



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y Recursos Naturales Renovables

Maestría en Biodiversidad y Cambio Climático

Rasgos anatómicos de la madera de especies comunes de bosque seco en la Reserva Natural Laipuna al sur de Ecuador

Trabajo de Titulación previo a la
obtención del título de Magister en
Biodiversidad y Cambio Climático

AUTORES:

Keyla Mabel Cartuche Peralta

Cesar Emiliano Feijoo Feijoo

DIRECTOR:

Ing. Darwin Alexander Pucha-Cofrep Ph.D

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 17 de mayo de 2023

Ing. Darwin Alexander Pucha Cofrep Ph.D

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Rasgos anatómicos de la madera de especies comunes de bosque seco en la Reserva Natural Laipuna al sur de Ecuador**, de autoría de los estudiantes **Keyla Mabel Cartuche Peralta** de identidad Nro. **1106042474** y **Cesar Emiliano Feijoo Feijoo**, con cédula de identidad Nro. **1150357778**, previa a la obtención del título de **Magíster en Biodiversidad y Cambio Climático**. Una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Nacional de Loja, apruebo y autorizo su presentación para los trámites de titulación



Firmado electrónicamente por:
DARWIN ALEXANDER
PUCHA COFREP

Ing. Darwin Alexander Pucha Cofrep Ph.D

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Nosotros, **Keyla Mabel Cartuche Peralta** y **Cesar Emiliano Feijoo Feijoo**, declaramos ser autores del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales por el contenido de la misma. Adicionalmente, aceptamos y autorizamos a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de nuestro Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**KEYLA MABEL
CARTUCHE PERALTA**



Firmado electrónicamente por:
**CESAR EMILIANO
FEIJOO FEIJOO**

Autora: Keyla Mabel Cartuche Peralta

Cédula de identidad: 1106042474

Fecha: 19, 05, 2023.

Correo electrónico:

keyla.cartuche@unl.edu.ec

Teléfono: 0989373603

Autor: Cesar Emiliano Feijoo Feijoo

Cédula de identidad: 1150357778

Fecha: 19, 05, 2023.

Correo electrónico:

cefeijoof@unl.edu.ec

Teléfono: 0980179568

Carta de Autorización por parte de los autores, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación

Nosotros, **Keyla Mabel Cartuche Peralta** y **Cesar Emiliano Feijoo Feijoo**, declaramos ser autores del Trabajo de Titulación denominado **Rasgos anatómicos de la madera de especies comunes de bosque seco en la Reserva Natural Laipuna al sur de Ecuador**, como requisito para optar por el título de **Magísters en Biodiversidad Cambio Climático**, autorizamos al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja, para que, con fines académicos, muestre la de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera producción intelectual en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, 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 del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los diez y nueve días del mes de mayo de dos mil veintitrés.

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**KEYLA MABEL
CARTUCHE PERALTA**



Firmado electrónicamente por:
**CESAR EMILIANO
FEIJOO FEIJOO**

Autora: Keyla Mabel Cartuche Peralta

Cédula de identidad: 1106042474

Dirección: Thomas Alva Edison y Av. Pio Jaramillo Alvarado (La Argelia)

Correo electrónico:

keyla.cartuche@unl.edu.ec

Teléfono: 0989373603

Autor: Cesar Emiliano Feijoo Feijoo

Cédula de identidad: 1150357778

Dirección: Pedro de Vergara entre Landangui y Jimbilla 37-29 (Cdla. del Chofer Labanda)

Correo electrónico: cfejiioof@unl.edu.ec

Teléfono: 0980179568

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Trabajo de Titulación: Ing. Darwin Alexander Pucha Cofrep, Ph.D.

Dedicatoria

Con mucho amor a mis padres *Diego Cartuche* y *Daysi Peralta*, quienes son el amor de mi vida, mi motor y mayor inspiración para seguir adelante.

A mi hermana *Thais Nicole*, mi compañera de vida, por su amor y amistad, y a mis hermanos *Ronny*, *Diego* y *Dieguito*, mis ángeles por siempre.

A mi mamita *Zoila* por sus consejos, amor y cariño; y abuelita *Gloria*, reflejo de mujeres valientes, a quienes amo y admiro.

A mis abuelitos, papito *Tuco* y abuelito *René* que recuerdo y guardo en mi corazón.

Keyla Mabel Cartuche Peralta

El presente trabajo de investigación, lo dedico a mi ángel en el cielo *Angelito Feijoo*, a mi madre *Glenda Feijoo*, quienes con amor, sabiduría y esfuerzo me han educado y enseñado a salir adelante; además, a mis hermanos *Ángel*, *Diego*, *Juan* y *Victor Hugo* 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.

Cesar Emiliano Feijoo Feijoo

Agradecimiento

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a las siguientes instituciones y personas que contribuyeron en el desarrollo de la presente investigación.

A la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, a la Maestría en Biodiversidad y Cambio Climático y principalmente al cuerpo docente por haber impartido sus conocimientos que contribuyeron a nuestra formación profesional.

A la HAWK Göttingen por haber hecho posible la visita científica a sus laboratorios, para la interacción con estudiantes del proyecto RESPECT que trabajan en temas afines y métodos actuales relacionados a la anatomía de la madera de árboles tropicales.

De la misma manera, expresar nuestra extensa gratitud a Darwin Pucha Ph. D y Jürgen Homeier Ph. D, miembros del comité asesor de este trabajo, quienes dedicaron su tiempo para despejar dudas y encaminar nuestro proyecto de investigación.

Agradecemos a Laura y Jessica, estudiantes de posgrado de la Universidad de Göttingen, por colaborarnos en el procesamiento de muestras y enseñarnos la metodología para determinar las propiedades hidráulicas de la madera.

Agradecemos a Abigail González, William Zhingre, estudiantes de posgrado de la Universidad Nacional de Loja, por colaborarnos dentro del Laboratorio de Anatomía de la Madera.

Finalmente, a nuestros familiares, amigos y compañeros omitidos involuntariamente pero que siempre nos apoyaron y ayudaron en el transcurso de nuestra formación profesional.

Keyla Cartuche y Cesar Feijoo

Índice de contenido

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenido	vii
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xi
Índice de anexos	xii
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	7
4.1. Ecosistemas forestales de bosque seco	7
4.1.1. Diversidad de especies forestales de bosque seco en la provincia de Loja	8
4.1.3. Estado actual de los bosques secos de la provincia de Loja	9
4.2. Condiciones de sitio para el crecimiento de especies forestales.....	10
4.3. Propiedades y características de la madera.....	12
4.3.1. Propiedades físicas de la madera	12
4.3.3. Propiedades hidráulicas de la madera.....	12
4.3.4. Características anatómicas de la madera	13
4.4. Herramientas estadísticas para el análisis de datos.....	16
4.4.1. Análisis de componentes principales (ACP)	16
4.4.2. Matriz de correlación	18
5. Metodología	20
5.1. Área de estudio	20

5.2.	Metodología para la obtención de rasgos anatómicos de la madera y la densidad de especies forestales.....	21
5.2.1.	Selección y obtención de especies evaluadas	21
5.2.2.	Fase de Campo.....	22
5.2.3.	Selección de individuos y registro de datos.....	22
5.2.4.	Recolección de muestras de madera.	23
-	Obtención de la densidad básica (DB) y contenido de humedad (CH) de la madera	23
5.2.5.	Fase de Laboratorio	24
5.2.6.	Cortes transversales del núcleo de madera.	24
5.2.7.	Tinción, lavado y deshidratación de las muestras.	25
5.2.5.	Análisis de datos	29
6.	Resultados	31
6.1.	Caracterización de la madera de 22 especies comunes de la Reserva Natural Laipuna	31
6.1.1.	Características cuantitativas: físicas, anatómicas y de conductividad específica teórica	31
6.1.2.	Características cualitativas: Rasgos anatómicos.....	38
6.2.	Evaluación de propiedades físicas, conductividad hidráulica específica y rasgos anatómicos de la madera de 22 especies forestales de la Reserva Natural Laipuna	60
6.2.1.	Relación de la densidad básica con las propiedades físicas, hidráulicas y rasgos anatómicos cuantitativos madera	60
6.2.2.	Relación de la densidad básica con los rasgos anatómicos cualitativos de la madera	63
6.2.3.	Relación de la densidad básica y la altitud	65
6.3.	Análisis de correlación entre la densidad básica y los rasgos anatómicos cuantitativos y cualitativos.....	67
7.	Discusión	71
7.1.	Caracterización de la madera de 22 especies comunes de la RNL.....	71

7.1.1.	Características cuantitativas: físicas, anatómicas y de conductividad específica teórica (Ce^{teo}).....	72
7.1.2.	Características cualitativas: Rasgos anatómicos.....	72
7.2.	Evaluación de rasgos anatómicos, físicos y conductividad específica teórica (Ce^{teo}) de la madera de 22 especies forestales de la Reserva Natural Laipuna.....	73
7.2.1.	Variables cuantitativas y densidad básica.....	73
7.2.2.	Variables cualitativas y densidad básica.....	74
8.	Conclusiones	76
9.	Recomendaciones	77
10.	Bibliografía	78
11.	Anexos	89

Índice de tablas:

Tabla 1. Lista de especies forestales comunes de la Reserva Natural Laipuna	22
Tabla 2. Características anatómicas IAWA cualitativas.....	27
Tabla 3. Características anatómicas cuantitativas.....	28
Tabla 4. Clasificación de las maderas por su densidad básica (DB) (Ghanzi, 2006)	30
Tabla 5. Clasificación de las maderas por su carácter de follaje (Ochoa de la Torre, 1999)..	30
Tabla 6. Características cuantitativas (físicas) de 22 especies a altitud de 600 m s.n.m. y 1 200 m s.n.m.	32
Tabla 7. Características cuantitativas de 22 especies a altitud de 600 m s.n.m. y 1 200 m s.n.m.	36
Tabla 8. Características cualitativas de <i>Albizia multiflora</i> (Kunth) Barneby & J.W.Grimes	39
Tabla 9. Características cualitativas de <i>Bursera graveolens</i> Triana & Planch	39
Tabla 10. Características cualitativas de <i>Ceiba trischistandra</i> (A. Gray) Bakh.....	40
Tabla 11. Características cualitativas de <i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng	41
Tabla 12. Características cualitativas de <i>Cordia lutea</i> Lam.	41
Tabla 13. Características cualitativas de <i>Eriotheca ruizii</i> (K.Schum.) A.Robyns.....	42
Tabla 14. Características cualitativas de <i>Erythrina velutina</i> Willd.	43
Tabla 15. Características cualitativas de <i>Ipomoea wolcottiana</i> Rose	44
Tabla 16. Características cualitativas de <i>Loxopterygium huasango</i> Spruce ex Engl.....	44
Tabla 17. Características cualitativas de <i>Morisonia flexuosa</i> L.	45
Tabla 18. Características cualitativas de <i>Morisonia scabrada</i> (Kunth) Christenh. & Byng	46
Tabla 19. Características cualitativas de <i>Piscidia carthagenensis</i> Jacq.	46
Tabla 20. Características cualitativas de <i>Acacia macracantha</i> Willd.....	48
Tabla 21. Características cualitativas de <i>Eriotheca ruizii</i> (K.Schum.) A.Robyns.....	48
Tabla 22. Características cualitativas de <i>Erythrina velutina</i> Willd.	49
Tabla 23. Características cualitativas de <i>Fulcaldea laurifolia</i> (Bonpl.) Poir	50
Tabla 24. Características cualitativas de <i>Geoffroea spinosa</i> M.de Moussy	51
Tabla 25. Características cualitativas de <i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O.Grose	51
Tabla 26. Características cualitativas de <i>Libidibia glabrata</i> (Kunth) C.Cast. & G.P.Lewis ...	52
Tabla 27. Características cualitativas de <i>Morisonia petiolare</i> (Kunth) Christenh. & Byng....	53
Tabla 28. Características cualitativas de <i>Pisonia aculeata</i> L	54
Tabla 29. Características cualitativas de <i>Psidium rostratum</i> McVaugh	54
Tabla 30. Características cualitativas de <i>Terminalia valverdeae</i> A.H.Gentry.....	55

Tabla 31. Características cualitativas de <i>Triplaris cumingiana</i> Fisch. & C.A.Mey.	56
--	----

Índice de figuras:

Figura 1. Estructura de la madera: vasos o tráqueas. fibras y radios celulares (Reiterer et al., 2002).	14
Figura 2. Parénquima axial. (Arbo, 2019). Nota. Vista anatómica tangencial, transversal y radial de la madera.	15
Figura 3. Elipsoide representando la variabilidad (Restrepo et al., 2012).	17
Figura 4. Ubicación del área de estudio dentro de la “Reserva Natural Laipuna”, cantón Macará, Ecuador.	21
Figura 5. Recolección de muestras de madera. a. Extracción de los núcleos de madera. b. Almacenamiento y etiquetado de los núcleos de madera. c. Medición del grosor de la corteza	23
Figura 6. Medición, pesado y secado de los núcleos de madera. a. Medición de la longitud del núcleo de madera. b. Pesado del núcleo de madera. c. Secado del núcleo de madera.	24
Figura 7. Cortes anatómicos de los núcleos de madera en el Laboratorio.	25
Figura 8. Tinturado y deshidratado de los cortes anatómicos de los núcleos de madera.	25
Figura 9. Sellado permanente de las muestras de los núcleos de madera.	26
Figura 10. Digitalizado de las muestras obtenidas de núcleos de madera	27
Figura 11. Resultado de clasificación de las maderas por su densidad	33
Figura 12. Densidad básica (DB - g/cm ³) de la madera presentada por familias botánicas. ...	34
Figura 13. Grosor de la corteza del tronco con respecto a la familia botánica.	35
Figura 14. Análisis de correlación entre la altitud y los rasgos de la madera de las especies evaluadas (p=0,05). El color rojo representa correlación positiva y el color azul representa correlación negativa.	58
Figura 15. Análisis de correlación de (a) <i>Eriotheca ruizii</i> (n=8) y (b) <i>Erythrina velutina</i> (n=8) con un p=0,05.	59
Figura 16. Análisis de componentes principales (ACP) de las características anatómicas cuantitativas de 22 especies forestales comunes de la R. N Laipuna respecto a su densidad y grupo foliar. a) Características cuantitativas con la categoría de densidad básica de la madera. b) Características cuantitativas de acuerdo con el grupo foliar.	62

Figura 17. Análisis de componentes principales de las características anatómicas cualitativas de 22 especies forestales comunes de la R. N Laipuna. a) Características cualitativas con la categoría de densidad básica de la madera (DB). b) Características cualitativas de acuerdo al grupo foliar.....	64
Figura 18. Análisis de componentes principales de características anatómicas cuantitativas y características físicas de la madera tres individuos por especie de la R.N. Laipuna a) Individuos de 600 m.s.n.m. b) Individuos 1 200 m s.n.m.....	66
Figura 19. Análisis de correlación entre 22 especies forestales de la R. N Laipuna entre la densidad de la madera y rasgos físicos y cuantitativos (p= 0,05).	68
Figura 20. Análisis de correlación entre 22 especies forestales de la RNL entre la densidad de la madera y rasgos anatómicos cualitativos. Correlación de Pearson (p= 0,05). El color rojo representa correlación positiva y el color azul representa correlación negativa.	69

Índice de anexos:

Anexo 1. Listado completo de características anatómicas de la normativa IAWA en español e inglés	89
Anexo 2. Lista de especies seleccionadas para el muestreo al azar dentro del rango altitudinal	94
Anexo 3. Mapas de parcelas permanentes ubicadas en La Reserva Natural Laipuna.	96
Anexo 4. Metodología para la obtención de datos cuantitativos anatómicos de la madera...	102
Anexo 5. Códigos R para el análisis de componentes principales y análisis de correlación de Pearson	106
Anexo 6. Resultados de importancia de componentes principales	108
Anexo 7. Certificado de traducción del Abstract.....	109

Lista de abreviaciones

RNL → *Reserva Natural Laipuna*

LAF- 600 → *Parcela permanentes establecidas a 600 m s.n.m*

LAF- 1 200 → *Parcela permanentes establecidas a 1 200 m s.n.m*

ACP → *Análisis de componentes principales*

DB → *Densidad básica de la madera (g/cm^3)*

CE → *Conductividad específica ($\text{kg m}^{-1} \text{MPa}^{-1} \text{s}^{-1}$)*

GC → *Grosor de la corteza (mm)*

CH → *Contenido de humedad (%)*

d_{um} → *Diámetro promedio de vasos (μm)*

DE_{um} → *Desviación estándar del diámetro de vasos (μm)*

DAP → *Diámetro a la altura del pecho (cm)*

HT → *Altura total promedio de la especie (m)*

Alumen → *Área del lumen (mm^2)*

VD → *Densidad de vasos (n mm^{-2})*

1.ACv → *Anillos de crecimiento visible*

2.ACpc → *Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes*

3.AP → *Anillo porosos*

4.AS → *Anillo semiporosos*

5.AD → *Anillo con poros difusos*

6.VBT → *Vasos en bandas tangenciales*

7.VPR → *Vasos en patrón radiales o diagonales*

8.VPD → *Vasos en patrones dendríticos*

9.VSOL → *Vasos exclusivamente solitarios (90% o más)*

10.VGR → *Vasos en grupos radiales de 4 o más*

11.VCOM → *Vasos en grupos comunes (de 3 o más vasos)*

12.VS.PA → *Vaso solitario contorno angular*

56.TICOM → *Tilosis común*

57.TISC → *Tilosis esclerótica*

58.GOMS → *Gomas y otros depósitos en vasos del duramen*

68.FPF → *Fibras de pared muy fina*

69.FPDG → *Fibras de pared delgada a gruesa*

70.FPG → *Fibras de paredes muy gruesas*

76. PAD → *Parénquima axial difuso*

77.PADA → *Parénquima axial difuso en agregados*

78.PA.PE → *Parénquima axial paratraqueal escaso*

79.PA.V → *Parénquima axial vasicéntrico*

80.PA.ALI → *Parénquima axial aliforme*

81.P.ADAL → *Parénquima axial adiamantado-aliforme*

82.P.ALAL → *Parénquima axial alado-aliforme*

83.PA.CO → *Parénquima axial confluyente*

84.PA.UPA → *Parénquima axial unilateral paratraqueal*

85.PA.BANA → *Parénquima axial en bandas con más de tres células de ancho*

86.PA.BANF → *Parénquima axial en bandas finas o líneas de hasta tres células de ancho*

87.PA.RE → *Parénquima axial reticulado*

88.PA.ES → *Parénquima axial escalariforme*

89.PA.MARG → *Parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales*

1. Título

Rasgos anatómicos de la madera de especies comunes de bosque seco en la Reserva Natural Laipuna al sur de Ecuador

2. Resumen

Los bosques secos del Ecuador están distribuidos al centro y sur de la región occidental de los Andes entre 0 – 1 000 m s.n.m. A pesar de su alta diversidad y compleja dinámica de estos los ecosistemas forestales, se conoce poco de sus rasgos funcionales, especialmente de los rasgos anatómicos de la madera, y sus procesos de adaptación en bosque seco *in situ*. Por ello, este estudio caracterizó anatómicamente a 22 especies forestales y determinó su densidad básica a 600 y 1 200 m s.n.m. Con la ayuda de un barrenado de Pressler se obtuvieron dos núcleos de madera de 5 cm de longitud de 8 árboles por especie. Estos núcleos permitieron determinar la densidad básica de la madera y las características anatómicas cuantitativas y cualitativas. Adicionalmente, se determinó los cambios en las variables con análisis de componentes principales y gráficos de correlación. Los resultados mostraron que, a 600 m s.n.m. las especies tienen densidad baja, alto contenido de humedad, mayor área de lumen y diámetro de vasos, menor densidad de vasos, mayor conductividad específica, vasos solitarios, y parénquima apotraqueal y paratraqueal. Mientras que, a 1 200 m s.n.m. las especies tienen alta densidad, menor contenido de humedad, mayor densidad de vasos, menor área de lumen y diámetro de vasos, menor conductividad, vasos agrupados y parénquima escaso. Este estudio demostró que a diferente altitud la anatomía de la madera varía. Se consideró que estas variaciones están principalmente influenciadas por las diferencias de temperatura y humedad relativa entre sitios. Este tipo de investigaciones permite conocer la adaptabilidad y resiliencia de especies forestales en distintas condiciones climáticas, ya que los rasgos anatómicos de la madera pueden ser indicadores biológicos de sitio. Por ello, es necesario ampliar estos estudios, para contribuir a la generación de conocimiento de especies más resilientes al cambio global.

Palabras clave: Anatomía de la madera, rasgos funcionales, densidad básica de la madera, altitud, análisis cuantitativo y cualitativo, caducifolio.

2.1. Abstract

The dry forests of Ecuador are located in the central and southern part of the western Andes region between 0 – 1 000 m above sea level. Despite their high diversity and the complex dynamics of these forest ecosystems, little is known about their functional traits, especially the anatomical features of the wood, and their adaptation processes in situ in dry forests. Therefore, this study anatomically characterized 22 forest species and determined their basic density at 600 and 1 200 m above sea level. With the help of a Pressler borer, two 5 cm long wood cores were obtained from 8 trees per species. These cores allowed the determination of the basic density of the wood and the quantitative and qualitative anatomical characteristics. Additionally, changes in the variables were determined with principal component analysis and correlation graphs. The results showed that at 600 m above sea level, the species have low density, high moisture content, larger lumen area and vessel diameter, lower vessel density, higher specific conductivity, solitary vessels, and apotracheal and paratracheal parenchyma. Meanwhile, at 1 200 m above sea level, the species have high density, lower moisture content, higher vessel density, smaller lumen area and vessel diameter, lower conductivity, grouped vessels, and rare parenchyma. This study demonstrated that the anatomy of wood varies at different altitudes. These variations are mainly influenced by differences in temperature and relative humidity between sites. This type of research allows understanding the adaptability and resilience of forest species in different climatic conditions, as the anatomical traits of the wood can be biological indicators of the site. Therefore, it is necessary to expand these studies, to contribute to the generation of knowledge of species more resilient to global change.

Keywords: Wood anatomy, functional traits, wood basic density, altitude, quantitative and qualitative analysis, deciduous.

3. Introducción

Los bosques secos en Ecuador son zonas relativamente pobres en especies en comparación a los bosques húmedos, a pesar de ello se destacan por sus altos niveles de endemismo y suministran de productos maderables y no maderables a la población para su subsistencia (Granda y Guamán, 2006). En Ecuador los bosques secos se encuentran en el centro y sur de la región occidental de los Andes, en las provincias de Imbabura, Esmeraldas, Manabí, Guayas, El Oro y Loja y su rango altitudinal varía entre 0 – 1 000 m s.n.m. Originalmente cerca del 35 % (28 000 km²) del Ecuador occidental estaba cubierto por bosque seco, para finales de la década de los años 90, se estimó que el 50 % ha desaparecido (Sierra, 1999). A pesar de ello, este tipo de ecosistemas están constantemente amenazados, y son los menos estudiados (Pizano y García, 2014).

