaso (78), cuatro (3-4) células por hebra de parénquima (92), radios con ancho de 1 a 3 series (97) y cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales (107).

### ***Cinchona officinalis* L. (Cascarilla)**

*Sección Transversal (10x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

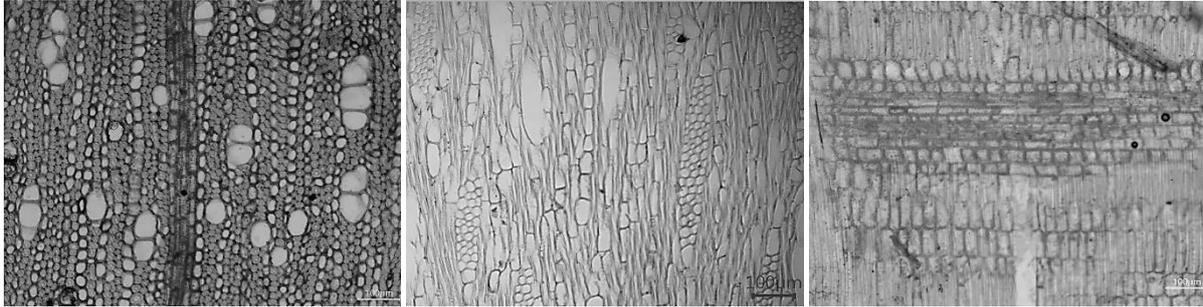


Figura 56. Estructura anatómica de *Cinchona officinalis* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), anillos con poros difusos (5), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos en grupos radiales de 4 o más (10), parénquima axial difuso (76) (76), parénquima axial en bandas finas o líneas de hasta tres células de ancho, cuatro (3-4) células por hebra de parénquima (92), radios con ancho de 1 a 3 series (97) y todas las células procumbentes (104).

### ***Salix humboldtiana* Willd. (Sauce)**

*Sección Transversal (10x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

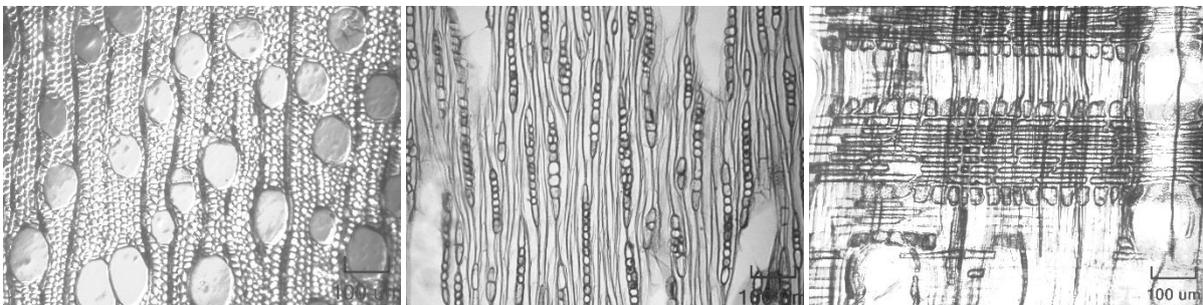


Figura 57. Estructura anatómica de *Salix humboldtiana* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), anillos con poros difusos (5), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos en grupos comunes (de 3 o más vasos) (11), tilosis común (56), parénquima axial difuso (76), parénquima axial paratraqueal escaso (78), dos células por hebra de parénquima (91), radios con porciones multiseriadas y porciones uniseriadas (100) y cuerpo del radio con células procumbentes y una sola fila de células verticales y/o cuadradas marginales (106).

***Pouteria lucuma* (Ruiz & Pav.) Kuntze. (Luma)**

*Sección Transversal (10x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

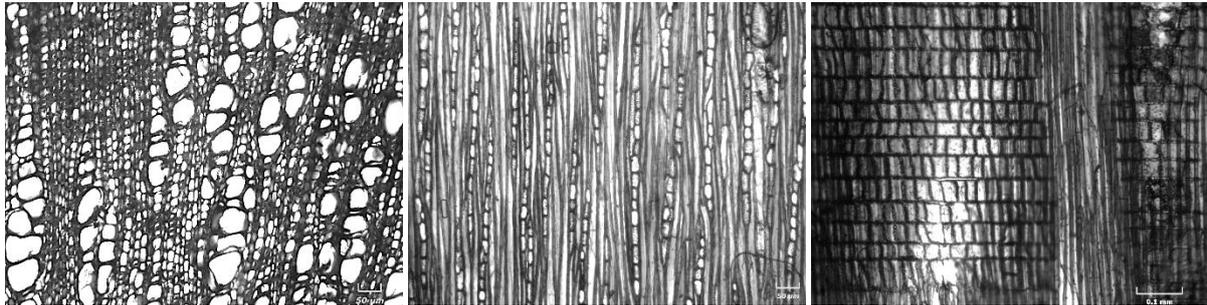


Figura 58. Estructura anatómica de *Pouteria lucuma* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), anillos con poros difusos (5), vasos en grupos radiales de 4 o más (10), parénquima axial difuso (76) en agregados, células de parénquima fusiforme (90), radios exclusivamente uniseriados (96) y todas las células verticales y/o cuadradas (105).

***Pouteria sp.* (Yarazo)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (4x)*

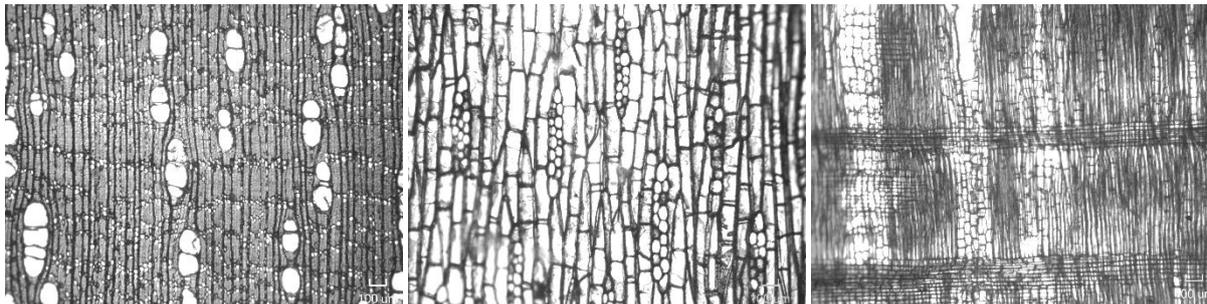


Figura 59. Estructura anatómica de *Pouteria sp.* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), vasos en patrones radiales o diagonales (7), vasos en grupos radiales de 4 o más (10), tilosis común (56), parénquima axial difuso en agregados (77), parénquima axial en bandas finas o líneas de hasta tres células de ancho (86), ocho (5-8) células por hebra de parénquima (93), radios con ancho de 1 a 3 series (97) y cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales (107).

### ***Tectona grandis* L. f. (Teca)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

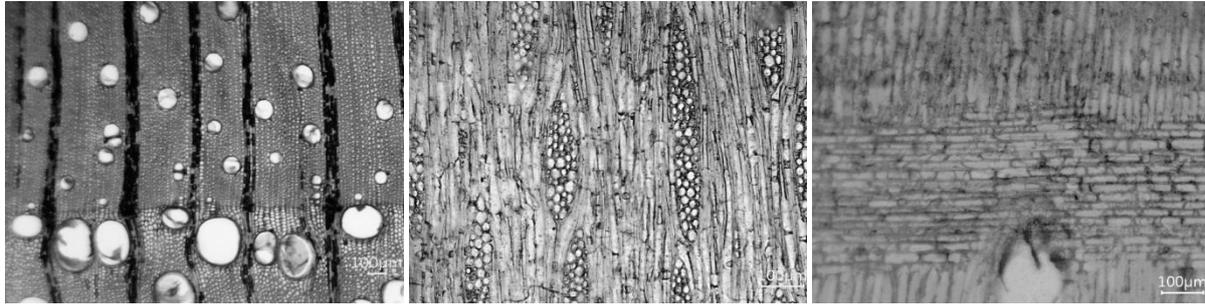


Figura 60. Estructura anatómica de *Tectona grandis* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), vasos en bandas tangenciales (6), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), tilosis común (56), parénquima axial ausente o extremadamente raro, parénquima axial difuso (76), parénquima axial unilateral paratraqueal, parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales (89), ocho (5-8) células por hebra de parénquima (93), radios con porciones multiseriadas y porciones uniseriadas (100) y cuerpo del radio con células procumbentes y una sola fila de células verticales y/o cuadradas marginales (106).

### ***Vochysia guianensis* Aubl. (Bella maría)**

*Sección Transversal (4x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

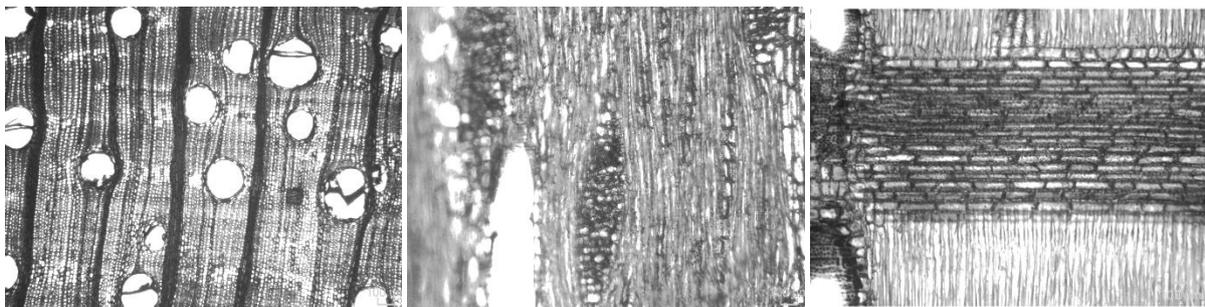


Figura 61. Estructura anatómica de *Vochysia guianensis* en sus tres planos de corte.

Anillos de crecimiento visibles (1), anillos con poros difusos, vasos en bandas tangenciales (6), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), tilosis común (56), parénquima axial alado aliforme (82), parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales (89), radios comúnmente de 4 a 10 series (98) y cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales (107).

#### 4.2.2. Características anatómicas de especies coníferas

A continuación, se describe la caracterización anatómica de cada especie conífera basada en la normativa IAWA tomando en cuenta sus tres planos de corte Transversal, Tangencial, y Radial; ver descripción anatómica de cada especie desde la Figura 62 hasta la Figura 64; ver lista y nombre de las características para especies latifoliadas en la Tabla 4 y Anexo 7.

##### ***Pinus patula* Schldl. & Cham. (Pino)**

*Sección Transversal (10x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (20x)*

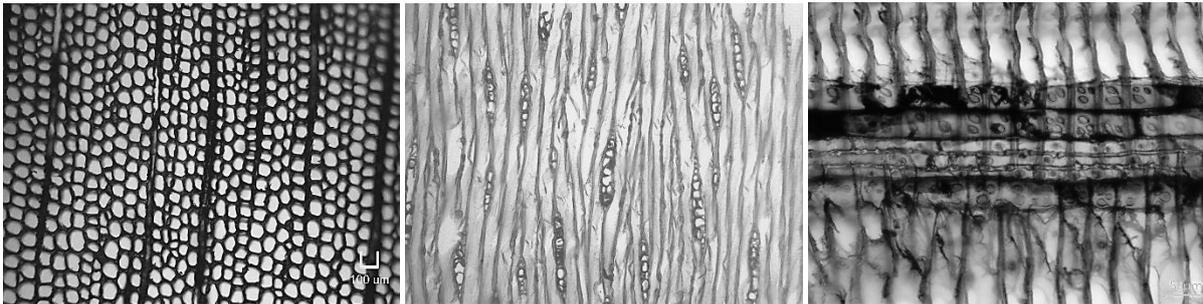


Figura 62. Estructura anatómica de *Pinus patula* en sus tres planos de corte.

Color duramen similar al color albura (32); límites del anillo de crecimiento borrosos o ausentes (41); punteaduras en traqueidas en paredes radiales predominantemente: uniseriados (44); disposición de (dos o más seriados) punteaduras de traqueidas en paredes radiales: alternos (47); espacios intercelulares en toda la madera (en sección transversal): presente (53); grosor de paredes en traqueidas: pared delgada (54); paredes transversales: lisas (76); traqueidas radiales: comúnmente presente (79); altura media del radio: medio (5 a 15 células) (103); canales intercelulares radiales (resina): presente (110); y células epiteliales (de canales intercelulares): de pared delgada (117).

##### ***Podocarpus oleifolius* D. Don ex Lamb. (Romerillo)**

*Sección Transversal (10x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*

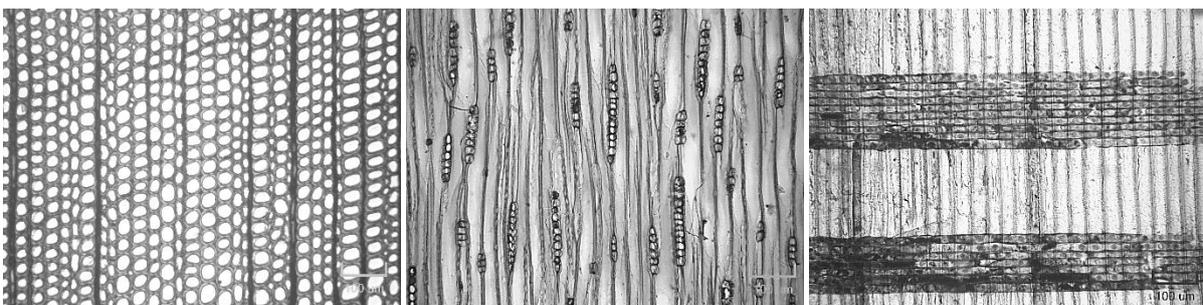


Figura 63. Estructura anatómica de *Podocarpus oleifolius* en sus tres planos de corte.

Color del duramen distinto del color de la albura (33); límites del anillo de crecimiento distintos (40); transición de la madera temprana a la madera tardía de forma gradual (43); punteaduras en traqueidas en paredes radiales predominantemente: uniseriados (44); disposición de (dos o más seriados) punteaduras de traqueidas en paredes radiales: alternos (47); espacios intercelulares presentes en toda la madera (en sección transversal) (53); grosor de paredes en traqueidas de la madera tardía: pared delgada (54); disposición del parénquima axial, difusa (distribuida uniformemente a lo largo de todo el crecimiento)(73); paredes transversales: lisas(76); traqueidas radiales: comúnmente presente (79); y altura media del radio: medio (5 a 15 células) (103).

***Prumnopitys montana* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) de Laub. (Romerillo)**

*Sección Transversal (10x)*

*Sección Tangencial (10x)*

*Sección Radial (10x)*



Figura 64. Estructura anatómica de *Prumnopitys montana* en sus tres planos de corte.

Color duramen similar al color albura (32); Límites del anillo de crecimiento borrosos o ausentes (41); transición de la madera temprana a la madera tardía de forma gradual (43); punteaduras en traqueidas en paredes radiales predominantemente: uniseriados (44); disposición de (dos o más seriados) punteaduras de traqueidas en paredes radiales: alternos (47); espacios intercelulares presentes en toda la madera (en sección transversal) (53); grosor de paredes en traqueidas de la madera tardía: pared delgada (espesor de pared doble menor que el diámetro del lumen radial) (54); paredes transversales: lisas (76); traqueidas radiales: comúnmente presente (79); y altura media del radio: medio (5 a 15 células) (103).

**4.3. Correlación entre las especies forestales analizadas**

De acuerdo al análisis de la matriz de correlación (ver Anexo 8) entre 47 especies latifoliadas en base a sus características anatómicas se encontró similitudes significativas entre algunas especies con valores máximos de correlación de 0,66 (p-value = 0.001), y mínimos de -0,30 (p-value = 0.001), (ver Tabla 5); ver cortes anatómicos de cada par de especie, mostrando sus similitudes diferencias desde la Figura 65 hasta la Figura 68.

Tabla 5. Especies forestales que presentaron correlación positiva alta.

Espece 1	Espece 2	Correlación	p-value
<i>Jacaranda mimosifolia</i> (Bignoniaceae)	<i>Jacaranda sparrei</i> (Bignoniaceae)	0,66	2,38E-07
<i>Vochysia guianensis</i> (Vochysiaceae)	<i>Ficus (aff. cuatrecasana)</i> (Moraceae)	0,66	2,38E-07
<i>Pouteria lucuma</i> (Sapotaceae)	<i>Handroanthus billbergii</i> (Bignoniaceae)	0,56	2,25E-05
<i>Virola Sebifera</i> (Myristicaceae)	<i>Eucalyptus globulus</i> (Myrtaceae)	0,55	4,01E-05

Las similitudes entre características anatómicas difirieron entre cada par de especies, y a continuación se describe cada uno de ellos: *J. mimosifolia* vs. *J. sparrei*; presentaron la mayor similitud ( $r=0,66$ , p-value: 0.001) compartiendo características anatómicas en común como: anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), anillos con poros difusos (5), vasos en bandas tangenciales (6), parénquima axial confluyente (83), parénquima axial reticulado (87), células de parénquima fusiforme (90), radios exclusivamente uniseriados (96) y todas las células procumbentes (104).

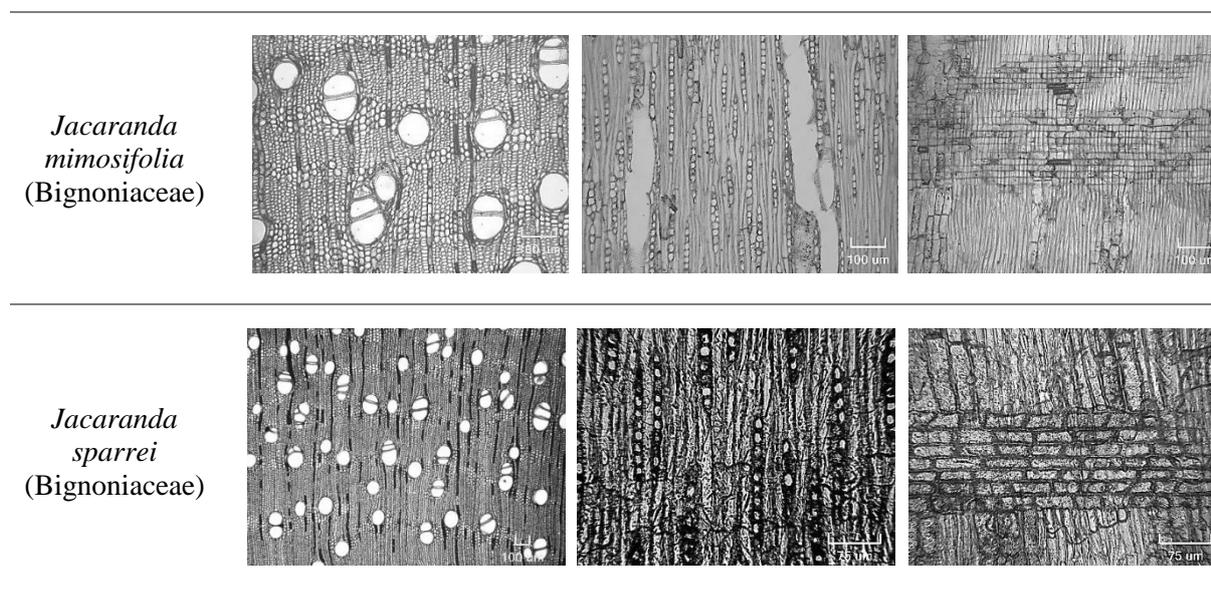
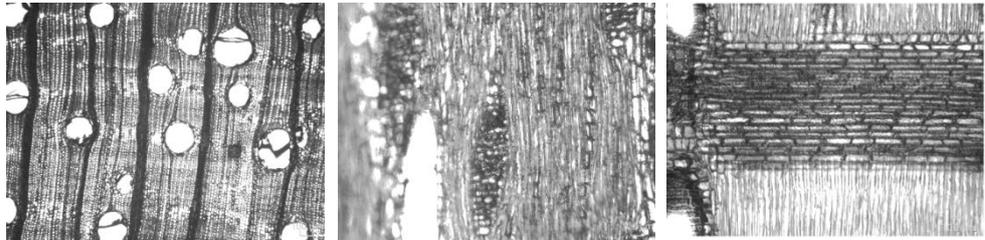


Figura 65. Características anatómicas similares entre *Jacaranda mimosifolia* y *Jacaranda sparrei*.

*V. guianensis* vs. *F. (aff. cuatrecasana)* presenta características anatómicas similares como: anillos de crecimiento visibles (1), anillos con poros difusos (5), vasos en bandas tangenciales (6), tilosis común (56), parénquima axial alado aliforme (82), radios comúnmente de 4 a 10 series (98), y cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales (107).

*Vochysia guianensis*  
(Vochysiaceae)



*Ficus (aff. cuatrecasana)*  
(Moraceae)

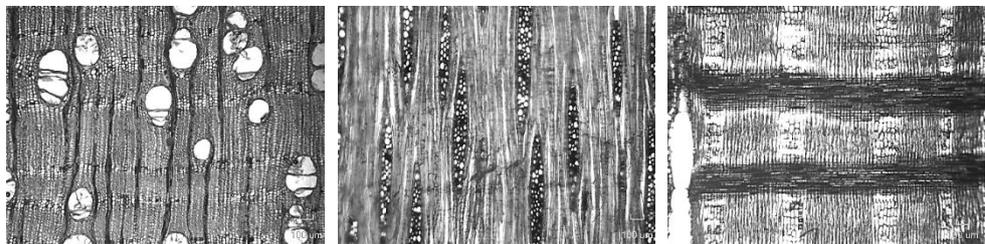
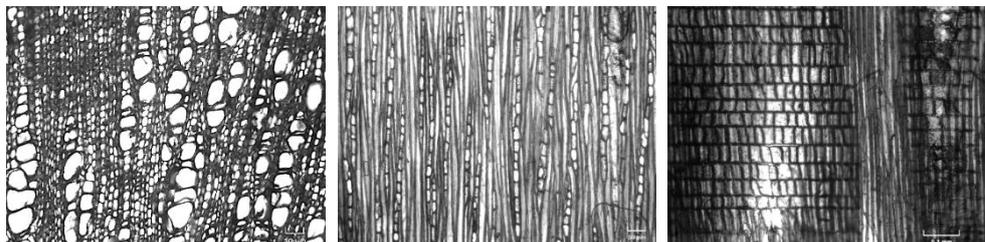


Figura 66. Características anatómicas similares entre: *Vochysia guianensis* y *Ficus (aff. cuatrecasana)*.

*P. lucuma* vs. *H. billbergii* estas especies mostraron las siguientes características anatómicas en común: anillos de crecimiento visibles (1), anillos con poros difusos (5), vasos en grupos radiales de 4 o más (10), células de parénquima fusiforme (90) y radios exclusivamente uniseriados (96).

*Pouteria lucuma*  
(Sapotaceae)



*Handroanthus billbergii*  
(Bignoniaceae)

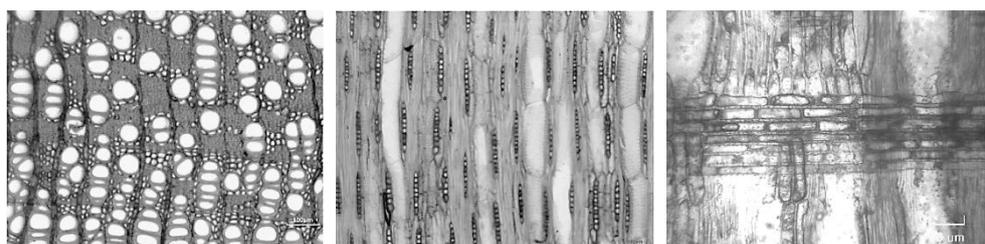
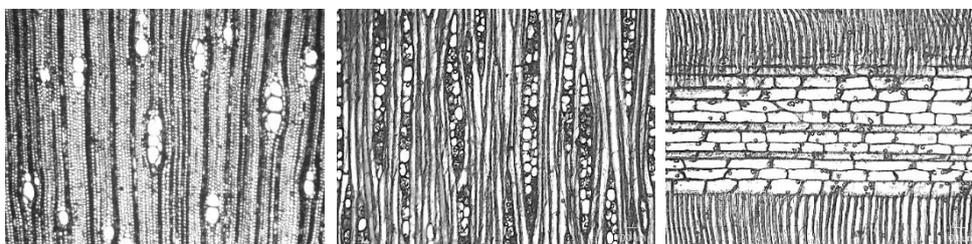


Figura 67. Características anatómicas similares entre: *Pouteria lucuma* y *Handroanthus billbergii*.

*V. sebifera* vs. *E. globulus* presentaron características anatómicas en común: Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), anillos con poros difusos (5), vasos en patrones radiales o diagonales (7), parénquima axial vasicéntrico (79), células de parénquima fusiforme (90) y radios con ancho de 1 a 3 series (97).

*Virola  
sebifera*  
(Myristicaceae)



*Eucalyptus  
globulus*  
(Myrtaceae)

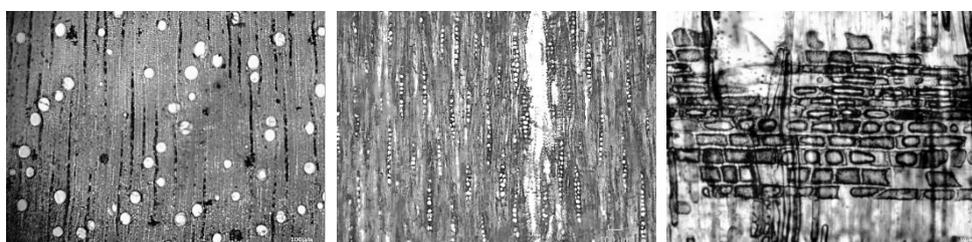


Figura 68. Características anatómicas similares entre: *Virola Sebifera* y *Eucalyptus globulus*.

Por otro lado, un grupo de especies mostraron características anatómicas opuestas identificadas con una correlación negativa (Tabla 6), ver cortes anatómicos de cada par de especie, mostrando sus diferencias desde la Figura 69 hasta la Figura 72.

Tabla 6. Especies forestales que presentaron correlación negativa significativa

<b>Especie 1</b>	<b>Especie 2</b>	<b>Correlación</b>	<b>p-value</b>
<i>Jacaranda mimosifolia</i> (Bignoniaceae)	<i>Cordia alliodora</i> (Lauraceae)	-0,3	0,035
<i>Jacaranda mimosifolia</i> (Bignoniaceae)	<i>Eugenia orthostemon</i> (Myrtaceae)	-0,28	0,048
<i>Handroanthus billbergii</i> (Bignoniaceae)	<i>Aniba sp.</i> (Lauraceae)	-0,26	0,064
<i>Oreopanax rosei</i> (Araliaceae)	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Fabaceae)	-0,23	0,10

Las características anatómicas presentes dentro de estas especies fueron las siguientes:

*J. mimosifolia* vs *C. alliodora* este par presentó la mayor diferencia entre sus características anatómicas de las 47 especies latifoliadas, alcanzando una correlación negativa de -0,3 (p-value: 0,035), lo cual se muestra en la Figura 69 y Tabla 7.