El sur de Ecuador es una zona de alta diversidad biológica amenazada constantemente (Aguirre y Kvist, 2005). Es así, que se establece como problema principal de esta investigación la limitada información sobre los rasgos anatómicos de la madera en especies forestales de bosque seco en la región sur del país. Lo que conlleva al desconocimiento de la ecología de las especies, y representa una dificultad al momento de identificarlas y caracterizarlas, haciendo que su valor de conservación permanezca infravalorado a lo largo del tiempo (Hampe y Petit, 2005). La cobertura vegetal se ha reducido de forma acelerada en los últimos años (González-Jaramillo et al., 2016). Se estima que entre el 60 y 75 % de bosque seco ha desaparecido (Sierra et al. 1999; Kvist, 2005; Espinosa et al., 2012, Grijalva et al., 2012) por lo que se enfrenta a las tasas de deforestación más altas de Sudamérica (Mosandl et al., 2008), esto principalmente a causa de actividades antropogénicas que afectan niveles ecológicos y sociales. En la actualidad debido a la diversidad y compleja dinámica de crecimiento de los ecosistemas forestales, se conocen poco los rasgos microscópicos cuantitativos y cualitativos de la madera y su adaptación en ecosistemas de bosque seco. La composición y estructura vegetal de estos ecosistemas se desarrolla en condiciones climáticas extremas (Montaño y Roa, 2012; Mosandl et al., 2008).

Los filtros ambientales pueden restringir el rango de los valores de rasgos anatómicos posibles en un sitio determinado. Así, en sitios donde la sequía es extrema, especies vegetales que no tengan características que les permita tolerarla o evadirla, como esclerofilia y caducifoliedad foliar, pequeños vasos conductores o raíces profundas, serán excluidas generando una reducción en el rango de las características de la comunidad en ese sitio, por

ende, es de suma importancia conocer las respuestas de las características para poder hacer un manejo forestal de acuerdo a la ecología de la especie y ecosistemas (Díaz et al., 1998).

Los bosques secos aparte de proporcionar productos forestales madereros y no madereros, también son el suministro de servicios ecosistémicos clave como el equilibrio del flujo de agua y la prevención de la erosión (Pizano y Garcia, 2014). Conocer y analizar rasgos de las especies vegetales también permite realizar evaluaciones completas y técnicas de ecosistemas en comparación a los resultados que se obtienen meramente de estudios taxonómicos (Pla et al., 2012). Así mismo, estudios sobre ecosistemas basados en métodos que contemplan la ecología de las especies contribuyen con información relacionada al esfuerzo energético de las plantas en la construcción de sus rasgos adaptativos estructurales. Lo que permite estudiar la ecología de las comunidades ecológicas y su adaptación al medio circundante mediante el análisis de sus rasgos evaluados (Díaz y Cabido, 2001; Swenson, y Enquist, 2008).

Anatómicamente el tejido xilemático constituye uno de los cuatro rasgos funcionales en las plantas. Este rasgo se relaciona estrechamente con las estrategias ecológicas de las plantas, debido a su asociación con el transporte de agua, nutrientes y resistencia principalmente a la sequía. Es por ello, que el estudio de las características anatómicas de la madera permite conocer e interpretar las respuestas de los árboles frente a las variaciones climáticas que se experimentan actualmente (Baas et al., 2016). Además, los tejidos anatómicos están directamente relacionados con rasgos que influyen en soporte mecánico, transporte de agua y capacidad de almacenamiento, también cumplen funciones compartidas, es decir son polifuncionales, como las fibras y las traqueidas que desempeñan importancia en aspectos mecánicos, metabólicos e hidráulicos (Chave et al., 2009).

Además, al abordar la dimensión anatómica dentro del estudio de ecosistemas y comunidades ecológicas es posible conocer las estrategias de vida de las especies y el impacto de los procesos ecosistémicos (Violle, 2007). Sin embargo, León y Espinoza de Pernía (2001), aseguran que las condiciones medio ambientales tienen una influencia directa sobre la estructura de la madera, lográndose localizar especies que exponen una alta variabilidad; por ejemplo, en cuanto al diámetro de poros o frecuencia de los mismos, debido a la variación ambiental.

Por lo que, esta investigación se enfoca en el estudio de la diversidad de rasgos anatómicos de la madera de 22 especies forestales de bosque seco. Esto mediante la identificación y caracterización de los rasgos anatómicos de especies forestales dentro de un gradiente altitudinal de la Reserva Natural Laipuna en bosque seco al sur de Ecuador, y a la

evaluación de la relación con otros rasgos. De modo que, esta información pueda contribuir en la toma de decisiones, y sea considerado como insumo clave para la gestión, conservación y protección de este tipo de ecosistemas basándose en una metodología replicable y con bases técnicas que implican en el estudio la ecología de las especies y su adaptabilidad a las variaciones climáticas actuales.

Por lo cual, los objetivos que planteó esta investigación fueron:

Objetivo general:

Generar información sobre la diversidad de rasgos anatómicos de la madera de 22 especies forestales en una gradiente altitudinal de la Reserva Natural Laipuna, cantón Macará, provincia de Loja.

Objetivos específicos:

- Caracterizar la anatomía de la madera de 22 especies forestales de la Reserva Natural Laipuna al sur de Ecuador.
- Evaluar los rasgos anatómicos y la densidad de la madera de 22 especies forestales de la Reserva Natural Laipuna al sur de Ecuador.

4. Marco teórico

4.1. Ecosistemas forestales de bosque seco

Los bosques secos son formaciones vegetales con una precipitación anual menor a 1 600 mm, con una temporada seca de aproximadamente cinco a seis meses, en que la precipitación es menor a 100 mm (Pennington et al., 2000). Consecuentemente, los procesos ecológicos son marcadamente estacionales y la productividad primaria neta es menor que en los bosques húmedos, porque sólo se da en la temporada de lluvias. Estos bosques además son de menor altura y área basal que los bosques húmedos (Moony et al., 1995; Linares-Palomino, 2004a, 2004b).

En Ecuador los bosques secos se encuentran continuos en la costa y aislados en los valles secos en el callejón interandino. Son ecosistemas que se caracterizan por ser desérticos, xéricos y pluvioestacionales. Los bosques de la costa forman parte de la región tumbesina, que aproximadamente abarca 135 000 km², compartidos entre Ecuador y Perú, desde la provincia de Esmeraldas en el norte del Ecuador hasta el departamento de La Libertad al noroeste de Perú. Estas áreas son conocidas por su alto nivel de endemismo de especies de flora (Madsen, 2002), de 55 aves y ocho mamíferos endémicos (Stattersfield et al., 1998).

Aguirre et al. (2006) describe las formaciones de bosques secos del Ecuador y se enlistan las especies de árboles y arbustos que crecen en estos bosques (a partir de 3 m de altura). Además, se reconocen siete formaciones de bosques secos: Matorral seco espinoso, bosque seco deciduo, bosque seco semideciduo, bosque seco montano bajo, bosque seco interandino del sur, bosque seco interandino oriental y bosque seco interandino del norte. Se han registrado 275 especies de árboles en los bosques secos del Ecuador y las formaciones con mayor número de especies son el bosque seco semideciduo (148) y el bosque seco deciduo (139), mientras que las provincias con más especies son Loja y Guayas. Actualmente casi no quedan extensiones intactas del bosque seco semideciduo ni de las tres formaciones de bosque seco interandino (Aguirre et al., 2006). Según Aguirre et al., (2006), las especies registradas en los bosques secos del Ecuador, se distribuyen en dos formaciones, así: en el bosque seco semideciduo (148) y el bosque seco deciduo (139). Las provincias con más especies son Loja (219), Guayas (169) y Manabí (143).

En la costa, los bosques del litoral (Guayas, Manabí) son parecidos a los bosques de tierras bajas del sur (Loja, El Oro) y las formaciones boscosas de la costa también son parecidas, en particular los bosques secos deciduos y los bosques secos semideciduos (Aguirre et al., 2018). Igualmente, las formaciones boscosas de la sierra son parecidas; especialmente los bosques montanos bajos y los bosques secos interandinos del sur y del norte. El bosque

seco interandino oriental es distinto. Las especies de la familia Leguminosae dominan los bosques secos totalizando 69 especies (25 % de las especies leñosas), le sigue Euphorbiaceae (12), Bignoniaceae (11), Cactaceae (11), Boraginaceae (10), Bombacaceae, Capparidaceae y Verbenaceae (8) (Aguirre et al., 2018).

4.1.1. Diversidad de especies forestales de bosque seco en la provincia de Loja

Del total de la superficie de la provincia de Loja, el 31 % está considerado como bosque seco aproximadamente un área de 3 400 km². Estas formaciones vegetales se ubican al este y corren paralelos al monte espinoso tropical en su extremo sur (Contento, 2000). La composición y estructura de los bosques secos dependen de la influencia humana que han tenido. Al parecer, esta característica, sumada al hecho de poseer una estructura relativamente simple y de menor biomasa que los bosques húmedos, hace que los bosques secos tropicales sean considerados ecosistemas de alta resiliencia (Gerhardt y Hytteborn, 1992).

La mayor cantidad de vegetación representativa de este tipo de ecosistemas se localiza en la provincia de Loja en los cantones Macará y Zapotillo. Se ubica generalmente en terrenos planos con pendientes de 10 a 35 %. El grado de defoliación de este bosque es total, ya que todas las especies de árboles del bosque pierden sus hojas (Montaño, 2012). En Loja, en los cantones Zapotillo, Macará, Céllica, Pindal, Puyango, Paltas y Sozoranga; se reportan 219 especies de árboles y arbustos, de las cuales 19 son endémicas. Estudios indican que los bosques secos de la provincia de Loja son continuos y están en buen estado de conservación en comparación a sus similares de Manabí, Santa Elena, Guayas, El Oro y el norte peruano (Aguirre y Kvits, 2005; Aguirre, 2014).

Los bosques secos de Loja son importantes debido a la existencia de fauna única, por lo que es considerada como un EBA (Endemic Bird Area). Willians (2005) citado por Montaño y Roa (2012) menciona que estos bosques están restringidos a un área geográfica pequeña (50 000 km²), entre Ecuador y Perú. Son ecosistemas son muy frágiles, y el sustento de la población rural ya que satisfacen las necesidades de madera, leña, forraje y productos forestales no maderables (López, 2002; Aguirre, 2013).

La estructura de este bosque presenta casi siempre tres doseles, uno de hierbas en época de invierno, otro un dosel medio de arbustos pequeños y el dosel de los árboles. Las especies vegetales características son: *Geoffroea spinosa* (Almendro), *Piscidia carthagenensis* (Barbasco), *Handroanthus chrysanthus* (Guayacán), *Loxpterygium huasango* (Gualtaco), *Cochlospermum vitifolium* (Polo polo), *Cordea lutea* (Overal), *Pithecellobium excelsum*

(Chaquiro), *Erythrina velutina* (Porotillo), *Bursera graveolens* (Palo santo), *Chloroleucon mangense* (Charán blanco) y *Caesalpinia glabrata* (Charán negro) (Montaño, 2012).

Las principales especies de árboles que se aprovechan son el Ceibo (*Ceiba trischistandra*), Overal (*Cordia lutea*) y Pasallo (*Eriotheca ruizii*). Seguidos del Charán (*Caesalpinia glabrata*), Guázimo (*Guazuma ulmifolia*), Guápala (*Simira ecuadorensis*), Higuerón (*Ficus citrifolia*), Palo santo (*Bursera graveolens*), Porotillo (*Erythrina velutina*), Zapote de perro (*Colicodendron scabridum*). Las tres especies con mayor valor de uso pertenecen a las categorías de alimentos y bebidas, artesanías, medicina humana, medicina veterinaria, látex/ resinas, colorantes y tintes, forraje, místico, ornamental, miel de insectos, fibra para sogas, cercos y construcciones y materiales de construcción/ herramientas de labranza (Aguirre, 2014).

4.1.2. Estado de conservación del Bosque seco de la provincia de Loja

En la provincia de Loja aún existen zonas que presentan un buen estado de conservación de la diversidad de especies, en especial porque este tipo de bosque alberga especies endémicas. Hay que destacar que una de las estrategias que favoreció la conservación de estos ecosistemas fue la declaratoria de zona de veda bajo la cota de 1 000 m s.n.m. en 1978, sin embargo, las amenazas aún persisten debido a que la población subsiste de los productos forestales maderables y no maderables que el bosque provee (Muñoz et al., 2019).

La importancia de conservación de estos bosques es evidente si se considera que la distribución de algunas especies está restringida al suroccidente de Loja; por ejemplo, *Terminalia valverdeae* (Combretaceae), *Chloroleucon mangense* (Mimosaceae), *Agonandra excelsa* (Opiliaceae) y *Tillandsia spiralipetala* (Bromeliaceae) fueron registradas solamente para los bosques secos de esta provincia y no se encuentran en el resto de la costa (Aguirre, 2012). Del mismo modo, hay que destacar que gran parte del área de la extensión original del bosque se ha perdido de manera irremediable por lo que las iniciativas sean públicas o privadas para su conservación siempre serán necesarias (Muñoz et al., 2019).

El bosque seco de la provincia de Loja captura carbono y agua, es por ello que la diversidad de especies que habitan e interactúan en los bosques tienen gran importancia, lo que habla de una mayor concentración de organismos haciendo un uso más eficiente del espacio (Aguirre et al., 2018).

4.1.3. Estado actual de los bosques secos de la provincia de Loja

El uso de la flora y fauna por parte de grupos humanos incluye no solo la extracción de bienes ambientales de manera ocasional, sino también el uso sustentable. En algunas zonas la

población ha explotado en forma excesiva algunos recursos, conduciendo al deterioro y desaparición de las especies de los bosques. Estos procesos se dan por el desconocimiento de la estructura, composición y función de los ecosistemas (Aguirre et al., 2013).

Un estudio realizado por Aguirre et al. (2018) concluye en que los niveles de aprovechamiento de Productos Forestales No Maderables (PFNM) en bosque seco no son elevados, por lo que las especies típicas que brindan PFNM mantienen su dinámica poblacional, existiendo el riesgo que la extracción excesiva o incremento del aprovechamiento podría ocasionar la alteración de la estructura del bosque.

La valoración de los bienes y servicios ecosistémicos no siempre ha estado presente en la conciencia colectiva, conduciendo ello a la escasa preocupación por su uso racional y eficiente, ya que la población de la zona utiliza los bienes ambientales de manera no sostenible, lo que pone el peligro al bosque como ecosistema. La vulnerabilidad de los bosques y sus servicios ambientales al cambio climático, lo cual hace que los bosques secos sean ecosistemas muy vulnerables por ejemplo una reducción en los niveles de precipitación puede incrementar la probabilidad de incendios forestales, sobre todo en los bosques tropicales secos. La frecuencia e intensidad de los incendios depende de la condición hidrológica del bosque, así como de la disponibilidad de materia seca, factores que a su vez dependen de las condiciones climáticas (Aguirre et al., 2018).

4.2. Condiciones de sitio para el crecimiento de especies forestales

Las condiciones de sitio para el crecimiento de especies forestales son las condiciones ambientales que rodean a la especie. Las más importantes son la luz, la temperatura, la precipitación, la topografía, el suelo, el fuego, el viento, la presión, la atmósfera y la relación con otras especies. A todos estos factores hay que sumar el tiempo (Díaz, 2020).

Según Díaz (2020) el agua es un componente fundamental para la vida, es el medio de vida los seres vivos, y la base química de muchas reacciones biológicas (la fotosíntesis). Actúa como disolvente de sustancias nutritivas, regula la temperatura, forma parte constitutiva de la mayoría de seres vivos. Para las plantas influye en la alimentación, la transpiración, la asimilación de clorofila, la respiración, la elaboración de compuestos; además, es el medio en el que se producen las reacciones químicas de la planta y el vehículo por el que circulan los nutrientes que las plantas toman del suelo. También es importante para su fisonomía, y determina la distribución de las plantas y de las comunidades vegetales. La falta de agua puede producir que se marchite o incluso que muera; en climas secos las plantas se adaptan a condiciones de sequía extrema.

El calor o la temperatura suelen ser factores de diferenciación ecológica de primer orden, de hecho, sin calor el desarrollo es imposible. La distribución de la temperatura en la tierra depende de factores como la radiación solar, la latitud, la altitud, el medio y la cubierta vegetal. Las temperaturas bajas pueden favorecer la germinación o inhibirla. La altitud, las formas del relieve, la exposición o la pendiente son elementos claves en la formación de los mesoclimas y los microclimas. Formando una cantidad de pisos florísticos con especies adaptadas (Díaz, 2020).

Los gradientes altitudinales influyen en las condiciones climáticas, en las propiedades y en la biología del suelo, en la estructura poblacional y en la fisiología de las especies. Además, actúan como filtros, causando heterogeneidad ambiental, interactuando con los procesos ecológicos, biogeográficos y evolutivos en escala local y temporal (Terra et al., 2015; Asner et al., 2016; Asner et al., 2017). El suministro de nutrientes, el gradiente altitudinal y el clima regulan los procesos fisiológicos de las especies de los bosques tropicales (Bahar et al., 2017). Según Murga-Orillo et al. (2021) poco se sabe sobre la distribución de especies forestales a lo largo del gradiente altitudinal y las condiciones climáticas.

La luz también es fundamental en el desarrollo de las plantas, pues existen plantas heliófitas con altos requerimientos de luz, semihelíofitas con requerimiento de luz sólo durante alguna etapa de desarrollo de la planta y esciófitas o umbrófilas que son plantas con bajos requerimientos de luz. El 10% de luz recibida por la planta se usa para realizar fotosíntesis, este factor también inhibe la germinación y floración de una variedad de especies. Si existiese escases de este factor puede producir ahilamientos, cambios en la forma de los limbos foliares, marchitamiento de las hojas, tallos endebles, entrenudos alargados y hojas reducidas (Díaz, 2020).

Finalmente, el factor suelo se relaciona directamente con las plantas mediante las raíces al aportar restos orgánicos, airear el suelo y formar humus. En respuesta a esto, el suelo aporta y regula el agua y los nutrientes que las plantas necesitan para su soporte y alimentación. Las características edáficas clave son la permeabilidad o facilidad de percolación del agua, el perfil, el color, la textura, la estructura, la profundidad, la capacidad de aportación de nutrientes y su composición química. En función del pH del suelo pueden ser basófilas, neutrófilas, acidófilas e indiferentes. En función a la cantidad de sal que admite la planta pueden ser eurihalinas y estenohalinas (Díaz, 2020).

4.3. Propiedades y características de la madera

La madera es un material poroso, higroscópico y heterogéneo en su estructura (Muñoz-Acosta y Moreno-Pérez, 2013). Las propiedades y características de las maderas dependen de muchos factores tales como: tipo y edad del árbol, condiciones de crecimiento como el terreno y el clima, etc. Como en todo material, varias son las propiedades las cuales definen la función y uso (FAO, 2010).

4.3.1. Propiedades físicas de la madera

Estas propiedades determinan el comportamiento de las maderas ante los factores que interviene en el ambiente, sin que este actúe química, ni mecánicamente en su estructura interna. Los factores que influyen en las propiedades físicas son: la disposición y orientación de los componentes de la pared celular, la cantidad de sustancias básicas que conforman las paredes celulares, el porcentaje de material celulósico, la composición química de las sustancias básicas y el contenido de agua (Suirezs y Gilson, 2009). Las propiedades físicas que se estudian de la madera son: peso específico real, peso específico aparente, contenido de humedad, contracción e hinchamiento, propiedades térmicas, propiedades acústicas, propiedades eléctricas y propiedades de rozamiento (Suirezs y Gilson, 2009).

4.3.2. Densidad de la madera

La dureza de la madera está directamente relacionada con la densidad, a mayor densidad mayor dureza. Así mismo, el crecimiento más lento produce madera más dura, en climas cálidos se obtienen maderas más duras. Y a medida que aumenta la humedad, la dureza primero aumenta para posteriormente disminuir. La densidad de madera es un parámetro muy usado por su sencillez y por ser un buen indicador de calidad (Spavento et al., 2008).

- *Densidad básica.* Es la relación entre el peso mínimo del material, es decir en estado anhidro, y su volumen verde, como se halla en el apeo del árbol. Es la más utilizada en la industria forestal y se usa para conocer la cantidad de masa seca del volumen verde medido en una plantación (Núñez, 2016).

La densidad básica se expresa en g/cm^3 y la fórmula es:

$$Densidad\ Básica\ (g/cm^3) = \frac{Peso\ anhidro}{Volumen\ verde}$$

4.3.3. Propiedades hidráulicas de la madera

Según Brodribb et al. (2002) las altas tasas de crecimiento entre los árboles tropicales dependen más de las propiedades hidráulicas de la trayectoria del flujo que de la densidad de la madera, lo que puede explicarse por las influencias positivas que el estado hídrico favorable

de las hojas y las tasas de transpiración más altas tienen sobre la fotosíntesis (Brodrigg et al., 2002).

- *Conductividad teórica específica C_e^{teo}*

Se conoce como conductividad hidráulica al coeficiente que describe la relativa facilidad con la que el agua subterránea puede moverse a través de los vasos o tejido conductor del xilema y albura del árbol. La conductividad hidráulica está limitada por la conductividad inducida por las estomas; es decir, el rendimiento fotosintético y finalmente la productividad de una planta (Tyree y Ewers, 1992). También se puede definir como la capacidad intrínseca de los vasos para conducir agua a través de un gradiente de potencial hídrico entre la superficie de la raíz y el xilema en el tallo. Se destaca que la mayor parte de la resistencia al transporte de agua está normalmente relacionada con el movimiento radial del agua hacia el xilema de las raíces finas (Wheeler et al., 2005)

4.3.4. Características anatómicas de la madera

La estructura de la madera, está determinada por el tipo de célula, tamaño y disposición. La madera es un tejido anisotrópico, es decir que posee propiedades físicas distintas según la dirección en que se mide. También ha sido descrita como un material ortotrópico produciendo material diferente en tres direcciones principales (Schachner et al., 2000). Para poder estudiarla, es necesario de un laboratorio con tecnología especializada. Estas características reflejan la diversidad cuando se estudian floras regionales. Esta variación dependerá del origen de la especie, así como con diferencias asociadas con la latitud, altitud, precipitación y temperatura (Aguilar-Alcántara et al., 2014). Algunos elementos anatómicos que se estudiaron son:

a. Vasos o tráqueas. - Son células con una pared celular secundaria gruesa, dura y lignificada, y con un contenido citoplasmático que se elimina tras su diferenciación. Los elementos de los vasos son células de mayor diámetro y más achatadas que las traqueidas. Se unen longitudinalmente unas a otras para formar tubos llamados vasos (Figura 1). Por ellos el agua circula vía simplasto (por el interior de las células), y pasa de una célula a la siguiente por las perforaciones que se encuentran en sus paredes transversales (situadas en ambos extremos de la célula), denominadas placas perforadas. En algunos vasos, estas placas pueden no aparecer. Además, el agua y sustancias disueltas pueden atravesar las punteaduras areoladas de sus paredes laterales y pasar a otras células del xilema. Los elementos de los vasos son el principal tipo celular conductor del xilema en las angiospermas (Pacheco et al., 2015).

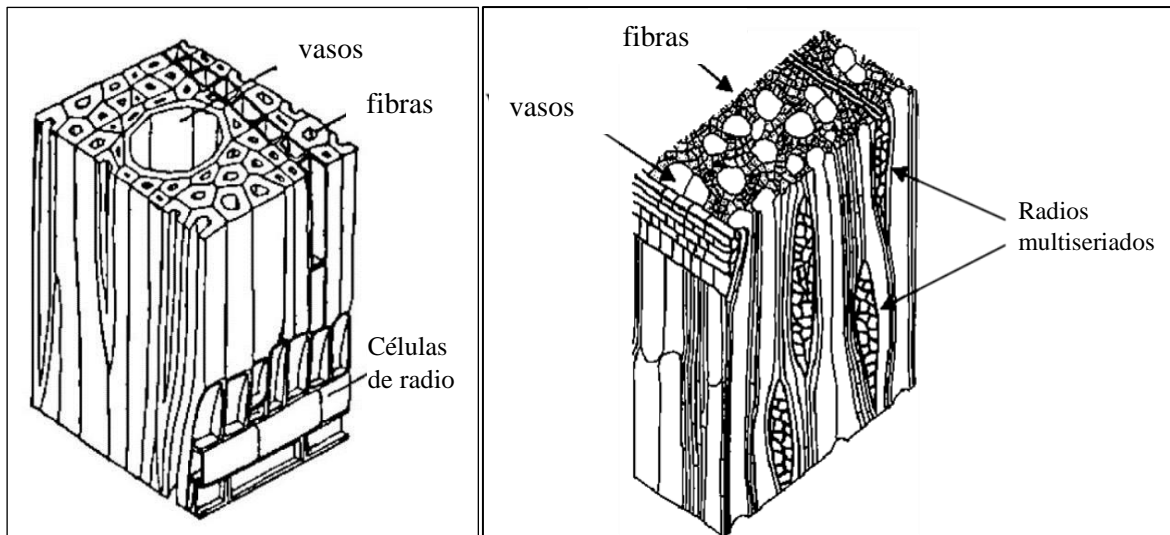


Figura 1. Estructura de la madera: vasos o tráqueas, fibras y radios celulares (Reiterer et al., 2002).

b. Traqueidas. Las traqueidas son el segundo elemento conductor que aparece en las plantas vasculares. Las pteridofitas y gimnospermas sólo poseen este tipo traqueal como célula conductora. Las angiospermas poseen tanto traqueidas como elementos de los vasos. Las traqueidas son células alargadas, estrechas y fusiformes (Figura 2). El agua circula por ellas y pasa de unas a otras vías simplasto atravesando las punteaduras areoladas, que se encuentran en las paredes que se solapan en ambos extremos de célula y en sus paredes laterales. En general su capacidad para conducir agua es menor que la de los elementos de vasos, ya que no poseen placas perforadas. Las traqueidas de las coníferas poseen unas punteaduras o areolas muy grandes y circulares que se caracterizan por la presencia de una estructura interna denominada toro, el cual es un engrosamiento en forma ovalada de la pared celular. El toro puede regular el flujo de agua a través de la areola (Pacheco et al., 2015).

c. Parénquima (radial y axial). Se encuentran en el xilema primario y en el secundario. Sus paredes son secundarias lignificadas o primarias. Si son secundarias, los pares de puntuaciones pueden ser simples o semiareoladas con los elementos traqueales, o simples con otras células parenquimáticas. Conservan el citoplasma vivo, y por lo tanto el núcleo. Contenido variado: almidón y grasas, taninos, cristales, otros. El almidón se acumula cuando cesa el desarrollo estacional de la planta y suelo desaparecer durante la actividad de la siguiente estación. En plantas herbáceas y tallos jóvenes pueden tener cloroplastos (Arbo, 2019). El parénquima del xilema secundario puede ser axial (vertical) o radial (horizontal) (Figura 2):

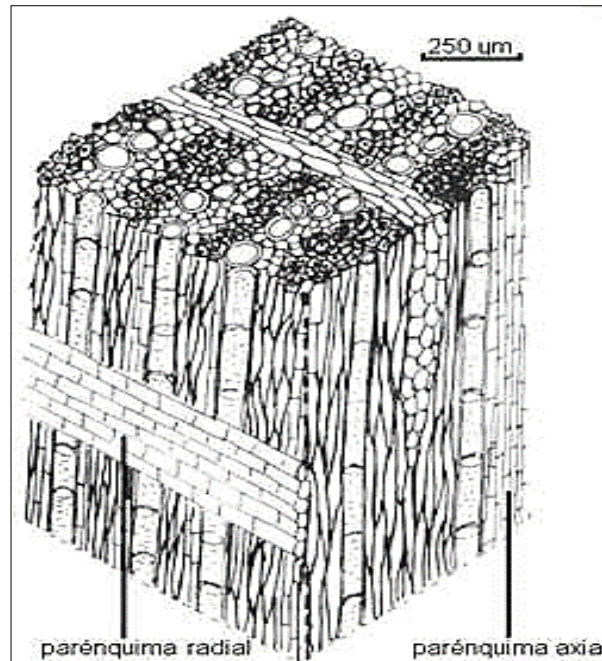


Figura 2. Parénquima axial. (Arbo, 2019). Nota. Vista anatómica tangencial, transversal y radial de la madera.

El parénquima axial es originado por las células iniciales fusiformes del cámbium, junto con las fibras y los elementos traqueales. Pueden ser células fusiformes, largas, o un cordón de células cortas formado por divisiones trasversales. Puede faltar en algunas coníferas.

El parénquima radial o radiomedular es originado por las células iniciales radiales del cámbium. Hay dos tipos de células por su disposición y forma: células procumbentes y células verticales (Arbo, 2019).

4.3.4.1. Normativa IAWA.

Según Richter et al. (2004), 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.

Tiene como objetivo 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, así como cualquier otra actividad que sea coherente con los objetivos de la

Asociación. Como documento base para la caracterización de las características microscópicas IAWA está el libro “IAWA list of microscopic features for hardwood identification” de Wheeler et al (1989) para maderas de latifoliadas, y el libro “*IAWA list of microscopic features for softwood identification*” de Richter et al. (2004) para maderas de coníferas. Además, existe la xiloteca en línea InsideWood (Wheeler, 2011) como fuente consulta de características IAWA con imágenes microscópicas de la madera.

a. Latifoliadas. La lista de características microscópicas IAWA para la identificación de maderas latifoliadas consta de un total de 221 características, 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 se podrían encontrar en las maderas duras. Sin embargo, es una lista concisa de características útiles para fines de identificación (Anexo 1).

4.4.Herramientas estadísticas para el análisis de datos

A continuación, se destacó información de los estadísticos que se usó para el análisis de la información y cumplir los objetivos de la presente investigación:

4.4.1. Análisis de componentes principales (ACP)

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de la dimensión (número de variables). Es decir, ante un banco de datos con muchas variables, el objetivo será reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible. Los nuevos componentes principales o factores serán una combinación lineal de las variables originales, y además serán independientes entre sí (Terradéz, 2018).

Un aspecto clave en ACP es la interpretación de los factores, ya que ésta no viene dada a priori, sino que será deducida tras observar la relación de los factores con las variables iniciales (habrá, pues, que estudiar tanto el signo como la magnitud de las correlaciones). Esto no siempre es fácil, y es de vital importancia el conocimiento que el experto tenga sobre la materia de investigación (Terradéz, 2018).

El Análisis de Componentes Principales comprende un procedimiento matemático que transforma un conjunto de variables correlacionadas de respuesta en un conjunto menor de variables no correlacionadas llamadas componentes principales. Al observar cuidadosamente este nuevo conjunto de variables no correlacionadas, se pueden obtener respuestas a muchas preguntas importantes (Araneo, 2008).

El ACP es quizá el más útil para cribar datos multivariados. Para casi todas las situaciones de análisis de datos, se puede recomendar el ACP como un primer paso. Se debe realizar sobre un conjunto de datos, antes de realizar cualquier clase de análisis multivariado. Los estudios de seguimiento sobre las componentes principales son útiles para comprobar las hipótesis que el investigador podría establecer acerca de un conjunto de datos multivariados y para identificar y localizar datos “outliers” posibles en el conjunto. Así mismo si se presentan algunas otras anomalías en un conjunto de datos multivariados, el ACP puede ayudar a revelarlos (Araneo, 2008).

Adicionalmente, el ACP cuando se desea agrupar las unidades experimentales en subgrupos de tipos semejantes. Se puede usar para formar agrupamientos de las unidades experimentales en subgrupos o para comprobar los resultados de los programas de agrupación como los clústeres (Araneo, 2008).

Características de los componentes principales (Restrepo et al., 2012):

Las principales características que poseen y la información que puede proporcionar este tipo de gráfica estadística son:

- En caso de ser dos nubes de puntos (representadas como en la Figura 4 por elipsoides que las rodean). La varianza es una medida de dispersión. Las variables x y y tienen ambas la misma varianza en el caso de la elipse y del círculo, se toma en cuenta que la covarianza en el círculo es cero y la de la elipse es más o menos alta, y positiva.

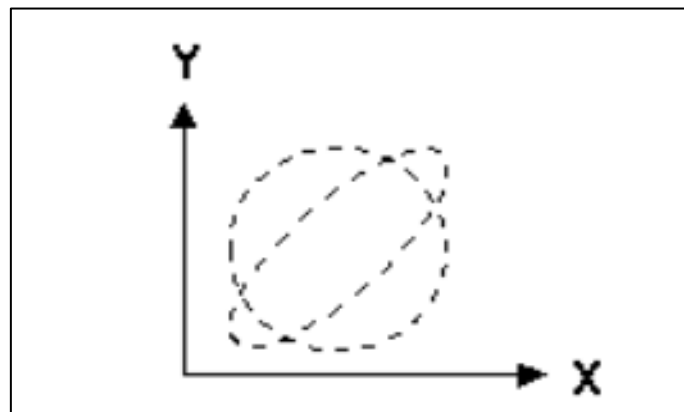


Figura 3. Elipsoide representando la variabilidad (Restrepo et al., 2012).

- No hay correlación entre los componentes principales (Cuadras, 2010).
- Si se puede establecer una distribución normal multivariada en los datos originales, entonces son independientes.

- Cada componente principal sintetiza la máxima variabilidad residual contenida en los datos, pudiéndose estimar el número de grupos o clases sobre el conjunto de datos (Tibshirani et al., 2001).
- Cada una de las variables posee cierto grado de asociación con el componente principal, donde la relación puede ser directa, o inversamente proporcional.
- Si se trabaja con datos estandarizados, las componentes principales se obtienen de la diagonalización de la matriz de correlaciones. Se utilizan datos estandarizados cuando las escalas de medida de las variables sean muy diferentes.
- Debe existir relación entre las variables originales (De Vicente et al., 1999) con el fin de que tenga sentido el análisis de componentes principales.
- Para su interpretación, en el análisis de componentes principales se deben excluir aquellas variables que no tengan relación con los componentes.
- Los componentes principales se deben explicar a partir de las variables que tienen relación con el factor.
- Se sugiere transformar las variables originales correlacionadas en nuevas variables no correlacionadas que puedan ser interpretadas (Peña, 2002).
- El análisis de componentes es aplicable a variables cuantitativas, pudiéndose suplementar con variables cualitativas.

4.4.2. Matriz de correlación

Considerada como una técnica o método estadístico muy utilizado para investigar la relación existente entre dos variables continuas conocidas como X y Y. Se utiliza generalmente luego de organizar, representar gráficamente y analizar un conjunto extenso de datos con el fin de estudiar la relación entre las variables. Se conoce como coeficiente de correlación a la medida o grado de relación o asociación lineal entre dos variables cuantitativas. El objetivo de correlacionar es examinar la dirección y la fuerza en la que se asocian las variables. Permitiendo conocer si el valor de alguna variable influye aumentando o disminuyendo otra (Camacho-Sandoval, 2008).

El coeficiente de correlación de Pearson es un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas. Este coeficiente de correlación es un índice de fácil ejecución e, igualmente, de fácil interpretación. Cuando ρ es positivo (+) la relación es directa entre las variables. Si ρ es negativo (-) la relación es inversa y si ρ es igual a cero (0) son independientes (Restrepo y González, 2007).

Algunas propiedades más relevantes para efectos de practicidad del Coeficiente de R de Pearson de acuerdo a Hernández *et al.* 2018 son:

- Adimensionalidad. - esta propiedad representa una ventaja esencial que hace de este coeficiente una medida versátil y fácilmente interpretable.

- Rango definido entre -1 y 1.- este coeficiente puede entenderse como el coseno del ángulo formado por los vectores asociados a X y Y. Cuando dicho ángulo es cercano a 0, el coseno tiende a 1, lo que implicaría que las variables poseen una alta proximidad en el espacio.

5. Metodología

5.1. Área de estudio

La Reserva Natural Laipuna (Figura 4) pertenece a la Fundación Naturaleza y Cultura Internacional. Tiene una extensión de 1 600 ha y se ubica entre 350 y 1 500 m s.n.m. Esta área forma parte de uno de los mejores remanentes de bosque seco en la Región Tumbesina, la cual por su conocida biodiversidad ha sido identificada como Área Endémica de Aves (Endemic Bird Area - EBA). En la Reserva existen varios tipos de bosque, así, en la parte alta, la presencia de neblina durante una parte del año mantiene un bosque siempreverde, mientras que en la parte media y baja domina el bosque seco, caracterizado por árboles que se defolian durante la época seca, como el Pasallo y Gualtaco. Alrededor del 20 % de las especies de plantas de esta región son endémicas (Cueva y Rodas, 2006).

La temperatura media anual es de 23 °C y la precipitación media anual de 500 mm. De acuerdo con la clasificación de Sierra et al., (1999) la reserva se encuentra en la formación vegetal de bosque semideciduo piemontano.

La Reserva Natural Laipuna mantiene condiciones climáticas cálido-secas, se conoce las condiciones climáticas en dos pisos altitudinales de la RNL, a una altitud de 600 m s.n.m. la temperatura media de 24,3 °C, con una precipitación media anual de 625 mm, y 73,40 % humedad relativa en el ambiente. Y, a una altitud de 1 200 m s.n.m. la temperatura media es de 17,5 °C disminuye (-6,8 °C menos), con una precipitación media anual de 649 mm (24 mm más), y una humedad relativa de 86,26 % (Peters y Richter, 2012).

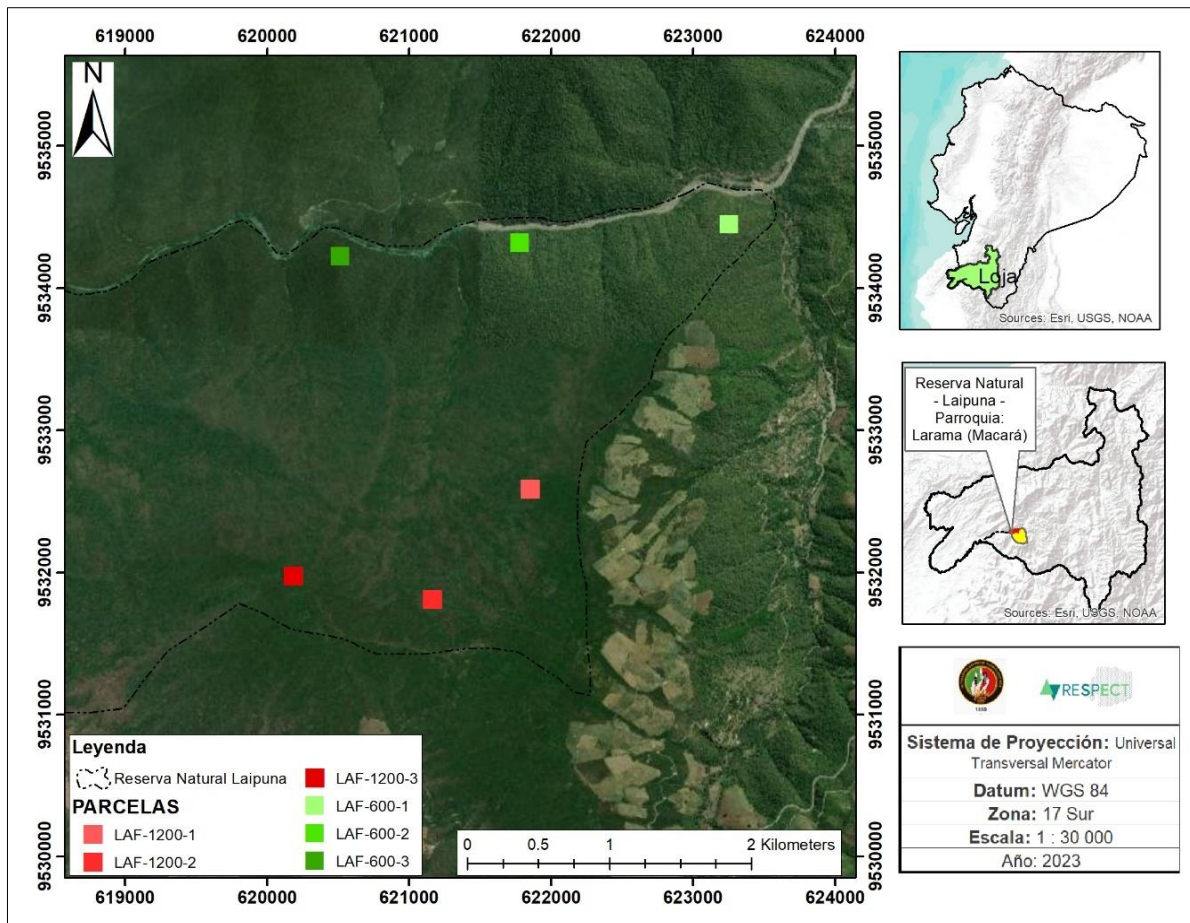


Figura 4. Ubicación del área de estudio dentro de la “Reserva Natural Laipuna”, cantón Macará, Ecuador. Las parcelas en verde están a 600 m s.n.m. en la parte baja, y los de color rojo a 1 200 m s.n.m. en la parte alta.

5.2. Metodología para la obtención de rasgos anatómicos de la madera y la densidad de especies forestales

5.2.1. Selección y obtención de especies evaluadas

Para el desarrollo de esta investigación se usaron las muestras que fueron obtenidas en el periodo junio – julio/ 2022, por medio del proyecto B1- "*Linking tree above- and belowground traits across gradients of elevation and climate in highly diverse tropical montane forests*" (Vinculación de los rasgos de los árboles por encima y por debajo del suelo a través de gradientes de elevación y clima en bosques montaños tropicales muy diversos). Se trabajó con la madera de un total de 22 especies comunes en la RNL (ver lista de especies Tabla 1).

Este proyecto del programa RESPECT se desarrolla en convenio con la Universidad Nacional de Loja y se participó en las diferentes actividades en calidad de investigadores. Además, se inició con información dotada por el Laboratorio de Anatomía de las Maderas Tropicales, dentro de la cual se realizaron actividades de campo para el desarrollo de este proyecto de tesis. Las actividades que se realizaron fueron:

5.2.2. Fase de Campo

Las muestras de madera fueron obtenidas de la Reserva Natural Laipuna del bosque seco ubicada en el cantón Macará (Figura 4).

5.2.3. Selección de individuos y registro de datos.

Durante la salida de campo, y para la selección de individuos se utilizó un diseño experimental, para lo cual se colectaron muestras de madera de ocho individuos por especie, de 22 especies de árboles y se repitió dos especies que crecen a diferente altitud (Tabla 1), dando un total de 192 muestras. Se hizo un muestreo aleatorio dentro de dos gradientes altitudinales comprendido entre 500 - 600 m s.n.m. y de 1 100 a 1 200 m s.n.m., en donde se contó con tres parcelas de 100 x 100 m, divididas en 25 subparcelas de 20 x 20 m (Anexo 3).

Tabla 1. Lista de especies forestales comunes de la Reserva Natural Laipuna

Parcela	Familia	Especie (Nombre científico)	Nombre común
Altitud: 600 m s.n.m			
LAF - 600	Fabaceae	<i>Albizia multiflora</i>	Angolo
	Burseraceae	<i>Bursera graveolens</i>	Palo Santo
	Malvaceae	<i>Ceiba trischistandra</i>	Ceibo
	Bixaceae	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Polo Polo
	Boraginaceae	<i>Cordia lutea</i>	Overall
	Malvaceae	<i>Eriotheca ruizii</i>	Pasallo
	Fabaceae	<i>Erythrina velutina</i>	Porotillo
	Convolvulaceae	<i>Ipomoea wolcottiana</i>	Samba Samba
LAF - 600	Anacardiaceae	<i>Loxopterygium huasango</i>	Hualtaco
	Capparaceae	<i>Morisonia flexuosa</i>	Margarito
	Capparaceae	<i>Morisonia scabrida</i>	Sapote de perro
	Fabaceae	<i>Piscidia cartagenensis</i>	Barbasco
Altitud: 1 200 m s.n.m			
LAF - 1200	Fabaceae	<i>Acacia macracantha</i>	Faique
	Malvaceae	<i>Eriotheca ruizii</i>	Pasallo
	Fabaceae	<i>Erythrina velutina</i>	Porotillo
	Asteraceae	<i>Fulcaldea laurifolia</i>	Guallachi
	Fabaceae	<i>Geoffroea spinosa</i>	Almendro
	Bignonaceae	<i>Handroanthus chrysanthus</i>	Guayacán
	Fabaceae	<i>Libidibia glabrata</i>	Charán
	Capparaceae	<i>Morisonia petiolare</i>	Chora
	Nyctaginaceae	<i>Pisonia aculeata</i>	Pego Pego
	Myrtaceae	<i>Psidium rostratum</i>	Guayabillo
	Combretaceae	<i>Terminalia valverdae</i>	Almendro
	Polygonaceae	<i>Triplaris cumingiana</i>	Roblón

5.2.4. *Recolección de muestras de madera.*

De las especies en estudio, de cada individuo se obtuvo dos secciones transversales de aproximadamente 5 cm de madera a la altura de 1,10 m, los cuales sirvieron para realizar los análisis de la anatomía de la madera y la densidad. Las muestras fueron obtenidas mediante el uso del barreno de Pressler (HAGLÖF) (Figura 5). Estos barrenos poseen un diámetro mínimo de 5 mm para no causar mayor impacto al árbol seleccionado. Una de las muestras se colocó en tubos Eppendorf, una con alcohol potable al 50 %, mientras que la otra se colocó en seco o al ambiente, y posteriormente se etiquetaron de acuerdo al número de parcela y la altitud correspondiente (LAF600_1-3 o LAF1200_1-3), que también indica la especie y el número de árbol (01, 02...). Además, se midió el grosor de la corteza con la ayuda de un instrumento denominado medidor de corteza Haglöf Barktax a cada uno de los individuos seleccionados.

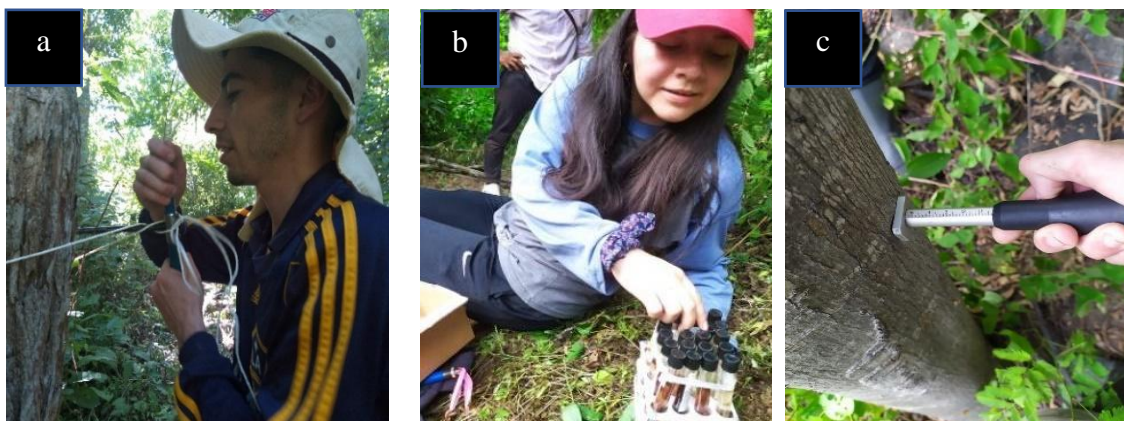


Figura 5. Recolección de muestras de madera. a. Extracción de los núcleos de madera. b. Almacenamiento y etiquetado de los núcleos de madera. c. Medición del grosor de la corteza

- *Obtención de la densidad básica (DB) y contenido de humedad (CH) de la madera*

Se utilizó el núcleo de madera en seco de los árboles, para la determinación del volumen, seguidamente se pesó y midió la longitud del núcleo (cm), seguidamente se determinó el diámetro del barreno (0,515 cm), para determinar el volumen del núcleo, por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen del núcleo de madera en verde} = \left(\frac{\text{diámetro del núcleo}}{2} \right)^2 * \pi * \text{longitud del núcleo en verde}$$

Después de la determinación del volumen, todas las muestras se secaron en horno a 105 °C durante al menos cuatro días (Figura 6). Los núcleos de madera seca se pesaron con una precisión de 0,1 mg. Finalmente, se determinó la densidad de la madera (g cm^{-3}), por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad básica de la madera} = \frac{\text{peso del núcleo de madera en seco}}{\text{volumen del núcleo de madera en verde}}$$

Para determinar el contenido de humedad de la madera se utilizó la medida de peso verde y el valor del peso en seco, para aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de Humedad (\%)} = \frac{\text{peso del núcleo en verde}}{\text{peso del núcleo en seco}} * 100$$



Figura 6. Medición, pesado y secado de los núcleos de madera. a. Medición de la longitud del núcleo de madera. b. Pesado del núcleo de madera. c. Secado del núcleo de madera.