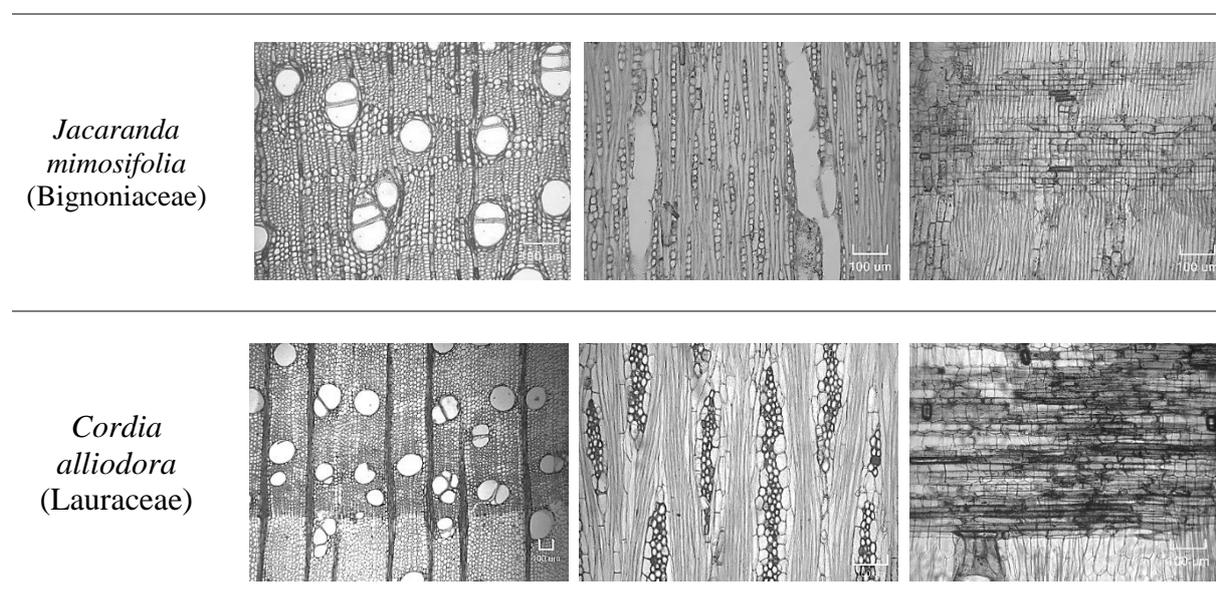


Figura 69. Comparación entre las características anatómicas de: *Jacaranda mimosifolia* y *Cordia alliodora*.

Tabla 7. Diferencias entre las características anatómicas de: *Jacaranda mimosifolia* y *Cordia alliodora*.

<i>Jacaranda mimosifolia</i>	<i>Cordia alliodora</i>
Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2)	Anillos de crecimiento visibles (1)
Anillos con poros difusos (5)	Anillos semiporosos (4)
Vasos en bandas tangenciales (6)	Vasos en patrones radiales o diagonales (7)
Vasos en grupos radiales de 4 o más (10)	Vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9)
	Tilosis común (56)
Parénquima axial difuso en agregados (77)	Parénquima axial vasicéntrico y alado aliforme (79, 82)
Parénquima axial confluyente (93)	Parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales (89)
	Más de ocho células por hebra de parénquima (94)
Radios exclusivamente uniseriados (96)	Radios comúnmente de 4 a 10 series (98)
Todas las células procumbentes (104)	Cuerpo del radio con células procumbentes y una sola fila de células verticales y/o cuadradas marginales (106)

*J. mimosifolia* vs *E. orthostemon* presentaron diferencias significativas en cuanto a sus características anatómicas con una correlación negativa de -0,28 (p-value: 0,048), lo cual se muestra en la Figura 70 y Tabla 8.

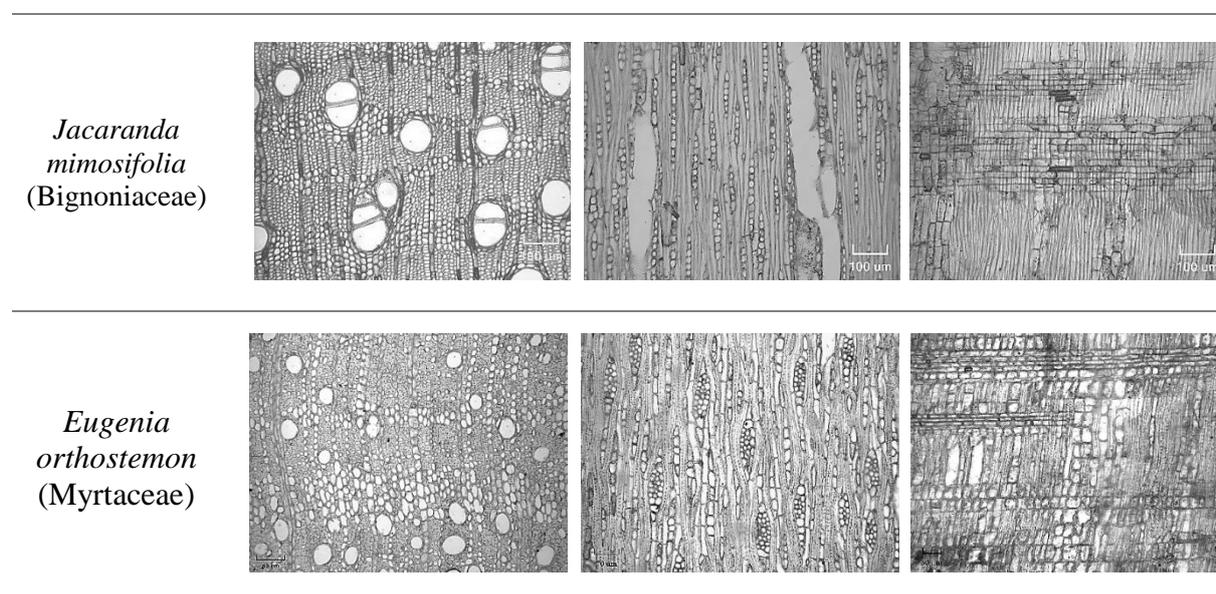


Figura 70. Comparación entre las características anatómicas de: *Jacaranda mimosifolia* y *Eugenia orthostemon*.

Tabla 8. Diferencias entre las características anatómicas de: *Jacaranda mimosifolia* y *Eugenia orthostemon*.

<i>Jacaranda mimosifolia</i>	<i>Eugenia orthostemon</i>
Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2)	Anillos de crecimiento visibles (1)
Anillos con poros difusos (5)	Anillos semiporosos (4)
Vasos en bandas tangenciales (6)	Vasos en patrones dendríticos (8)
Vasos en grupos radiales de 4 o más (10)	Vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9)
	Tilosis común (56)
Parénquima axial difuso en agregados (77)	Parénquima axial ausente o extremadamente raro (75)
Parénquima axial confluyente (93)	Parénquima axial en bandas finas o líneas de hasta tres células de ancho (86)
Radios exclusivamente uniseriados (96)	Dos células por hebra de parénquima (91), Radios con ancho de 1 a 3 series (97)
Todas las células procumbentes (104)	Radios con una mezcla de células procumbentes, cuadradas y verticales (109)

*H. billbergii* vs. *Aniba sp.* presentaron diferencias en cuanto a sus características anatómicas con una correlación negativa de -0,26 (p-value: 0,064), lo cual se muestra en la Figura 71 y Tabla 9.

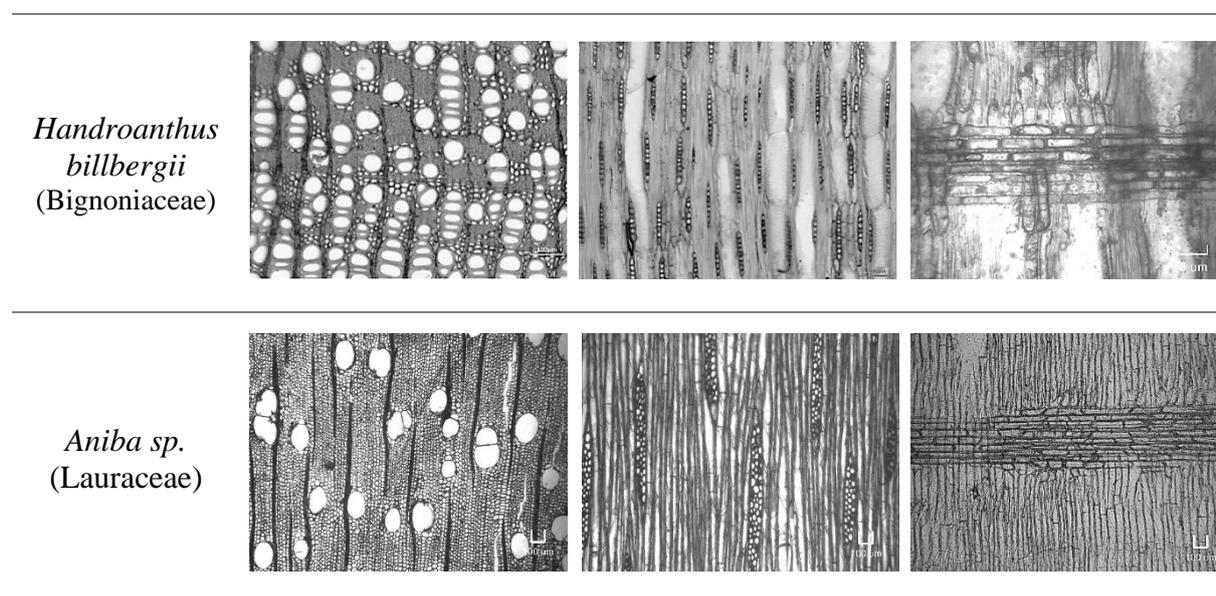


Figura 71. Comparación entre las características anatómicas de: *Handroanthus billbergii* y *Aniba sp.*

Tabla 9. Diferencias entre las características anatómicas de: *Handroanthus billbergii* y *Aniba sp.*

<i>Handroanthus billbergii</i>	<i>Aniba sp.</i>
Anillos de crecimiento visibles (1)	Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2)
Anillos con poros difusos (5)	Anillos porosos (3)
Vasos en patrones radiales o diagonales (7)	Vasos en bandas tangenciales (6)
Vasos en grupos radiales de 4 o más (10)	Vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9)
Parénquima axial unilateral paratraqueal (84)	Parénquima axial difuso (76)
Parénquima axial en bandas finas o líneas de hasta tres células de ancho (86)	Parénquima axial paratraqueal escaso (78) Parénquima axial en bandas con más tres células de ancho (85)
Células de parénquima fusiforme (90)	Dos células por hebra de parénquima (91)
Radios exclusivamente uniseriados (96)	Radios con ancho de 1 a 3 series (97)
Todas las células procumbentes (104)	Cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales (107)

*O. rosei* vs. *C. cateniformis*: presentaron diferencias en cuanto a sus características anatómicas con una correlación negativa de -0,23 (p-value: 0,10), lo cual se muestra en la Figura 72 y Tabla 10.

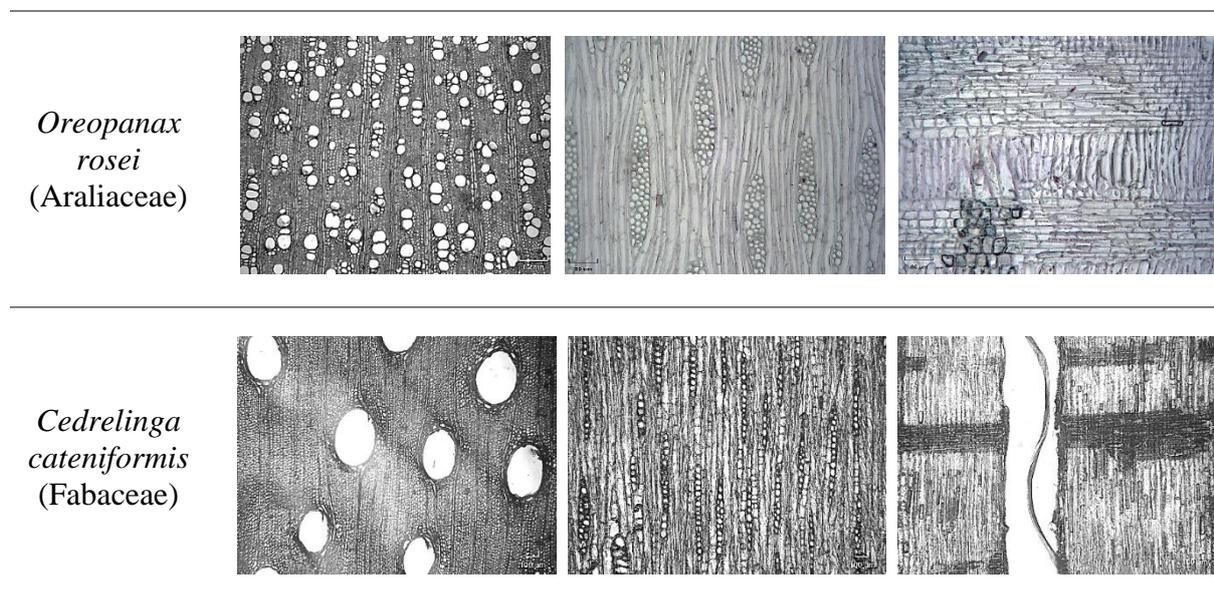


Figura 72. Comparación entre las características anatómicas de: *Oreopanax rosei* y *Cedrelinga cateniformis*.

Tabla 10. Diferencias entre las características anatómicas de: *Oreopanax rosei* y *Cedrelinga cateniformis*.

<i>Oreopanax rosei</i>	<i>Cedrelinga cateniformis</i>
Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2)	Anillos de crecimiento visibles (1)
Vasos en patrones radiales o diagonales (7)	Vasos en bandas tangenciales (6)
Vasos en grupos comunes (de 3 o más vasos) (11)	Vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9)
Tilosis esclerótica (57)	Tilosis común (56)
Cuatro (3-4) células por hebra de parénquima (92)	Parénquima axial vasicéntrico (79), Células de parénquima fusiforme (90)
Radios comúnmente de 4 a 10 series (98)	Radios exclusivamente uniseriados (96)
Cuerpo del radio con células procumbentes y una sola fila de células verticales y/o cuadradas marginales (106)	Todas las células procumbentes (104)

Sin embargo, a partir del análisis de correlación (ver Anexo 8) se identificaron especies que tenían mayor correlación no sólo con un par sino con varias especies. Como es el caso de *Virola sebifera*, que presenta correlaciones positivas con las siguientes especies: *Terminalia amazonia* (0,58), *Eucalyptus globulus* (0,55), *Dacryodes peruviana* (0,5) y *Jacaranda sparrei* (0,5).

Mientras que la especie *Jacaranda mimosifolia* presento correlaciones negativas significativas con las siguientes especies: *Cordia alliodora* (-0,30), *Cedrela montana* (-0,25), *Cedrela odorata* (0,19), *Clarisia racemosa* (-0,14) y *Eugenia orthostemon* (0,28).

#### 4.4. Características anatómicas comunes a través de mapas de calor (Heat-maps)

A través de un análisis de datos con mapas de calor se identificó las características anatómicas más comunes entre las 47 especies latifoliadas estudiadas, que fueron las siguientes: vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) estuvo presente en 31 especies, (Figura 73 a), vasos en patrones radiales o diagonales estuvo presente en 30 especies (Figura 73 b) y anillos con poros difusos presente en 28 especies (Figura 73 c).



Figura 73. (a) Vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (*Eugenia orthostemon*), (b) Vasos en patrones radiales o diagonales (*Cedrela montana*) y (c) Anillos con poros difusos (*Clethra fimbriata*).

Mientras que las características anatómicas presentes en una sola especie fueron: parénquima no lignificado en *Erythrina velutina* (Figura 74 a), radios comúnmente mayores a 10 series en *Oreocallis grandiflora* (Figura 74 b) y cuerpo del radio con células procumbentes con más de 4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales en *Clarisia racemosa* (Figura 74 c).

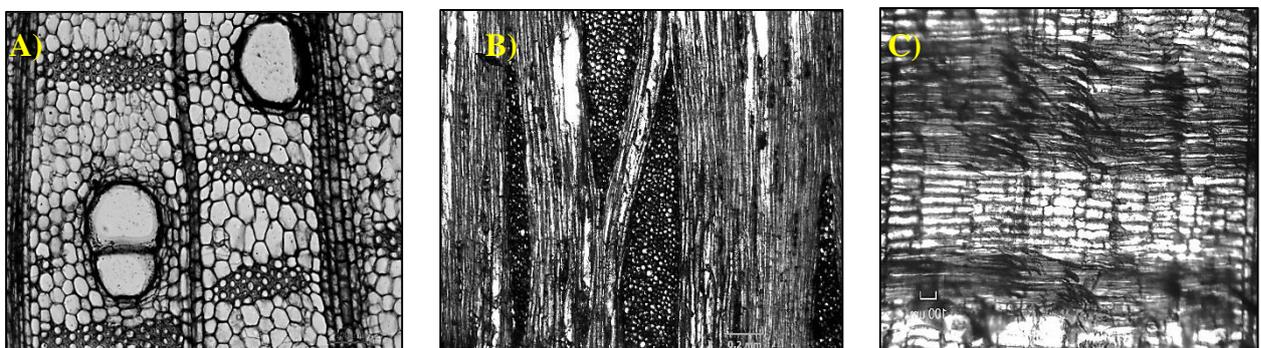


Figura 74. Características anatómicas que estuvieron presentes únicamente en una especie. (a) Parénquima no lignificado (*Erythrina velutina*), (b) Radios comúnmente mayores a 10 series (*Oreocallis grandiflora*) y (c) Cuerpo del radio con células procumbentes con más de 4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales (*Clarisia racemosa*).

#### 4.5. Clasificación y agrupación de especies forestales a través de dendrogramas

El análisis de las características anatómicas mediante dendrogramas clasificó y agrupó las 50 especies forestales en estudio de acuerdo a su nivel de similitud/ disimilitud entre características anatómicas, tal como se presenta en la Figura 75 donde se puede observar que si se corta el dendrograma mediante una línea horizontal el resultado del dendrograma indica la presencia de dos grupos bien diferenciados por sus características anatómicas: Clúster A de color rojo y el Clúster B de color azul.

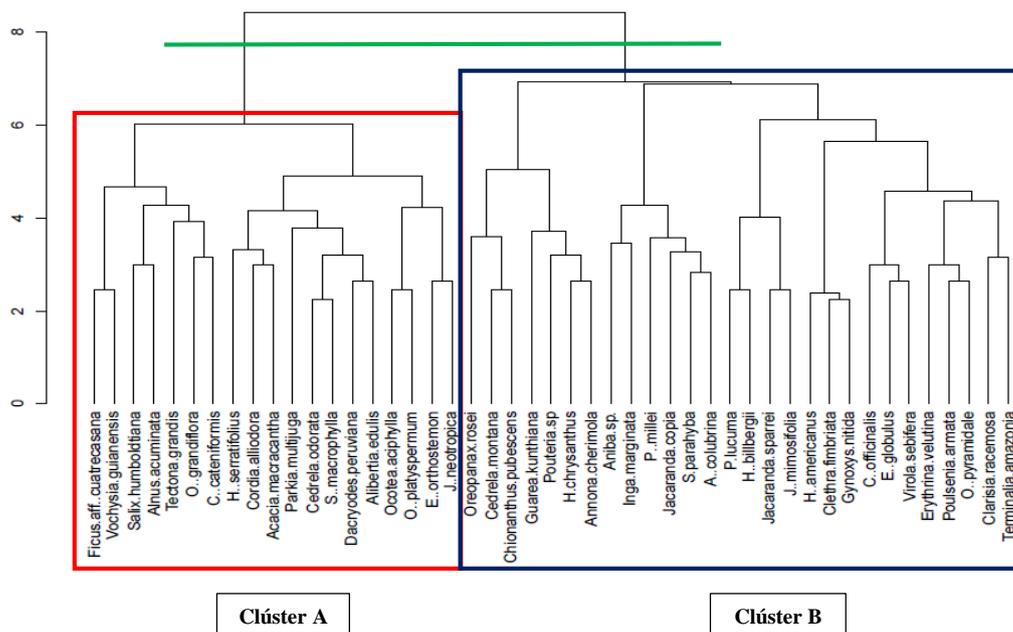


Figura 75. Visualización grafica del número de clúster de agrupamiento cortados al máximo nivel de distancia (8).

El Clúster (A) del dendrograma de la Figura 75 está compuesto de las especies: *Ficus aff. cuatrecasana*, *Vochysia guianensis*, *Salix humboldtiana*, *Alnus acuminata*, *Tectona grandis*, *Oreocallis grandiflora*, *Cedrelinga cateniformis*, *Handroanthus serratifolius*, *Cordia alliodora*, *Acacia macracantha*, *Parkia multijuga*, *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Dacryodes peruviana*, *Alibertia edulis*, *Ocotea aciphylla*, *Osteophloeum platyspermum*, *Eugenia orthostemon* y *Juglans neotropica*.

Entre ellas cuatro especies son de bosque andino, doce de bosque húmedo tropical y dos de bosque seco, además de la especie *Salix humboldtiana*. Al analizar las características anatómicas del Clúster A, se obtiene que comparten las siguientes características (Tabla 11).

Tabla 11. Características anatómicas que presentaron un mayor número de presencia entre las especies dentro del Clúster A.

<b>Nro.</b>	<b>Característica IAWA</b>	<b>Número de especies que presentaron la característica</b>
<b>1</b>	Anillos de crecimiento visibles (1)	19
<b>9</b>	Vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9)	15
<b>13</b>	Tilosis común (56)	12
<b>7</b>	Vasos en patrones radiales o diagonales (7)	11
<b>5</b>	Anillos con poros difusos (5)	10

Mientras que el Clúster (B) agrupa las especies: *Oreopanax rosei*, *Cedrela montana*, *Chionanthus pubescens*, *Guarea kunthiana*, *Pouteria sp*, *Handroanthus chrysanthus*, *Annona cherimola*, *Miller*, *Aniba sp.*, *Inga marginata*, *Pseudobombax millei*, *Jacaranda copia*, *Schizolobium parahyba*, *Anadenanthera colubrina*, *Pouteria lucuma*, *Handroanthus billbergii*, *Jacaranda sparrei*, *Jacaranda mimosifolia*, *Heliocarpus americanus*, *Clethra fimbriata*, *Gynoxys nítida*, *Cinchona officinalis*, *Eucalyptus globulus*, *Virola sebifera*, *Erythrina velutina*, *Poulsenia armata*, *Ochroma pyramidale*, *Clarisia racemosa*, *Terminalia amazonia*.

Entre ellas once especies representativas de bosque andino, once de bosque húmedo tropical y cuatro de bosque seco; así como *Eucalyptus globulus* identificada como una especie exótica; y, anatómicamente las especies poseen características en común dentro del Clúster B (Tabla12).

Tabla 12. Características anatómicas que presentaron un mayor número de presencia entre las especies dentro del Clúster B.

<b>Nro.</b>	<b>Característica IAWA</b>	<b>Número de especies que presentaron la característica</b>
<b>2</b>	Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2)	21
<b>7</b>	Vasos en patrones radiales o diagonales (7)	19
<b>5</b>	Anillos con poros difusos (5)	18
<b>9</b>	Vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9)	16
<b>38</b>	Radios con ancho de 1 a 3 series (97)	12

El resultado del dendrograma, además permite confirmar los resultados generados por la matriz de correlación, (Tablas 5 y 6) como es el caso de las especies que poseen un nivel de correlación positiva alta (Figura 76 a) y un nivel de correlación negativa significativa (Figura 77 b).

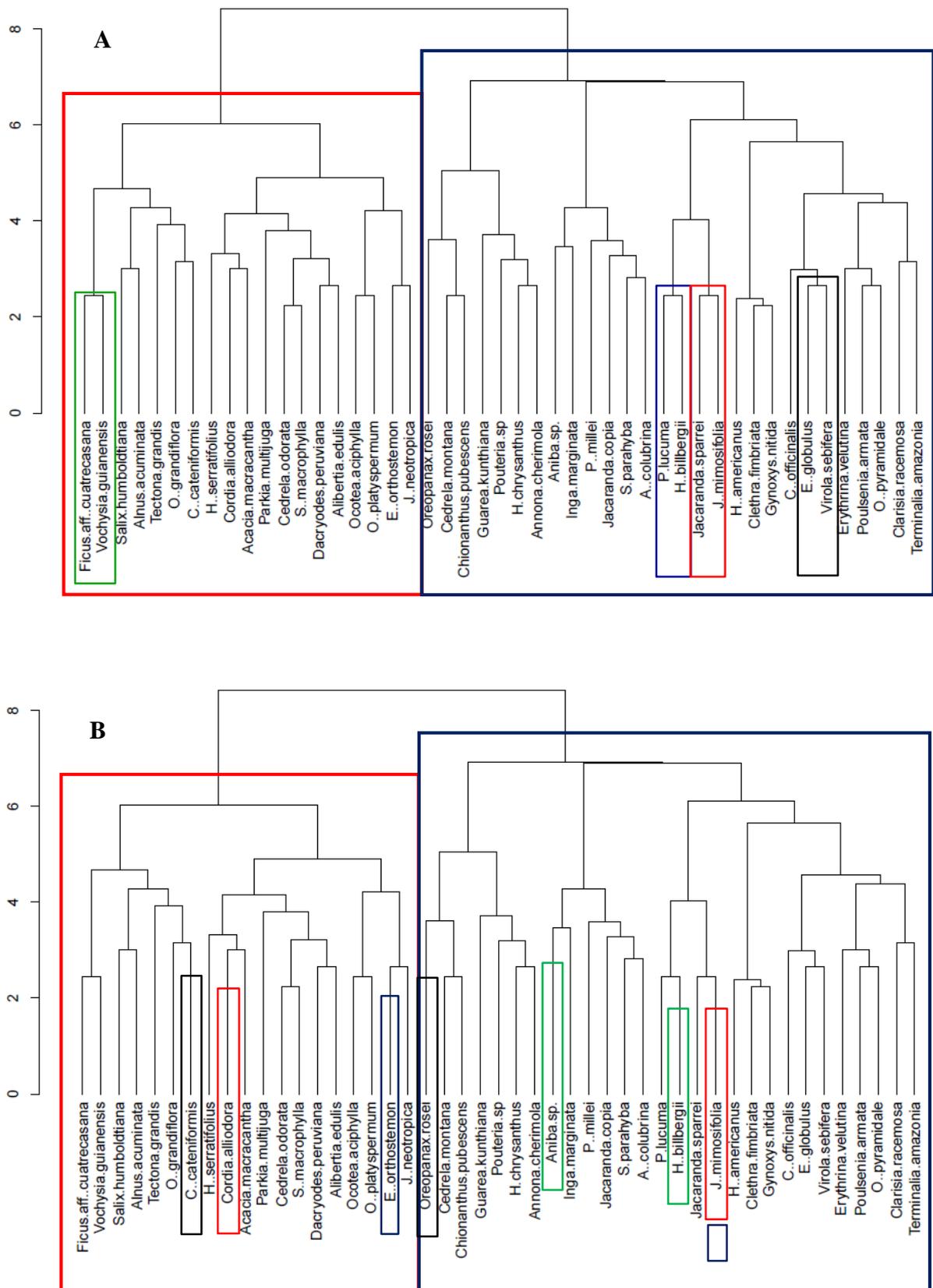


Figura 76. Representación gráfica de las especies que obtuvieron mayores índices de correlación: (A) Correlaciones positivas altas y (B) Correlaciones negativas significativas.

Sabiendo que a menor tamaño de ramas y distancia del eje Y en un dendrograma los conglomerados tienen mayor similitud, en la Figura 77 se identificó a *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla* como el grupo de especies con menor distancia para el Cluster A y a *Clethra fimbriata* y *Gynoxys nítida* para el Cluster B.

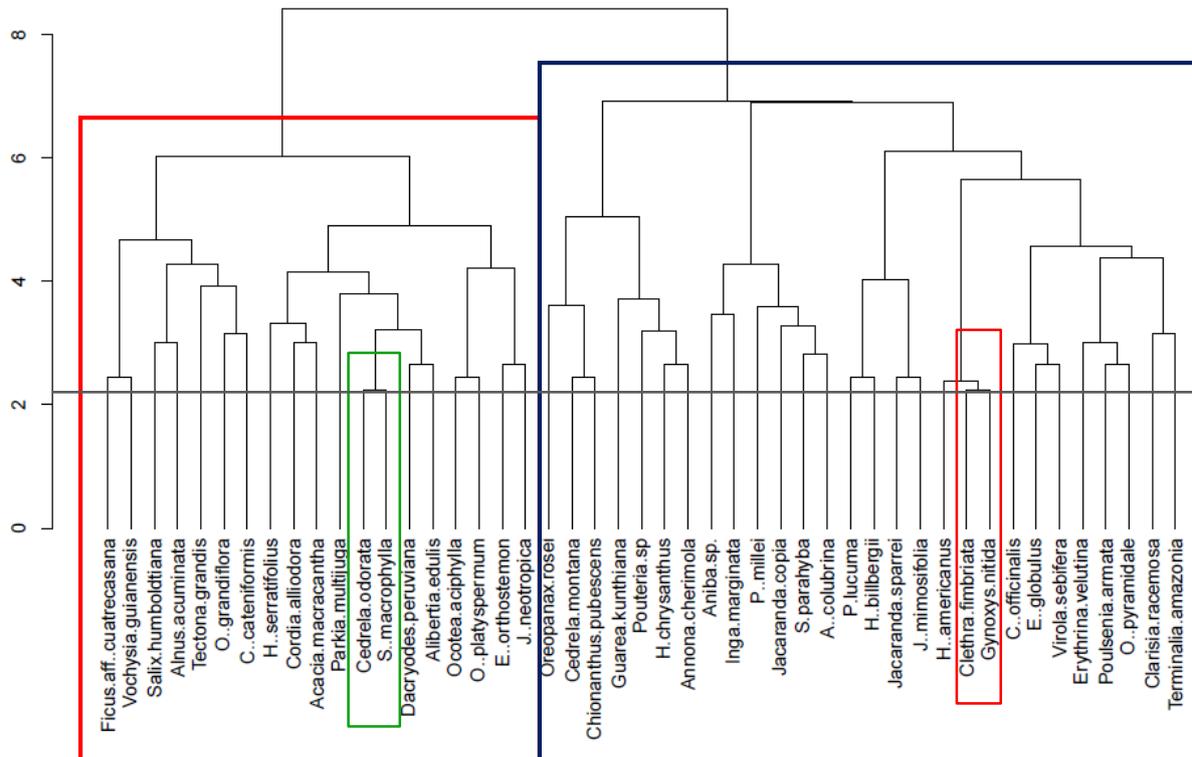


Figura 77. Especies forestales con menor distancia dentro del dendrogramas de similitud agrupados mediante sus características anatómicas.

*Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla* pertenecientes al Cluster (A) presentaron características anatómicas en común en sus tres planos de corte que se muestran desde la Figura 78 hasta la Figura 80.

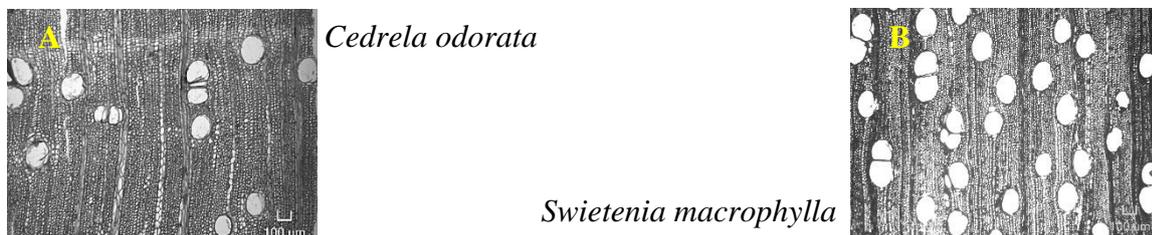


Figura 78. Sección transversal (10X) de *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla*. Características similares: anillos de crecimiento visibles (1), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9), tilosis común (56), vasos en patrones radiales o diagonales (7), parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales (89), parénquima axial difuso (76).

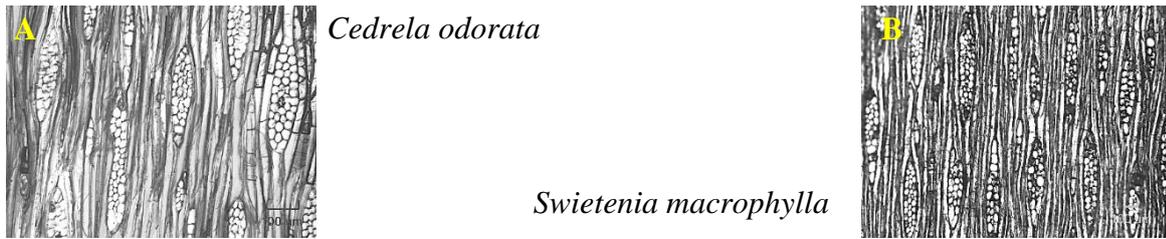


Figura 79. Sección tangencial (10X) de *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla*. Características similares: radios con ancho de 1 a 3 series (97) y cuatro (3-4) células por hebra de parénquima (92).

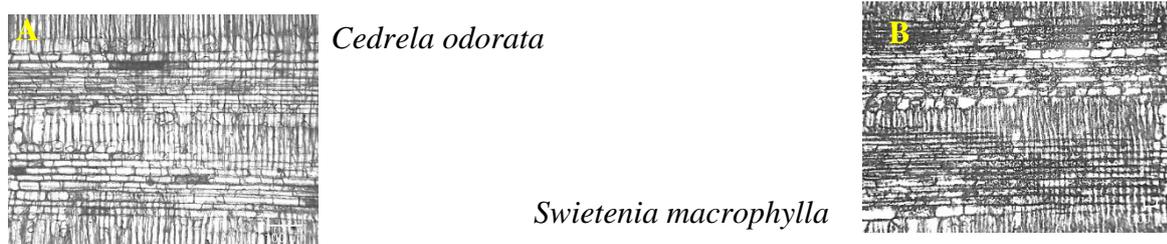


Figura 80. Sección radial (10X) de *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla*. Características similares: cuerpo del radio con células procumbentes y una sola fila de células verticales y/o cuadradas marginales (106).

A medida que se alejan las especies dentro del clúster formados por la agrupación de características anatómicas similares entre las especies son menores, así se tienen que *Clethra fimbriata* y *Gynoxys nítida* pertenecientes al Cluster (B) presentaron características anatómicas comunes (Figuras 81-83).

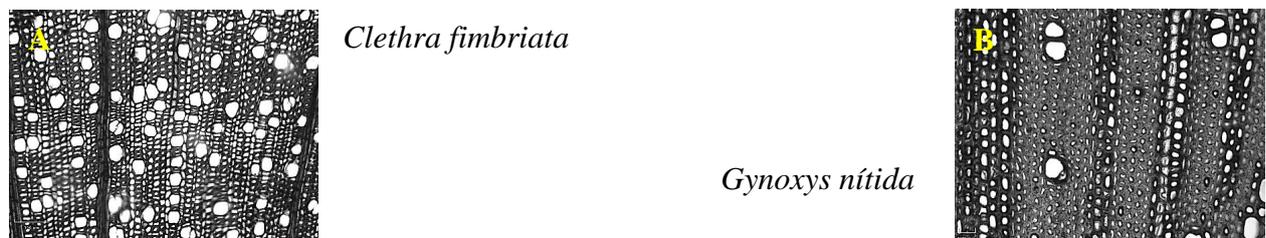


Figura 81. Sección transversal (10X) de *Clethra fimbriata* y *Gynoxys nítida*. Características similares: Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes (2), anillos con poros difusos (5), vasos exclusivamente solitarios (90 % o más) (9) y perfil angular de vasos solitarios (12).

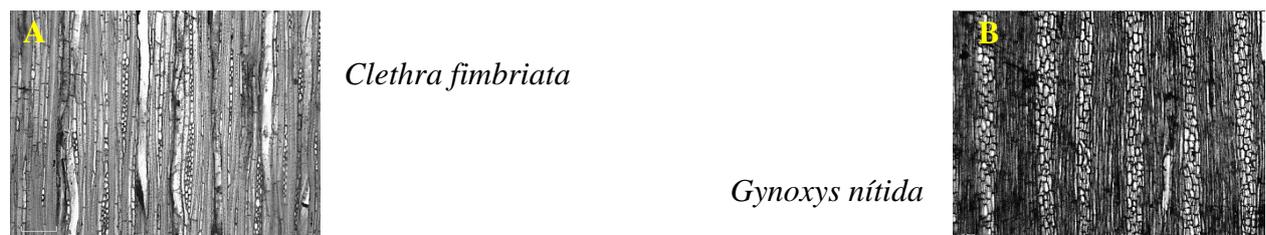
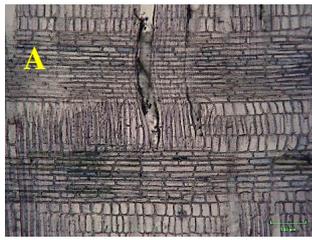
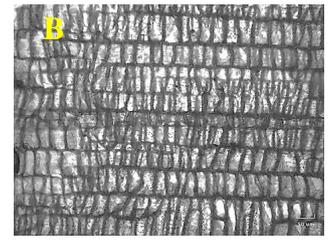


Figura 82. Sección tangencial (10X) de *Clethra fimbriata* y *Gynoxys nítida*. Características similares: ocho (5-8) células por hebra de parénquima (93), parénquima axial paratraqueal escaso (78).



*Clethra fimbriata*



*Gynoxys nitida*

Figura 83. Sección radial (10X) de *Clethra fimbriata* presenta radios con una mezcla de células procumbentes, cuadradas y verticales (109), mientras que en *Gynoxys nitida* todas sus células son verticales y/o cuadradas (105).

### 3.5. Difusión de los resultados

Los resultados obtenidos en este estudio fueron socializados en dos ocasiones en eventos de carácter científicos, la primera exposición se realizó con la participación y presentación en la unidad de titulación con el Poster: **“EVALUACIÓN ANATÓMICA DE 50 ESPECIES FORESTALES EN EL SUR DEL ECUADOR”**, dentro de las Jornadas académicas - Semana del Estudiante, organizado por la Universidad Nacional de Loja (UNL), el 11 al 15 de febrero de 2019 (Figura 84), ver poster y certificado en el Anexo 9.

La segunda exposición se llevó a cabo en la conferencia internacional **“Past plant diversity, climate change and mountain conservation”** dentro de la sesión de modelos de vegetación, con el Poster: **“WOOD ANATOMICAL EVALUATION OF 50 TREE SPECIES FROM SOUTHERN ECUADOR”** DOI:10.13140/RG.2.2.22092.46722, del 11-15 de marzo de 2019 organizado por la Universidad de Cuenca (Figura 85), ver poster y certificado en el Anexo 9.



Figura 84. Socialización de resultados de la investigación en la UNL, mediante un póster científico.



Figura 85. Socialización de resultados de la investigación en la Universidad de Cuenca, mediante un póster científico.

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1. Caracterización de los principales elementos anatómicos

#### 5.1.1. Anillos de crecimiento

La presencia o ausencia de anillos de crecimiento es un carácter complejo ampliamente estudiado, pero aún no totalmente aclarado (Metcalf y Chalk, 1989) siendo afectado por cambios ambientales y relacionados con algunos aspectos climáticos y evolutivos. Del conjunto de especies estudiadas, 26 especies presentaron anillos de crecimiento visibles, mientras que 21 presentaron anillos de crecimiento poco visibles o ausentes.

Estos resultados son similares a otros estudios que verificaron que la presencia de los anillos de crecimiento está relacionada con la estacionalidad climática en especies tropicales (Costa et al., 2013; Barbosa et al., 2018). Las especies que presentaron mejor visibilidad de anillos de crecimiento fueron *Cedrelinga cateniformis*, *Cedrela odorata* y *Juglans neotropica*. Mientras que *Jacaranda sparrei*, *Heliocarpus americanus* y *Erythrina velutina* presentaron anillos de crecimiento poco visibles o ausentes. Nótese que todas estas especies corresponden a árboles deciduos, sin embargo, la visibilidad de sus anillos es totalmente contraria.

Estas diferencias pueden estar relacionadas directamente con el lugar donde se desarrollan las especies y su estacionalidad climática (Moya1 y Tomazello, 2008), además de la relación que existe entre las características anatómicas con las propiedades físicas de la madera específicamente con su densidad (Chave et al., 2009) variando considerablemente desde la médula hasta la corteza, especialmente en los árboles tropicales (Hietz et al., 2013).

Una gran parte de la variación, especialmente en la madera blanda, ocurre entre los límites de los anillos debido a la dinámica estacional de la formación de la madera (Bouriaud et al., 2005). Según Mc Donald et al., (1995) mencionan que los incrementos en la densidad de la madera están directamente asociados a un aumento en el grosor de paredes de las fibras, disminución del diámetro del lumen de las fibras y aumento en la frecuencia o cantidad de fibras.

Sin embargo, otros estudios mencionan que la presencia de anillos de crecimiento está más relacionada con la reacción de los árboles ante un periodo de estrés “Fenología foliar” (Paliwal y Prasad, 1970; Aguilar y Barajas, 2005); que inhibe el crecimiento y formación de nuevas células, evidenciándose muy poco en bosques tropicales (Armijos et al., 2017).

Es importante resaltar que, los anillos de crecimiento no siempre están presentes en especies caducifolias o ausentes en las perennifolias (Bailey, 1980) como ya se verificó en este estudio en especies como *Jacaranda sparrei*, *Heliocarpus americanus* y *Erythrina velutina*.

Todos estos hechos ponen en evidencia la importancia del origen fitogeográfico de las especies y del clima, donde la presencia de los anillos de crecimiento parece ser más bien un carácter endógeno (Moya1 y Tomazello, 2008). Donde las diferencias entre el contraste de madera temprana y tardía dan mayor o menor visibilidad de los anillos de crecimiento, efecto más visible en especies de bosque seco y arboles caducifolios.

Aguilar y Barajas (2005) en un estudio realizado con especies de origen boreal y tropical con fenología foliar entre caducifolio y perennifolio determinaron que el 62 % de las especies estudiadas no mostraron anillos de crecimiento visibles. Wheeler et al., (2007) determinó que la características anillos de crecimiento indistintos o ausentes, estuvo presente en el 75 % de los registros de la base de datos de InsideWood (5,663 deserciones). Mientras que Araya (2012) trabajó con 110 especies maderables del caribe norte donde un 21,8 % de las especies presentaron anillos de crecimiento visibles.

Deduciendo que la estacionalidad en la actividad cambial es inusual o poco continua para la formación de anillos de crecimiento visibles en especies que se desarrollan en bosques templados con estacionalidades bien marcadas (Worbes, 1999; Carlquist, 2001). En bosques tropicales generalmente la actividad cambial es continua a lo largo de todo el año, por lo que la mayoría de las especies no pueden formar anillos de crecimiento evidentes, o desarrollar de manera inconspícua (Wheeler et al., 1995).

### **5.1.2. Forma y agrupación de poros o vasos**

Características tales como diámetro, frecuencia, distribución (porosidad) y agrupación de vasos pueden jugar un papel importante en la cantidad de espacios vacíos en la madera y puede influir sobre la homogeneidad o heterogeneidad de los valores dentro de la densidad (León, 2010).

El 60 % de las especies en éste estudio (28 especies) se caracterizan por presentar anillos con poros difusos, esta característica de la porosidad difusa es reafirmada por IAWA (1989), Chavesta (2007), Araya (2012) estudios que incluyen familias y géneros similares a los presentados en estos resultados, pues en otros trabajos anatómicos las tendencias ecológicas

señalan la presencia de porosidad difusa en ambientes en donde no existe una estacionalidad marcada (Woodcock et al., 2000).

Wheeler et al., (2007) indicó que el 92 % de las especies incluidas dentro de InsideWood presenta porosidad difusa siendo predominantes en América tropical. Así mismo, Adal y Valencia (2012) en su estudio de anatomía de los anillos de crecimiento de 80 especies arbóreas, identificó 76 especies presentaron esta característica, mostrando este tipo de tendencia en cuanto a la porosidad.

Especies como *Anadenanthera colubrina*, *Aniba sp.*, *Oreopanax rosei*, se caracterizaron por presentar anillos porosos en su estructura, constituyéndose en un elemento clave para la identificación de éstas especies. Sin embargo, esta variación también podría relacionarse con la respuesta de la especie a las condiciones micro-ambientales del sitio donde crece y el comportamiento de las especies en cuanto a su distribución, modificando el tipo de porosidad (Aguilar et al., 2006).

León (2006), menciona que las especies latifoliadas estudiadas poseen un comportamiento similar en las características correspondientes a disposición y agrupación de poros, manteniéndose dentro del patrón común observado en la mayoría de las especies latifoliadas, enunciado que concuerda con los resultados obtenidos dentro del presente trabajo debido a que la disposición de los vasos fue en patrones radiales o diagonales presente en un 63,82 % (30 especies) de las especies en éste estudio.

Sin embargo, en cuanto al arreglo de vasos del total de especies analizadas nueve de ellas presentaron vasos en bandas tangenciales (*Oreocallis grandiflora*, *Guarea kunthiana*, *Jacaranda sparrei*, *Tectona grandis*, *Jacaranda mimosifolia*, *Cedrelinga cateniformis*, *Aniba sp.*, *Ficus aff. cuatrecasana* y *Vochysia guianensis*) lo que difiere con los estudios de León (2006, 2008) y la plataforma digital InsideWood, dando a considerar que el arreglo de vasos está relacionado al sitio donde se desarrolló cada individuo.

*Eugenia orthostemon*, *Chionanthus pubescens*, *Ocotea aciphylla* y *Osteophloeum platyspermum* fueron las únicas especies que presentaron vasos en patrones dendríticos (Ver Figuras: 52, 53, 40 y 49) mientras que *Clethra fimbriata*, *Gynoxys nitida* y *Alibertia edulis* fueron las únicas especies que presentaron perfil angular de vasos solitarios (ver Figuras 28, 17 y 55) determinando que son características anatómicas clave al momento de realizar identificaciones anatómicas en estas especies.

Entre las especies estudiadas se observa gran similitud en cuanto a la agrupación de vasos, es el caso de las característica vasos exclusivamente solitarios que estuvo presente en el 66 % de las especies (31 especies). De acuerdo con Alone y Zimmermann (1983), la disminución en la frecuencia vasos y radios se debe a que la concentración de las auxinas decrece al aumentar la edad, produciendo baja frecuencia de vasos y radios.

Mientras que especies como *Pouteria sp*, *Pouteria lucuma*, *Handroanthus billbergii*, *Guarea kunthiana*, entre otras presentaron vasos en grupos radiales de 4 o más, lo cual concuerda también con los resultados de Cárdenas (2007); Bolzón de Muñiz et al., (2013); Silva (2009) y León, (2006).

### 5.1.3. Parénquima

El parénquima está presente en todas las especies en diferente tipo y proporciones, la mayoría de las especies presentó parénquima axial difuso de tipo apotraqueal, el cual estuvo presente en el 42 % (20 especies) de las especies en estudio. *Cinchona officinalis*, *Juglans neotropica*, *Jacaranda copai*, entre otras presentaron esta característica.

Especies como *Acacia macracantha*, *Pseudobombax millei*, *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata*, presentaron parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales, característica que concuerda con estudios realizados por León (2015) siendo una característica clave para la identificación de anillos de crecimiento verdaderos.

En ciertos casos se pueden encontrar las dos clases de parénquima con más de un tipo siendo el caso de especies como *Jacaranda sparrei* (parénquima axial vasicéntrico y confluyente, Figura 24), *Inga marginata* (parénquima axial difuso y vasicéntrico, Figura 34) y *Cordia alliodora* (parénquima axial vasicéntrico y alado aliforme, Figura 39). Estos patrones de parénquima son más comunes en las regiones tropicales que en las zonas templadas (Wheler, 2007).

Solo en el caso de *Erythrina velutina* presento parénquima no lignificado presente (ver Figura 33) característica también reportada por Espinoza y León (2002) en Venezuela por lo cual se puede mencionar que esta característica puede ser de ayuda para identificar esta especie. Además, Valverde y Rincón (2008) mencionan que la presencia de parénquima no lignificado permite una fácil diferenciación del resto de especies estudiadas IAWA Committee (1989), este carácter está restringido a un número reducido de taxa siendo de gran valor desde el punto de vista taxonómico.

#### 5.1.4. Células radiales y radios

Entre las especies estudiadas se observa gran similitud en cuanto a composición de radios, la característica más común fue una combinación entre la característica 104 (todas las células procumbentes) y la 107 (cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales). Sin embargo, *Oreocallis grandiflora* fue la única especie que presentó radios comúnmente mayores a 10 series (Ver Figura 54). Mientras que *Clarisia racemosa* fue la única especie en presentar la característica 108 (cuerpo del radio con células procumbentes con más de 4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales) (Figura 46), característica que concuerda con los resultados obtenidos por León (2015) y Llerena (2018).

### 5.2. Similitud y clasificación anatómica de las maderas

#### 5.2.1. Correlación entre especies forestales

Hartig (1859) menciona que “todos los grupos de plantas tienen una estructura de la madera muy particular, la cual se mantiene constante para todas las especies y representan suficiente valor de diagnóstico como para identificar, al menos, a nivel de género”. Sin embargo, este tipo de análisis es rechazado al realizar estudios en donde se observa similitud de características anatómicas de la madera en grupos taxonómicos no relacionados.

Por lo que realizar un estudio entre la anatomía de la madera y rasgos funcionales de las especies nos permitirá entender cómo los rasgos funcionales varían entre y dentro de las especies y cuál es su valor ecológico y adaptativo (Salgado, 2015). Tomando en cuenta porosidad, platinas de perforación, longitud y dimensiones de la pared celular de las fibras, punteaduras intervasculares, diámetro y densidad de vasos, contenido máximo de agua en el tallo, agrupación de los vasos y densidad de la madera.

En el caso de *Jacaranda mimosifolia* vs *Jacaranda sparrei* de la familia Bignoniaceae, presentaron la mayor correlación en este estudio. Sin embargo, el género *Jacaranda* no ha sido estudiado de forma exhaustiva ni sistemática en cuanto a su anatomía de la madera, centrándose principalmente en la especie *J. copaia* (Dos Santos y Miller, 1997). Por lo que los resultados presentados en *Jacaranda mimosifolia*, *Jacaranda sparrei* y *Jacaranran copaia*, pueden ser útiles al momento de realizar una identificación a nivel de género.

Anatómicamente, el género *Jacaranda* tienen una serie de características que lo definen (Dos Santos y Miller, 1997), presentando comúnmente una porosidad difusa, parénquima axial de

tipo aliforme o confluyente, limitándose sus diferencias entre especies a la estructura de los radios. Características anatómicas que concuerdan con los resultados obtenidos en el presente estudio con las especies *Jacaranda mimosifolia* y *Jacaranda sparrei*. (ver Figura 65; Tabla 5).

*Vochysia guianensis* y *Ficus aff. cuatrecasana* presentaron el segundo valor de correlación más alto  $r = 0,66$  (p-value: 0.001); y seguidamente *Pouteria lucuma* y *Handroanthus billbergii* con un valor de correlación de  $r = 0,562$  (p-value 0.001), que pese a pertenecer a géneros y familias diferentes compartieron características similares entre sí y pueden estar relacionadas a la densidad de sus maderas dado que para el caso de *Vochysia guianensis* y *Ficus aff. cuatrecasana* su densidad esta un rango entre 0,35 y 0,41. Mientras que *Pouteria lucuma* y *Handroanthus billbergii* presentan valores altos de densidad.

Por otro lado, hubo especies que presentaron una correlación negativa, pero con valores significativos, esto quiere decir que la misma característica anatómica que estuvo en una especie es contraria o se encuentra ausente en la otra. Es el caso de los pares de especies entre: *Jacaranda mimosifolia* y *Cordia alliodora* (-0,3); *Jacaranda mimosifolia* y *Eugenia orthostemon* (-0,28); *Handroanthus billbergii* y *Aniba sp.* (-0,26); *Cedrelinga cateniformis* y *Oreopanax rosei* (-0,23), (ver Figuras 69 a 72 y Tablas 7 a 10).

Estas diferencias y variaciones pueden estar relacionadas e influenciadas con las condiciones ecológicas de crecimiento propias de los lugares donde se desarrollan las especies (Aguilar-Rodríguez et al., 2006; Metcalfe y Chalk, 1983). Además, a la presencia de rasgos funcionales relacionados con anatomía. Sin embargo, es importante tener en cuenta el proceso evolutivo que llevan las plantas para poder entender de una forma integral las respuestas que tienen las plantas ante los cambios a través del tiempo en el ecosistema direccionadas principalmente por las condiciones ambientales (Reyes, 2019).

El análisis de correlación entre las especies de éste estudio confirma la estrecha relación existente entre diferentes familias, géneros y especies; sin embargo, se han reportado correlaciones entre rasgos foliares y de madera en los bosques tropicales, que se deben principalmente a que las diferencias en la estructura xilemática responden a que los rasgos del espectro de madera evaluados estuvieron más relacionados con propiedades físico mecánicas de las especies, pero aún faltan estudios que corroboren estas relaciones (Baraloto et al., 2010).

### **5.2.2. Agrupación y clasificación anatómica de especies forestales**

Tomando en cuenta que un mismo par de especies forestales pueden tener características anatómicas similares o distintas entre sí, el análisis entre 50 especies llega a ser más complejo cuando 50 características anatómicas son analizadas en cada una de ellas. La agrupación del dendrograma indica la presencia de dos grupos bien diferenciados basados en sus características anatómicas (Figura 75) donde la familia y género de las especies no influye directamente en clasificación jerárquica mostrándose gran variabilidad entre ellas.

Hasta el momento no se ha realizado investigaciones relacionadas con la agrupación y clasificación entre especies de diferentes familias y géneros mediante su estructura anatómica; y, estudios que contienen gran cantidad de especies estudiadas (León, 2013; Grande y Ploanco, 2007; Araya, 2012) únicamente presentan la descripción anatómica de cada especie, así como claves de identificación. Por lo que los resultados obtenidos pueden servir como una línea base para la identificación, agrupación y comparación de especies tropicales mediante sus características anatómicas, debido a que especies de un mismo tipo de ecosistema compartieron características anatómicas en común.

Este tipo de agrupaciones se podría perfeccionar si se consideran: propiedades dendrológicas y físico mecánicas de la madera, estacionalidad climática donde se desarrollan las especies, gremios ecológicos y su ecología funcional. Debido a que estudios han demostrado la relación entre la anatomía de la madera y propiedades físico mecánicas de la madera (León, 2010; Ninin, 1993); de la misma forma Woodcock et al., (2000); Moya<sup>1</sup> y Tomazello, (2008) confirman la relación con la estacionalidad climática; y, Salgado, (2015) mencionan la relación que tienen los grupos rasgos funcionales con la presencia de un grupo reducido de características anatómicas.

Si se realiza un análisis mediante la agrupación por gremios ecológicos, observamos que dentro de la primera agrupación existen cierta tendencia a agruparlos en especies esciófitas (5 especies) y especies Heliófitas (13 especies) específicamente en la segunda ramificación, todo esto en base al conjunto de características anatómicas evaluadas. Esta agrupación puede estar relacionada al sitio donde se recolectaron las muestras y su densidad.

Sin embargo, esto es rechazado dado que en otros estudios se ha determinado que para determinar rasgos funcionales y gremios ecológicos utilizan otro tipo de variables como: rasgos

foliares, rasgos de madera, rasgos regenerativos y rasgos morfológicos de las plantas. (Wiemann et al., 2002; Enríquez, 2017).

Cabe recalcar que los resultados observados a través del dendrograma de similitud muestran pares de especies que se agrupan de acuerdo a su similitud, éste es el caso de los pares de especies *Cedrela odorata-Swietenia macrophylla*, y *Clethra fimbriata-Gynoxys nítida* las cuales mostraron la menor distancia en los dendrogramas lo que significa mayor similitud entre variables (Figura 78),

*Cedrela odorata-Swietenia macrophylla* se caracterizaron por tener la mayor homogeneidad anatómica entre sí. En comparación con lo encontrado por otros autores, hay similitudes con lo reportado por León, (2013); (León, 2015) en cuanto a la estructura anatómica de estas especies excepto en la disposición de los vasos donde menciona que los vasos no presentan un patrón definido de disposición.

Cabe recalcar, que a medida que se alejan las especies dentro del clúster formados por la agrupación de características anatómicas similares entre las especies, el número de características que comparten son menores, así *Clethra fimbriata* y *Gynoxys nítida*. Sin embargo, registros anatómicos de la madera de *Clethra fimbriata* y *Gynoxys nítida* son muy escasos, (Giebel y Dickson, 1976; Aguilar y Barajas, 2005; y, Grande y Polanco, 2007) y sólo llegan a nivel del género y familia, por lo que estos resultados se pueden considerar como resultados pioneros para éstas especies tropicales.

Finalmente, del total de las 50 especies forestales de este estudio, el 50 % de las especies no están registradas en la plataforma digital más completa a nivel global “Inside Wood”, la cual integra la información de estudios originales, conteniendo breves descripciones de maderas fósiles y modernas (maderas duras) de más de 200 familias de plantas; por lo cual, los resultados del presente estudio permitirán aportar con nuevos registros anatómicos de maderas tropicales del sur de Ecuador.