5.2.5. Fase de Laboratorio

5.2.5.1. Selección de individuos.

Se utilizó el núcleo de madera almacenado en alcohol industrial / etílico al 50 % de cada uno de los árboles, para continuar con la obtención de cortes anatómicos de madera del plano transversal.

5.2.6. Cortes transversales del núcleo de madera.

A continuación, se llevaron los núcleos de madera al Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales de la Universidad Nacional de Loja, y se siguieron todos los procedimientos para este análisis en la Guía para Cortes Anatómicos de Madera (Feijoo et al., 2018). En los núcleos de madera se procedió primero a cortar el tallo transversalmente en láminas finas de 2 a 3 μm con ayuda del micrótopo [GSL 1, WSL] para su posterior visualización en el microscopio y digitalización (Figura 7).

Una vez cortadas las finas láminas con ayuda de un pincel se procedió a seleccionar y colocar las mejores muestras en un portaobjetos previamente etiquetado para su posterior identificación, se siguió la metodología establecida por el Laboratorio de Anatomía de la madera de la UNL (Feijoo, 2019).



Figura 7. Cortes anatómicos de los núcleos de madera en el Laboratorio.

5.2.7. Tinción, lavado y deshidratación de las muestras.

Para la tinción de las muestras se colocó una gota de tinte a base de Astrablau [25g, ChemCruz] y Safranina [35g, Fisher Chemical], teniendo en cuenta que la gota cubra toda la superficie de las muestras. Seguidamente se dejó reposar durante 10 minutos para que el tinte pueda impregnarse en las muestras y así diferenciar los tejidos por color rojo y azul, y poder reconocer el contenido de celulosa y lignina de cada muestra.

Pasado el tiempo de reposo, se lavó las muestras con ayuda de una pipeta, primero con agua destilada, luego alcohol industrial / étílico [NOVACHEM] al 50 %, al 75 % alcohol, al 96 %, y al final una gota de diluyente sintético (Figura 8).

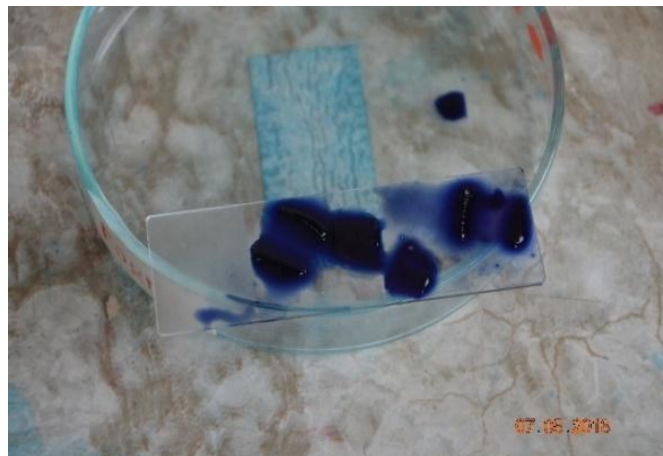


Figura 8. Tinturado y deshidratado de los cortes anatómicos de los núcleos de madera.

5.2.7.1. Sellado permanente y secado de las muestras.

Con ayuda de una jeringa sin aguja se tomó una porción de bálsamo de Canadá [100 ml, Fisher Chemical] y se colocó una gota sobre las muestras, y posteriormente con la ayuda de una pinza se colocó el cubreobjetos sobre la muestra cubierta por el bálsamo de Canadá (Figura 9).

Para el secado se cubrieron las muestras (portaobjetos) con papel aluminio en una lámina de metal presionadas por imanes. Posteriormente, se llevó las placas metálicas con las muestras a una estufa a 90 °C por 24 horas para que se sequen y completar la fase de sellado. Una vez pasado este tiempo, se sacó las muestras de la estufa y se procedió a quitar el papel aluminio, seguidamente con ayuda de una cuchilla se retiró los residuos de bálsamo de Canadá sobre el cubreobjetos.



Figura 9. Sellado permanente de las muestras de los núcleos de madera.

5.2.7.2. Digitalización y captura de imágenes anatómicas.

Una vez listas las muestras selladas con el bálsamo de Canadá, estas se llevaron al microscopio para su visualización. Las mejores muestras fueron digitalizadas y almacenadas dentro del ordenador a través del software Infinity Analyze [Infinity Software, 2016] e Infinity Capture [v.6,2016]. En cada uno de estos programas se configuró los colores naturales de la muestra (Figura 10).

Para obtener una imagen completa se hizo un mosaico basado en las capturas de múltiples imágenes siguiendo una secuencia de izquierda a derecha hasta completar toda el área de la muestra, teniendo en consideración que cada imagen debe compartir aproximadamente 20 % de área en común. Posteriormente, con ayuda del software Photoshop [CS2 Versión 9.0.2., 2022], se unieron las múltiples imágenes obtenidas de la muestra para tener la sección completa de nuestro interés, y así poder almacenarla para su posterior análisis.

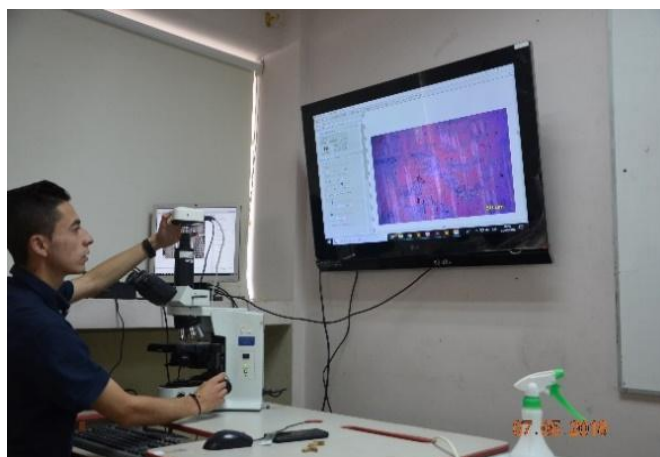


Figura 10. Digitalizado de las muestras obtenidas de núcleos de madera

5.2.7.3. Identificación de características anatómicas de madera cualitativas.

Finalizada la digitalización, se utilizó las imágenes obtenidas de la vista anatómicas transversal de la madera del tronco de los árboles estudiados, para identificar las características de carácter cualitativo (Tabla 2), por medio de la observación y caracterización de las 22 especies estudiadas. Estas características fueron propuestas por la Normativa IAWA (Wheeler et al., 1989).

Tabla 2. Características anatómicas IAWA cualitativas de la madera

Características anatómicas para especies latifoliadas de la normativa IAWA [ESPAÑOL]	IAWA Anatomical features for hardwood tree species [ENGLISH]
Anillos de crecimiento - pág. 234	Growth rings — p. 234
1. Anillos de crecimiento visibles	1. Growth ring boundaries distinct
2. Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes	2. Growth ring boundaries indistinct or absent
Vasos	Vessels — p. 236
Porosidad - pág. 236	Porosity — p. 236
3. Anillos porosos	3. Wood ring-porous
4. Anillos semiporosos	4. Wood semi-ring-porous
5. Anillos con poros difusos	5. Wood diffuse-porous
Disposición de los vasos o poros - pág. 238	Vessels arrangement — p. 238
6. Vasos (poros) en bandas tangenciales	6. vessels in tangential bands
7. Vasos (poros) en patrones radiales o diagonales	7. vessels in diagonal and/or radial pattern
8. Vasos (poros) en patrones dendríticos	8. vessels in dendritic pattern
Agrupación de vasos - pág. 242	Vessels groupings — p. 242
9. Vasos (poros) exclusivamente solitarios (90 % o más)	9. vessels exclusively solitary (90% or more)
10. Vasos (poros) en grupos radiales de 4 o más	10. vessels in radial multiples of 4 or more common
11. Vasos (poros) en grupos comunes (de 3 o más vasos)	11. vessels clusters common
Perfil de vasos solitarios - pág. 244	Solitary vessels outline — p. 244
12. Perfil angular de vasos solitarios	12. Solitary vessels outline angular
Tilosis y depósitos en vasos - pág. 259	Tyloses and deposits in vasoss — p. 259

Características anatómicas para especies latifoliadas de la normativa IAWA [ESPAÑOL]	IAWA Anatomical features for hardwood tree species [ENGLISH]
56. Tilosis común	56. Tyloses common
57. Tilosis esclerótica	57. Tyloses sclerotic
58. Gomas y otros depósitos en vasos del duramen.	58. Gums and other deposits in heartwood vessels
Espesor de la pared de fibra - pág. 268	Fibre wall thickness — p. 268
68. Fibras de pared muy fina	68. Fibres very thin-walled
69. Fibras de pared delgada a gruesa	69. Fibres thin- to thick-walled
70. Fibras de paredes muy gruesas	70. Fibres very thick-walled
Parénquima axial apotraqueal - pág. 270	Apotracheal axial parenchyma — p. 270
76. Parénquima axial difuso	76. Axial parenchyma diffuse
77. Parénquima axial difuso en agregados.	77. Axial parenchyma diffuse-in-aggregates
Parénquima axial paratraqueal - pág. 272	Paratracheal axial parenchyma — p. 272
78. Parénquima axial paratraqueal escaso	78. Axial parenchyma scanty paratracheal
79. Parénquima axial vasicéntrico	79. Axial parenchyma vasicentric
80. Parénquima axial aliforme	80. Axial parenchyma aliform
81. Parénquima axial adiamantado aliforme	81. Axial parenchyma lozenge-aliform
82. Parénquima axial alado aliforme	82. Axial parenchyma winged-aliform
83. Parénquima axial confluyente	83. Axial parenchyma confluent
84. Parénquima axial unilateral paratraqueal	84. Axial parenchyma unilateral paratracheal
Parénquima en bandas - pág. 276	Banded parenchyma — p. 276
85. Parénquima axial en bandas con más tres células de ancho	85. Axial parenchyma bands more than three cells wide
86. Parénquima axial en bandas finas o líneas de hasta tres células de ancho	86. Axial parenchyma in narrow bands or lines up to three cells wide
87. Parénquima axial reticulado	87. Axial parenchyma reticulate
88. Parénquima axial escalariforme	88. Axial parenchyma scalariform
89. Parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales	89. Axial parenchyma in marginal or in seemingly marginal bands

5.2.7.4. Determinación de las características anatómicas de la madera cuantitativas

Así mismo, con las fotografías, se procesaron y analizaron las imágenes mediante la metodología utilizada con los softwares Photoshop e Image J, ver guía de procesamiento de imágenes en el Anexo 4: “Guía de procesamiento de imágenes para obtención de variables cuantitativas”. Con el fin de obtener información presente en la Tabla 1.

Tabla 3. Características anatómicas cuantitativas e hidráulica (CE) de la madera

Características anatómicas [ESPAÑOL]	Anatomical features [ENGLISH]
Área del lumen (mm ²)	Lumen area (mm ²)
Densidad de vasos por mm ²	Density of vessels per square millimeter
Diámetro medio de vasos (µm)	Mean diameter of vessels (µm)
Desviación estándar del diámetro de vasos	Standard deviation of vessel diameter
Propiedad hidráulica	Hydraulic property
Conductividad teórica específica (Ce ^{teo} , kgm ⁻¹ MPa ⁻¹ s ⁻¹)	Theoretical specific conductivity (Q ^{theo} , kgm ⁻¹ MPa ⁻¹ s ⁻¹)

A continuación, se muestran las fórmulas utilizadas:

- *Conductividad teórica específica ce^{teo}*

La conductividad teórica específica (Ce^{teo} , $kgm^{-1} MPa^{-1} s^{-1}$) fue calculada por medio de la ecuación de Hagen-Poiseuille:

$$ce^{teo} = \sum_{i=1}^n \frac{\pi \left(\left(\frac{32 * (a_i * b_i)^3}{a_i^2 * b_i^2} \right)^{1/4} \right)^4}{128 \eta} * \frac{\rho}{A_x}$$

Dónde:

η es la viscosidad dinámica del xilema a 20° C ($1.002 \cdot 10^{-9} MPa s^{-1}$, Zwieniecki et al., 2001).

a_i y b_i son los diámetros de luz perpendiculares menores y mayores de cada vaso (m, White 1991).

n el número de vasos medidos.

ρ es la densidad del agua a 20° C ($998.2 kg m^{-3}$, James et al., 2003).

A_x es el área transversal medida del xilema (mm^2)

Nota: La conductividad específica Hagen-Poiseuille describe la cantidad de agua que fluye dentro de un lapso de tiempo y una presión definida en relación con el área medida del xilema.

- *Diámetro de vasos según White F.M.*

Según White (1991), los diámetros de vasos (d) se calculan de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$d = \left(\frac{32 * (a * b)^3}{a^2 * b^2} \right)^{1/4}$$

5.2.5. Análisis de datos

Para el análisis de datos se compiló las características físicas, anatómicas cualitativas y cualitativas a través de análisis de componentes principales (ACP) y análisis de correlación de Pearson mediante correlogramas.

5.2.5.1. Análisis de componentes principales (ACP).

El ACP se utilizó para agrupar las unidades experimentales en subgrupos de tipos semejantes. Para esto se utilizó el programa estadístico RStudio (Versión: RStudio 2021.09.0+351 “Ghost Orchid”). Para esto se utilizó principalmente dos paquetes estadísticos *factoextra*{} y *BiodiversityR*{}. Con las herramientas proporcionadas por los paquetes también se formó agrupamientos de las unidades experimentales en subgrupos. Se utilizó dos tipos de subgrupo: el primero que clasifica a las maderas según su densidad (Tabla 4) y según el carácter

del follaje (Tabla 5). Este análisis permitirá medir las variables y agrupar según la variación a las características. Ver código completo en el anexo 5.

Tabla 4. Clasificación de las maderas por su densidad básica (DB) (Ghanzi, 2006)

Categoría	Rango de densidad básica
Liviana	0 – 0,4 g / cm ³
Semipesada	0,4 – 0,7 g / cm ³
Pesada	> 0,7 g / cm ³

Así mismo para clasificar a las especies por su tipo de vida de acuerdo a su carácter foliar se usó la siguiente clasificación (Tabla 5):

Tabla 5. Clasificación de las maderas por su carácter de follaje (Ochoa de la Torre, 1999)

Categoría	
Perennifolia	Mantiene su cobertura foliar durante todo el tiempo
Caducifolia	Pierden su cobertura foliar durante un periodo desfavorable de tiempo

5.2.5.2. Análisis de correlación de Pearson.

Para identificar la correlación de la densidad básica con los otros rasgos evaluados de la madera evaluados en este estudio se usó un análisis de correlación de Pearson (Schober et al., 2018). Así mismo, el análisis se desarrolló en el programa estadístico RStudio (Versión: RStudio 2021.09.0+351 “Ghost Orchid”) utilizando el paquete estadístico *corrplot* con el fin de generar matrices de correlación entre la densidad de la madera y los rasgos cuantitativos y cualitativos.

Con la función *cor()* se obtuvo la matriz de correlaciones pareadas, y con la función *cor_pmat()* de la librería *rstatix* la matriz de valores p. Mediante el uso del paquete estadístico *ggplot2* y la función *ggcorrplot()* se realizó la representación gráfica y se obtuvo un correlograma con los índices de correlación obtenidos de la relación de la densidad básica con cada rasgo. Se usó un *valor-p* de 0,05, con el fin de ampliar la asociación estadísticamente significativa. Esto, nos permitió identificar fácilmente las propiedades y características con las que se asocia la densidad. Ver el código completo en el Anexo 5.

6. Resultados

6.1. Caracterización de la madera de 22 especies comunes de la Reserva Natural Laipuna

Se identificó un total de 22 especies comunes dentro de la Reserva Natural Laipuna. La madera y sus rasgos anatómicos y físicos son diversos y específicos para cada especie; sin embargo, se logró determinar rasgos relacionados con la altitud y densidad básica de la madera.

6.1.1. Características cuantitativas: físicas, anatómicas y de conductividad específica teórica

– Características físicas y conductividad específica teórica (Ce^{teo})

Se registró la densidad básica de la base del fuste para un total de 22 especies, 192 árboles. Los datos están resumidos en la Tabla 6, de acuerdo con los promedios de grosor de corteza (mm), contenido de humedad y la densidad básica de cada una de las especies a altitud de 600 m s.n.m y 1 200 m s.n.m se determinó:

A 600 m s.n.m, las especie con un grosor de corteza mayor a 5 mm fueron *Loxopterygium huasango*, *Bursera graveolens*, *Ipomoea wolcottiana* y *Cochlospermum vitifolium*. Así mismo, las especies de alto contenido de humedad se destacan *Ceiba trischistandra* y *C. vitifolium* con 75,77% y 77,33 % respectivamente, y una densidad básica baja de 0,22 y 0,20 g/cm³. En cambio, la especie de mayor densidad fue *Morisonia scabrida* con 0,82 g/cm³, *Morisonia flexuosa* con 0,81 g/cm³ y *Piscidia carthagenensis* con 0,78 g/cm³; y las especie con grosor de la corteza menor a 4 mm fueron *Albizia multiflora* y *P. cartagenensis* (Tabla 6).

A 1200 m s.n.m. las especie con grosor de la corteza mayor a 5 mm fueron *Fulcaldea laurifolia*, *Pisonia aculeata*, *Eriotheca ruizii* y *Geoffroea spinosa*. Así mismo, la especie con mayor contenido de humedad fue *Erythrina velutina* con 75,80 % y las especies de mayor densidad básica fueron *Handroanthus chrysanthus* con 0,91 g/cm³, *Terminalia valverdae* con 0,83 g/cm³ y *Fulcaldea laurifolia* con 0,80 g/cm³. En cambio, las especies con menor grosor de la corteza es *Morisonia petiolare* con 3,62 mm, contenido de humedad *Fulcaldea laurifolia* con 24,04 % y densidad básica *Erythrina velutina* con 0,23 g/cm³ (Tabla 6).

Tabla 6. Características cuantitativas (físicas) de 22 especies a altitud de 600 m s.n.m. y 1 200 m s.n.m.

Familia	Especie	Altura total promedio (m)	Diámetro a la altura del pecho (cm)	Grosor de la corteza (mm)	Contenido de humedad (%)	Densidad básica (g/cm ³)
Altitud: 600 m s.n.m.						
Fabaceae	<i>Albizia multiflora</i>	7,96	18,42	3,00	40,87	0,68
Burseraceae	<i>Bursera graveolens</i>	7,66	38,03	5,50	51,35	0,39
Malvaceae	<i>Ceiba trischistandra</i>	10,56	18,88	3,81	75,70	0,22
Bixaceae	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	9,41	14,71	5,12	77,33	0,20
Boraginaceae	<i>Cordia lutea</i>	5,26	16,10	4,87	22,93	0,54
Malvaceae	<i>Eriotheca ruizii</i>	12,62	22,54	4,93	58,55	0,45
Fabaceae	<i>Erythrina velutina</i>	9,15	23,76	4,25	74,33	0,23
Convolvulaceae	<i>Ipomoea wolcottiana</i>	7,265	12,77	5,12	63,87	0,32
Anacardiaceae	<i>Loxopterygium huasango</i>	10,97	14,61	6,62	42,77	0,64
Capparaceae	<i>Morisonia flexuosa</i>	5,11	17,96	3,37	33,17	0,81
Capparaceae	<i>Morisonia scabrida</i>	6,11	12,86	4,93	32,07	0,82
Fabaceae	<i>Piscidia cartagenensis</i>	7,90	16,45	4,00	35,71	0,78
Altitud: 1 200 m s.n.m.						
Fabaceae	<i>Acacia macracantha</i>	8,08	21,68	4,50	35,69	0,75
Malvaceae	<i>Eriotheca ruizii</i>	12,12	27,30	5,12	53,25	0,51
Fabaceae	<i>Erythrina velutina</i>	10,66	38,86	4,00	75,80	0,23
Asteraceae	<i>Fulcaldea laurifolia</i>	9,97	21,56	5,62	24,04	0,80
Fabaceae	<i>Geoffroea spinosa</i>	11,45	27,31	5,06	32,50	0,75
Bignoniaceae	<i>Handroanthus chrysanthus</i>	7,83	15,73	4,93	25,76	0,91
Fabaceae	<i>Libidibia glabrata</i>	6,78	16,05	4,56	35,36	0,79
Capparaceae	<i>Morisonia petiolare</i>	8,30	40,05	3,62	42,25	0,72
Nyctaginaceae	<i>Pisonia aculeata</i>	8,61	26,13	5,12	52,18	0,42
Myrtaceae	<i>Psidium rostratum</i>	7,80	26,74	3,25	34,03	0,77
Combretaceae	<i>Terminalia valverdae</i>	11,80	29,05	4,87	28,21	0,83
Polygonaceae	<i>Triplaris cumingiana</i>	10,950	17,71	4,31	37,17	0,60

De acuerdo con la clasificación realizada según Ghanzi, 2006 (Figura 11) se registró un mayor número especies de maderas livianas (< 0,4 g/cm³) a 600 m s.n.m; mientras que, a 1 200 m s.n.m se registró un mayor número de especies con madera pesada (> 0,7 g/cm³). Las maderas de menos densidad a 600 m s.n.m fueron *Bursera graveolens*, *Ceiba trischistandra*, *Cochlospermum vitifolium*, *Erythrina velutina* e *Ipomoea wolcottiana*. Y las especies con madera de mayor densidad a 1 200 m s.n.m fueron *Acacia macracantha*, *Fulcaldea*

laurifolia, *Geoffroea spinosa*, *Handroanthus chrysanthus*, *Libidibia glabrata*, *Morisonia petiolare*, *Psidium rostratum* y *Terminalia valverdae*.

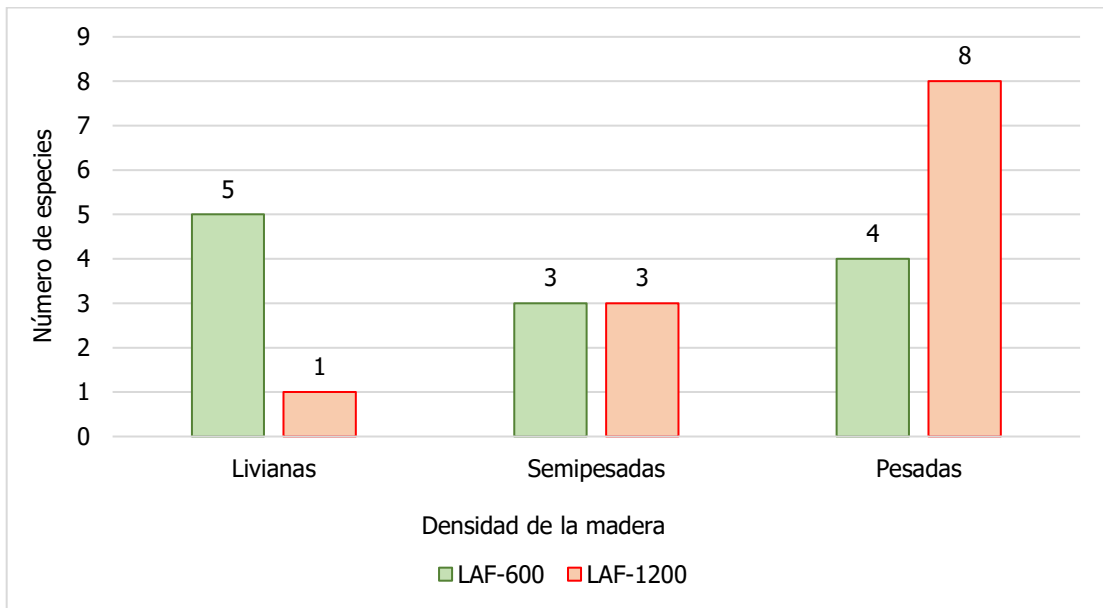


Figura 11. Resultado de clasificación de las maderas por su densidad

Así mismo, en cuanto a la densidad básica, la Figura 12 muestra que la familia Bignonaceae, a la que pertenece *Handroanthus chrysanthus*, presentó la mayor densidad básica promedio de 0,92 g/cm³, seguida de la familia Combretaceae, donde la especie *Terminalia valverdae* tuvo una densidad básica promedio de 0,83 g/cm³. Por otro lado, las familias Convolvulaceae y Bixaceae presentaron la densidad más baja, con 0,33 y 0,21 g/cm³, respectivamente.

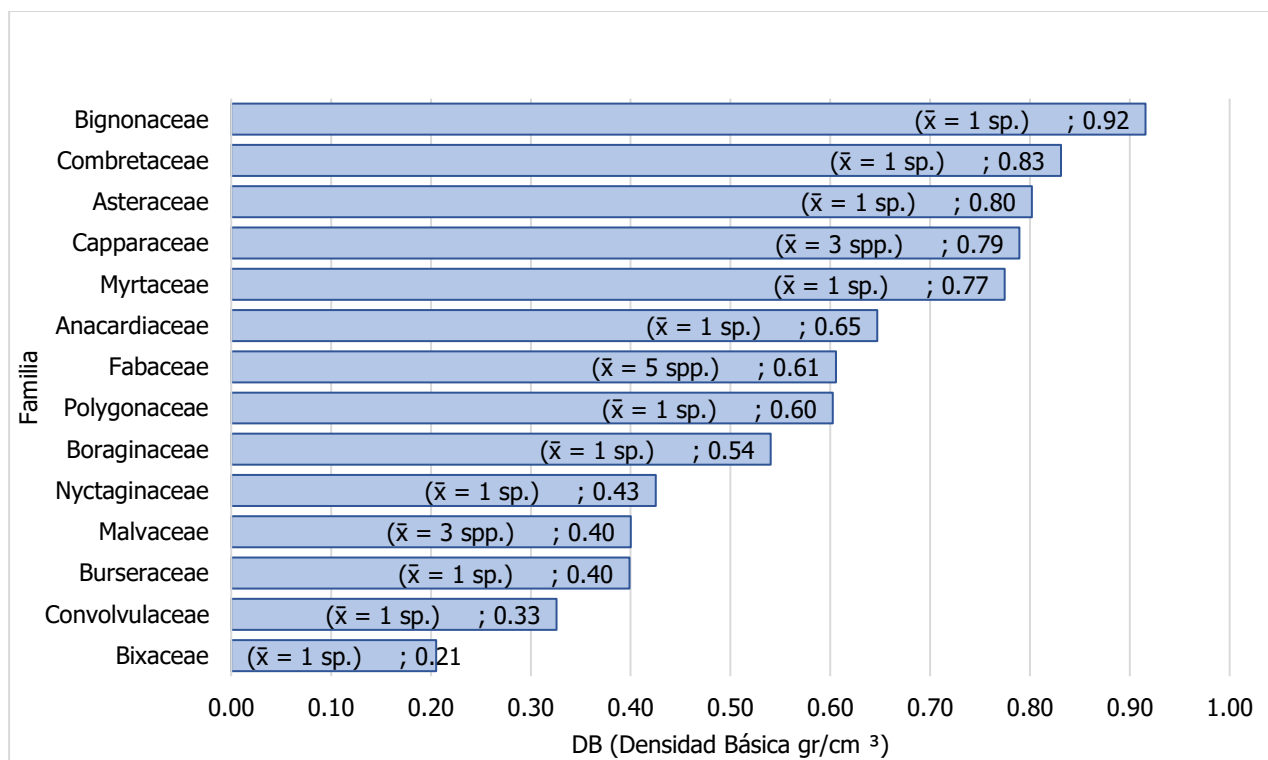


Figura 12. Densidad básica (DB - g/cm³) de la madera presentada por familias botánicas.

Nota: Dentro de los paréntesis en cada barra se indica el número de especies por familia para la obtención del valor promedio.

En cuanto al grosor de la corteza, en la Figura 13 se identificó que la familia Anacardiaceae tiene un grosor de corteza notablemente alto. Dentro de esta familia, *Loxopterygium huasango* tuvo un grosor de corteza promedio de 6,62 mm. Por otro lado, la familia Myrtaceae tuvo un grosor de corteza bajo, con 3,25 mm, y a esta familia pertenece la especie *Psidium rostratum*.

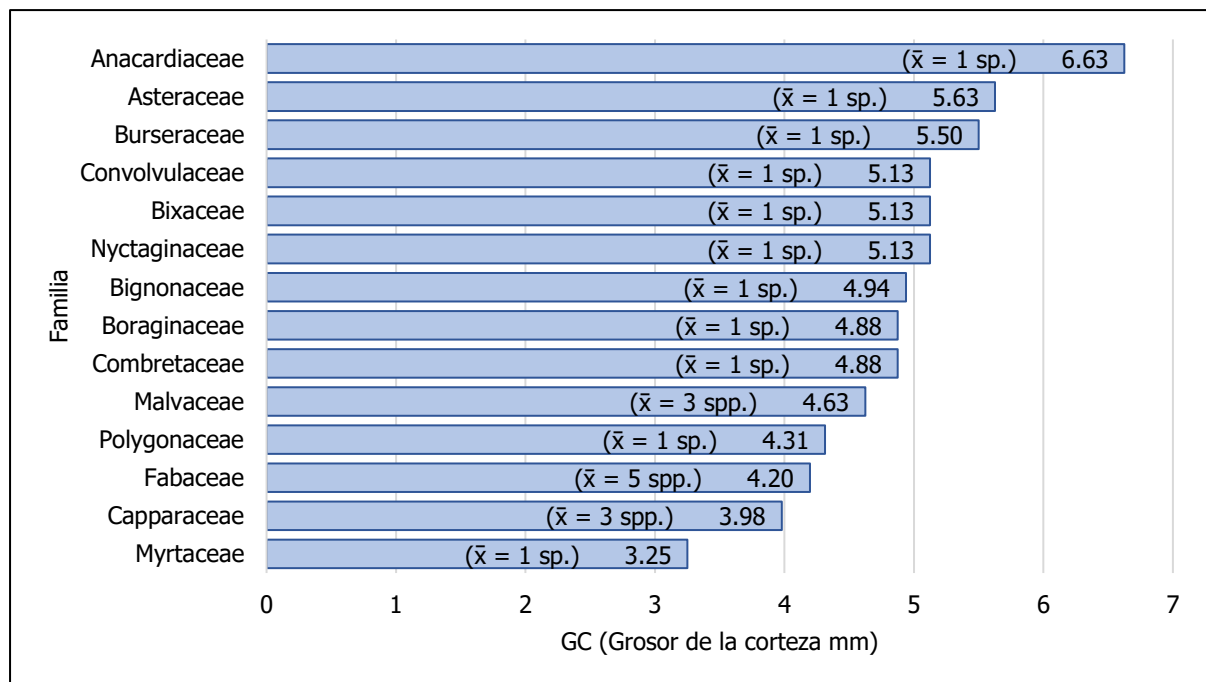


Figura 13. Grosor de la corteza del tronco con respecto a la familia botánica.

Nota: Dentro de los paréntesis en cada barra se indica el número de especies por familia para la obtención del valor promedio.

– *Rasgos anatómicos cuantitativos*

Así mismo, se determinó las características o rasgos anatómicos cuantitativos de la madera para un total de 22 especies, 192 árboles. Los datos están resumidos en la Tabla 7, de acuerdo con los promedios de área del lumen (mm^2), densidad de vasos (n mm^{-2}), diámetro de vasos (μm), desviación estándar del diámetro de vasos (μm), conductividad hidráulica específica Ce^{teo} ($\text{kg m}^{-1} \text{MPa}^{-1} \text{s}^{-1}$) de cada una de las especies a altitud de 600 y 1 200 m s.n.m.

A 600 m s.n.m. las especies con la mayor área de lumen fueron *Eriotheca ruizii* y *Cordia lutea* con $8,47 \text{ mm}^2$ y $5,10 \text{ mm}^2$ respectivamente. Las especies con mayor densidad de vasos (n mm^{-2}) son *Morisonia flexuosa* y *C. lutea* con $18,95 \text{ n mm}^{-2}$ y $18,25 \text{ n mm}^{-2}$ respectivamente. Así mismo, las especies con mayor diámetro de vasos (μm) son *Erythrina velutina* con $9,10 \mu\text{m}$ y *Ceiba trischistandra* con $7,64 \mu\text{m}$. Las especies con una mayor desviación estándar del diámetro de vasos son *E. velutina* y *C. trischistandra* con $21,15 \mu\text{m}$ y $13,98 \mu\text{m}$ respectivamente; finalmente se destaca las especies con mayor conductividad hidráulica específica Ce^{teo} son *Eriotheca ruizii* con $180,12 \text{ kg m}^{-1} \text{MPa}^{-1} \text{s}^{-1}$ y *C. lutea* con $141,53 \text{ kg m}^{-1} \text{MPa}^{-1} \text{s}^{-1}$.

Por otro lado, las especies con menor área de lumen fueron *Albizia multiflora* y *Morisonia flexuosa* con $1,55 \text{ mm}^2$ y $2,09 \text{ mm}^2$, respectivamente; las especies con menor densidad de vasos

(n mm⁻²) son *Erythrina velutina* y *Ceiba trischistandra* con 0,72 n mm⁻² y 1,01 n mm⁻² respectivamente; así mismo, las especies con menor diámetro de vasos (µm) son *M. flexuosa* y *A. multiflora* con 9,10 µm y 7,64 µm. Las especies con una menor desviación estándar del diámetro de vasos son *M. flexuosa* y *A. multiflora* con 5,6043 µm y 5,3044 µm y las especies con menor conductividad hidráulica específica Ce^{teo} son *Morisonia flexuosa* y *Albizia multiflora* con 12,96 kg m⁻¹ MPa⁻¹ s⁻¹ y 13,46 kg m⁻¹ MPa⁻¹ s⁻¹ respectivamente.

A 1 200 m s.n.m. las especies la mayor área de lumen fueron *Acacia macracantha* y *Triplaris cumingiana* con 4,26 mm² y 3,55 mm², respectivamente; las especies con mayor densidad de vasos (n mm⁻²) son *Psidium rostratum* y *Fulcaldea laurifolia* con 155,26 n mm⁻² y 153,40 n mm⁻² respectivamente. Así mismo, las especies con mayor diámetro de vasos (µm) son *Erythrina velutina* y *A. macracantha* con 6,46 µm y 5,95 µm respectivamente; las especies con alta desviación estándar del diámetro de vasos (µm) son *T. cumingiana* y *Eriotheca ruizii* con 9,16 µm y 5,86 µm y; del mismo modo, las especies con mayor conductividad hidráulica específica Ce^{teo} (kg m⁻¹ MPa⁻¹ s⁻¹) son 136 kg m⁻¹ MPa⁻¹ s⁻¹ y 102,24 kg m⁻¹ MPa⁻¹ s⁻¹ (Tabla 7).

En cambio, las especies con menor área de lumen fueron *Fulcaldea laurifolia* y *Psidium rostratum* con 0,48 mm² y 0,93 mm², respectivamente; las especies con menor densidad de vasos (n mm⁻²) son *Erythrina velutina* y *Triplaris cumingiana* con 0,86 n mm⁻² y 3,94 n mm⁻² respectivamente; las especies con menor diámetro de vasos (µm) son *P. rostratum* y *F. laurifolia* con 4,13 µm y 4,24 µm; las especies con una menor desviación estándar del diámetro de vasos son *P. rostratum* y *Terminalia valverdae* con 0,71 µm y 0,98 µm y las especies con menor conductividad hidráulica específica Ce^{teo} (kg m⁻¹ MPa⁻¹ s⁻¹) son *P. rostratum* y *Pisonia aculeata* con 4,87 kg m⁻¹ MPa⁻¹ s⁻¹ y 5,68 kg m⁻¹ MPa⁻¹ s⁻¹ (Tabla 7).

Tabla 7. Características cuantitativas (anatómicas y de conductividad específica) de 22 especies a altitud de 600 m s.n.m. y 1 200 m s.n.m.

Familia	Especie	Área del lumen (mm ²)	Densidad de vasos (n mm ⁻²)	Diámetro de vasos (µm)	Desviación estándar del diámetro de vasos (µm)	Conductividad teórica específica Ce ^{teo} (kg m ⁻¹ MPa ⁻¹ s ⁻¹)
Altitud: 600 m s.n.m.						
Fabaceae	<i>Albizia multiflora</i>	1,55	6,47	5,60	5,57	13,46
Burseraceae	<i>Bursera graveolens</i>	3,39	12,37	5,81	6,11	36,47

Familia	Especie	Área del lumen (mm ²)	Densidad de vasos (n mm ⁻²)	Diámetro de vasos (µm)	Desviación estándar del diámetro de vasos (µm)	Conductividad teórica específica (kg m ⁻¹ MPa ⁻¹ s ⁻¹)
Malvaceae	<i>Ceiba trischistandra</i>	3,14	0,97	7,89	15,43	40,56
Bixaceae	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	3,25	1,81	6,43	6,60	16,45
Boraginaceae	<i>Cordia lutea</i>	5,10	18,25	5,85	2,07	141,53
Malvaceae	<i>Eriotheca ruizii</i>	8,47	2,35	7,15	8,56	180,12
Fabaceae	<i>Erythrina velutina</i>	3,18	0,72	9,10	21,14	45,68
Convolvulaceae	<i>Ipomoea wolcottiana</i>	2,82	1,03	7,14	9,46	20,62
Anacardiaceae	<i>Loxopterygium huasango</i>	3,66	7,20	6,46	5,22	64,37
Capparaceae	<i>Morisonia flexuosa</i>	2,08	18,95	5,30	2,77	12,96
Capparaceae	<i>Morisonia scabrida</i>	2,58	6,94	5,60	1,94	17,62
Fabaceae	<i>Piscidia carthagenensis</i>	2,26	2,89	6,32	5,83	15,90
Altitud: 1 200 m s.n.m.						
Fabaceae	<i>Acacia macracantha</i>	4,26	8,82	5,95	4,00	102,24
Malvaceae	<i>Eriotheca ruizii</i>	10,02	4,02	5,90	5,86	136,85
Fabaceae	<i>Erythrina velutina</i>	4,48	0,86	6,47	5,79	41,88
Asteraceae	<i>Fulcaldea laurifolia</i>	0,48	153,41	4,24	1,68	8,18
Fabaceae	<i>Geoffroea spinosa</i>	2,87	14,64	5,20	3,16	32,64
Bignoniaceae	<i>Handroanthus chrysanthus</i>	1,28	78,43	4,35	2,21	11,69
Fabaceae	<i>Libidibia glabrata</i>	1,84	12,25	4,97	2,56	17,30
Capparaceae	<i>Morisonia petiolare</i>	2,01	16,80	4,44	1,34	13,24
Nyctaginaceae	<i>Pisonia aculeata</i>	1,61	8,88	4,97	3,51	5,69
Myrtaceae	<i>Psidium rostratum</i>	0,93	155,26	4,13	0,71	4,88
Combretaceae	<i>Terminalia valverdae</i>	2,34	30,95	4,74	0,99	17,47
Polygonaceae	<i>Triplaris cumingiana</i>	3,55	3,94	5,81	9,16	17,97

6.1.2. *Características cualitativas: Rasgos anatómicos*

Se encontraron varias características cualitativas compartidas en las especies más comunes de la Reserva Natural Laipuna (RNL), 12 especies de las 22 estudiadas tienen anillos visibles, el grosor de la pared de la fibra fue más gruesa en un mayor número de especies a 1200 m s.n.m., se identificó mayor presencia y variedad de parénquima paratraqueal y apotraqueal en especie a 600 m s.n.m., la agrupación de vasos se observó en un mayor número de especies a una altitud de 1 200 m s.n.m., los vasos solitarios fueron más frecuentes en las especies de 600 m s.n.m.

– *Características cualitativas: Rasgos anatómicos (Parcelas 600 m s.n.m)*

A 600 m s.n.m. se identificó el mismo número de especies para anillos visibles (6 especies) y para anillos poco visibles o ausentes (6 especies). Las especies con anillos visibles son: *Albizia multiflora*, *Bursera graveolens*, *Cordia lutea*, *Eriotheca ruizii*, *Loxopterygium huasango* y *Morisonia flexuosa*. En cambio, las especies con anillos poco visibles o ausentes son *Ceiba trischistandra*, *Cochlospermum vitifolium*, *Erythrina velutina*, *Ipomoea wolcottiana*, *Morisonia scabrida* y *Piscidia cartagenensis*.

En cuanto a la porosidad predominan las especies con anillos de poros difusos (10 especies) donde los vasos se distribuyen igual en el área que va de anillo a anillo. Estas especies con poros difusos son *A. multiflora*, *B. graveolens*, *C. trischistandra*, *C. vitifolium*, *E. ruizii*, *M. flexuosa* y *M. scabrida*, en las Tablas a continuación de detalla cada especie (Tablas de la 8 a la 19). La especie con anillos semiporosos es *Cordia lutea*, donde los anillos difieren gradualmente los vasos de madera temprana son mayor en número y tamaño en comparación con los vasos de madera tardía (Tabla 12). Finalmente, la especie *Ipomoea wolcottiana* se destacó por ser la única especie con anillos porosos cuyos vasos en la madera temprana son claramente más grandes (Tabla 15). Y en cuanto a agrupación de vasos predominan los vasos solitarios (nueve especies), u otras como *Loxopterygium huasango* y *Morsionia scabrida* cuyos vasos se disponen en grupos comunes y la especies *Morisonia flexuosa* que posee vasos en grupos radiales.

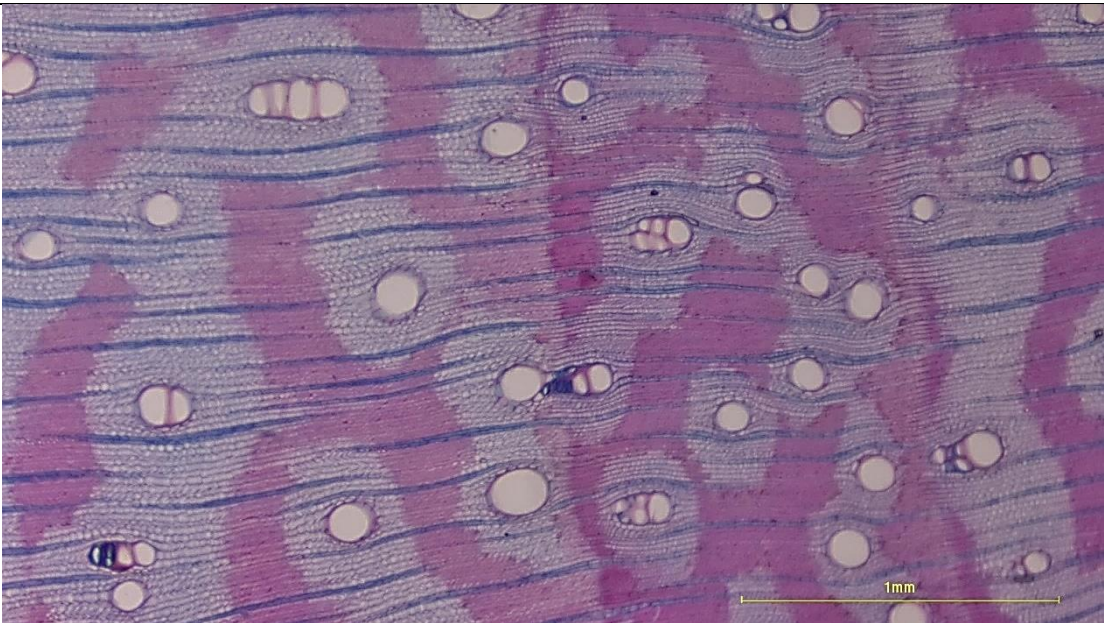
Se observó la presencia de tilosis u otras gomas en cinco especies. Las especies que presentaron tilosis común fueron *Ceiba trischistandra*, *Cordia lutea* y *Loxopterygium huasango*. Y las especies con tilosis esclerótica son *Morisonia scabrida* y *Piscidia cartagenensis*. La tilosis suele bloquear parcial o totalmente los vasos del duramen.

Respecto al espesor de las fibras predominan las especies de fibras de pared delgada a gruesa (seis especies) como *Bursera graveolens*, *Eriotheca ruizii* y *Loxopterygium huasango*, se reconoce esta característica cuando la pared de la fibra ocupa hasta un 50 % el área del lumen

del vaso. En cambio, las especies con fibras de pared muy gruesa fueron cuatro como *Piscidia cartagenensis*, *Morisonia flexuosa* y *M. scabrida* en estas especies la pared de la fibra ocupa más del 50 % del área del lumen del vaso; finalmente las especies con fibras de pared fina fueron *Cochlospermum vitifolium* y *Ipomoeae wolcottiana* en estas especies la pared de la fibra ocupa menos del 50% del área del lumen del vaso. Y acerca de los tipos de parénquimas existe una gran variedad entre especies, se muestra detallada estas características por especie en las tablas a continuación:

Tabla 8. Características cualitativas de *Albizia multiflora* (Kunth) Barneby & J.W.Grimes

Nombre científico:	<i>Albizia multiflora</i> (Kunth) Barneby & J.W.Grimes
Nombre común:	Angolo
Familia:	Fabaceae
Altitud:	600 m s.n.m.



Rasgos anatómicos	
Anillos de crecimiento:	Visibles
Vasos	
Porosidad:	Difusa
Disposición:	En patrones radiales o diagonales
Agrupación de vasos:	Solitarios
Espesor de la pared de las fibras:	De delgada a gruesa
Parénquima axial apotraqueal:	Difusa
Parénquima axial paratraqueal:	Adiamantado-aliforme Confluyente
Parénquima en bandas:	Marginal o en bandas aparentemente marginales

Tabla 9. Características cualitativas de *Bursera graveolens* Triana & Planch

Nombre científico:	<i>Bursera graveolens</i> Triana & Planch.
Nombre común:	Palo Santo
Familia:	Burseraceae

Altitud: 600 m s.n.m.