## 6. CONCLUSIONES

- Las 50 especies evaluadas muestran gran similitud en su estructura anatómica. Se caracterizan por tener vasos exclusivamente solitarios (31 especies), vasos en patrones radiales o diagonales (30 especies), anillos con poros difusos (28 especies) y anillos de crecimiento de escasa a buena visibilidad (26 especies).
- La familia y género de las especies no influye directamente en la presencia o ausencia de sus características anatómicas, sin embargo, estas similitudes o diferencias pueden estar más relacionadas con las condiciones ecológicas y climáticas.
- Las especies de bosque húmedo estudiadas se caracterizan por tener presencia de anillos, vasos exclusivamente solitarios en patrones radiales o diagonales, y sus células radiales con ancho de 1 a 3 series con células procumbentes de 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales.
- Las especies de bosque andino estudiadas se caracterizan por tener anillos de crecimiento poco visibles o ausentes, anillos con poros difusos, vasos que varían entre exclusivamente solitarios a grupos comunes de tres o más vasos, y sus células radiales con ancho de 1 a 3 series.
- Las especies de bosque seco estudiadas se caracterizan por tener anillos de crecimiento visibles, vasos exclusivamente solitarios en patrones radiales o diagonales, con poros difusos y sus células radiales procumbentes.
- Características anatómicas únicas como parénquima no lignificado presentes en *Erythrina velutina*; gomas y otros depósitos en vasos del duramen en *Oreocallis grandiflora*; y radios comúnmente mayores a 10 series en *Parkia multijuga*, se constituyen en elementos clave para la identificación de la madera de éstas especies.

## **7. RECOMENDACIONES**

- Complementar futuras investigaciones relacionadas a la caracterización anatómica de la madera con características dendrológicas, físicas, mecánicas, así como trabajabilidad y durabilidad en especies tropicales, con la finalidad de aprovechar adecuadamente las especies maderables que se encuentran en la región sur de Ecuador y generar información completa e útil al sector forestal.
- Realizar estudios anatómicos de las mismas especies de diferentes localidades en condiciones climáticas y edáficas diferentes, con la finalidad de conocer si estas especies son similares o difieren en cuanto a su estructura anatómica.
- Profundizar los estudios anatómicos a nivel de especie, género o por grupo de familias botánicas, acompañado de la identificación de grupos funcionales de plantas con la finalidad de relacionar la estructura anatómica en especies tropicales con rasgos funcionales en común, que permita obtener material necesario para realizar una correcta identificación y clasificación de las maderas.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Adal, L., y Valencia, G. (2012). Anatomía de anillos de crecimiento de 80 especies arbóreas potenciales para estudios dendrocronológicos en la Selva Central, Perú. *Revista de Biología Tropical* 61(3), 1025-1037.
- Águila, S., Burneo, A., Narváez, L., y Pucha, D. (2018). Propiedades físicas y características anatómicas de la madera de tres especies de Guayacán al sur de Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 8(2), 1-15.
- Aguilar, J., y Guzowski, E. (2011). *Madera. Materiales y materias primas*. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <http://www.oitcinterfor.org/node/6087>
- Aguilar, S., y Barajas, J. (2005). Anatomía de la madera de especies arbóreas de un bosque mesófilo de montaña: un enfoque ecológico-evolutivo. *Bol.Soc. Bot.Méx.* 77, 51-58
- Aguilar, S., Terrazas, T., y López, L. (2006). Anatomical Wood variation of *Buddleja cordata* (Buddlejaceae) along its natural range in Mexico. *Trees* 20(2), 253-261.
- Aguirre, N., Eguiguren, P., Maita, J., Coronel, V., Samaniego, N., Ojeda, T., y Aguirre, Z. (2015). *Vulnerabilidad al cambio climático en la Región Sur del Ecuador: Potenciales impactos en los ecosistemas, producción de biomasa y producción hídrica*. Loja. Loja, Ecuador: EdiLoja.
- Aguirre, Z., Cueva, E., Merino, B., Quizhpe, W., y Valverde, A. (2001). Evaluación ecológica rápida de la vegetación en los bosques secos La Ceiba y Cordillera Arañitas, provincia de Loja. Ecuador. En: Vázquez, M., Larrea, M., Suarez, L., y Ojeda, P. (Eds.), *Biodiversidad en los bosques secos del suroccidente de la provincia de Loja: un reporte de las evaluaciones ecológicas y socioeconómicas rápidas*. (p 16-35). Quito, Ecuador.
- Aguirre, Z., Kvist, L., y Sánchez, O. (2006). Bosques secos en Ecuador y su diversidad. En: Morales, M., Øllgaard, B., Kvist, L., Borchsenius, F., y Balslev, H. (Eds.), *Botánica Económica de los Andes Centrales* (p 162-187). La Paz, Bolivia.
- Aguirre, Z., y Kvist L. 2005. Composición florística y estado de conservación de los bosques secos del sur occidente del Ecuador, *Lyonia*, 8(2), 41-63.

- Aguirre-Mendoza Z., Loja A., Solano M., y Aguirre, N. (2015). *Especies Forestales más aprovechadas del Sur del Ecuador*. Loja, Ecuador : EdiLoja.
- Araya, M. (2012). *Manual para la identificación de maderas a nivel macroscópico de 110 especies maderables del caribe norte de Costa Rica*. (Tesis de pregrado). Instituto tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Armijos, A., Alvarado, J., Quito, J., León, T., Guamán, L., y Pucha, D. (2017). Anatomía de la madera de diez especies forestales de bosque andino del sur de Ecuador. *CEDAMAZ*, 7, 83-95.
- Arroyo, J. (1983). *Propiedades físico-mecánicas de la madera*. (tesis de grado). Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 197 p.
- Bailey, D. (1980). Anomalous growth and vegetative anatomy of *Simmondsia chinensis*. *American Journal of Botany* 67, 147-161.
- Bamber, M. (1984). Wood anatomy: past, present and future. En Sudo, S. (Ed.) *Proceedings Pacific Regional Wood Anatomy Conference* (pp 6-12). Tsukuba, Japan.
- Baños, K. (2017). *Identificación y descripción de las características anatómicas de la madera de prunus serotina (capulí), procedente de tres provincias: Chimborazo, Tungurahua y Cotopaxi* (Tesis de pregrado). Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Baraloto, C., T. Paine, L., Poorter, J., Beauchene, D., Bonal, A., Domenach., B, Hérault, S., Patiño, J., Roggy, C., y Chave, J. (2010). Decoupled leaf and stem economics in rain forest trees. *Ecology Letters* 13, 1338-1347.
- Barbosa, M., Pereira, G., Granato, D., Santos, R., y Leite , M. (2018). Tree rings and growth trajectories of tree species from seasonally dry tropical forest. *Australian Journal of Botany*, 14. <https://doi.org/10.1071/BT17212>
- Barrera, E., Castro, J., Muñoz, D., y Pucha, D. (2018). Variabilidad anatómica de la madera en cuatro especies forestales de diferentes procedencias al sur del Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 8 (2), 16-29.

- Barthlott, W., Hostert, A., Kuper, W., Kreft, H., Mutke, J., Rafiqpoor, D., y Henning, J. (2007). Geographic patterns of vascular plant diversity at continental to global scales. *Erdkunde*, 61, 305-315.
- Bass, P. (1982) *New Perspectives in Wood Anatomy*. Rijksherbarium, Leiden, The Netherlands: Springer.
- Benítez, J. (2011). *Construcción y datación de curvas de crecimiento de Cedrela montana moritz ex turcz del bosque montano y sus Implicaciones con la dendrocronología, fenología, Anatomía y silvicultura* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
- Bisset, I., Dadswell, H., y Wardrop, A. (1951). Factors influencing tracheid length in conifers stems. *Aust. For*, 8, 86-96.
- Bolzon de Muñiz G., Faria França, R., Edis Fiorese, A., y Nisgoski, S. (2013). Análisis de la estructura anatómica de la madera y del carbón de dos especies de Sapotaceae. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 15(3), 311-320.
- BOSCO. (1971). *Tecnología de la madera*. Barcelona, España: DON BOSCO.
- Bouriaud, O., Leban, J., Bert, D., y Deleuze, C. (2005). Intra-annual variations in climate influence growth and wood density of Norway spruce. *Tree Physiol.* 25, 651-660.
- Burley, J., y Miller, P. (1982). The application of statistics and computing in wood anatomy. In: Baas (ed.), *New perspectives in wood anatomy*. (pp. 223-242). Leiden, Países Bajos: Springer.
- Bustamante, T. (2009). *Composición florística, estructura y endemismo en el bosque seco de la Reserva Natural Laipuna, Macará, Loja*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
- Cárdenas, A. (2007). *Estudio preliminar anatómico de diez especies forestales procedentes de Iquitos-Loreto* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.

- Carlquist, S. (1988). *Comparative wood anatomy. College of Environmental Science and Forestry*. doi:10.1007/978-3-662-21714-6
- Carlquist, S. (1930). *Comparative wood anatomy. Systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood*. Syracuse, NY, USA: Springer. 448 p
- Carrillo-Parra, A. (2007). *Technological investigation of Prosopis Laevigata wood from Northeast México*. (Tesis de doctoral). University of Göttingen, Gotinga, Alemania.
- Chauza, L., y Villa, E. (2011). *Análisis de conglomerados comparando el coeficiente de similaridad de gower y el metodo análisis factorial múltiple para el tratamiento de tablas mixtas*. (Tesis de grado). Universidad del valle, Santiago de Cali, Colombia.
- Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S., Swenson, N., y Zanne, A. (2009) Towards a worldwide Wood economics spectrum. *Ecol. Lett.* 12, 351-366.
- Chavesta, M. (2007). *Separata de capacitación sobre identificación de Maderas*. Universidad Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Clark, D., y Clark, D. (1987). Análisis de regeneración de árboles de dosel en bosque húmedo tropical: aspectos teóricos y prácticos. *Revista Biología Tropical*, 35(1), 41-54.
- Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES). (2017). *CITES y la Madera. Manual de especies arbóreas incluidas en los Apéndices de la CITES*. Recuperado de <http://www.kew.org>
- Comisión Pan-Americana de Normas Técnica, BR (COPAN). (1974). *Descripción macroscópica, microscópica y general de la madera*. São Paulo, Brasil
- Correa-Conde, J., y Ordoñez-Delgado, L. (2007). *El sur tiene alas. Guía de aviturismo de la provincia de Loja y Zamora Chinchipe*. Loja, Ecuador: CREATIVA.
- Costa, M., Vasconcellos T., y Barros, C. (2013). Does growth rhythm of a widespread species change in distinct growth sites? *IAWA Journal* 34, 498–509. doi:10.1163/22941932-00000040

- Cruz, J. (2007). *Consideraciones tecnológicas en la protección de la madera*. Morelia, Mich., México.
- Da Silva, L., Ribeiro, F., Gasson, P., y Cutler, D. (2009). Anatomía en densidad de básica da madeira de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (Fabaceae), especie endémica da caatinga do Nordeste do Brasil. *Acta Bot. Bras.* 23, 436-445.
- De la Fuente, S. (2011). *Análisis conglomerados*. Fac. Ciencias económicas y empresariales. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España.
- Dongo, B. (2017). *Descripción metodológica del análisis clúster utilizando el algoritmo de Ward*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú
- Dos Santos, G. y Miller, R. (1997). Wood anatomy of *Jacaranda* (Bignoniaceae): systematic relationships in sections monolobos and dilobos as suggested by twig and stem wood rays. *IAWA Journal* 18(4), 369-383.
- Enriquez, V. (2017). *Grupos funcionales y su papel en la restauración de paisajes en la región sur del Ecuador*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador.
- Espinoza, N. y León, W. (2002) Estudio anatómico del leño de 56 especies de la subfamilia papilionoideae (Leguminosae) en Venezuela. *Rev. Forest. Venez.* 46(1), 59-71.
- Finegan, B. (1992). The management potential of neotropical secondary lowland rain forest. *Forest Ecology and Management* 47, 295-321.
- Finegan, B. (1996). Pattern and process in neotropical secondary rain forests: The first 100 years of succession. *TREE* 11(3), 119-124.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1993). *The Challenge of Sustainable Forest Management. What Future for the World's Forests* FAO, Roma, Italy.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2001). Información sobre manejo forestal, recursos forestales y cambio en el uso de la tierra en América latina. Santiago, Chile.

- Feijoo, C., Ramón, D., y Pucha, D. (2018). *Guía para cortes anatómicos de la madera*. Loja, Ecuador: EdiLoja.
- Galili, T., Sidi, J., O'Callaghan, A., y Benjamini, Y. (2018). Interactive Cluster Heat Maps Using 'plotly'. Recuperado de <https://cran.r-project.org/web/packages/heatmaply/heatmaply.pdf>
- Ganzhi, J. (2006). *Estudio anatómico de las especies arbóreas del bosque nublado de la Estación Científica San Francisco* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
- García, L., Guindeo, A., Peraza, C., y Palacios, P. (2003). *La madera y su anatomía. Anomalías y defectos, estructura microscópica de coníferas y frondosas, identificación de maderas, descripción de especies y pared celular*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Giebel, K., y Dickson, W. (1976). Wood anatomy of Clethraceae *The journal of the Mitchell society*. 92(1),17-26
- Giménez, A., Moglia, J., Hernández., y Gerez, R. (2005). Anatomía de la madera. Santiago del Estero, Argentina. Recuperado de <http://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/sd-1-anatomia-de-madera.pdf>
- Grande, D., y Polanco, C. (2007). Descripción anatómica de la madera de cuarenta especies del bosque alto-andino en Guasca, Cundinamarca. *Revista Colombia Forestal* 10(20), 180-206.
- Hartig, T. (1859). Beiträge zur vergleichende Anatomie des Holzpflanzen. *Bot Ztg* 17, 93-101.
- Hietz, P., Valencia, R., y Wright, J. (2013). Strong radial variation in wood density follows a uniform pattern in two neotropical rain forests. *Funct. Ecol.* 27, 684-692.
- Igartúa, D. (2013). *Propiedades xilotecnológicas de Acacia melanoxylon implantada en el sudeste de la provincia de Buenos aires, Argentina*. (Tesis doctoral). Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires, Argentina.
- Instituto Geográfico Militar (IGM). (2010). *Atlas geográfico de la República del Ecuador*. Quito, Ecuador.

- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, BR. (IBAMA). (1992). *Normas e procedimentos em estudos de anatomia da madeira: angiospermas e gimnospermas*. Brasília, Brasil.
- Jiggins, C., Andrade, Cueva, E., Dixon, S., Insherwood, I., y Willis, J. (1999). *The Conservation of Three Forests in South - West Ecuador*. Otley, UK: Biosphere Publications.
- Jorgensen, P., Ulloa Ulloa, C., Valencia, R., y Madsen, J. (1995). A Floristic Analysis of the High Andes of Ecuador. En Churchill, S., Balslev, H., Forero, E., y Luteyn, J. (Ed.), *Biodiversity and Conservation of the Neotropical Montane Forests*. (pp. 221-237). New York, USA
- JUNAC. (1989). *Descripción general anatómica de las maderas del grupo Andino*. Lima, PE. Recuperado de <http://cort.as/-HR6Q>
- Kessler, M. (1992). The vegetation of South-West Ecuador. En: Best, B. (Ed.), *The Threatened Forests of South-West Ecuador*. (pp. 7-79). Stockport, UK: Biosphere Publications.
- Klitgard, B., Lozano, P., Aguirre, Z., Merino, B., Aguirre, N., Delgado, T., y Elizalde, F. (1990). Composición florística y estructural del Bosque Petrificado de Puyango. Loja-Ecuador. En: *Estudios Botánicos en el Sur del Ecuador N° 3*. Universidad Nacional de Loja. (pp. 25-49). Loja, Ecuador.
- Kollman, F. (1959). *Tecnología de la madera y sus aplicaciones*. Madrid, España: IFIE.
- Kumar, V., Steinbach, M., y Tan, P. (2006). *Introduction to Data Mining*. Harlow, England: Pearson.
- Larrechi, M. (SF). *Exploración de resultados multidimensionales: análisis de agrupaciones mediante métodos jerárquicos*. Departament de Química Analítica i Química Orgànica. Universitat Rovira i Virgili Pl. Catalunya, España.
- Leal, S., Sousa, V., y Pereira, H. (2007). Radial variation of vessel size and distribution in cork oak wood (*Quercus suber* L.). *Wood Science and Technology*. 41(4), 339-350.

- Legendre, P., y Murtagh, F. (2014). Ward's Hierarchical Agglomerative Clustering Method: ¿Which Algorithms Implement Ward's Criterion? *Journal of Classification*, (31), 274-295.
- León, W. (2006). Anatomía de la madera de 13 especies del orden sapindales que crecen en el estado Mérida, *Venezuela Acta Bot. Venez.* 29(2), 269-296.
- León, W. (2013). Anatomía de la madera de 69 especies de la Reserva Forestal Caparo (Barinas, Venezuela) *Revista Forestal Venezolana*, 56(2), 167-195.
- León, W. (2008). Anatomía de madera en 31 especies de la subfamilia Mimosoideae (Leguminosae) en Venezuela. *Revista Colombia Forestal* 11, 113-135.
- León, W. (2010). Anatomía y densidad o peso específico de la madera. *Pittieria* 39, 107-169.
- León, W. (2015). Anatomía de la madera de 879 especies de la Reserva Forestal Ticoporo (Barinas, Venezuela) *Revista Forestal Venezolana*, 56(2), 167-195.
- León, W. (2015). Anatomía xilema de *Theobroma cacao*. *ERNSTIA* 25(1), 1-17
- León, W. J., y Espinoza de Pernía, N. (2001). *Anatomía de la Madera*. Mérida, Venezuela: Consejo de publicaciones.
- León, W., y Espinoza de Pernía, N. (1995). *Descripción Macroscópica y Clave de Identificación de 73 Especies de la Unidad Experimental de la Reserva Forestal de Caparo*. Mérida, Venezuela: Barinas.
- León-Yáñez, S., Valencia, R., Pitman, N., Endara, L., Ulloa, C., y Navarrete, H. (2011). *Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador*, 2ª edición. Publicaciones del Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. 957 p.
- Llerena, E. (2018). *Caracterización anatómica de Ilex guayusa, Dacryodes peruviana, Terminalia amazonia, Triplaris americana, mediante tinciones; procedentes del Parque Botánico Regional Sucúa ubicado en la provincia de Morona Santiago* (Tesis de pregrado). Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

- Loja, A., y Solano, C. (2015). *Caracterización dendrológica de las especies forestales más aprovechadas en la región sur del Ecuador*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador.
- Lozano, C., Delgado Y., y Aguirre, Z. (2002). La flora endémica de plantas vasculares del Parque Nacional Podocarpus. En Aguirre, Z., Madsen, M., Cotton, E., y Balslev, H. (Ed.). *Botánica Austroecuatorialiana: Estudios sobre los recursos vegetales en las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe*. (p453-460). Quito, Ecuador: Ediciones AbyaYala
- Lozano, P. (2002). Los tipos de bosque del sur del Ecuador. En Aguirre, Z., Madsen, M., Cotton, E., y Balslev, H. (Ed.). *Botánica Austroecuatorialiana: Estudios sobre los recursos vegetales en las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe*. (pp.29-49). Quito, Ecuador: Ediciones AbyaYala
- Lozano, P., Delgado, T., y Aguirre, Z. (2003). Estado actual de la flora endémica exclusiva y su distribución en el Occidente del Parque Nacional Podocarpus. Publicaciones de la Fundación Ecuatoriana para la Investigación y Desarrollo de la Botánica. Loja, Ecuador. 1-180 p.
- Madsen, J., y Ollgaard, B. (1994). La composición florística, la estructura y la dinámica de un bosque pluvial montano superior en el sur de Ecuador, *Nordic Journal of Botany*, 14(4), 403-423.
- Madsen, J., Mix, R. y Balslev, H. 2001. *Flora of Puná Island. Plant resources on a Neotropical Island*. Aarhus, Denmark: Aarhus University Press.
- Maldonado, N. (2002). Clima y vegetación de la Región Sur del Ecuador. En: Aguirre Z., Madese, J., Cotton, E., y Balslev, H. (Eds.) *Botánica Austroecuatorialiana. Estudios sobre los recursos vegetales en las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe*. (pp. 2-28) Quito, Ecuador: Ediciones AbyaYala
- Mc Donald, S., Bruces, G y Wiemann, M. (1995). Wood specific gravity and anatomy in *Heliocarpus appendiculatus* (Tiliaceae). *Amer. J. Bot.* 82, 855-861.

- Metcalf, C., y Chalk, L. (1989). *Anatomy of the Dicotyledons*. Vol II. 2a. ed. New York, USA: Clarendon Press, Oxford.
- Microsoft Corporation. (2008). *Microsoft Access 2003: Step by Step* Recuperado de <http://office.microsoft.com/es-es/access/FX100646923082.aspx>
- Ministerio de Ambiente del Ecuador. (2014). Plan Nacional de restauración forestal 2014-2017. Recuperado de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155383anx.pdf>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). *Estadísticas de patrimonio natural. Datos de bosques, ecosistemas, especies, carbono y deforestación del Ecuador continental*. Quito-Ecuador.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador., y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). *Especies forestales leñosas arbóreas y arbustivas de los bosques montanos del Ecuador*. Quito, Ecuador.
- Miller, R. (1981). Explanation of the coding procedure. *IAWA Bull. n. s. 2*, 111-145.
- Moyal, R., y Tomazello, F. (2008). Wood density variation and tree ring demarcation in gmelina arborea trees using x-ray densitometry. *CERNE 15*(1), 92-100.
- Murtagh, F., y Legendre, P. (2011). Ward's Hierarchical Clustering Method: Clustering Criterion and Agglomerative Algorithm. *Journal of classification*, 31(3), 274-295.
- Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales “MECN”. (2009). *Ecosistemas del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)*. Quito, Ecuador: Imprenta Nuevo Arte.
- Ninin, L. (1993). La anatomía de la madera y la resolución de problemas tecnológicos. *Revista Forestal Venezolana 37*, 107-116.
- Ocampo, L. (2018). *Descripción de las características anatómicas de la madera de cinco especies comerciales de la parroquia El Dorado, cantón Francisco de Orellana, perteneciente a la provincia Orellana* (Tesis de pregrado). Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

- Olympus (2004). *Instructions bx51/52-p, bx41-p polarizing microscope (manual)*. Japon: Olympus Corporation.
- Paliwal, G., y Prasad, N. (1970). The cambium of *Alseuosmia*. *Phytomorphology* 9: 5-8.
- Pérez, A. (1986). *Apuntes de anatomía de la madera*. Mérida, Venezuela: Universidad Nacional de los Andes, 132.
- Pérez, C. (2009). *Técnicas estadísticas multivariantes con SPSS*. Madrid, España: Garceta grupo editorial.
- Presa, J. (2015). *Estructura, composición y clasificación de la madera*. Barcelona, España: Cedria.
- Puertas, S., Salnicov, L., y Espinoza, M. (2013). *Manual de transformación de la madera*. Recuperado de [http://cort.as/-HR\\_g](http://cort.as/-HR_g)
- R Development Core Team. (2008). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. Recuperado de <http://www.R-project.org>.
- Rathgeber, C., Decoux, V., y Leban, J. (2006). Linking intra-tree-ring wood density variation and tracheid anatomical characteristics in Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.)). *Ann. For. Sci.* 63, 699-706.
- Rendle, B. (1932). Wood Anatomy as a Link between Botany and Forestry. *Nature*, 130(3292), 834-836. doi:10.1038/130834a0
- Reyes, A. (2019). *Relación entre los rasgos funcionales de madera y las distancias filogenéticas en comunidades de ecosistemas de alta montaña en el Santuario de fauna y flora Iguaque*. (Tesis de grado). Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Bogotá, Colombia.
- Richter, C. (2010). *Wood Characteristics. Description, Causes, Prevention, Impact on Use and Technological Adaptation*. Doi 10.1007/978-3-319-07422-1.

- Richter, H., y Gasson, P. (2004). *IAWA List of Microscopic Features for Softwood Identification*. IAWA Bulletin. 25(1), 1–70.
- Richter, M., Diertl, K., Emck, P., Peters T., y Beck, E. (2009). Reasons for an outstanding plant diversity in the tropical Andes of Southern Ecuador. *Landscape Online* 12, 1-35.
- Román, E. (2016). *Anatomía comparada de cupressaceae y su correspondencia con los estudios de filogenia*. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid – España.
- Root, R. (1967). The niche exploitation pattern of the bluegrey gnatcatcher. *Ecological Monographs* 37, 317-350.
- Saigua, L. (2018). *Caracterización anatómica de (Trophis caucana, Maclura tinctoria, Rollinia dolichopetala y Clarisia racemosa), mediante tinciones; procedentes del Parque Botánico Regional Sucúa ubicado en la provincia de Morona Santiago* (Tesis de pregrado). Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Salazar Blanco, M. (2001). Estudio de la dinámica y estructura de dos bosques secundarios húmedos tropicales ubicados en la Estación Biológica la Selva, Puerto Viejo de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Salgado, B. (ed). (2015). *La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones*. Bogotá, Colombia: JAVEGRAF
- Salinas, A. (2019). *Caracterización anatómica de la madera de cinco especies comerciales del sector La Colonia Simón Bolívar, cantón Santa Clara, provincia de Pastaza* (Tesis de pregrado). Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Samaniego, N., Eguiguren, P., Maita, J., y Aguirre, N. (2015). *Clima de la Región Sur el Ecuador: historia y tendencias. Cambio Climático Y Biodiversidad: Estudio de Caso de Los Páramos Del Parque Nacional Podocarpus, Ecuador*. Loja, Ecuador: EdiLoja.
- Schachner, H., Reiterer, A., y Stanzl-Tschegg, S. (2000). Orthotropic fracture toughness of wood. *Journal of Materials science letters*. 19(20), 1783-1785.

- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES). (2010). *Agenda zonal para el Buen Vivir. Propuestas de desarrollo y lineamientos para el ordenamiento territorial. Zona de planificación 7*. Recuperado de <http://sni.gob.ec/zona-7>
- Silva, J. (2009). *Determinación de las características anatómicas y propiedades físicas de la madera de la especie forestal madero negro o guayacán (Tabebuia billbergii) de la región Tumbes*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Tumbes, Tumbes, Perú.
- Swaine, M., y Whitmore, T. (1988). On the definition of ecological species groups in tropical rain forest. *Vegetation* 75, 81-86.
- Tamayo, F. (2008). *Estudio anatómico de 16 especies arbóreas de la parte alta de la Reserva Natural Laipuna* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
- The Nature Conservancy. (2011). Ecuador Bosques secos. Recuperado de <http://espanol.tnc.org/dondetrabajamos/ecuador/lugares/>
- Torrado, M., y Berlanga, V. (2013). Análisis Discriminante mediante SPSS. *REIRE, Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 6(2), 150-166.
- Tuset, R., y Duran, F. (1986). *Manual de Maderas Comerciales, Equipos y Procesos de Utilización*. Montevideo, Uruguay: Hemisferio Sur.
- Valverde, L., y Rincón, A. (2008). Anatomía de la madera de 3 especies de la familia tiliaceae en Venezuela. (*Apeiba tibourbou*, *Goethalsia meiantha* y *Heliocarpus popayanensis*). *Agricultura Andina* 14. 85-99
- Vásquez, A., y Ramírez, A. (2011). Curso anatomía e identificación de maderas. Recuperado de <http://www.bosquesflegt.gov.co/sites/default/files/publicaciones/MEMORIAS.pdf>
- Variation in the wood anatomical structure of *Gmelina* arbórea (Verbenaceae) trees at different ecological conditions in Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 56 (2), 689-704.
- Vilà, R., Rubio, M., Berlanga, V., y Torrado, M. (2014). Cómo aplicar un clúster jerárquico en SPSS. *Revista d'Innovació i Recerca en Educació*. Recuperado de: <http://www.ub.edu/ice/reire.htm>

- Wiemann, M., y Williamson, G. (2002). Geographic variation in wood specific gravity. Effects of latitude, temperature and precipitation. *Wood Fibre Science* 34, 96-107.
- Wheeler, E., McClammer, J. y La Pasha, P. (1995). Similarities and differences in dicotyledonous woods of the Cretaceous and Paleocene. San Juan Basin, New Mexico, USA. *IAWA Journal* 16, 223-254.
- Wheeler, E., y Gasson, P. (1989). *IAWA List of microscopic features for hardwood identification: with an Appendix on non-anatomical information*. IAWA Bulletin. 10(3), 219–332.
- Wheeler1, E., y Baas, P. (1998). Wood identification -a review'. *IAWA Journal*, 19(3), 241-264
- Wheeler1, E., Baas, P., y Rodgers, S. (2007). Variations in dieot wood anatomy: a global analysis based on the insidewood database. *IAWA Journal*, Vol. 28(3), 229-258.
- Woodcock, W., Dos Santos, G., y Reynel, C. (2000). Wood characteristics of Amazon forest types. *IAWA Journal* 21, 277-292.
- Worbes, M. 1989. Growth rings, increment and age of trees in inundation forests, savannas, and a mountain forest in the Neotropics. *IAWA Bull. n.s.* 10, 109-122.
- World Wildlife Fund. (WWF). (2013). *Maderas de Colombia*. Recuperado de [http://wwf.panda.org/wwf\\_news/?213040/Maderas-de-Colombia](http://wwf.panda.org/wwf_news/?213040/Maderas-de-Colombia)
- Zhao, S., Guo, Y., Sheng, Q., y Shyr, Y. (2014). Advanced Heat Map and Clustering Analysis Using Heatmap3. *BioMed Research International*, 1-6. Doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/986048>

## 9. ANEXOS

Anexo 1. Grupos de trabajo del periodo 2016-2018 dentro del Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales de la Universidad Nacional de Loja, de donde se obtuvo los registros anatómicos.

Periodo Académico	Grupo de Trabajo	Especies trabajadas
<b>VI Ciclo (2016-2017)</b>	Andrés Armijos, Alejandra Ambuludi, Génesis Castillo, Myriam Chalan, Henry Cuenca, Adriana Encarnación, Lourdes Guamán, Jessica Guartanza, Johana Jumbo, Carlos Jumbo, Tania León, Leonardo Malla, Fernanda Narváez, Mayte Ordoñez, Silvana Patiño, Ney Quezada, Julissa Quito y Juan Veintimilla.	<i>Cedrela montana</i> <i>Clethra fimbriata</i> <i>Gynoxys nitida</i> <i>Heliocarpus americanus</i> <i>Pouteria lucuma</i> <i>Oreocallis grandiflora</i> <i>Eugenia orthostemon</i> <i>Oreopanax rosei</i>
<b>VI Ciclo (Oct.2017-Marz.2018)</b>	Johanna Rueda, Klever Azanza, Fanny Hidalgo, Alejandra Morán y Mayra Sánchez	<i>Eucalyptus globulus</i>
	Yadira Abad, Miriam Eras, Leonardo González, Katty Lima y Rosa Sarango.	<i>Cordia alliodora</i> <i>Guarea kunthiana</i>
	Luis Narváez, Estefanía Barrera, Josué Castro y Darwin Muñoz.	<i>Handroanthus chrysanthus</i> <i>Jacaranda sparrei</i>
	Shirley Agila, Jorge Anglade, María Burneo y Franklin Cartuche.	<i>Schizolobium parahyba</i> <i>Jacaranda copia</i> <i>Pseudobombax millei</i> <i>Tectona grandis</i>
	Byron Cabrera, Francis Espinoza y César Feijoo.	<i>Cinchona officinalis</i> <i>Juglans neotropica</i> <i>Jacaranda mimosifolia</i>
	Nixon Sisalima, Cesar Armijos, Milena Cueva, Daniel Quiñonez y Aldo Rojas.	<i>Acacia macracantha</i> <i>Podocarpus oleifolius</i> <i>Chionanthus pubesens</i>
	Jorge Jumbo, Mayra Cuenca y Carlos Ruiz	<i>Handroanthus billbergii</i> <i>Erythrina velutina</i>
	Danny Armijos, Jhuliana Valverde, Jonathan Mocha y Jefferson Sigcho.	<i>Salix humboldtiana</i> <i>Alnus acuminata</i> <i>Cedrela odorata</i>
<b>VI Ciclo (Abr.2018-Sept.2018)</b>	Alexis Jaramillo, Jairo Japón, Dayanna Jiménez, Edison Granda, Guadalupe Castillo, Michelle Correa, Homero Toledo, Lorena Jiménez, Labanda Dayra, Jilson Rosales, Johanna Sánchez, Christian Chimbo, Fanny Orellana, Bladimir Poma, Henry Castillo, Gabriela Correa, Andrea Reinoso, Karla Samaniego, Jonathan Llumiquinga, Julio Martínez, Líder Córdova, Erendida Fernández, Wilmer Jumbo, Cristian Labanda, Richard Torres, Edinson Zambrano, César Cabrera, Margarita Correa, Jessica Veintimilla y Kelly Jara.	<i>Cedrelinga cateniformis</i> <i>Osteophloeum platyspermum</i> <i>Ocotea aciphylla</i> <i>Parkia multijuga</i> <i>Clarisia racemosa</i> <i>Terminalia amazonia</i> <i>Pouteria sp.</i> <i>Handroanthus serratifolius</i> <i>Alibertia edulis</i> <i>Virola sebifera</i> <i>Dacryodes peruviana</i> <i>Swietenia macrophylla</i> <i>Poulsenia armata</i> <i>Prumnopitys montana</i> <i>Ficus (aff. cuatrecasana)</i> <i>Inga marginata</i> <i>Vochysia guianensis</i> <i>Aniba sp.</i> <i>Ochroma pyramidale</i> <i>Anadenanthera colubrina</i> <i>Pinus patula</i> <i>Annona cherimola</i>

Anexo 2. Preparación de las muestras para estudio anatómico dentro del laboratorio.

***Materiales, equipos y reactivos de laboratorio.***

**a) Materiales de campo.**

Probetas de madera de 1cm<sup>3</sup>

Muestras de ramas forestales, diámetro ≤ 1 cm y 2,5 cm longitud.

**b) Materiales de laboratorio.**

Cajas Petri

Cuchillas para micrótopo

Imanes

Jeringa

Lámina plástica

Moldes plásticos (pipetas recicladas)

Pinceles de cerda fina

Pinza quirúrgica

Pipetas

Placa metálica

Podadora de mano

Porta objetos

Cubre objetos

Regla milimetrada

**c) Reactivos.**

Agua destilada

Alcohol potable al 50%, 75%, y 96%

Bálsamo de Canadá

Formaldehído o Metanal

Parafina (vela)

Tintes (Astrablue o Azul de metileno y Safranina)

**d) Equipos.**

Micrótopo

Estufa

Estereoscopio

Hornilla o placa calentadora

Microscopio con cámara digital

Computadora

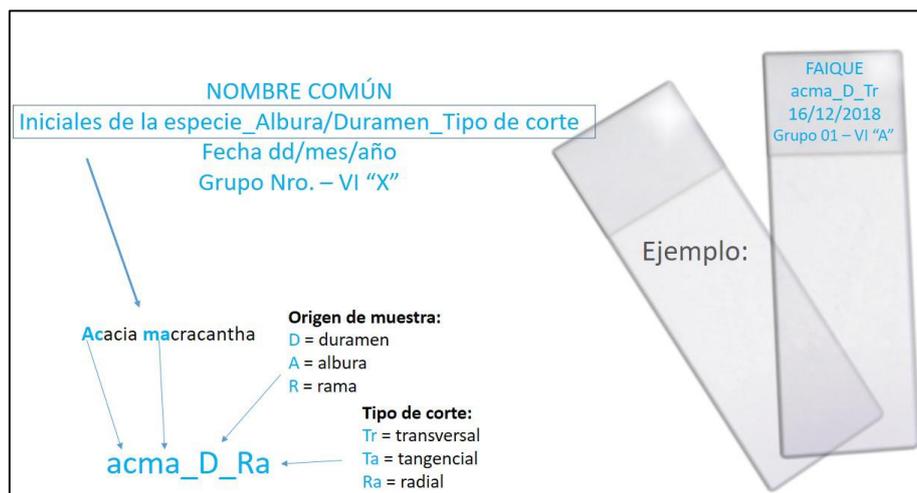
***Obtención de cortes anatómicos de madera.***

Para realizar los cortes se utiliza los cubos de madera de volumen 1x1x1 (cm) y las ramas de 0,5cm de diámetro de las 50 especies en estudio. Con el fin de suavizar y evitar astillamientos de la madera se utiliza una caja Petri con agua destilada para remojar las muestras.

Usando un micrótopo con cuchillas tipo estilete y la ayuda de dos pinceles (punta fina y muy fina) se realiza los cortes transversal, tangencial y radial del duramen y albura de cada especie. En el caso de las ramas se realiza solamente el corte transversal. Seguidamente los cortes obtenidos serán sumergidos en agua destilada.

### **Montaje de los cortes anatómicos.**

Para el montaje de los cortes obtenidos de las especies forestales, se seleccionan los tres mejores cortes por cada uno de los planos de corte de la madera (radial, tangencial y transversal) de duramen y albura. En el caso de las ramas se montan cinco muestras debido al pequeño diámetro. Para evitar confusión de muestras en el montaje se utiliza una nomenclatura específica para cada tipo de corte y especie tal como se muestra en la Figura.



Nomenclatura para montaje de cortes anatómicos.

### **Tinción, lavado y deshidratación de las finas láminas de madera**

De acuerdo a Gärtner y Schweingruber (2013) citado por Feijoo et al., (2018) menciona que la combinación Safranina /Astrablue crea los mejores contrastes entre diferentes tipos de paredes celulares. En donde la Safranina tiñe las estructuras de células lignificadas de color rojo, y el Astrablue tiñe las estructuras de celulosa o no lignificadas de color azul.

La tinturación de las muestras se realiza mediante un tinte resultado de la mezcla de Astrablue y Safranina. El tinte se deja actuar por 5 minutos en cada una de las muestras. Pasado este tiempo las muestras serán lavadas con agua destilada y alcohol al 50%, 95% y 100%, con la finalidad de dejar la muestra sin excesos de tinte. El tinte utilizado se prepara con los siguientes materiales y reactivos:

Materiales:

- 1 pipeta
- 1 vaso de precipitación
- Balanza

Reactivos:

- 0,5 gr de Astrablue en polvo (color azul)
- 1 gr de Safranina en polvo (color rojo)
- 2 gr de Ácido tartárico
- 100 ml de agua destilada

***Sellado permanente de los cortes anatómicos.***

Para guardar las muestras por un largo periodo de tiempo (más de un año) se realiza el sellado permanente. Para ello seleccionan las mejores muestras ya deshidratadas y se las ubica en un portaobjetos limpio. Luego, con la ayuda de una Jeringa sin ajuga se extrae una parte de Bálsamo de Canadá y se coloca una gota a un extremo de la muestra.

Una vez colocado el B. Canadá con la ayuda de una pinza, se coloca inclinadamente el cubre objetos sobre la muestra desde el extremo donde está el B. Canadá de tal forma que éste se extienda sobre toda la muestra.

Finalmente, se presiona con precaución con la ayuda de una varilla metálica o alambre evitando que queden burbujas en la muestra y se dejó secar en una estufa a una temperatura de 60 grados centígrados durante 24 horas.

Anexo 3. Sitios de procedencia de las probetas de las 50 especies, recolectadas entre los años 2016-2018.

<b>Nro.</b>	<b>Provincia</b>	<b>Cantón</b>	<b>Parroquia</b>	<b>Sitio</b>
1	Loja	Sozoranga	Nueva Fátima	Barrio Lubuzhco
2	Loja	Loja	Punzara	Sendero Caxarumi
3	Loja	Calvas	Cariamanga	Las Palmas
4	Loja	Loja	Carigan	Cerro Villonaco
5	Loja	Zapotillo	Cazaderos	Mangahurco
6	Loja	Calvas	Cariamanga	El Lucero
7	Loja	Loja	Malacatos	El Naque
8	Loja	Catamayo	Catamayo	El Tambo
9	Loja	Loja	Punzara	La Argelia
10	Loja	Loja	El Valle	Vía a Zamora
11	Loja	Catamayo	Guayquichuma	El Prado
12	Loja	Macará	Macará	María Auxiliadora
13	Loja	Loja	Punzara	Parque Universitario (PUEAR).
14	Loja	Loja	San Sebastián	Zamora Huayco, Quebrada San Simón
15	Loja	Catamayo	San Pedro de la Bendita	El Cisne, San Jose
16	Loja	Saraguro	Selva Alegre	Santa Lúcia
17	Loja	Loja	Malacatos	Uritusinga
18	Loja	Loja	Vilcabamba	Vilcabamba
19	Loja	Saraguro	Urdaneta	Villa Carreña
20	Loja	Loja	Punzara	Julio Ordoñez
21	Loja	Loja	Malacatos	Nangora
22	Loja	Chaguarpamba	Buenavista	Hacienda Nueva
23	Zamora Chinchipe	Yantzatza	Los Encuentros	Anchuntz
24	Zamora Chinchipe	Zamora	Sabanilla	El Genairo
25	Zamora Chinchipe	Nangaritzza	Guaysimi	Languanza Alto
26	Zamora Chinchipe	Yantzatza	Los Encuentros	El Padmi
27	Zamora Chinchipe	Palanda	Valladolid	Valladolid
28	Zamora Chinchipe	Paquisha	Paquisha	Santa Cecilia
29	Zamora Chinchipe	Zamora	Zamora	La Chacra
30	Zamora Chinchipe	Yantzatza	Los Encuentros	Los Encuentros
31	Zamora Chinchipe	Centinela del Cóndor	Zumbi	El Dorado

Anexo 4. Listado completo de características microscópicas de la normativa IAWA para especies latifoliadas.

<b>Características anatómicas para especies latifoliadas de la normativa IAWA</b>
<b>Anillos de crecimiento - pág. 234</b>
1. Anillos de crecimiento visibles
2. Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes
<b>Vasos</b>
<b>Porosidad - pág. 236</b>
3. Anillos porosos
4. Anillos semiporosos
5. Anillos con poros difusos
<b>Disposición de los vasos o poros - pág. 238</b>
6. Vasos (poros) en bandas tangenciales
7. Vasos (poros) en patrones radiales o diagonales
8. Vasos (poros) en patrones dendríticos
<b>Agrupación de vasos - pág. 242</b>
9. Vasos (poros) exclusivamente solitarios (90 % o más)
10. Vasos (poros) en grupos radiales de 4 o más
11. Vasos (poros) en grupos comunes (de 3 o más vasos)
<b>Perfil de vasos solitarios - pág. 244</b>
12. Perfil angular de vasos solitarios
<b>Placas de perforación - pág. 246</b>
13. Placas perforadas simples
14. Placas de perforación escalariformes
15. Placas de perforación escalariformes con $\leq 10$ barras
16. Placas de perforación escalariformes con 10 -20 barras
17. Placas de perforación escalariforme con 20- 40 barras
18. Placas de perforación escalariformes con $\geq 40$ bares
19. Reticular, foraminado y/u otros tipos de placas perforadas múltiples
<b>Punteaduras comunes: disposición y tamaño - pág. 250</b>
20. Punteaduras intervasculares escalariformes
21. Punteaduras intervasculares opuestas
22. Punteaduras intervasculares alternas
23. Forma de las punteaduras intervasculares alternas
24. Diminutas- $\leq 4 \mu\text{m}$
25. Pequeño - 4-7 $\mu\text{m}$
26. Medio - 7-10 $\mu\text{m}$
27. Grande - $\geq 10 \mu\text{m}$
28. Rango de tamaño de la fosa intermodal ( $\mu\text{m}$ )
<b>Punteaduras ornadas - pág. 252</b>
29. Punteaduras ornadas
<b>Punteaduras radiovasculares- pág. 253</b>
30. Punteaduras radiovasculares con bordes distintos, similares en forma y tamaño a las intervasculares
31. Punteaduras radiovasculares con areola reducida o aparentemente simples; forma redondeada o angular
32. Punteaduras radiovasculares con areola reducida o aparentemente simples; forma alargada horizontal o verticalmente
33. Punteaduras radiovasculares de dos tamaños o tipos distintos en la misma celda de radios
34. Punteaduras radiovasculares unilateralmente compuestas y gruesas (más de 10 $\mu\text{m}$ )
35. Punteaduras radiovasculares restringidas a filas marginales
<b>Espesamientos espiralados - pág. 256</b>
36. Espesamientos espiralados en los elementos del depósito presentes
37. Espesamientos espiralados en todo el cuerpo del elemento del recipiente
38. Espesamientos espiralados sólo en las colas de los elementos del depósito
39. Espesamientos espiralados sólo en elementos de recipientes más estrechos
<b>Diámetro tangencial de la luminaria del depósito - pág. 258</b>
<b>Diámetro tangencial promedio del lumen del vaso</b>
40. $\leq 50 \mu\text{m}$
41. 50 -100 $\mu\text{m}$
42. 100-200 $\mu\text{m}$
43. $\geq 200 \mu\text{m}$
44. Media, +/- Desviación estándar, Rango, n = x
45. Vasos de dos tamaños distintos en maderas sin porosidad circular
<b>Poros por milímetro cuadrado - pág. 259</b>
46. $\leq 5$ poros por milímetro cuadrado
47. 5-20 poros por milímetro cuadrado
48. 20-40 poros por milímetro cuadrado
49. 40-100 poros por milímetro cuadrado
50. $\geq 100$ poros por milímetro cuadrado
51. Media, +/- Desviación estándar, Rango, n = x
<b>Longitud media del elemento del buque - pág. 259</b>

52. $\leq 350 \mu\text{m}$
53. 350-800 $\mu\text{m}$
54. $\geq 800 \mu\text{m}$
55. Media, +/- Desviación estándar, Rango, n = x
<b>Tilosis y depósitos en vasos - pág. 259</b>
56. Tilosis común
57. Tilosis esclerótica
58. Gomas y otros depósitos en vasos del duramen.
<b>Madera sin vasos- pág. 262</b>
59. Madera sin vasos
<b>Traqueidas y fibras - pág. 262</b>
60. Traqueideas vasculares /vasicéntricas presentes
<b>Fibras de tejido molido - pág. 264</b>
61. Fibras con punteaduras de simple a minuciosamente bordeadas
62. Fibras con punteaduras claramente delimitadas
63. Punteaduras de fibra comunes en paredes radiales y tangenciales
64. Engrosamientos espiralados en fibras de tejido molido
<b>Fibras separadas y bandas de fibras similares al parénquima - pág. 266</b>
65. Fibras septadas presentes
66. Fibras no septadas presentes
67. Bandas de fibras similares al parénquima que alternan con fibras ordinarias
<b>Espesor de la pared de fibra - pág. 268</b>
68. Fibras de pared muy fina
69. Fibras de pared delgada a gruesa
70. Fibras de paredes muy gruesas
<b>Longitud media de las fibras - pág. 269</b>
71. $\leq 900 \mu\text{m}$
72. 900 -1600 $\mu\text{m}$
73. $\geq 1600 \mu\text{m}$
74. Media, +/- Desviación estándar, Rango, n = x
<b>Parénquima axial - pág. 270</b>
75. Parénquima axial ausente o extremadamente raro.
<b>Parénquima axial apotraqueal - pág. 270</b>
76. Parénquima axial difuso
77. Parénquima axial difuso en agregados.
<b>Parénquima axial paratraqueal - pág. 272</b>
78. Parénquima axial paratraqueal escaso
79. Parénquima axial vasicéntrico
80. Parénquima axial aliforme
81. Parénquima axial adiamantado aliforme
82. Parénquima axial alado aliforme
83. Parénquima axial confluyente
84. Parénquima axial unilateral paratraqueal
<b>Parénquima en bandas - pág. 276</b>
85. Parénquima axial en bandas con más tres células de ancho
86. Parénquima axial en bandas finas o líneas de hasta tres células de ancho
87. Parénquima axial reticulado
88. Parénquima axial escaliforme
89. Parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales
<b>Parénquima axial por tipo de células / longitud de hebra - pág. 280</b>
90. Células de parénquima fusiforme
91. Dos células por hebra de parénquima
92. Cuatro (3-4) células por hebra de parénquima
93. Ocho (5-8) células por hebra de parénquima
94. Más de ocho células por hebra de parénquima
95. Parénquima no lignificado
<b>Radios - pág. 282</b>
<b>Ancho de radio - pág. 282</b>
96. Radios exclusivamente uniseriados
97. Radios con ancho de 1 a 3 series
98. Radios comunmente de 4 a 10 series
99. Radios comunmente mayores a 10 series
100. Radios con porciones multiseriadas y porciones uniseriadas.
<b>Radios agregados - pág. 284</b>
101. Radios agregados
<b>Altura de radio - pág. 284</b>
102. Radios de altura mayor a 1mm
<b>Radios de dos tamaños distintos - pág. 286</b>
103. Radios de dos tamaños distintos
<b>Radios: composición celular - pág. 288</b>
104. Todas las células procumbentes
105. Todas las células verticales y/o cuadradas

106. Cuerpo del radio con células procumbentes y una sólo fila de células verticales y/o cuadradas marginales
107. Cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales
108. Cuerpo del radio con células procumbentes con más de 4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales
109. Radios con una mezcla de células procumbentes, cuadradas y verticales
<b>Células envolventes - pág. 292</b>
110. Células envolventes
<b>Células tipo baldosa - pág. 292</b>
111. Células tipo baldosa
<b>Células radiales perforadas - pág. 294</b>
112. Células radiales perforadas
<b>Parénquima radial disyuntivo - pág. 294</b>
113. Parénquima radial disyuntivo
<b>Radios por milímetro - pág. 296</b>
114. $\leq 4$ / mm
115. 4-12 / mm
116. $\geq 12$ / mm
<b>Madera radios - pág. 297</b>
117. Madera radios
<b>Estructura estratificada - pág. 298</b>
118. Todos los radios estratificados
119. Radios bajos estratificados, radios altos no estratificados
120. Parénquima axial y/o elementos del vaso almacenados
121. Fibras estratificadas
122. Radios y/o elementos axiales analizados irregularmente
123. Número de niveles de radios por eje mm
<b>Elementos secretores y variantes cambiales - pág. 300</b>
<b>Células de aceite y mucílago - pág. 300</b>
124. Células oleíferas y/o mucilaginosas asociadas al parénquima radial
125. Células oleíferas y/o mucilaginosas asociadas al parénquima axial
126. Células oleíferas y/o mucilaginosas presentes entre las fibras
<b>Canales intercelulares - pág. 302</b>
127. Canales axiales en líneas tangenciales largas
128. Canales axiales en líneas tangenciales cortas
129. Canales axiales difusos
130. Canales radiales
131. Canales intercelulares de origen traumático
<b>Tubos/tubos - pág. 306</b>
132. Laticíferos o tubos taninos
<b>Variantes cambiales- pág. 308</b>
133. Incluye floema, concéntrico
134. Incluye floema difuso
135. Otras variantes cambiales
<b>Inclusiones minerales - pág. 310</b>
<b>Cristales prismáticos - pág. 310</b>
136. Cristales prismáticos presentes
137. Cristales prismáticos en células de radio rectas y/o cuadradas
138. Cristales prismáticos en células de radios procumbentes
139. Cristales prismáticos en alineación radial en células de radio procumbent
140. Cristales prismáticos en células de radios rectos y/o cuadrados en cámara
141. Cristales prismáticos en células de parénquima axial sin cámara
142. Cristales prismáticos en células de parénquima axial en cámara
143. Cristales prismáticos en fibras
<b>Drusas — pág. 313</b>
144. Drusas presentes
145. Drusas en las células del parénquima del radio
146. Drusas en las células del parénquima axial
147. Drusas en fibras
148. Drusas en las células compartimentadas
<b>Otros tipos de cristal - pág. 313</b>
149. Rafidios
150. Cristales aciculares
151. Cristales estiloides y/o alargados
152. Cristales de otras formas (en su mayoría pequeños)
153. Arena cristalina
<b>Otras características de cristal de diagnóstico - pág. 315</b>
154. Más de un cristal de aproximadamente el mismo tamaño por célula o cámara
155. Dos tamaños distintos de cristales por célula o cámara
156. Cristales en células agrandadas
157. Cristales en tilosis
158. Cistolitos
<b>Sílice - pág. 318</b>
159. Cuerpos de sílice presentes

160. Cuerpos de sílice en células de radios
161. Cuerpos de sílice en células de parénquima axial
162. Cuerpos de sílice en fibras
163. Sílice vítrea
<b>APÉNDICE - Información no anatómica - pág. 321</b>
<b>Distribución geográfica - pág. 321</b>
164. Europa y Asia templada (región de Brazier y Franklin 74)
165. Europa, excluido el Mediterráneo
166. Mediterráneo, incluyendo África del Norte y Oriente Medio
167. Asia templada (China), Japón, URSS
168. Asia Central del Sur (región de Brazier y Franklin 75)
169. India, Pakistán, Sri Lanka
170. Birmania
171. Asia sudoriental y el Pacífico (región de Brazier y Franklin 76)
172. Tailandia, Laos, Vietnam, Camboya (Indochina)
173. Indomalasia: Indonesia, Filipinas, Malasia, Brunei, Papúa Nueva Guinea e Islas Salomón.
174. Islas del Pacífico (incluidas Nueva Caledonia, Samoa, Hawai y Fiji)
175. Australia y Nueva Zelanda (región de Brazier y Franklin 77)
176. Australia
177. Nueva Zelanda
178. África continental tropical e islas adyacentes (región de Brazier y Franklin 78)
179. África tropical
180. Madagascar & Mauricio, Reunión & Comores
181. África meridional (al sur del trópico de Capricornio) (región de Brazier y Franklin 79)
182. América del Norte, al norte de México (región 80 de Brazier y Franklin)
183. Neotrópico y Brasil templado (región 81 de Brazier y Franklin)
184. México y Centroamérica
185. Caribeño
186. América del Sur tropical
187. Sur de Brasil
188. América del Sur templada, incluyendo Argentina, Chile, Uruguay y S. Paraguay (región Brazier y Franklin 82).
<b>Hábito de crecimiento - pág. 321</b>
189. Árbol
190. Arbusto
191. Viña/liana
<b>Madera de importancia comercial - pág. 322</b>
192. Madera de importancia comercial
<b>Peso específico - pág. 322</b>
193. Gravedad específica básica baja, $\leq 0.40$
194. Gravedad media específica básica, 0.40-0.75
195. Gravedad específica básica alta, $\geq 0,75$
<b>Color duramen - pág. 323</b>
196. Color duramen más oscuro que el color albura
197. Duramen básicamente marrón o tonos de marrón
198. Duramen básicamente rojo o tonos de rojo
199. Duramen básicamente amarillo o matices de amarillo
200. Duramen básicamente blanco a gris
201. Duramen con vetas
202. Duramen no como el anterior
<b>Olor - pág. 325</b>
203. Olor característico
<b>Fluorescencia del duramen - pág. 325</b>
204. Duramen fluorescente
<b>Extractos de agua y etanol: fluorescencia y color - pág. 326</b>
205. Extracto de agua fluorescente
206. Extracto de agua básicamente incoloro a marrón o tonos de marrón
207. Extracto de agua básicamente rojo o tonos de rojo
208. Extracto de agua básicamente amarillo o tonos de amarillo
209. Extracto de agua no como arriba
210. Extracto de etanol fluorescente
211. Extracto de etanol básicamente incoloro a marrón o tonos de marrón
212. Extracto de etanol básicamente rojo o tonos de rojo
213. Extracto de etanol básicamente amarillo o matices de amarillo
214. Extracto de etanol no como el anterior
<b>Prueba de espuma - pág. 327</b>
215. Prueba de espuma positiva
<b>Prueba del cromo Azurol-S - pág. 328</b>
216. Prueba de Cromo Azurol-S positiva
<b>Prueba de la astilla en llamas - pág. 328</b>
217. La astilla se quema hasta convertirse en carbón
218. La astilla se quema hasta convertirse en ceniza: Color del fresno blanco brillante
219. La astilla se quema hasta convertirse en ceniza: Color del fresno amarillo-marrón

220. La astilla se quema hasta convertirse en ceniza: Color de la ceniza distinto del anterior
221. La astilla se quema hasta convertirse en una ceniza parcial

Anexo 5. Listado completo de características microscópicas de la normativa IAWA para especies coníferas.