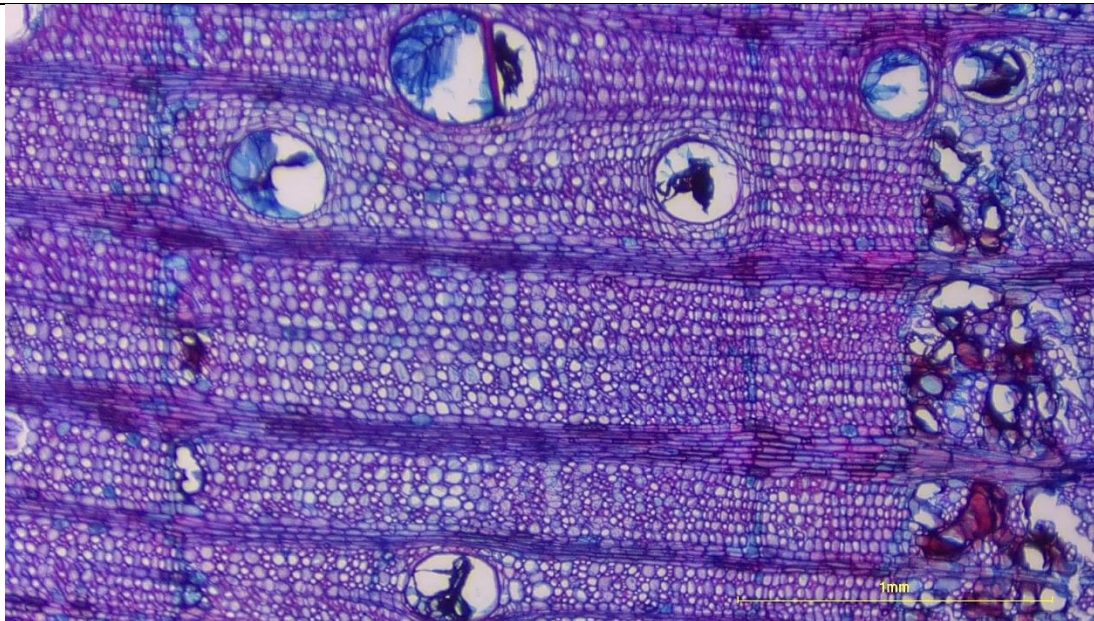


Rasgos anatómicos

Anillos de crecimiento:	Visibles
Vasos	
Porosidad:	Difusa
Disposición:	En patrones radiales o diagonales
Agrupación de vasos:	Solitarios
Espesor de la pared de las fibras:	De delgada a gruesa
Parénquima axial apotraqueal:	Difusa
Parénquima axial paratraqueal:	Escaso
Parénquima en bandas:	Marginal o en bandas aparentemente marginales

Tabla 10. Características cualitativas de *Ceiba trischistandra* (A. Gray) Bakh.

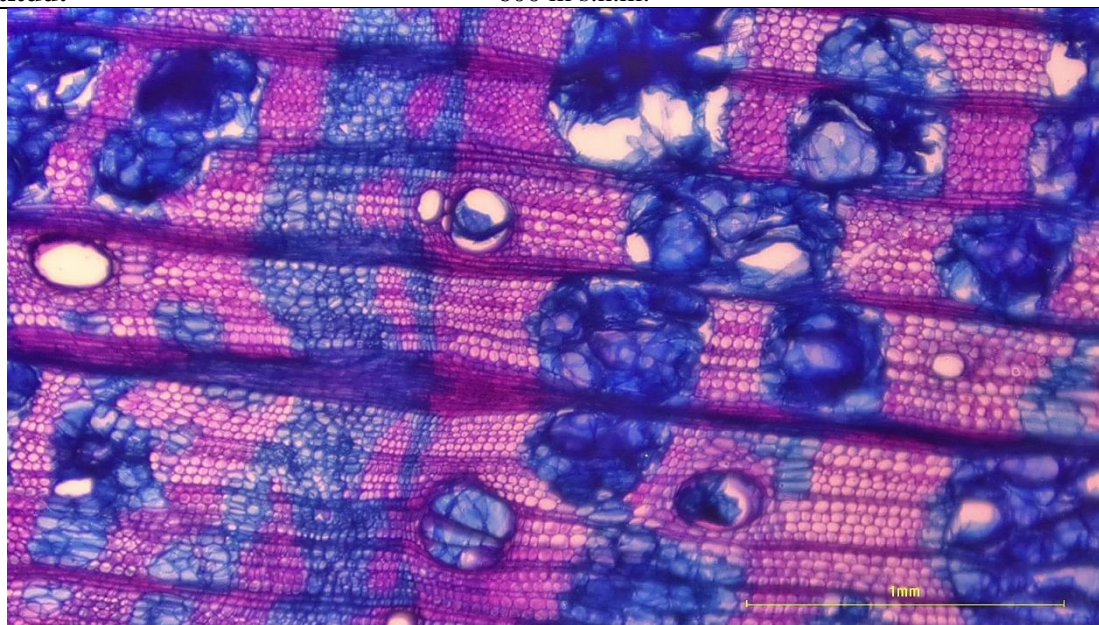
Nombre científico:	<i>Ceiba trischistandra</i> (A.Gray) Bakh.
Nombre común:	Ceibo
Familia:	Malvaceae
Altitud:	600 m s.n.m.



Rasgos anatómicos	
Anillos de crecimiento:	Poco visibles o ausentes
Vasos	
Porosidad:	Difusa
Disposición:	
Agrupación de vasos:	Solitarios
Tilosis y/o depósitos en vasos:	Tilosis común
Espesor de la pared de las fibras:	De delgada a gruesa
Parénquima axial apotraqueal:	Difuso en agregados
Parénquima axial paratraqueal:	Escaso
Parénquima en bandas:	Marginal o en bandas aparentemente marginales

Tabla 11. Características cualitativas de *Cochlospermum vitifolium* (Willd.) Spreng

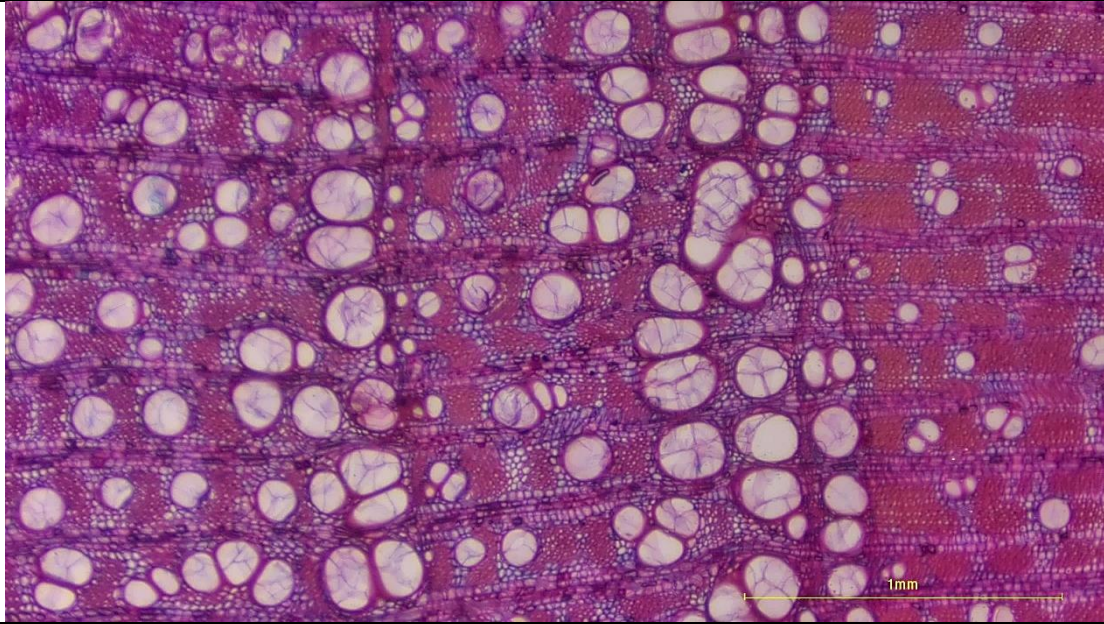
Nombre científico:	<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.
Nombre común:	Polo polo
Familia:	Bixaceae
Altitud:	600 m s.n.m.



Rasgos anatómicos	
Anillos de crecimiento:	Visibles
Vasos	
Porosidad:	Difusa
Disposición:	En patrones radiales o diagonales
Agrupación de vasos:	Solitarios
Espesor de la pared de las fibras:	De delgada a gruesa
Parénquima axial apotraqueal:	Difusa
Parénquima axial paratraqueal:	Adiamantado-aliforme Confluente
Parénquima en bandas:	Marginal o en bandas aparentemente marginales

Tabla 12. Características cualitativas de *Cordia lutea* Lam.

Nombre científico:	<i>Cordia lutea</i> Lam.
Nombre común:	Overal
Familia:	Boraginaceae
Altitud:	600 m s.n.m.

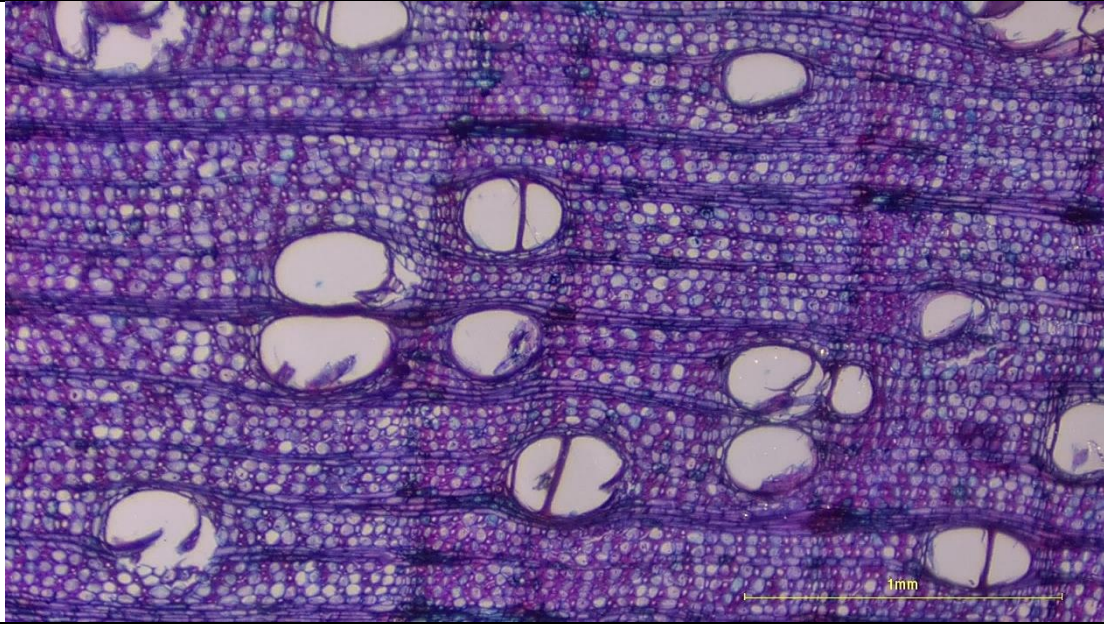


Rasgos anatómicos

Anillos de crecimiento:	Visibles
Vasos	
Porosidad:	Semiporosos
Disposición:	En patrones dendríticos
Agrupación de vasos:	Solitarios
Tilosis y/o depósitos en vasos:	Tilosis común
Espesor de la pared de las fibras:	Muy gruesas
Parénquima axial apotraqueal:	Difusa
Parénquima axial paratraqueal:	Alado-aliforme Confluyente
Parénquima en bandas:	En bandas finas o líneas de hasta tres células de ancho

Tabla 13. Características cualitativas de *Eriotheca ruizii* (K.Schum.) A.Robyns

Nombre científico:	<i>Eriotheca ruizii</i> (K.Schum.) A.Robyns
Nombre común:	Pasallo
Familia:	Malvaceae
Altitud:	600 m s.n.m.

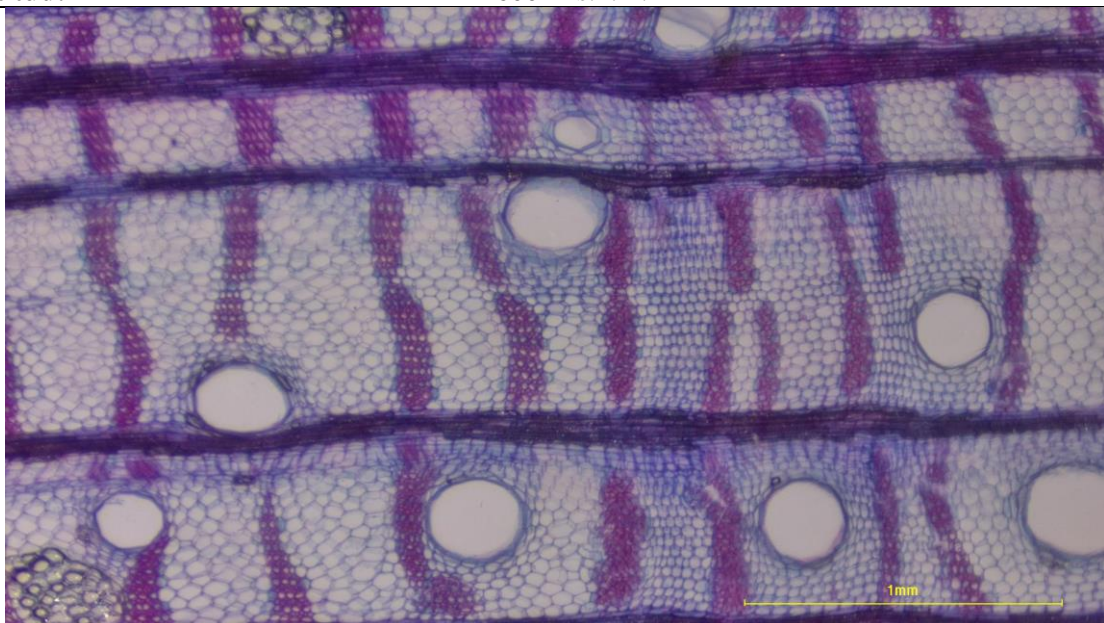


Rasgos anatómicos

Anillos de crecimiento:	Visibles
Vasos	
Porosidad:	Difusa
Disposición:	En patrones radiales o diagonales
Agrupación de vasos:	Solitarios
Espesor de la pared de las fibras:	De delgada a gruesa
Parénquima axial apotraqueal:	Difuso en agregados
Parénquima axial paratraqueal:	Escaso
Parénquima en bandas:	Escarariforme

Tabla 14. Características cualitativas de *Erythrina velutina* Willd.

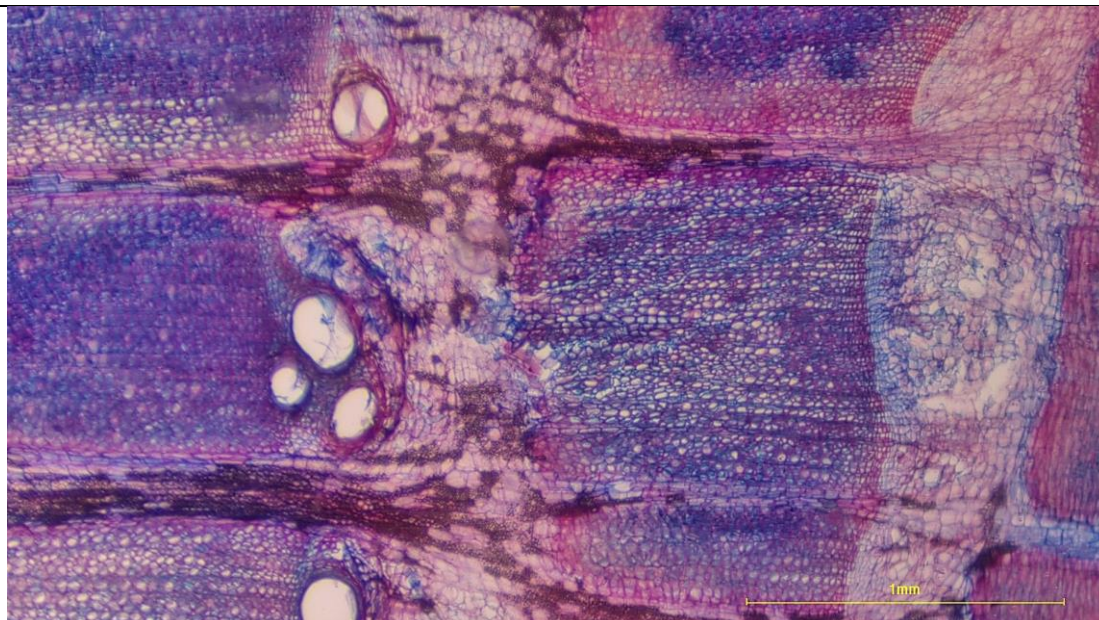
Nombre científico:	<i>Erythrina velutina</i> Willd.
Nombre común:	Porotillo
Familia:	Fabaceae
Altitud:	600 m s.n.m.



Rasgos anatómicos	
Anillos de crecimiento:	Poco visibles o ausentes
Vasos	
Porosidad:	Difusa
Disposición:	
Agrupación de vasos:	Solitarios
Espesor de la pared de las fibras:	De delgada a gruesa
Parénquima axial apotraqueal:	Difusa en agregados
Parénquima axial paratraqueal:	Vasicéntrico
Parénquima en bandas:	En bandas con más de tres células de ancho

Tabla 15. Características cualitativas de *Ipomoea wolcottiana* Rose

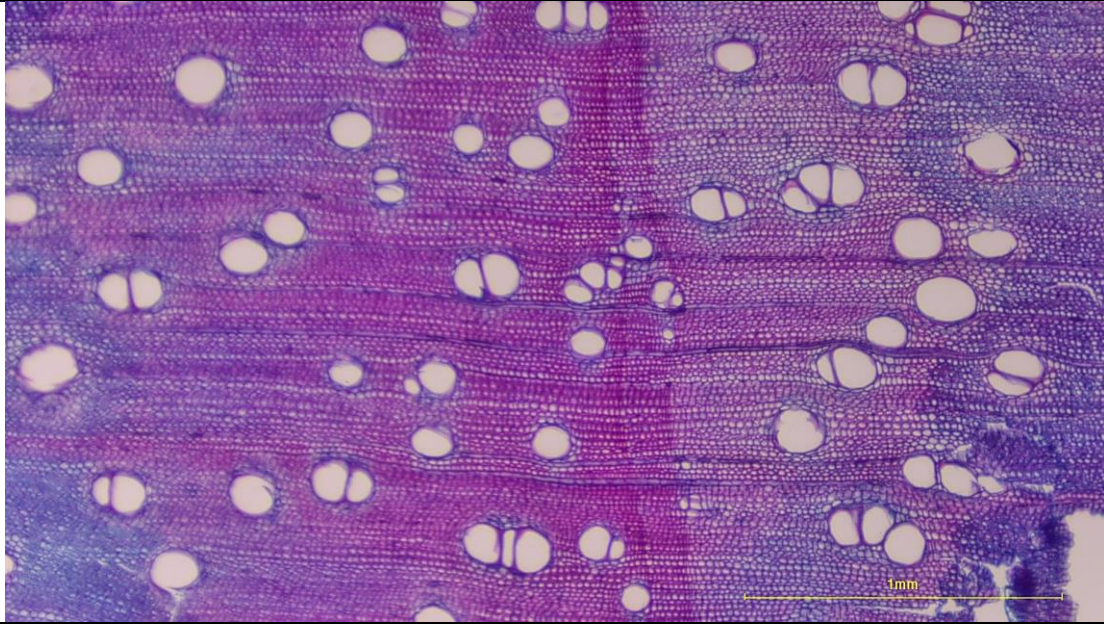
Nombre científico:	<i>Ipomoea wolcottiana</i> Rose
Nombre común:	Samba Samba
Familia:	Convolvulaceae
Altitud:	600 m s.n.m.



Rasgos anatómicos	
Anillos de crecimiento:	Poco visibles o ausentes
Vasos	
Porosidad:	Poroso
Disposición:	En bandas tangenciales
Agrupación de vasos:	Solitarios
Espesor de la pared de las fibras:	Muy fina
Parénquima axial apotraqueal:	Difusa en agregados
Parénquima axial paratraqueal:	Escaso
Parénquima en bandas:	En bandas con más de tres células de ancho

Tabla 16. Características cualitativas de *Loxopterygium huasango* Spruce ex Engl.

Nombre científico:	<i>Loxopterygium huasango</i> Spruce ex Engl.
Nombre común:	Hualtaco
Familia:	Anacardiaceae
Altitud:	600 m s.n.m.

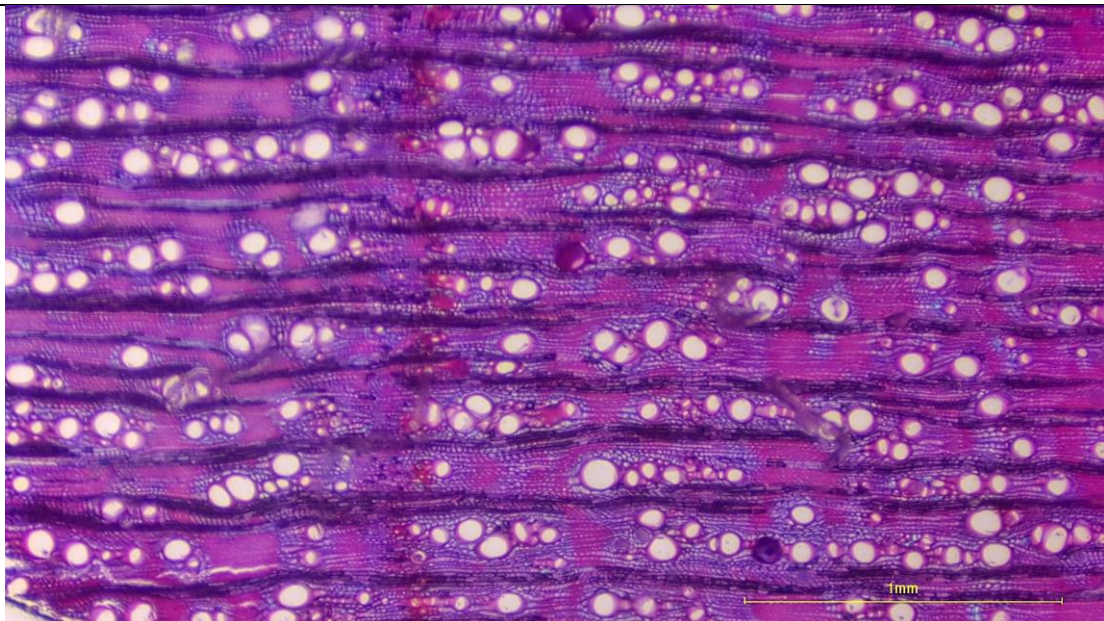


Rasgos anatómicos

Anillos de crecimiento:	Poco visibles o ausentes
Vasos	
Porosidad:	Difusa
Disposición:	En patrones radiales o diagonales
Agrupación de vasos:	En grupos comunes de tres vasos
Tilosis y/o depósitos en vasos:	Tilosis común
Espesor de la pared de las fibras:	De delgada a gruesa
Parénquima axial apotraqueal:	Difusa
Parénquima axial paratraqueal:	Vasicéntrico
Parénquima en bandas:	Marginal

Tabla 17. Características cualitativas de *Morisonia flexuosa* L.