<b>Características anatómicas para especies coníferas de la normativa IAWA</b>
<b>Información General</b>
<b>Distribución geográfica - pág. 12</b>
1. Europa y Asia templada (región de Brazier y Franklin 74)
2. Europa, excluido el Mediterráneo
3. Mediterráneo incl. África del Norte y Oriente Medio
4. Asia templada (China, Japón, Rusia)
5. Asia Central del Sur (región de Brazier y Franklin 75)
6. India, Pakistán, Sri Lanka
7. Birmania (Myanmar)
8. Asia sudoriental y el Pacífico (región de Brazier y Franklin 76)
9. Tailandia, Laos, Vietnam, Camboya (Indochina)
10. Indomalesia (Indonesia, Filipinas, Malasia, Brunei, Singapur, Papua Nueva Guinea e Islas Salomón)
11. Islas del Pacífico (incl. Nueva Caledonia, Samoa, Hawái y Fiji)
12. Australia y Nueva Zelanda (región de Brazier y Franklin 77)
13. Australia
14. Nueva Zelanda
15. África continental tropical e islas adyacentes (región de Brazier y Franklin 78)
16. África tropical
17. Madagascar, Mauricio, Reunión y Comores
18. África meridional (al sur del trópico de Capricornio) (región de Brazier y Franklin 79)
19. América del Norte (norte de México) (región 80 de Brazier y Franklin)
20. Neotropical y Brasil templado (región 81 de Brazier y Franklin)
21. México y Centroamérica
22. caribeño
23. América del Sur tropical
24. Sur de Brasil
25. América del Sur templada, incluyendo Argentina, Chile, Uruguay y el sur de Paraguay (región Brazier y Franklin 82)
<b>Propiedades físicas</b>
<b>Color duramen - pág. 12</b>
26. Marrón o tonos de marrón
27. Rojo o tonos de rojo
28. Amarillo o tonos de amarillo
29. Color claro (blanquecino, cremoso, gris)
30. Púrpura o tonos de púrpura
31. Otro que no sea el anterior (especifique)
<b>Diferencia entre el color del duramen y el de la albura - pág. 14</b>
32. Color del duramen similar al color de la albura
33. Color del duramen distinto del color de la albura
<b>Presencia de duramen con vetas de color - pág. 14</b>
34. Duramen con vetas
<b>Presencia de un olor distintivo - pág. 14</b>
35. Olor distintivo (especificar)
<b>Densidad media del aire seco / gravedad específica básica - pág. 15</b>
36. ... < g/cm <sup>3</sup> >>>...
<b>Densidad media del aire seco(g/cm<sup>3</sup>) (categorías) - pág. 15</b>
37. Bajo 0,48 g/cm <sup>3</sup>
38. 0,48-0,60 g/cm <sup>3</sup>
39. Superior a 0,60 g/cm <sup>3</sup>
<b>Anillos de crecimiento</b>
<b>Presencia de límites en el anillo de crecimiento - pág. 16</b>
40. Anillo de crecimiento definidos

Características anatómicas para especies coníferas de la normativa IAWA
41. Anillo de crecimiento borrosos o ausentes
<b>Transición de la madera temprana a la madera tardía - pág. 16</b>
42. Abrupto
43. Gradual
<b>Traqueidas</b>
<b>Punteaduras en traqueidas en paredes radiales (sólo en madera temprana) - pág. 19</b>
44. (predominantemente) uniseriadas
45. (predominantemente) dos o más seriadas
<b>Disposición de (dos o más seriados) punteaduras de traqueidas en paredes radiales (sólo madera temprana) - pág. 19</b>
46. Opuesta
47. Alterna
<b>Depósitos orgánicos (en las traqueidas del duramen) - pág. 21</b>
48. Presente
<b>Longitud promedio de traqueidas - pág. 22</b>
49. ... < $\mu\text{m}$ >>>...
<b>Longitud media de la traqueída (clases de tamaño) - pág. 22</b>
50. Corto (menos de 3000 $\mu\text{m}$ )
51. Medio (3000 a 5000 $\mu\text{m}$ )
52. Largo (más de 5000 $\mu\text{m}$ )
<b>Espacios intercelulares en toda la madera (en sección transversal) - pág. 23</b>
53. Presente
<b>Grosor de paredes en traqueidas de la madera tardía - pág. 24</b>
54. Pared delgada (espesor de pared doble inferior al diámetro del lumen radial)
55. Pared gruesa (espesor de pared mayor que el diámetro del lumen radial)
<b>Torus (hoyos sólo en traqueídas de madera temprana) - pág. 25</b>
56. Presente
57. Escapolado
<b>Extensiones torus - pág. 26</b>
58. Presente
<b>Punteaduras con bordes ranurados - pág. 28</b>
59. Presente
<b>Capa verrugosa (visible bajo el microscopio de luz) - pág. 28</b>
60. Presente
<b>Espesamientos helicoidales y otros espesamientos de pared</b>
<b>Engrosamientos helicoidales en las traqueidas - pág. 30</b>
<b>Engrosamientos helicoidales en las traqueidas longitudinales (presencia) - pág. 32</b>
61. Presente
<b>Engrosamientos helicoidales (en las traqueidas longitudinales - localización) - pág. 32</b>
62. Presente a lo largo de todo el crecimiento
63. Bien desarrollado sólo en madera temprana
64. Bien desarrollado sólo en madera tardía
<b>Engrosamientos helicoidales (en traqueídas longitudinales, ya sean simples o agrupadas) - pág. 32</b>
65. Solitario
66. Agrupado (doble o triple)
<b>Espesamientos helicoidales (en traqueidas longitudinales - espaciamiento, solo traqueidas de madera temprana) - pág. 32</b>
67. Espaciado estrecho (número de bobinas superior a 120 por mm)
68. Ampliamente espaciados (número de bobinas inferior a 120 por mm)
<b>Engrosamientos helicoidales en las traqueídas de radios - pág. 33</b>
69. Comúnmente presente
70. (presente pero) raro
<b>Engrosamientos de callitroides - pág. 34</b>
71. Presente
<b>Parénquima axial</b>
<b>Parénquima axial (excluidas las células epiteliales y subsidiarias de los canales intercelulares) - pág. 35</b>
72. Presente
<b>Disposición del parénquima axial - pág. 37</b>
73. Difusa (distribuida uniformemente a lo largo de todo el crecimiento)
74. Tangencialmente

Características anatómicas para especies coníferas de la normativa IAWA
<b>75. Marginal</b>
<b>Paredes de los extremos transversales - pág. 39</b>
<b>76. Lisos</b>
<b>77. Engrosamiento irregular</b>
<b>78. Perlas o nodulares</b>
<b>Composición de radios</b>
<b>Traqueidas radiales - pág. 40</b>
<b>79. Comúnmente presente</b>
<b>80. Ausentes o muy escasas</b>
<b>Paredes celulares de las traqueidas radiales - pág. 43</b>
81. Liso
82. Dentado
83. Reticular
<b>Bordes de la fosa traqueal de radios con espesamientos angulares o dentados (sólo sección radial, larix &amp; picea) - pág. 45</b>
84. Presente
<b>Paredes finales de las células del parénquima del radio - pág. 47</b>
85. Lisa (sin punteaduras)
86. Claramente punteadas
<b>Paredes horizontales de las células del parénquima del radio - pág. 48</b>
87. Lisa (sin punteaduras)
88. Claramente punteadas
<b>Indentaduras- pág. 49</b>
89. Presente
<b>Punteaduras transversales</b>
<b>Punteaduras en el ares de cruce (según phillips 1948, modificado por vogel 1995) - pág. 51</b>
90. "como una ventana" (fenestriforme)
91. Pinoide
92. Piceoideo
93. Cupressoide
94. Taxodioide
95. Araucarioide
<b>Número de punteaduras por área de cruce (sólo para traqueidas de madera temprana) - pág. 54</b>
96. ... < número por campo cruzado > número por campo cruzado
<b>Número de punteaduras por área de cruce (sólo para traqueidas de madera temprana- categorías) - pág. 54</b>
97. (grande como una ventana) 1-2
98. 1-3
99. 3-5
100. 6 o más
<b>Tamaño radio</b>
<b>Altura media de los radios - pág. 55</b>
<b>101. ... &lt; <math>\mu\text{m}</math> &gt;&gt;&gt;...</b>
<b>Altura media del radio (número de celdas) - pág. 57</b>
<b>102. Muy bajo (hasta 4 células)</b>
<b>103. Medio (5 a 15 células)</b>
<b>104. Alto (de 16 a 30 células)</b>
<b>105. Muy alta (más de 30 células)</b>
<b>Altura media de los radios fusiformes - pág. 57</b>
106. ... < $\mu\text{m}$ >>>...
<b>Ancho del radio (celdas) - pág. 57</b>
107. Exclusivamente uniseriado
108. 2-3-seriales en parte
<b>Canales intercelulares</b>
<b>Canales intercelulares axiales (resina) - pág. 58</b>
<b>109. Presente</b>
<b>Canales intercelulares radiales (resina) - pág. 60</b>
<b>110. Presente</b>
<b>Canales traumáticos (de resina) (axiales, radiales) - pág. 60</b>
<b>111. Presente</b>

<b>Características anatómicas para especies coníferas de la normativa IAWA</b>
<b>Diámetro medio de los canales intercelulares axiales normales - pág. 60</b>
112. Diámetro tangencial, delimitado por células epiteliales (método a) < μm > >
113. Diámetro tangencial de todo el complejo de canales de resina (método b) < μm > >
114. Diámetro radial, delimitado por células epiteliales (método c) < μm > >
<b>Diámetro medio de los canales intercelulares radiales normales - pág. 62</b>
115. ... < μm >>>...
<b>Células epiteliales (de canales intercelulares) - pág. 62</b>
116. De pared gruesa
117. De pared delgada
<b>Inclusiones minerales</b>
<b>Cristales - pág. 65</b>
118. Presente
<b>Tipo de cristales - pág. 65</b>
119. Prismático
120. Drusas
121. Otras formas (especifique)
<b>Cristales ubicados en - pág. 65</b>
122. Radios
123. Parénquima axial
124. Células asociadas a canales intercelulares

Anexo 6. Identificación de características anatómicas en especies latifoliadas.

Nro. Característica	Nro. IAWA	Característica	<i>Cedrela montana</i>	<i>Clethra fimbriata</i>	<i>Gyneros nitida</i>	<i>Heliconia americana</i>	<i>Pouteria lucana</i>	<i>Oreocallis grandiflora</i>	<i>Eugenia orthostemon</i>	<i>Oreopanax rosei</i>	<i>Eucalyptus globulus</i>	<i>Cordia alliodora</i>	<i>Guarea kunthiana</i>	<i>Handroanthus chrysanthus</i>	<i>Jacaranda sparreri</i>	<i>Schizolobium parahyba</i>	<i>Jacaranda copia</i>	<i>Pseudobombax millei</i>	<i>Tecoma grandis</i>	<i>Cinchona officinalis</i>	<i>Juglans neotropica</i>	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	<i>Acacia macracantha</i>	<i>Chionanthus pubescens</i>	<i>Handroanthus bilbergii</i>	
1	1	Anillos de crecimiento visibles	X				X	X	X			X	X				X		X		X		X		X	
2	2	Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes		X	X	X				X	X		X		X	X		X		X		X		X		
3	3	Anillos porosos	X							X															X	
4	4	Anillos semiporosos						X	X			X	X						X		X					
5	5	Anillos con poros difusos		X	X	X	X				X			X	X	X	X	X		X		X	X		X	
6	6	Vasos (poros) en bandas tangenciales						X					X		X				X			X				
7	7	Vasos (poros) en patrones radiales o diagonales	X							X	X	X		X		X	X	X		X	X		X		X	
8	8	Vasos (poros) en patrones dendríticos							X																X	
9	9	Vasos (poros) exclusivamente solitarios (90 % o más)		X	X	X			X			X			X	X	X	X	X		X		X			
10	10	Vasos (poros) en grupos radiales de 4 o más					X				X		X	X						X		X				X
11	11	Vasos (poros) en grupos comunes (de 3 o más vasos)	X					X		X															X	
12	12	Perfil angular de vasos solitarios		X	X																					
13	56	Tilosis común							X		X	X						X	X		X					
14	57	Tilosis esclerótica								X																
15	58	Gomas y otros depósitos en vasos del duramen.								X																
16	75	Parénquima axial ausente o extremadamente raro.		X		X			X	X								X	X	X					X	
17	76	Parénquima axial difuso	X													X	X		X	X	X				X	
18	77	Parénquima axial difuso en agregados.					X											X					X			
19	78	Parénquima axial paratraqueal escaso		X	X			X																		
20	79	Parénquima axial vasicéntrico									X	X		X	X	X		X								
21	80	Parénquima axial aliforme											X					X								
22	81	Parénquima axial adiamantado aliforme																X								
23	82	Parénquima axial alado aliforme										X														
24	83	Parénquima axial confluyente											X	X			X						X	X		
25	84	Parénquima axial unilateral paratraqueal																	X							X
26	85	Parénquima axial en bandas con más tres células de ancho																								
27	86	Parénquima axial en bandas finas o líneas de hasta tres células de ancho						X					X							X	X					X
28	87	Parénquima axial reticulado													X								X			
29	88	Parénquima axial escaliforme																								
30	89	Parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales									X	X			X	X	X	X						X		
31	90	Células de parénquima fusiforme					X			X					X							X				X
32	91	Dos células por hebra de parénquima							X							X	X				X					
33	92	Cuatro (3-4) células por hebra de parénquima						X		X										X					X	
34	93	Ocho (5-8) células por hebra de parénquima	X	X	X									X					X							X
35	94	Más de ocho células por hebra de parénquima										X	X					X								
36	95	Parénquima no lignificado																								
37	96	Radios exclusivamente uniseriados					X								X								X			X
38	97	Radios con ancho de 1 a 3 series	X	X					X		X		X	X						X	X					X
39	98	Radios comúnmente de 4 a 10 series			X	X				X		X													X	
40	99	Radios comúnmente mayores a 10 series						X																		
41	100	Radios con porciones multiseriadas y porciones uniseriadas.														X	X	X	X							
42	101	Radios agregados																					X			
43	102	Radios de altura mayor a 1mm																X		X	X	X				X
44	103	Radios de dos tamaños distintos														X	X	X	X	X						
45	104	Todas las células procumbentes						X					X	X						X	X	X				X
46	105	Todas las células verticales y/o cuadradas			X		X																			
47	106	106. Cuerpo del radio con células procumbentes y una sola fila de células verticales y/o cuadradas marginales								X	X	X							X							

Nro. Característica	Nro. IAWA	Característica	<i>Cedrela montana</i>	<i>Clethra fimbriata</i>	<i>Gynoxys nitida</i>	<i>Helocarpus americanus</i>	<i>Pouteria lucuma</i>	<i>Oreocallis grandiflora</i>	<i>Eugenia orthostemon</i>	<i>Oreopanax rosei</i>	<i>Eucalyptus globulus</i>	<i>Cordia alliodora</i>	<i>Guarea kunthiana</i>	<i>Handroanthus chrysanthus</i>	<i>Jacaranda sparreri</i>	<i>Schizolobium paralypha</i>	<i>Jacaranda copia</i>	<i>Pseudobombax millei</i>	<i>Tectona grandis</i>	<i>Cinchona officinalis</i>	<i>Juglans neotropica</i>	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	<i>Acacia macracantha</i>	<i>Chionanthus pubescens</i>	<i>Handroanthus billbergii</i>	
48	107	Cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales	X										X			X									X	
49	108	Cuerpo del radio con células procumbentes con más de 4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales																								
50	109	Radios con una mezcla de células procumbentes, cuadradas y verticales		X		X			X								X	X								

Continuación de Identificación de características anatómicas en especies latifoliadas

Nro. Característica	Nro. IAWA	Característica	<i>Erythrina velutina</i>	<i>Salix humboldtiana</i>	<i>Alnus acuminata</i>	<i>Cedrela odorata</i>	<i>Ocotea aciphylla</i>	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	<i>Oncophloeum platyspermum</i>	<i>Clarisia racemosa</i>	<i>Terminalia amazonia</i>	<i>Parikia multijuga</i>	<i>Pouteria sp</i>	<i>Handroanthus serratifolius</i>	<i>Dacryodes peruviana</i>	<i>Virola sebifera</i>	<i>Alibertia edulis</i>	<i>Poulsenia armata</i>	<i>Aniba sp.</i>	<i>Ficus aff. cuatrecasana.</i>	<i>Inga marginata Will.</i>	<i>Vochysia guianensis Aubl.</i>	<i>Swietenia macrophylla</i>	<i>Ochroma pyramidale</i>	<i>Anadenanthera colubrina</i>	<i>Annona cherimola</i>
1	1	Anillos de crecimiento visibles		X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X				X		X	X			X
2	2	Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes	X								X		X			X		X	X		X			X	X	
3	3	Anillos porosos										X							X				X		X	
4	4	Anillos semiporosos					X						X	X							X					X
5	5	Anillos con poros difusos		X	X	X	X		X	X	X				X	X	X	X		X		X		X		
6	6	Vasos (poros) en bandas tangenciales						X											X	X		X				
7	7	Vasos (poros) en patrones radiales o diagonales	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X			X		X	X	X	X
8	8	Vasos (poros) en patrones dendríticos					X		X																	
9	9	Vasos (poros) exclusivamente solitarios (90 % o más)	X			X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
10	10	Vasos (poros) en grupos radiales de 4 o más											X													X
11	11	Vasos (poros) en grupos comunes (de 3 o más vasos)		X	X															X						
12	12	Perfil angular de vasos solitarios															X									
13	56	Tilosis común		X	X	X		X		X	X		X	X				X		X	X	X	X			
14	57	Tilosis esclerótica	X																							
15	58	Gomas y otros depósitos en vasos del duramen.										X														
16	75	Parénquima axial ausente o extremadamente raro.																								
17	76	Parénquima axial difuso	X	X	X	X				X	X	X			X	X		X	X	X	X		X			
18	77	Parénquima axial difuso en agregados.											X											X		
19	78	Parénquima axial paratraqueal escaso		X	X										X		X		X				X			X
20	79	Parénquima axial vasicéntrico				X	X	X	X	X	X					X						X				
21	80	Parénquima axial aliforme								X	X															
22	81	Parénquima axial adiamantado aliforme										X														
23	82	Parénquima axial alado aliforme												X				X		X		X				
24	83	Parénquima axial confluyente								X	X			X											X	
25	84	Parénquima axial unilateral paratraqueal					X																			
26	85	Parénquima axial en bandas con más tres células de ancho	X							X	X								X	X	X					
27	86	Parénquima axial en bandas finas o líneas de hasta tres células de ancho											X													X
28	87	Parénquima axial reticulado																								
29	88	Parénquima axial escaliforme			X									X												
30	89	Parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales				X			X			X			X			X				X	X		X	
31	90	Células de parénquima fusiforme			X			X							X						X					
32	91	Dos células por hebra de parénquima		X			X		X		X				X				X		X					X
33	92	Cuatro (3-4) células por hebra de parénquima				X						X						X		X			X	X		
34	93	Ocho (5-8) células por hebra de parénquima								X			X	X					X							X
35	94	Más de ocho células por hebra de parénquima																								
36	95	Parénquima no lignificado	X								X	X														
37	96	Radios exclusivamente uniseriados			X			X			X	X														

Nro. Característica	Nro. LAWA	Característica	<i>Erythrina velutina</i>	<i>Salix humboldtiana</i>	<i>Alnus acuminata</i>	<i>Cedrela odorata</i>	<i>Ocotea aciphylla</i>	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	<i>Osteophloeum platyspermum</i>	<i>Clarisia racemosa</i>	<i>Terminalia amazonia</i>	<i>Parkia multijuga</i>	<i>Pouteria sp</i>	<i>Handroanthus serratifolius</i>	<i>Dacryodes peruviana</i>	<i>Vireola sebifera</i>	<i>Alibertia edulis</i>	<i>Poulsenia armata</i>	<i>Aniba sp.</i>	<i>Ficus aff. caatrecasana.</i>	<i>Inga marginata Will.</i>	<i>Vochysia guianensis Aubl.</i>	<i>Svitzania macrophylla</i>	<i>Ochroma pyramidale</i>	<i>Anadenanthera colubrina</i>	<i>Annona chertimola</i>
38	97	Radios con ancho de 1 a 3 series				X	X		X				X	X	X	X	X		X				X		X	X
39	98	Radios comúnmente de 4 a 10 series	X							X								X		X		X		X		
40	99	Radios comúnmente mayores a 10 series																								
41	100	Radios con porciones multiseriadas y porciones uniseriadas.		X																	X					
42	101	Radios agregados			X																			X	X	
43	102	Radios de altura mayor a 1mm									X				X	X	X	X	X					X		
44	103	Radios de dos tamaños distintos	X	X				X	X	X			X						X					X	X	
45	104	Todas las células procumbentes	X		X			X			X				X	X		X						X		
46	105	Todas las células verticales y/o cuadradas																								
47	106	106. Cuerpo del radio con células procumbentes y una sola fila de células verticales y/o cuadradas marginales		X		X	X							X										X		
48	107	Cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales							X			X	X				X		X	X	X	X			X	X
49	108	Cuerpo del radio con células procumbentes con más de 4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales								X																
50	109	Radios con una mezcla de células procumbentes, cuadradas y verticales																								

Anexo 7. Identificación de características anatómicas en especies coníferas.

Nro. Característica	Nro. IAWA	Característica	<i>Podocarpus oleofolius</i>	<i>Promnopytis montana</i>	<i>Pinus patula</i>
1	26	Marrón o tonos de marrón	X	X	
2	27	Rojo o tonos de rojo			
3	28	Amarillo o tonos de amarillo			
4	29	Color claro (blanquecino, cremoso, gris)			X
5	30	Púrpura o tonos de púrpura			
6	31	Otro que no sea el anterior (especifique)			
7	32	Color duramen similar al color albura		X	X
8	33	Color del duramen distinto del color de la albura	X		
9	40	Límites del anillo de crecimiento distintos	X	X	
10	41	Límites del anillo de crecimiento borrosos o ausentes			X
11	42	Abrupto			
12	43	Gradual	X	X	
13	44	(predominantemente) Uniseriados	X	X	X
14	45	(predominantemente) Dos o más seriados			
15	46	Opuesto			
16	47	Alternos	X	X	X
17	48	Presente			
18	49	Longitud promedio de la traqueida... < μm >			
19	50	Corto (menos de 3000 μm)			
20	51	Medio (3000 a 5000 μm)			
21	52	Largo (más de 5000 μm)			
22	53	Espacios intercelulares Presente	X	X	X
23	54	Pared delgada (espesor de pared doble menor que el diámetro del lumen radial)	X	X	X
24	55	Pared gruesa (espesor de pared mayor que el diámetro del lumen radial)			
25	72	Parénquima axial Presente			
26	73	Difusa (distribuida uniformemente a lo largo de todo el crecimiento)	X		
27	74	Tangencialmente zonificar			
28	75	Marginal			
29	76	Suave	X	X	X
30	77	Engrosamiento irregular			
31	78	Perlas o nodular			
32	79	Comúnmente presente	X	X	X
33	80	Ausente o muy raro			
34	101	Altura media del radio ... < μm >			
35	102	Muy bajo (hasta 4 células)			
36	103	Medio (5 a 15 células)	X	X	X
37	104	Alto (de 16 a 30 células)			
38	105	Muy alta (más de 30 células)			
39	109	Canales intercelulares axiales Presentes			
40	110	Canales intercelulares radiales Presente			
41	111	Canales traumáticos (de resina) (axiales, radiales) Presentes			
42	116	De pared gruesa			
43	117	De pared delgada			X
44	118	Cristales Presente			
45	119	Prismático			
46	120	Drusas			
47	121	Otras formas (especifique)			
48	122	Rayos			
49	123	Parénquima axial			
50	124	Células asociadas a canales intercelulares			

Anexo 8. Código en R utilizado para la obtención de las herramientas gráficas: Matriz de correlación, Heat maps y Dendrogramas.

```
#####  
## Tesis: Evaluación Anatomica de 50 especies forestales al sur del Ecuador  
## Responsable: Andrés Armijos  
## IAWA data  
## Director: Darwin PC  
## Fecha iniciación: 09.jul.2018  
#####  
  
rm(list = ls()) # clear objects  
graphics.off() # close/clean graphics windows  
  
#OPEN DATA  
## Correlation table  
  
# Fijar directorio o carpeta de trabajo  
setwd("D:/Analysis R/")  
  
wa <- "Wood anatomy values.csv"  
  
data.wa <- read.csv(wa)  
  
# tail(data.wa)  
  
data.wa <- data.wa[,-1] # remove first two columns of characteristics  
  
sum(is.na(data.wa)) # to check empty cells  
  
## (1) 0  
  
data.wa <- data.matrix(data.wa) # to matrix  
  
#Correlaciones  
  
C.wa <- cor(data.wa, use = "na.or.complete")  
#C.wa  
  
#Exportar tabla a Excel  
setwd("D:/Analysis R/")  
  
write.csv(C.wa,"correlations table.csv")  
  
library(corrplot)  
  
## corrplot 0.84 loaded  
  
# Making some arrangement of the data  
  
order.wa <- corrMatOrder(C.wa, order="AOE")  
order.wa <- corrMatOrder(C.wa, order="hclust")  
order.wa <- corrMatOrder(C.wa, order="alphabet")  
  
C2.wa <- C.wa[order.wa,order.wa]
```

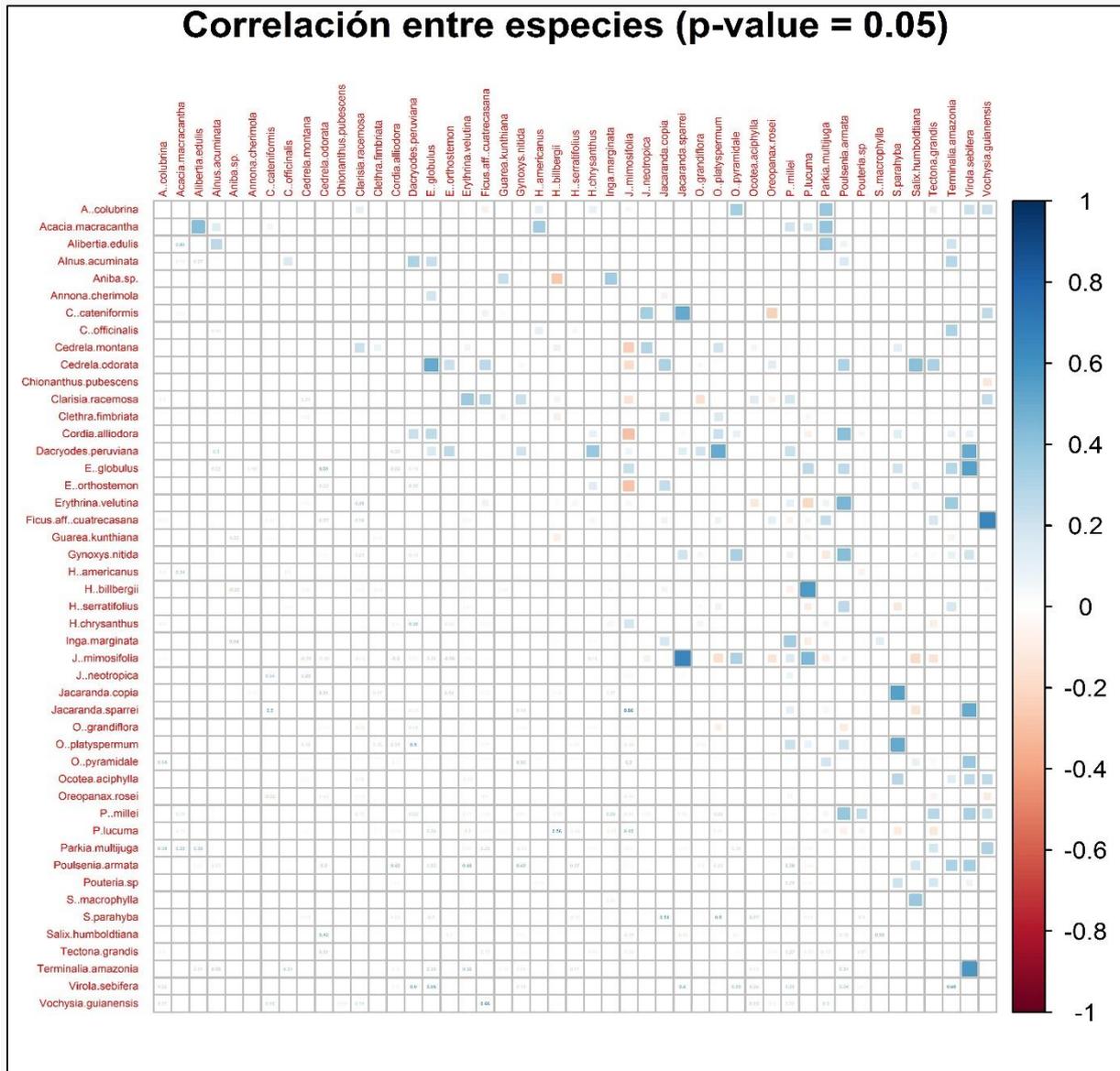
```
#Plotting our correlation diagram
#graphics.off() # close/clean graphics windows
```

```
# calculating p-values
```

```
pval <-psych::corr.test(data.wa, adjust="none")$p
write.csv(pval,"p value table.csv")
```

```
#plot
```

```
corrplot.mixed(C2.wa, tl.pos="lt", upper="square", tl.cex = 0.3, number.cex= 0.22, mar=c(0,0,0,0),
main = "Correlación entre especies (p-value = 0.05)", p.mat = pval, sig.level = 0.05, insig =
"blank")
```



```
#export plot as jpge
```

```
jpeg(filename = "correlación2.jpg", width = 150, height = 150, units = "mm", res=1000)
```

```
corrplot.mixed(C2.wa, tl.pos="lt", upper="square", tl.cex = 0.35, number.cex= 0.15,
mar=c(0,0,1,0),
```

```

main = "Correlación entre especies (p-value = 0.05)",
p.mat = pval,
sig.level = 0.05,
insig = "blank") # The text is bigger to plot in 3200 width

dev.off()

## pdf
## 2

#####
# Heat Maps

dir.wa <- "D:/Analysis R/Wood anatomy values_up04marz2019.csv"

data.raw.wa <- read.csv(dir.wa)
data.raw.wa <- data.raw.wa[, -1] # remove first two columns

data.raw.wa <- data.matrix(data.raw.wa) # to matrix

data.raw.wa <- t(data.raw.wa) # transpose

## Color palette & breaks

my_palette <- colorRampPalette(c("grey40", "yellow", "forestgreen"))(n = 299)

col_breaks = c(seq(-1,-0.5,length=100), # forestgreen
               seq(-0.49,0.5,length=100), # yellow
               seq(0.51,1,length=100)) # red

#####
# distance & hierarchical clustering

distance = dist(data.raw.wa, method = "euclidean")

HC_method <- c("complete", "single", "average", "median", "ward.D", "ward.D2", "centroid", "mcquitty")
HC_methodName <- c("clusterCm", "clusterS", "clusterA", "clusterM", "clusterW", "clusterW2", "clusterCt", "clusterMQ")

# H.Clusters
for (i in 1:8) {
  assign(paste("H_", HC_methodName(i), sep=""), hclust(distance, method = HC_method(i)))
}

HC_List <- list(H_clusterCm, H_clusterS, H_clusterA, H_clusterM, H_clusterW, H_clusterW2, H_clusterCt, H_clusterMQ)

# as.dendrogram
for (i in 1:8) {
  assign(paste("dend1_", HC_methodName(i), sep=""), as.dendrogram(HC_List[[i]]))
}

```

```

dend1_List <- list(dend1_clusterCm, dend1_clusterS, dend1_clusterA, dend1_clusterM, dend1_cluster
W, dend1_clusterW2, dend1_clusterCt, dend1_clusterMQ)

#####
library(dendextend)

source("D:/Analysis R/attr_access.R")
source("D:/Analysis R/color_branches.R")

## get some colors
cols_branches <- c("black", "cyan", "tan1", "blue")

## get the colors of the tips of the dendrogram:
methodName <- c("Cm", "S", "A", "M", "W", "W2", "Ct", "MQ")

for (i in 1:8) {
  assign(paste("col_labels_", methodName(i), sep=""), as.character(get_leaves_branches_col(dend1
_List((i)))) ) }

# Manual setting

col_labels_Cm <- as.character(get_leaves_branches_col(dend1_clusterCm))
col_labels_S <- as.character(get_leaves_branches_col(dend1_clusterS))
col_labels_A <- as.character(get_leaves_branches_col(dend1_clusterA))
col_labels_M <- as.character(get_leaves_branches_col(dend1_clusterM))
col_labels_W <- as.character(get_leaves_branches_col(dend1_clusterW))
col_labels_W2 <- as.character(get_leaves_branches_col(dend1_clusterW2))
col_labels_Ct <- as.character(get_leaves_branches_col(dend1_clusterCt))
col_labels_MQ <- as.character(get_leaves_branches_col(dend1_clusterMQ))

col_labels_List <-list(col_labels_Cm, col_labels_S, col_labels_A, col_labels_M, col_labels_W, col_la
bels_W2, col_labels_Ct, col_labels_MQ)

# Order of the data!

col_labels_Cm <- col_labels_Cm(order(order.dendrogram(dend1_clusterCm)))
col_labels_S <- col_labels_S(order(order.dendrogram(dend1_clusterS)))
col_labels_A <- col_labels_A(order(order.dendrogram(dend1_clusterA)))
col_labels_M <- col_labels_M(order(order.dendrogram(dend1_clusterM)))
col_labels_W <- col_labels_W(order(order.dendrogram(dend1_clusterW)))
col_labels_W2 <- col_labels_W2(order(order.dendrogram(dend1_clusterW2)))
col_labels_Ct <- col_labels_Ct(order(order.dendrogram(dend1_clusterCt)))
col_labels_MQ <- col_labels_MQ(order(order.dendrogram(dend1_clusterMQ)))

# Creating Heat Map
#if(!require(gplots)) install.packages("gplots")
library(gplots)

setwd("D:/Analysis R")

pdf("HeatMaps_Wood Anatomy_new all.pdf", onefile=TRUE, paper="a4r", width=0, height=0)

for (i in 1:8) {

  heatmap.2(data.raw.wa,

```

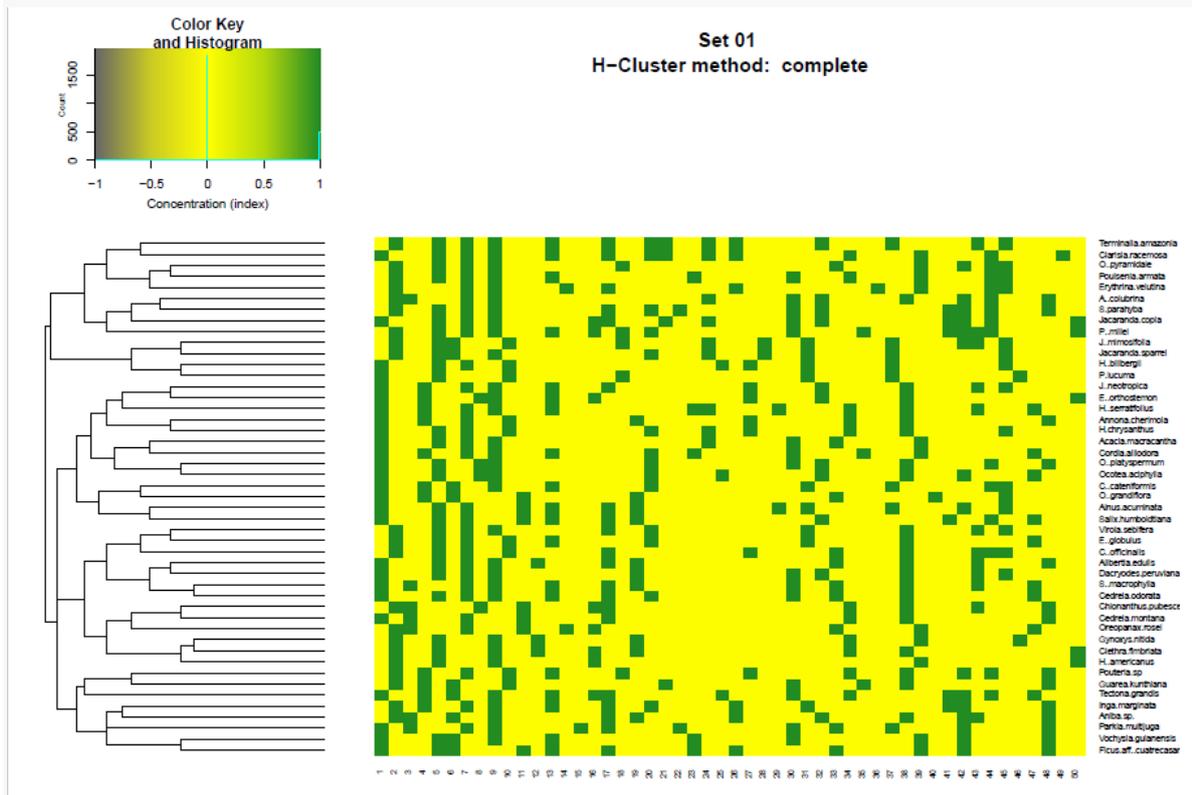
```

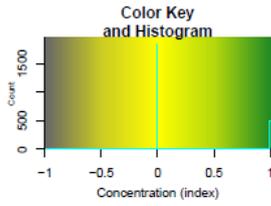
main = paste("Set 01", "\nH-Cluster method: ", HC_method(i),
sub= "YEAR",
trace="none",
margins =c(5,7),
col=my_palette,
breaks=col_breaks,
dendrogram="row",
Rowv = dend1_List((i)),
Colv = "NA",
key.xlab = "Concentration (index)",
cexRow =0.8,
cexCol = 0.8,
na.rm = TRUE,
RowSideColors = col_labels_List((i)), # to add nice colored strips
colRow = col_labels_List((i))
)
}

```

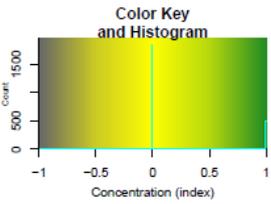
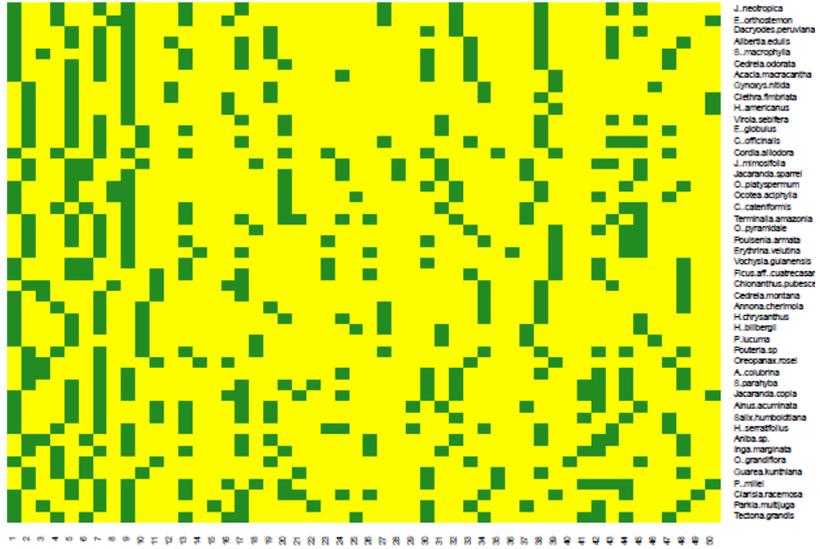
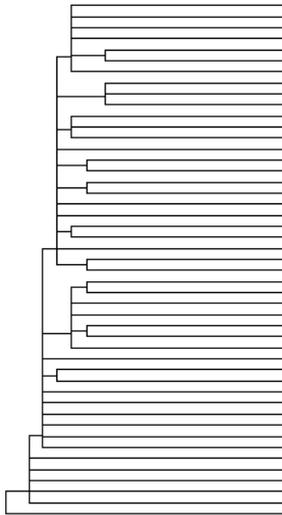
dev.off()

```
## pdf
## 2
```

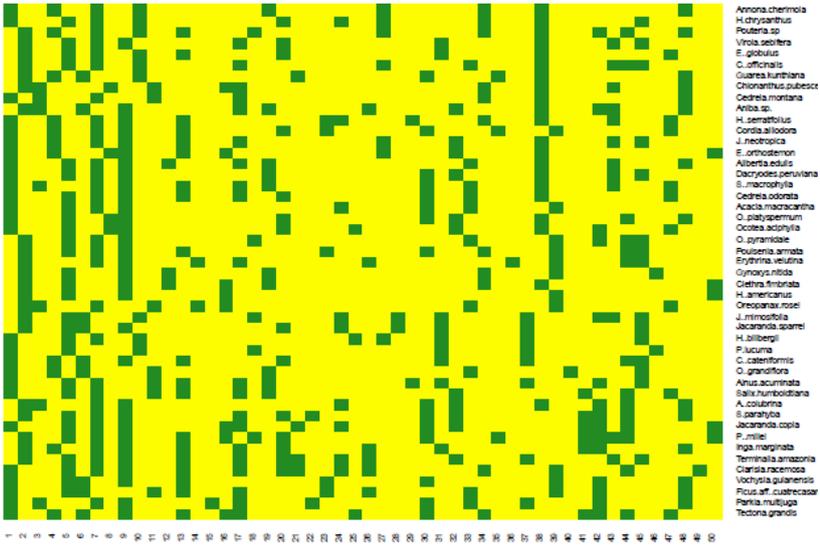
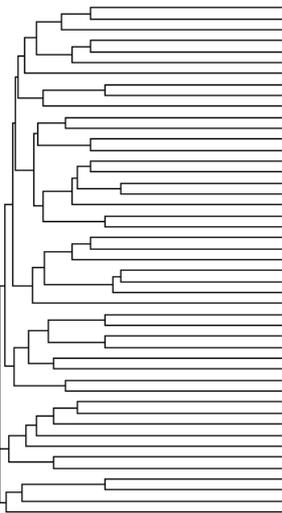


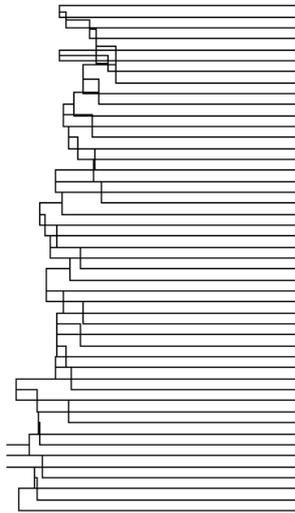
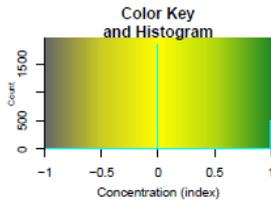


Set 01  
H-Cluster method: single

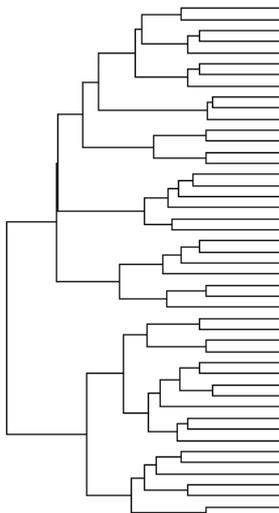
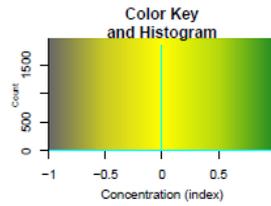
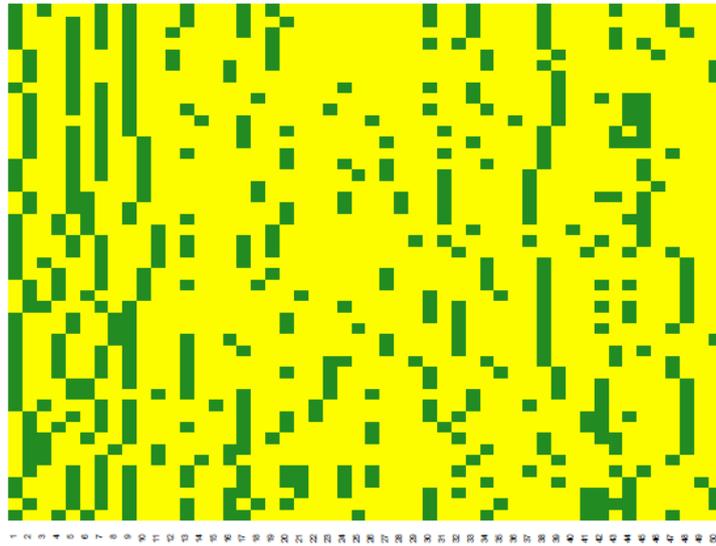


Set 01  
H-Cluster method: average

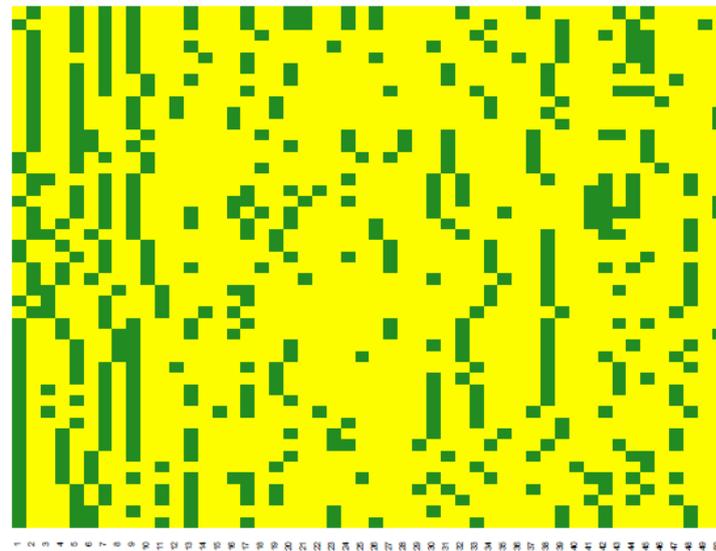


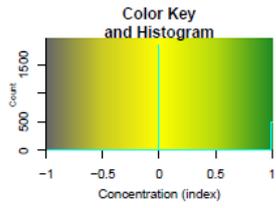


**Set 01**  
H-Cluster method: median

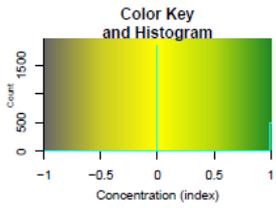
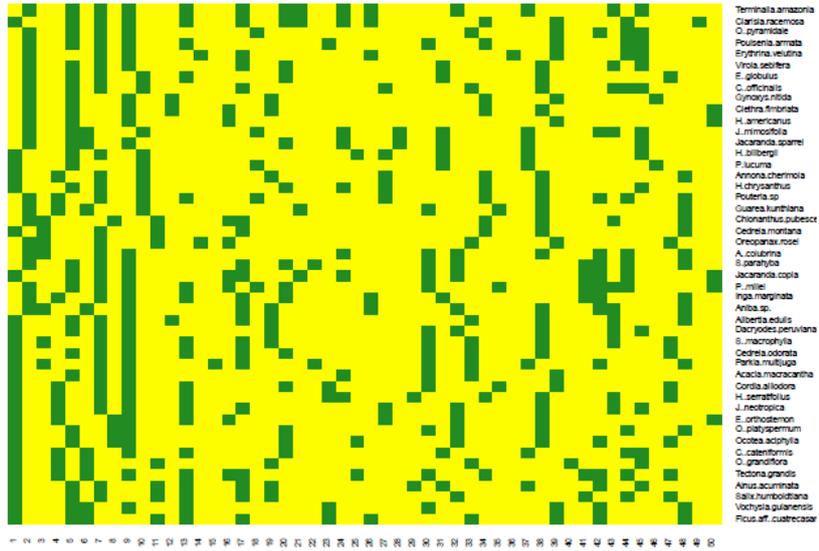
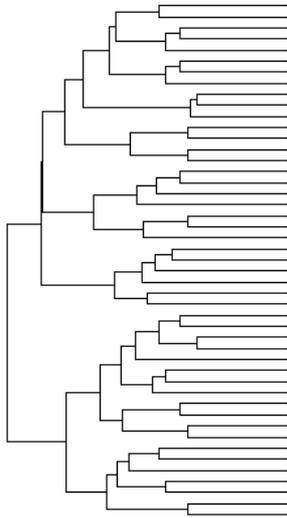


**Set 01**  
H-Cluster method: ward.D

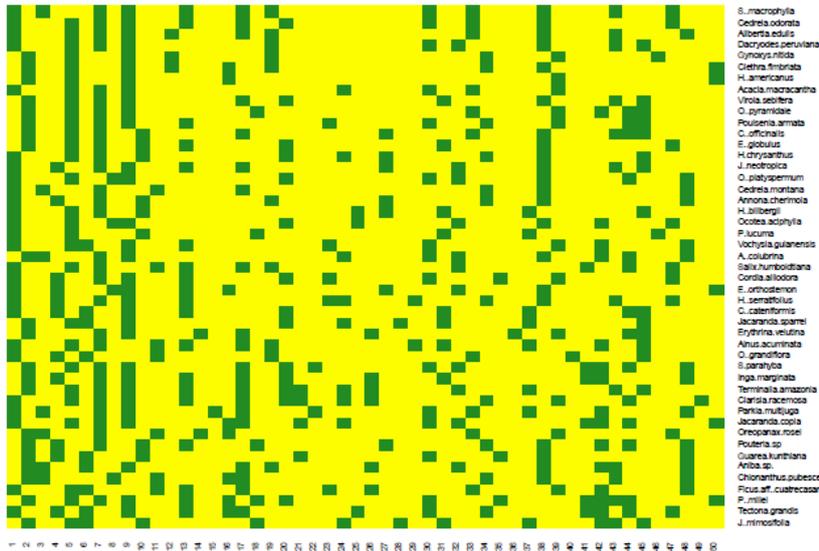
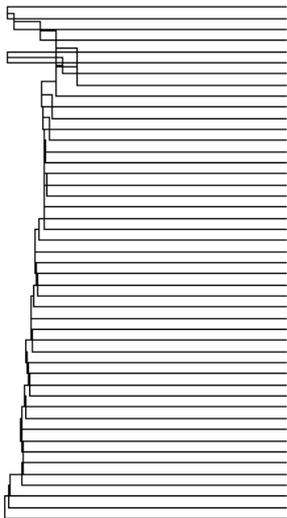


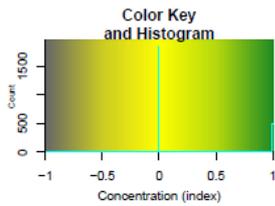


Set 01  
H-Cluster method: ward.D2

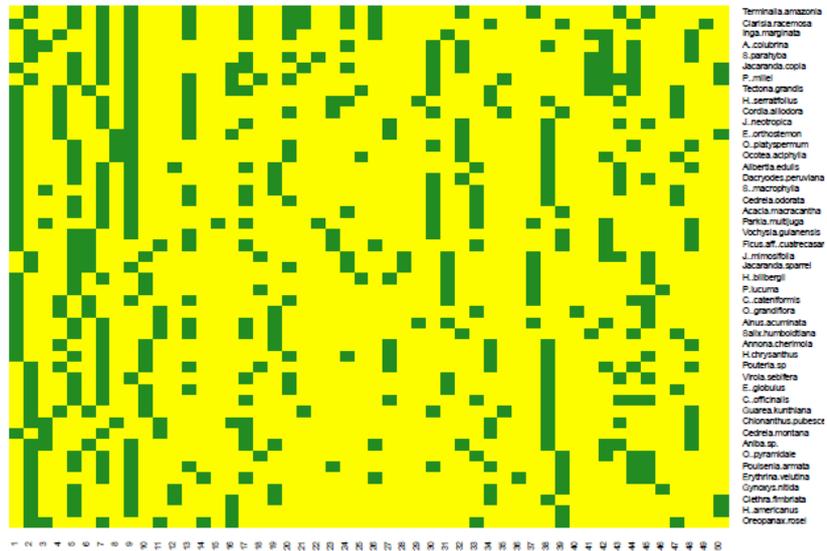
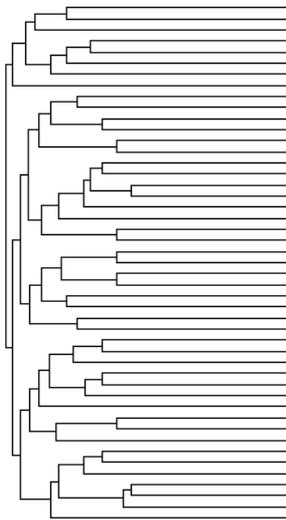


Set 01  
H-Cluster method: centroid





Set 01  
H-Cluster method: mcquitty



*#Export as jpeg*

```
jpeg(filename = "heatmap_D ward.jpg", width = 250, height = 150, units = "mm", res=1000)
```

```
heatmap.2(data.raw.wa,
  main = paste("Set 01", "\nH-Cluster method: ", HC_method(5)),
  sub= "YEAR",
  trace="none",
  margins =c(5,7),
  col=my_palette,
  breaks=col_breaks,
  dendrogram="row",
  Rowv = dend1_List((5)),
  Colv = "NA",
  key.xlab = "Concentration (index)",
  cexRow =0.5,
  cexCol = 0.8,
  na.rm = TRUE,
  RowSideColors = col_labels_List((5)), # to add nice colored strips
  colRow = col_labels_List((5))
)
```

```
dev.off()
```

```
# Getting only the dendrograms
graphics.off() # close/clean graphics windows
```

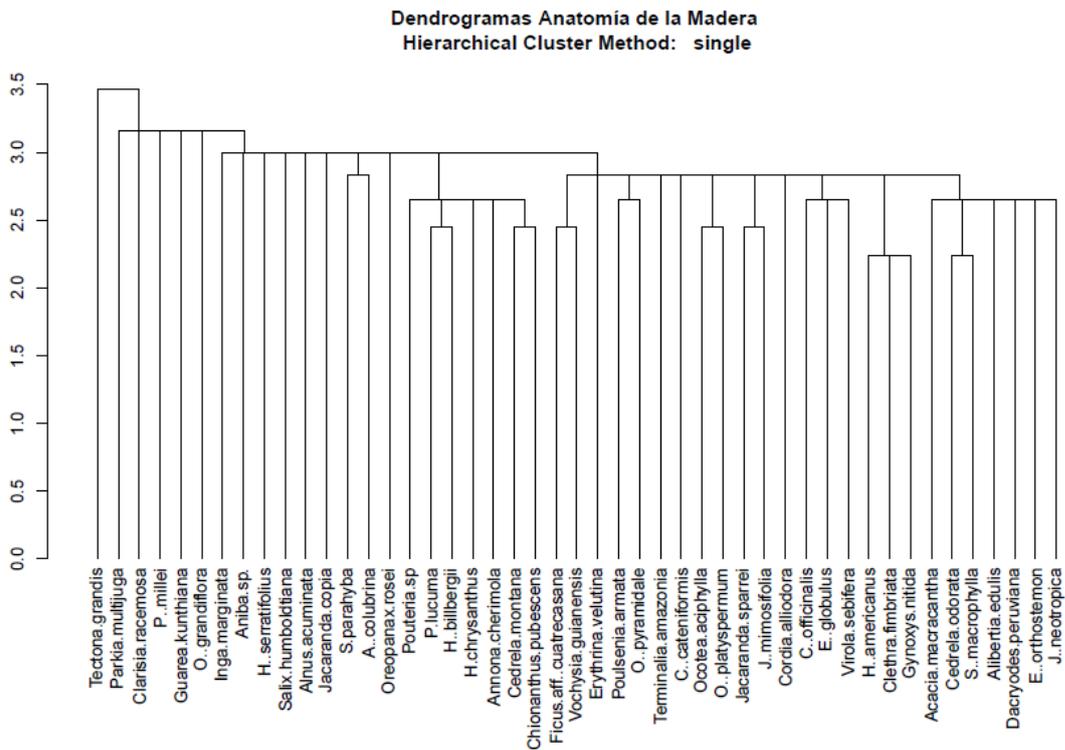
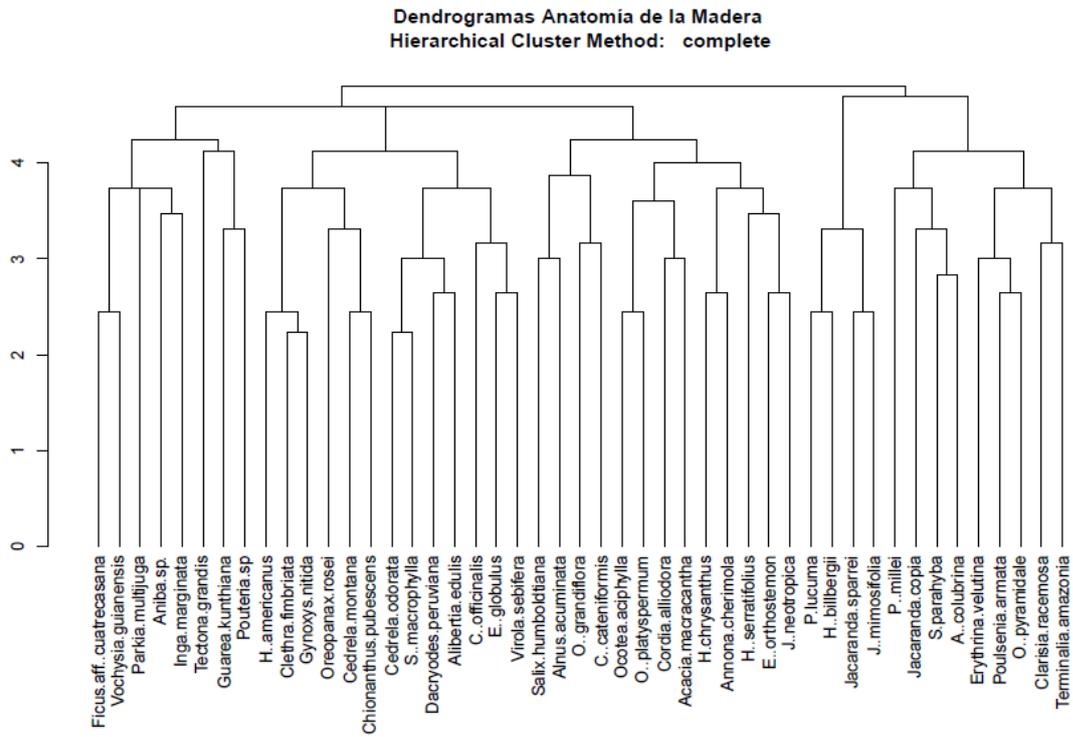
```
pdf("Dendrogramas_Wood Anatomy_new all.pdf", onefile=TRUE, paper="a4r", width=0, height=0)
par(mar=c(10, 3, 4, 2))
for (i in 1:8) {
  plot(dend1_List((i)), main = paste("Dendrogramas Anatomía de la Madera", "\nHierarchical Cluster
```

```
Method: ", HC_method(i) )
}
```