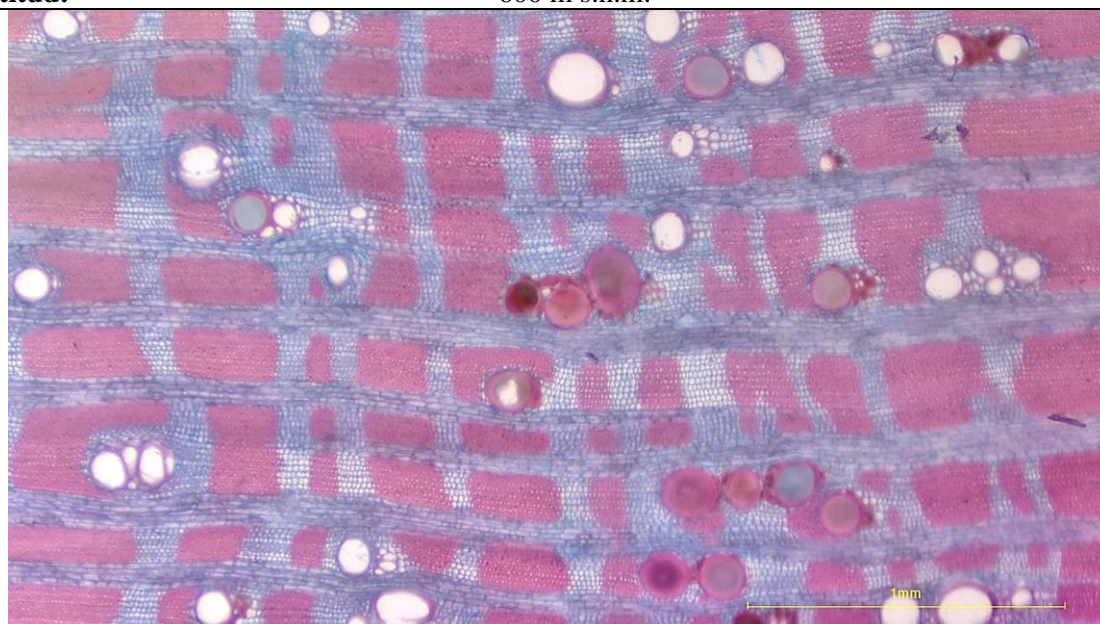
Nombre científico:	<i>Morisonia flexuosa</i> L.
Nombre común:	Margarito
Familia:	Capparaceae
Altitud:	600 m s.n.m.



Rasgos anatómicos	
Anillos de crecimiento:	Poco visibles o ausentes
Vasos:	
Porosidad:	Difusa
Disposición:	En patrones dendríticos
Agrupación de vasos:	En grupos comunes de tres vasos
Tilosis y/o depósitos en vasos:	Tilosis común
Espesor de la pared de las fibras:	Muy gruesa
Parénquima axial apotraqueal:	Difusa
Parénquima axial paratraqueal:	Adiamantado-aliforme Confluente
Parénquima en bandas:	Marginal

Tabla 18. Características cualitativas de *Morisonia scabrida* (Kunth) Christenh. & Byng

Nombre científico:	<i>Morisonia scabrida</i> (Kunth) Christenh. & Byng
Nombre común:	Sapote de perro
Familia:	Capparaceae
Altitud:	600 m s.n.m.

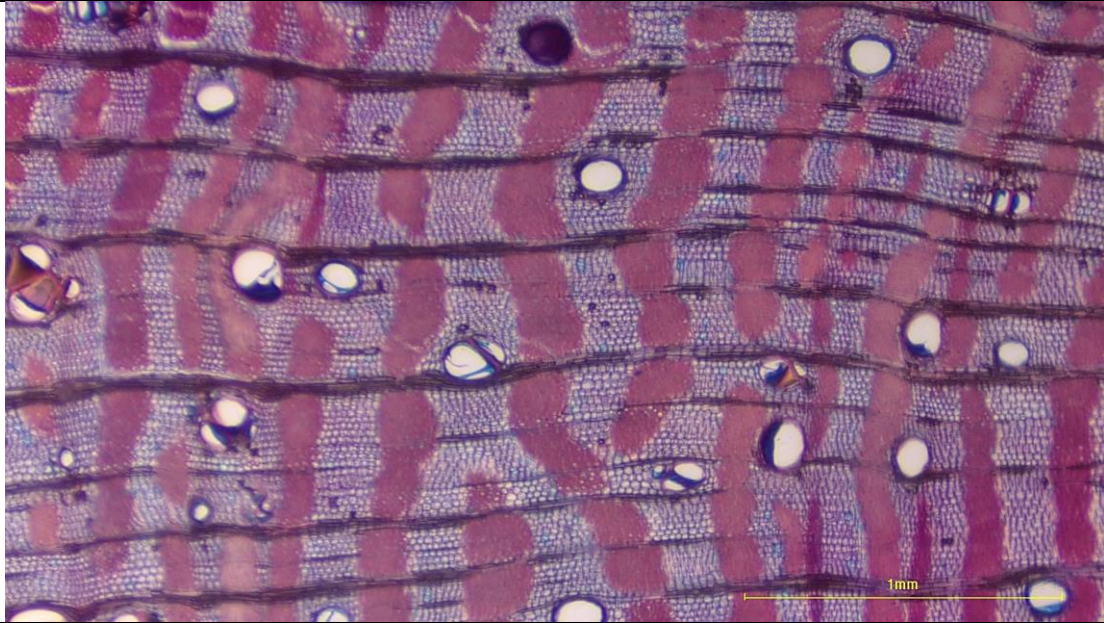


Rasgos anatómicos	
Anillos de crecimiento:	Poco visibles o ausentes
Vasos	
Porosidad:	Difusa
Disposición:	En patrones radiales o diagonales
Agrupación de vasos:	En grupos comunes de más de tres vasos
Tilosis y/o depósitos en vasos:	Tilosis esclerótica
Espesor de la pared de las fibras:	Muy gruesa
Parénquima axial apotraqueal:	Difusa
Parénquima axial paratraqueal:	Alado-aliforme Confluente
Parénquima en bandas:	Reticulado

Tabla 19. Características cualitativas de *Piscidia carthagenensis* Jacq.

Nombre científico:	<i>Piscidia carthagenensis</i> Jacq.
Nombre común:	Barbasco

Familia:	Fabaceae
Altitud:	600 m s.n.m.



Rasgos anatómicos

Anillos de crecimiento:	Poco visibles o ausentes
Vasos	
Porosidad:	Difusa
Disposición:	
Agrupación de vasos:	Solitarios
Tilosis y/o depósitos en vasos:	Tilosis esclerótica
Espesor de la pared de las fibras:	Muy gruesa
Parénquima axial apotraqueal:	Difusa
Parénquima axial paratraqueal:	Aliforme Confluente
Parénquima en bandas:	Con más de tres células de ancho

– *Características cualitativas: Rasgos anatómicos (Parcelas 1 200 m s.n.m)*

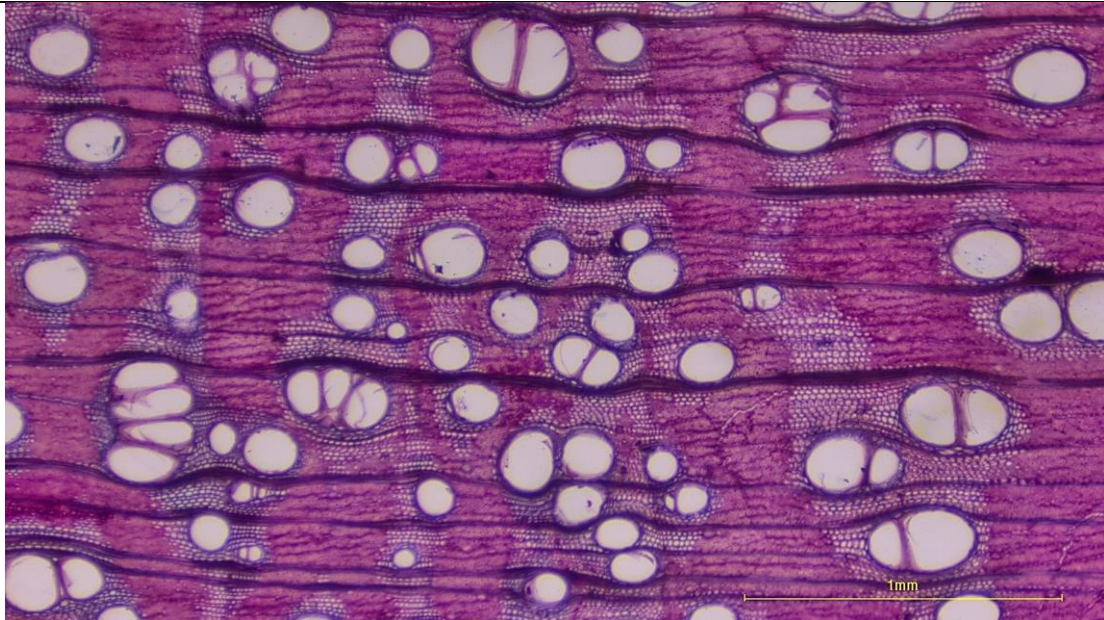
A 1 200 m s.n.m se identificó un mayor número de especies con anillos visibles (8 especies) como *Acacia macracantha*, *Eriotheca ruizii*, *Fulcaldea laurifolia*, *Libidibia glabrata*, *Psidium rostratum*, *Geoffroea spinosa*, *Terminalia valverdae* y *Triplaris cumingiana*; y las especies con anillos poco visibles o ausentes son *Erythrina velutina*, *Handroanthus chrysanthus*, *Pisonia aculeata* y *M. petiolare*. En cuanto a la porosidad de vasos, las once especies poseen vasos con poros difusos; a excepción de *Psidium rostratum* que tiene anillos con vasos semiporosos.

De forma general, predominan vasos dispuestos en patrones radiales y diagonales, así mismo se identificó ocho especies con vasos solitarios como *Acacia macracantha*, *Eriotheca ruizii*, *Erythrina velutina*, *Geoffroea spinosa*, *Handroanthus chrysanthus*, *Psidium rostratum* y *Triplaris cumingiana*; tres especies presentaron vasos en grupos radiales y una especie (*M. petiolare*) que tiene vasos en grupos comunes.

Las especies con tilosis común fueron *Eriotheca ruizii* y *Terminalia valverdae*, y las especies que presentaron gomas u otras sustancias son *Acacia macracantha*, *Erythrina velutina*, *Fulcaldea laurifolia* y *Geoffroea spinosa*, en este grupo de especies no se observó o identifico especies con tilosis esclerótica. Respecto a grosor de la pared de las fibras, 11 especies presentaron un grosor de pared muy gruesas, a excepción de *Pisonia aculeata* que presenta un grosor de pared de fibra que va de delgada a gruesa. Y acerca de los parénquimas existe una gran variedad entre especies, se muestra detallada estas características por especie en las Tablas a continuación (Tabla 20 a la 31):

Tabla 20. Características cualitativas de *Acacia macracantha* Willd.

Nombre científico:	<i>Acacia macracantha</i> Willd.
Nombre común:	Faique
Familia:	Fabaceae
Altitud:	1 200 m s.n.m.



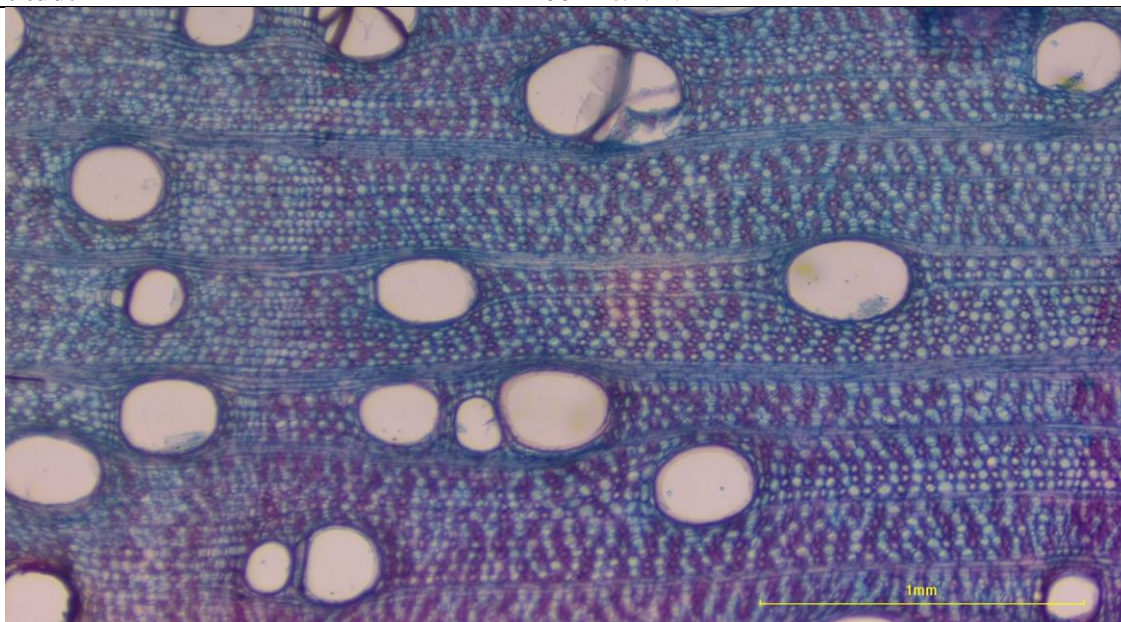
Rasgos anatómicos

Anillos de crecimiento:	Visibles
Vasos	
Porosidad:	Difusa
Disposición:	En patrones radiales o diagonales
Agrupación de vasos:	Solitarios
Tilosis y/o depósitos en vasos:	Gomas y otros depósitos
Espesor de la pared de las fibras:	Muy gruesas
Parénquima axial apotraqueal:	Difusa
Parénquima axial paratraqueal:	Alado-aliforme /Confluente
Parénquima en bandas:	Marginal

Tabla 21. Características cualitativas de *Eriotheca ruizii* (K.Schum.) A.Robyns

Nombre científico:	<i>Eriotheca ruizii</i> (K.Schum.) A.Robyns
Nombre común:	Pasallo
Familia:	Fabaceae

Altitud: 1 200 m s.n.m.

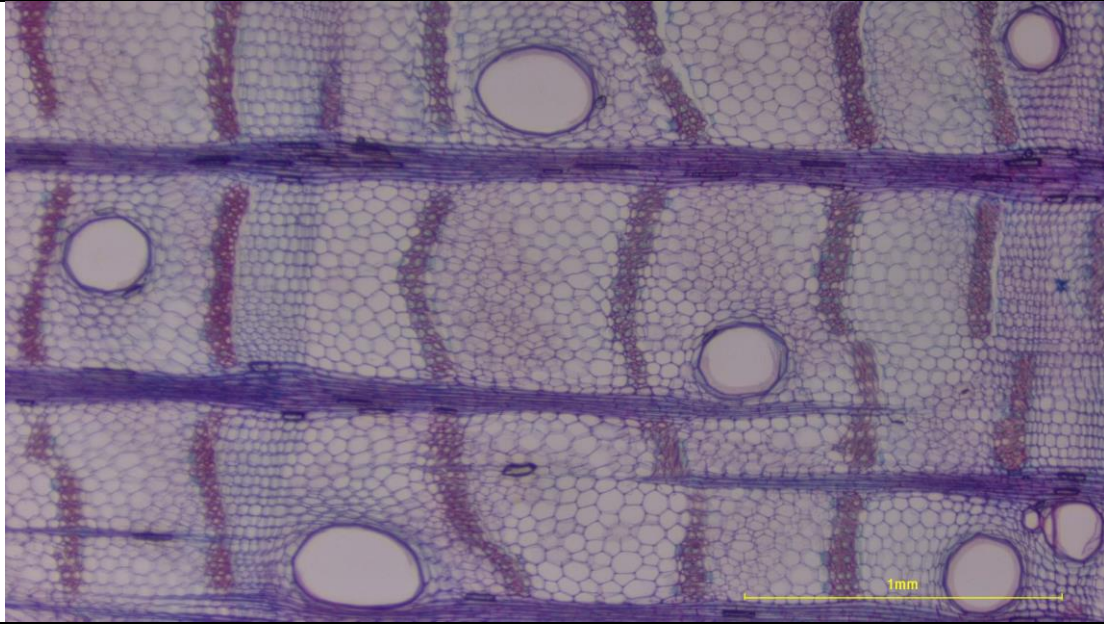


Rasgos anatómicos

Anillos de crecimiento:	Visibles
Vasos	
Porosidad:	Difusa
Disposición:	En patrones radiales o diagonales
Agrupación de vasos:	Solitarios
Tilosis y/o depósitos en vasos:	Tilosis común
Espesor de la pared de las fibras:	Muy gruesas
Parénquima axial apotraqueal:	Difuso en agregados
Parénquima axial paratraqueal:	Escaso
Parénquima en bandas:	Escalariforme

Tabla 22. Características cualitativas de *Erythrina velutina* Willd.

Nombre científico:	<i>Erythrina velutina</i> Willd.
Nombre común:	Porotillo
Familia:	Fabaceae
Altitud:	1 200 m s.n.m.

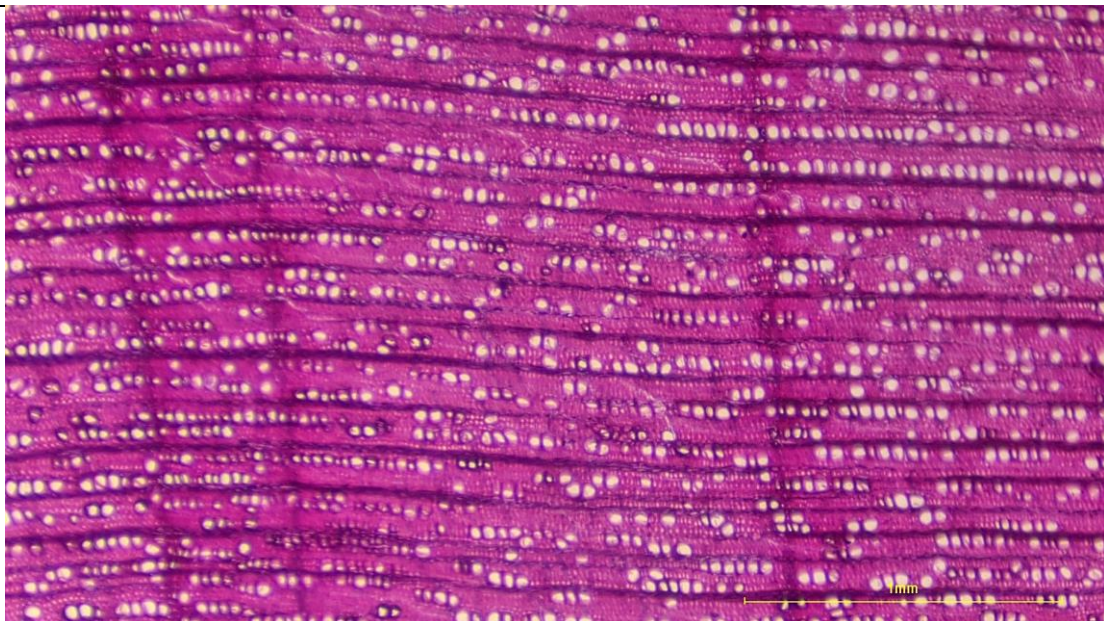


Rasgos anatómicos

Anillos de crecimiento:	Poco visibles o ausentes
Vasos	
Porosidad:	Difusa
Disposición:	En patrones radiales o diagonales
Agrupación de vasos:	Solitarios
Tilosis y/o depósitos en vasos:	Gomas y otros depósitos
Espesor de la pared de las fibras:	Muy gruesas
Parénquima axial apotraqueal:	Difuso en agregados
Parénquima axial paratraqueal:	Vasicéntrico
Parénquima en bandas:	En bandas con más de tres células de ancho

Tabla 23. Características cualitativas de *Fulcaldea laurifolia* (Bonpl.) Poir

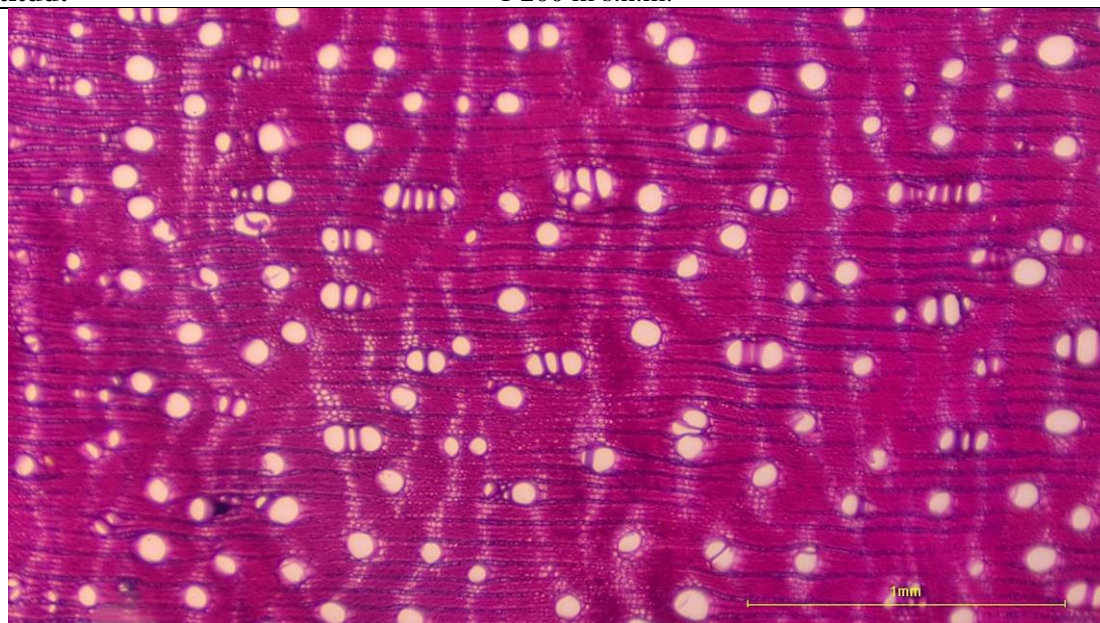
Nombre científico:	<i>Fulcaldea laurifolia</i> (Bonpl.) Poir.
Nombre común:	Guallachi
Familia:	Asteraceae
Altitud:	1 200 m s.n.m.



Rasgos anatómicos	
Anillos de crecimiento:	Visibles
Vasos	
Porosidad:	Difusa
Disposición:	En patrones radiales o diagonales
Agrupación de vasos:	En grupos radiales
Tilosis y/o depósitos en vasos:	Gomas y otros depósitos
Espesor de la pared de las fibras:	Muy gruesas
Parénquima axial apotraqueal:	Difuso
Parénquima axial paratraqueal:	Escaso
Parénquima en bandas:	Marginal

Tabla 24. Características cualitativas de *Geoffroea spinosa* M.de Moussy

Nombre científico:	<i>Geoffroea spinosa</i> M.de Moussy
Nombre común:	Almendro
Familia:	Fabaceae
Altitud:	1 200 m s.n.m.