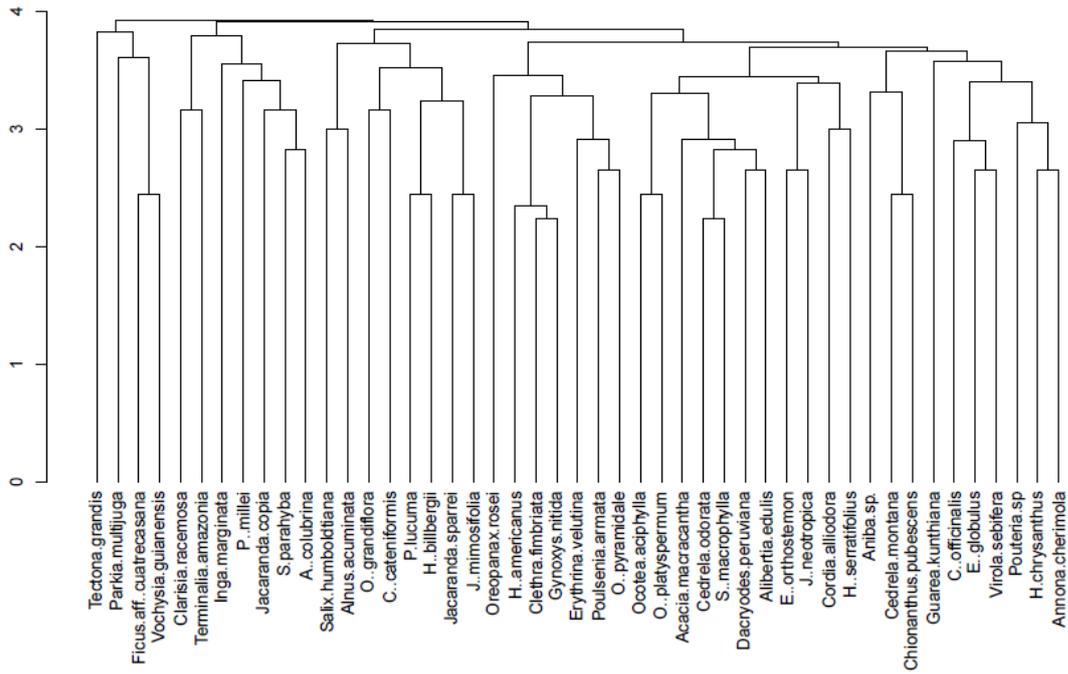
```
dev.off()
```

```
## null device
```

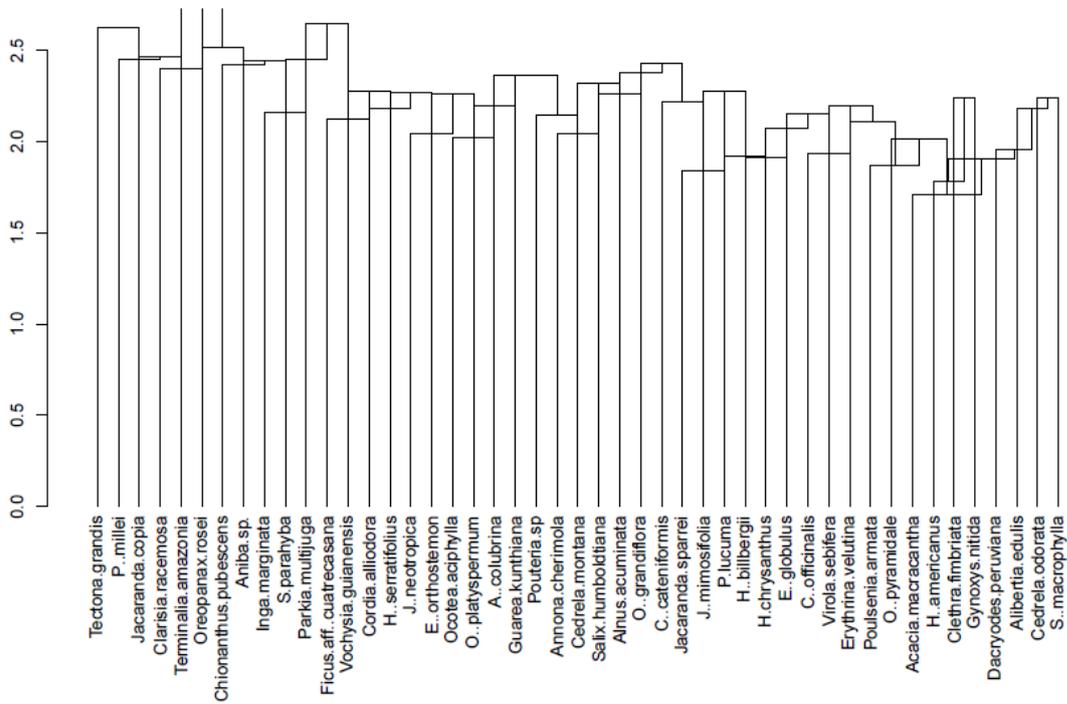
```
##      1
```



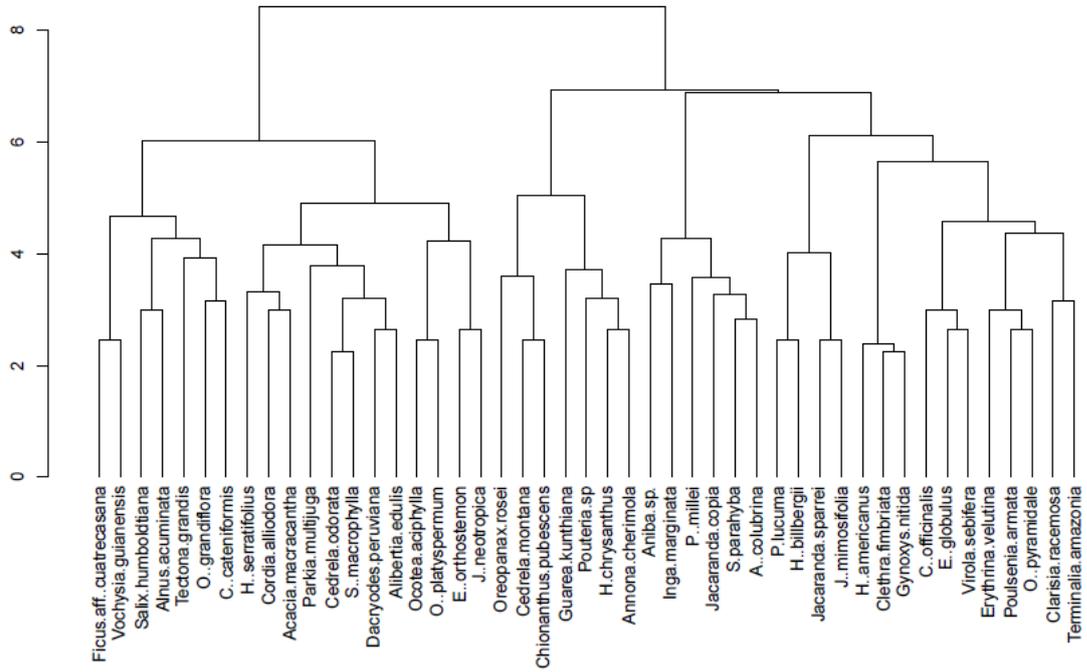
Dendrogramas Anatomía de la Madera  
Hierarchical Cluster Method: average



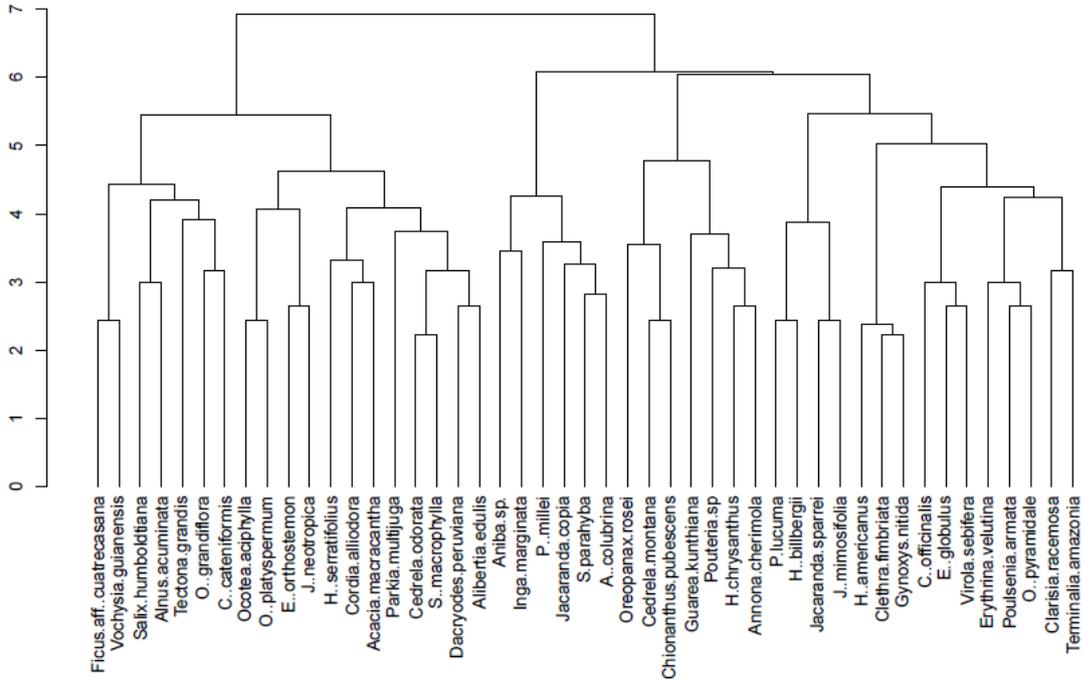
Dendrogramas Anatomía de la Madera  
Hierarchical Cluster Method: median



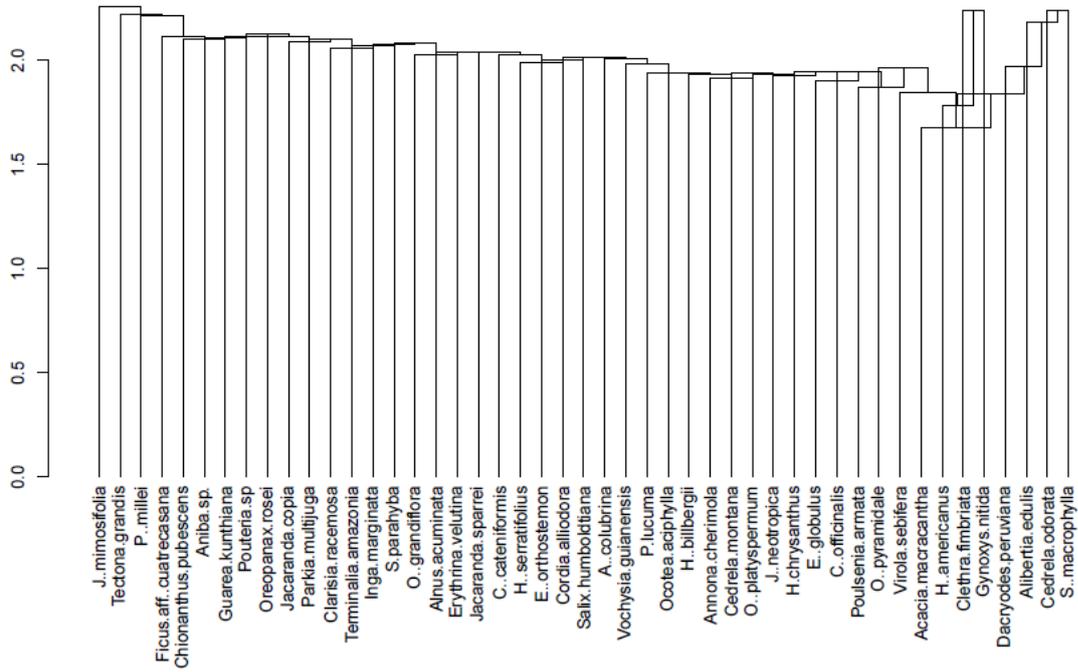
Dendrogramas Anatomía de la Madera  
Hierarchical Cluster Method: ward.D



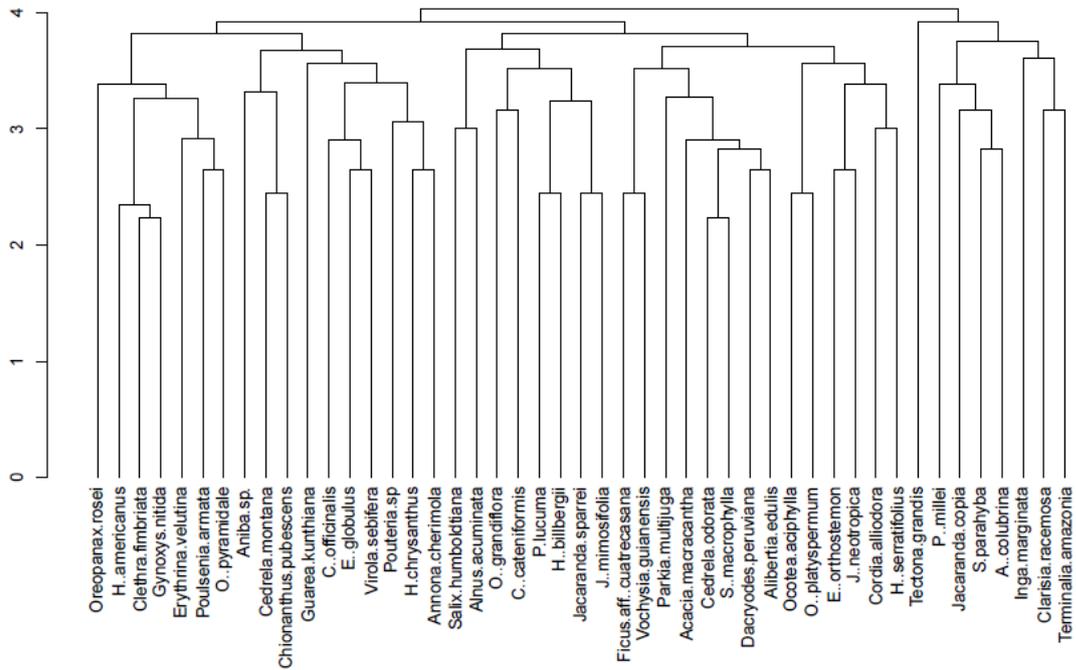
Dendrogramas Anatomía de la Madera  
Hierarchical Cluster Method: ward.D2



Dendrogramas Anatomía de la Madera  
Hierarchical Cluster Method: centroid



Dendrogramas Anatomía de la Madera  
Hierarchical Cluster Method: mcquitty



Anexo 9. Poster científico y certificado de participación en el evento organizado por la Universidad Nacional de Loja.

## EVALUACIÓN ANATÓMICA DE 50 ESPECIES FORESTALES EN EL SUR DE ECUADOR

Andrés Armijos Montaña<sup>1</sup>, Darwin Pucha Cofrep<sup>1</sup>

1. Universidad Nacional de Loja, Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales, Ciudadela Universitaria "Guillermo Falconi" 110111 Loja, Ecuador.

### 1 Introducción

La identificación de maderas a través de sus características anatómicas es de gran importancia en especies tropicales como una herramienta clave para el control y manejo forestal. Por ello, este estudio busca realizar una identificación automatizada de especies forestales a través de sus características anatómicas, utilizando métodos estadísticos de clasificación no supervisada en 50 especies forestales del sur de Ecuador.

### 2 Metodología

Se utilizó registros anatómicos de 50 especies forestales del Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales durante el período académico 2016-2018. Se identificaron 50 características anatómicas por cada especie en base a la normativa IAWA (Wheeler et al., 1989 y Richter et al., 2004). Posteriormente, el análisis estadístico para identificar similitudes entre especies, fue realizado a través de una clasificación no supervisada, dendrogramas con clustering tipo Ward D. (Figura 2), matrices de correlación ( $r$  significativo con  $p < 0.05$ , Tabla 1) y HeatMaps (Figura 3) con paquetes especializados dentro de la plataforma de programación estadística R.

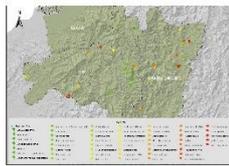


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo.

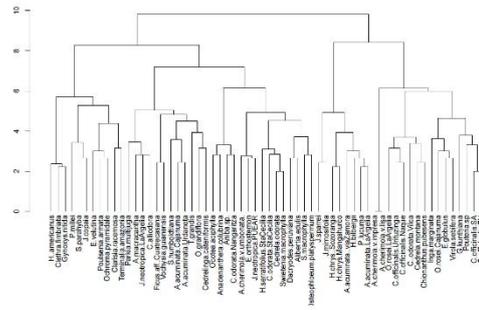


Figura 2. Dendrograma (Método de conglomeración Ward, D) de las 50 especies, agrupadas y clasificadas de acuerdo a su índice de similitud ( $r$ ) en base a sus características anatómicas.

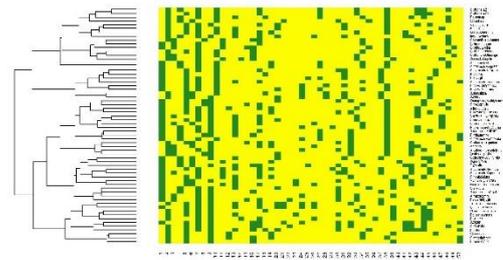


Figura 3. Mapa de calor (HeatMap) que muestra la ocurrencia (presente = color verde, ausente = amarillo) y distribución de las características anatómicas en las 50 especies forestales al sur de Ecuador.

### 3 Resultados

Tabla 1. Especies forestales con mayores índices de correlación tanto positivos como negativos. Las imágenes muestran los cortes anatómicos en sus tres planos: transversal, tangencial y radial.

Especie 1	Especie 2	Correlación	Valor p
<i>Oreocarpus rosei</i> (Araliaceae)	<i>Cinchona officinalis</i> (Rubiaceae)	0.65	3.19E-07
<i>Pouteria lucuma</i> (Sapotaceae)	<i>Alnus acuminata</i> (Betulaceae)	0.66	1.57E-07
<i>Jacaranda mimosifolia</i> (Bignonaceae)	<i>Eugenia orthostemon</i> (Myrtaceae)	-0.28	0.048
<i>Oreocallis grandiflora</i> (Proteaceae)	<i>Schizobolium paralyba</i> (Fabaceae)	-0.26	0.069

### 4 Conclusiones

El análisis estadístico de clasificación no supervisada resulta muy útil para identificar automáticamente especies forestales con características anatómicas comunes. Sin embargo, la familia y género de las especies no influye directamente en las propiedades anatómicas de la madera.

### Agradecimientos

A los estudiantes del sexto ciclo de la carrera de Ingeniería Forestal de los períodos académicos entre 2016-2018 y la Dra. Marieny Chacón por su participación y codirección en el proceso de investigación.

### Bibliografía

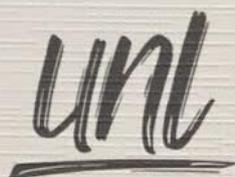
- Wheeler E. & P.E. Gasson (1989). IAWA List of microscopic features for hardwood identification: with an Appendix on non-anatomical information. Leiden: National Herbarium of the Netherlands. 10 (3): 219-332.
- Richter & P.E. Gasson (2004). IAWA List of Microscopic Features for Softwood Identification. Leiden: National Herbarium of the Netherlands. 25 (1): 1-70.



Universidad Nacional de Loja  
Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales

SEMANA DEL ESTUDIANTE  
EXPO FORESTAL  
11 al 15 de febrero de 2019, Loja, Ecuador





Facultad  
Agropecuaria y de  
Recursos Naturales  
Renovables

JORNADAS ACADÉMICAS  
SEMANA DEL ESTUDIANTE  
11 AL 15 DE FEBRERO DEL 2019



1859

Confieren el presente CERTIFICADO

A:

**ANDRÉS ROOSEVELT ARMIJOS MONTAÑO**

Por su participación y presentación en la Unidad de Titulación con el  
*Poster:*

**“EVALUACIÓN ANATÓMICA DE 50 ESPECIES FORESTALES EN EL SUR  
DE ECUADOR”,**

Realizado en la Carrera de Ingeniería Forestal de la Facultad  
Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad  
Nacional de Loja.

Loja, Febrero del 2019

Dr. Jorky Roosevelt Armijos Tituana, Mg. Sc  
DECANO DE LA FACULTAD AGROPECUARIA  
Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Ing. Johana C. Muñoz, MSc  
GESTORA ACADÉMICA  
CARRERA INGENIERÍA FORESTAL



# Anexo 9. Poster científico y certificado de participación en el evento organizado por la Universidad de Cuenca.

## WOOD ANATOMICAL EVALUATION OF 50 TREE SPECIES FROM SOUTHERN ECUADOR

Andrés Armijos Montaña<sup>1</sup>, Darwin Pucha Cofrep<sup>1</sup>

1. Universidad Nacional de Loja, Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales. Ciudadela Universitaria "Guillermo Falconí" 110111 Loja, Ecuador.

### 1 Introduction

The identification of woods through their anatomical characteristics is of great importance in tropical species as a key tool for forest control and management. Therefore, this study aims to carry out an automated identification of forest species through their anatomical characteristics, using statistical methods of unsupervised classification in 50 forest species in southern Ecuador.

### 2 Methodology

During the 2016-2018 academic period, anatomical records of 50 forest species were compiled by the Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales at the Universidad Nacional de Loja (UNL). Fifty anatomical characteristics were identified for each species based on IAWA normative (Wheeler et al., 1989 and Richter et al., 2004). Afterwards, a statistical analysis to identify similarities between species was performed by unsupervised classification, dendrograms (clustering type Ward D.) (Figure 2), correlation matrix (significant  $r$  with  $p < 0.05$ , Table 1) and heat maps (Figure 3) with specialized packages within the R statistical programming platform.



Figure 1. Location of sampling sites.

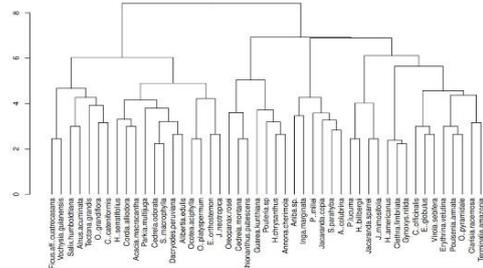


Figure 2. Dendrogram (Ward conglomeration method D.) of the 50 species, grouped and classified according to their similarity index ( $r$ ) on the basis of their anatomical characteristics.

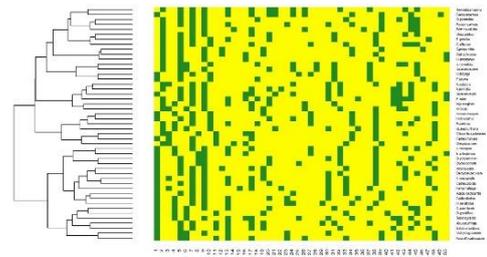


Figure 3. Heat map showing occurrence (present = green color, absent = yellow) and distribution of anatomical features in the 50 forest species in southern Ecuador.

### 3 Results

Table 1. Forest species with higher correlation indices, both positive and negative. The images show the anatomical cuts in their three planes: transverse, tangential and radial.

Species 1	Species 2	Correlation	p-value
<i>Jacaranda mimosifolia</i> (Bignoniaceae)	<i>Jacaranda sparreri</i> (Bignoniaceae)	0.66	2.38E-07
<i>Vochysia guianensis</i> (Vochysiaceae)	<i>Ficus aff. costaricensis</i> (Moraceae)	0.66	2.38E-07
<i>Handroanthus bilbergii</i> (Bignoniaceae)	<i>Aniba sp.</i> (Lauraceae)	-0.26	0.064
<i>Eugenia orthostemon</i> (Myrtaceae)	<i>Cedrela catalinaeformis</i> (Fabaceae)	-0.23	0.079

The species with the highest correlation were: *Virola sebifera*, which showed positive correlations with the following species: *Dacryodes peruviana* (0.5), *Eucalyptus globulus* (0.55), *Jacaranda sparreri* (0.5) and *Terminalia amazonia* (0.58). *Jacaranda mimosifolia* showed significant negative correlations with the following species: *Cedrela montana* (-0.25), *Cedrela odorata* (-0.19), *Clarisia racemosa* (-0.14), *Cordia alliodora* (-0.30) and *Eugenia orthostemon* (-0.28).

### 4 Conclusions

- The family and genus of the species does not directly influence the anatomical properties of the wood.
- The statistical analysis of unsupervised classification is very useful to automatically identify forest species with common anatomical characteristics.

### Acknowledgements

To the students of the VI semester of the Forestry Engineering School (UNL) in the academic period 2016-2018.

### References

- Wheeler E. & P.E. Gasson (1989). IAWA List of microscopic features for hardwood identification: with an Appendix on non-anatomical information. Leiden: National Herbarium of the Netherlands. 10 (3): 219-332.
- Richter & P.E. Gasson (2004). IAWA List of Microscopic Features for Softwood Identification. Leiden: National Herbarium of the Netherlands. 25 (1): 1-70.



Universidad Nacional de Loja  
Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales

International Conference: "Past plant diversity, climate change and mountain conservation"  
MARCH 11-15, 2019 - University of Cuenca, ECUADOR





**Certificate of Participation**

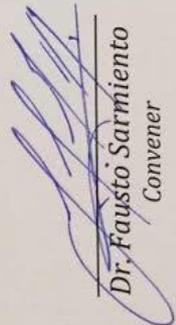
The organizers, members of the VULPES Project of the Belmont Forum certify that

**Andrés ARMIJOS MONTAÑO**

Participated with a **Poster** in the poster session of Vegetation Modeling within the International Conference on "Past plant diversity, climate change and mountain conservation," held at the University of Cuenca, Ecuador, March 11-15, 2019

  
Dr. Mario Donoso  
Local Committee

  
Dr. Rachid Cheddadi  
International Committee

  
Dr. Fausto Sarmiento  
Convener