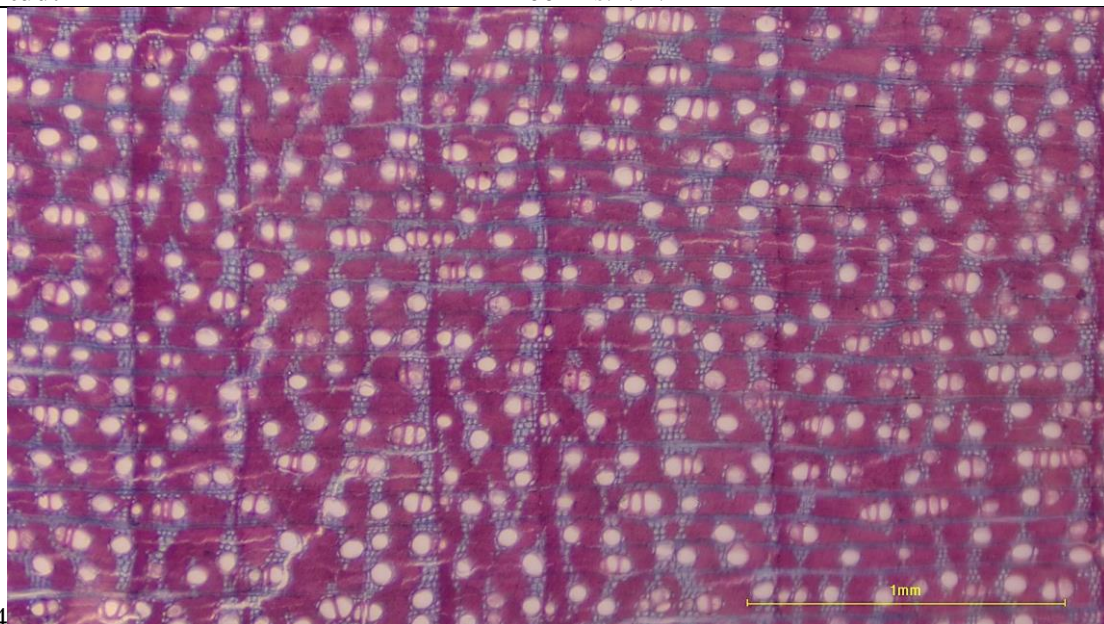


Rasgos anatómicos	
Anillos de crecimiento:	Visibles
Vasos	
Porosidad:	Difusa
Disposición:	
Agrupación de vasos:	Solitarios
Tilosis y/o depósitos en vasos:	Gomas y otros depósitos
Espesor de la pared de las fibras:	Muy gruesas
Parénquima axial apotraqueal:	Difuso
Parénquima axial paratraqueal:	Alado-aliforme Confluente
Parénquima en bandas:	Marginal

Tabla 25. Características cualitativas de *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose

Nombre científico:	<i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O.Grose
Nombre común:	Guayacán
Familia:	Bignonaceae

Altitud: 1 200 m s.n.m.

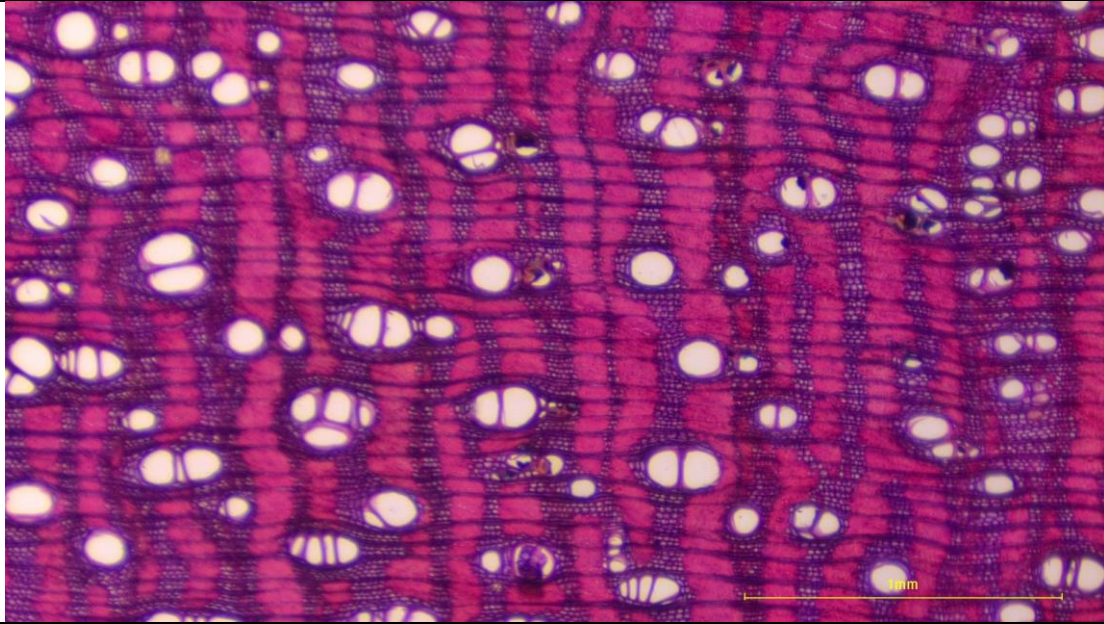


Rasgos anatómicos

Anillos de crecimiento:	Poco visibles o ausentes
Vasos	
Porosidad:	Difusa
Disposición:	En patrones radiales o diagonales
Agrupación de vasos:	Solitarios
Espesor de la pared de las fibras:	Muy gruesas
Parénquima axial apotraqueal:	Difuso
Parénquima axial paratraqueal:	Vasicéntrico Alado-aliforme Confluyente
Parénquima en bandas:	Marginal

Tabla 26. Características cualitativas de *Libidibia glabrata* (Kunth) C.Cast. & G.P.Lewis

Nombre científico:	<i>Libidibia glabrata</i> (Kunth) C.Cast. & G.P.Lewis
Nombre común:	Charán
Familia:	Fabaceae
Altitud:	1 200 m s.n.m.

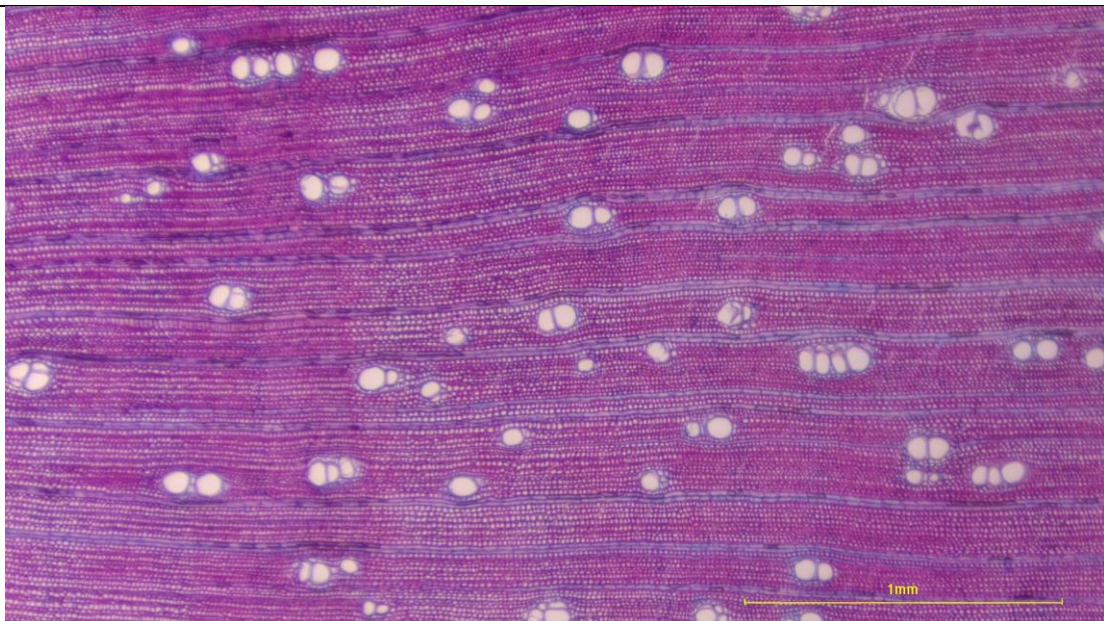


Rasgos anatómicos

Anillos de crecimiento:	Visibles
Vasos	
Porosidad:	Difusa
Disposición:	En patrones radiales o diagonales
Agrupación de vasos:	En grupos radiales
Espesor de la pared de las fibras:	Muy gruesas
Parénquima axial apotraqueal:	Difuso en agregados
Parénquima axial paratraqueal:	Alado-aliforme Confluente
Parénquima en bandas:	Reticulado

Tabla 27. Características cualitativas de *Morisonia petiolare* (Kunth) Christenh. & Byng

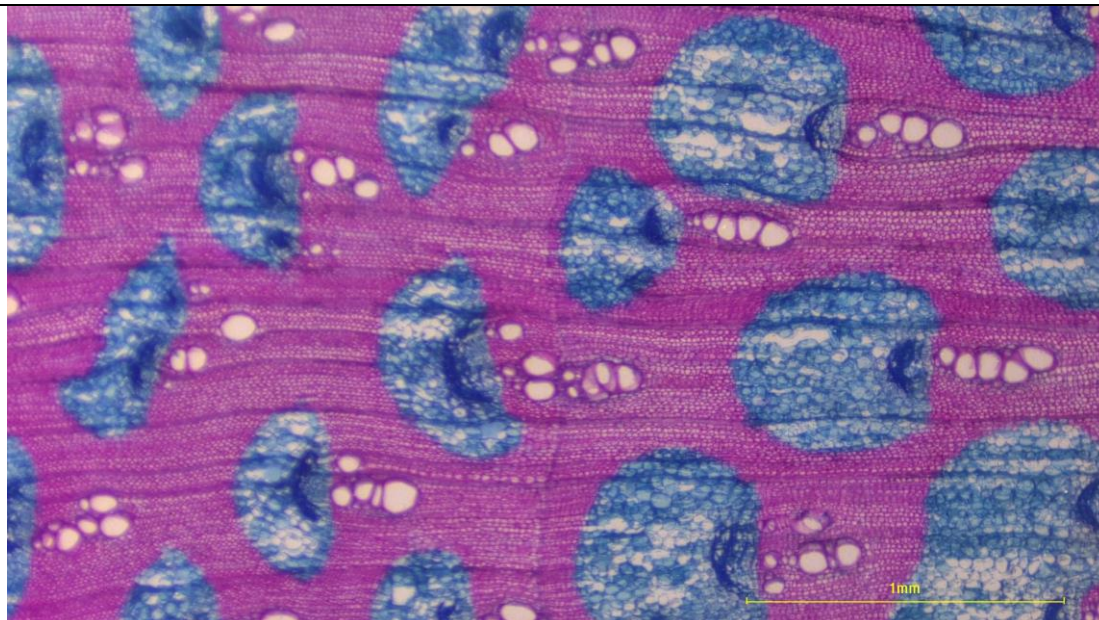
Nombre científico:	<i>Morisonia petiolare</i> (Kunth) Christenh. & Byng
Nombre común:	Chora
Familia:	Capparaceae
Altitud:	1 200 m s.n.m.



Rasgos anatómicos	
Anillos de crecimiento:	Poco visibles
Vasos	
Porosidad:	Difusa
Disposición:	En patrones radiales o diagonales
Agrupación de vasos:	En grupos comunes
Tilosis y/o depósitos en vasos:	Gomas y otros depósitos
Espesor de la pared de las fibras:	Muy gruesas
Parénquima axial apotraqueal:	Difuso
Parénquima axial paratraqueal:	Vasicéntrico Confluente
Parénquima en bandas:	En bandas con más de tres células de ancho

Tabla 28. Características cualitativas de *Pisonia aculeata* L

Nombre científico:	<i>Pisonia aculeata</i> L.
Nombre común:	Pego pego
Familia:	Nyctaginaceae
Altitud:	1 200 m s.n.m.

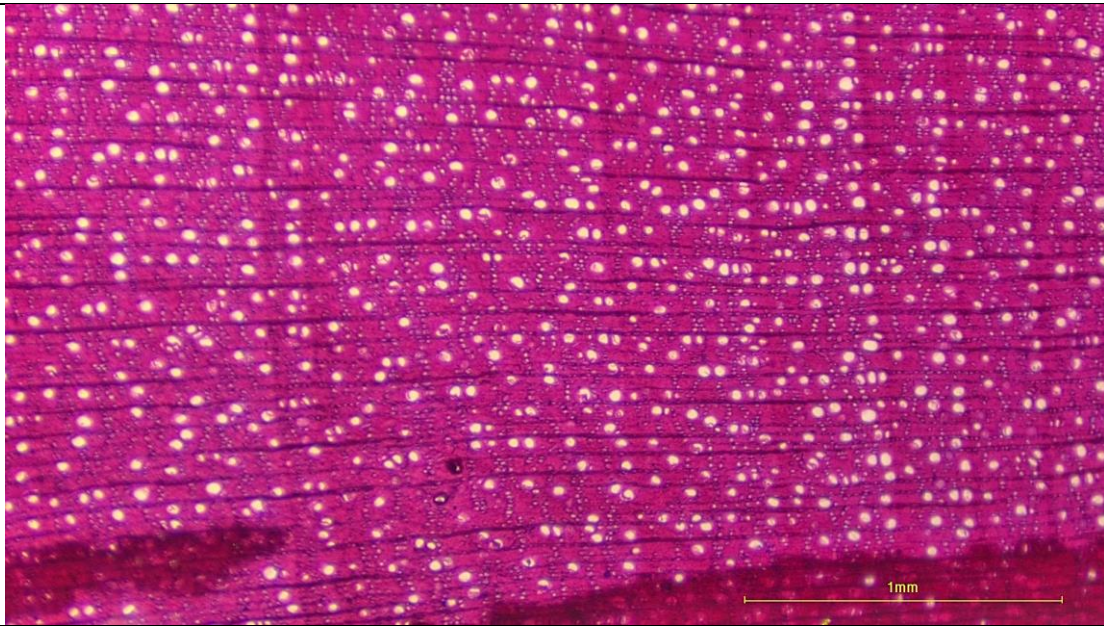


Rasgos anatómicos	
Anillos de crecimiento:	Poco visibles
Vasos	
Porosidad:	Difusa
Disposición:	En patrones radiales o diagonales
Agrupación de vasos:	En grupos comunes
Tilosis y/o depósitos en vasos:	Gomas y otros depósitos
Espesor de la pared de las fibras:	De delgada a gruesa
Parénquima axial apotraqueal:	Difuso
Parénquima axial paratraqueal:	Escaso
Parénquima en bandas:	Marginal

Tabla 29. Características cualitativas de *Psidium rostratum* McVaugh

Nombre científico:	<i>Psidium rostratum</i> McVaugh
Nombre común:	Guayabillo

Familia:	Myrtaceae
Altitud:	1 200 m s.n.m.

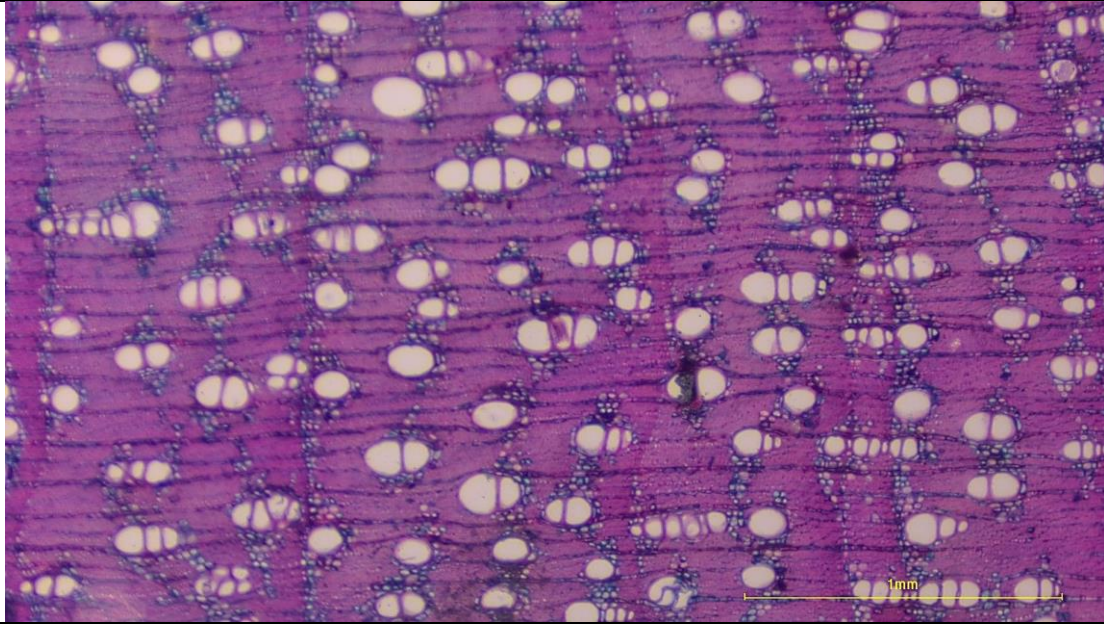


Rasgos anatómicos

Anillos de crecimiento:	Visibles
Vasos	
Porosidad:	Semiporosos
Disposición:	En patrones radiales o diagonales
Agrupación de vasos:	Solitarios
Espesor de la pared de las fibras:	Muy gruesas
Parénquima axial apotraqueal:	Escaso
Parénquima axial paratraqueal:	Vasicéntrico
Parénquima en bandas:	Escalariforme

Tabla 30. Características cualitativas de *Terminalia valverdeae* A.H.Gentry

Nombre científico:	<i>Terminalia valverdeae</i> A.H.Gentry
Nombre común:	Almendro
Familia:	Combretaceae
Altitud:	1 200 m s.n.m.

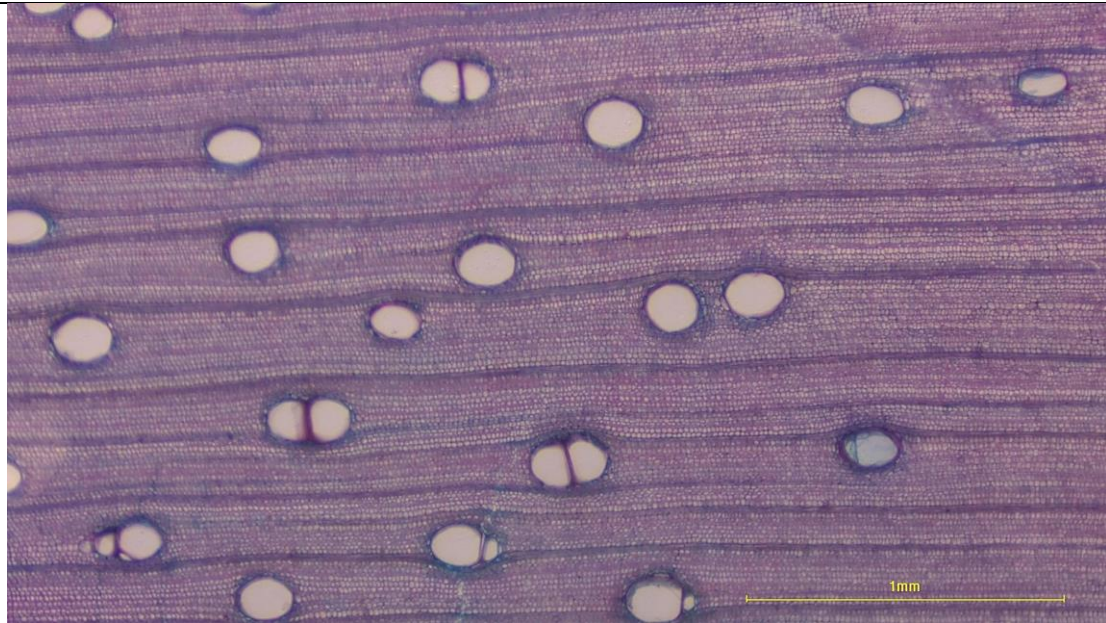


Rasgos anatómicos

Anillos de crecimiento:	Visibles
Vasos	
Porosidad:	Difusa
Disposición:	En patrones radiales o diagonales
Agrupación de vasos:	En grupos radiales
Tilosis y/o depósitos en vasos:	Tilosis común
Espesor de la pared de las fibras:	Muy gruesa
Parénquima axial apotraqueal:	
Parénquima axial paratraqueal:	Vasicéntrico Confluente Unilateral
Parénquima en bandas:	Marginal

Tabla 31. Características cualitativas de *Triplaris cumingiana* Fisch. & C.A.Mey. ex C.A.Mey

Nombre científico:	<i>Triplaris cumingiana</i> Fisch. & C.A.Mey. ex C.A.Mey.
Nombre común:	Roblón
Familia:	Polygonaceae
Altitud:	1 200 m s.n.m.



Rasgos anatómicos

Anillos de crecimiento:	Visibles
Vasos	
Porosidad:	Difusa
Disposición:	En patrones radiales o diagonales
Agrupación de vasos:	Solitarios
Espesor de la pared de las fibras:	Muy gruesa
Parénquima axial apotraqueal:	Escaso
Parénquima axial paratraqueal:	Vasicéntrico
Parénquima en bandas:	Marginal

– *Altitud y rasgos anatómicos*

Para conocer si existía alguna relación entre la altitud y los rasgos analizados se realizó un análisis de correlación de Pearson (Schober et al., 2018) entre todas las variables con la altitud, se usó un *p-valor* de 0,05 (Figura 14).

En el análisis se puede evidenciar que la altitud influye sobre rasgos anatómicos cuantitativos como diámetro de vasos y desviación estándar de diámetro de vasos, manteniendo una correlación negativa. En cambio, con los rasgos cuantitativos considerados en la presente investigación la altitud mantiene una correlación positiva con la presencia de gomas y otras sustancias en los vasos, y el grosor de la pared de la fibra muy gruesa.

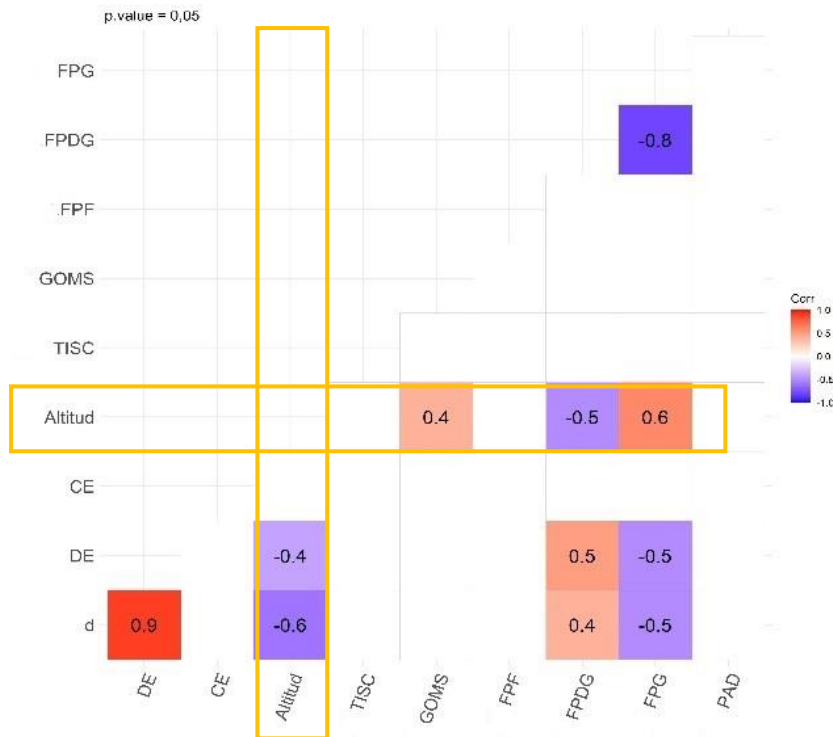


Figura 14. Análisis de correlación entre la altitud y los rasgos de la madera de las especies evaluadas ($p=0,05$). El color rojo representa correlación positiva y el color azul representa correlación negativa.

Nota:

d → Diámetro de vasos (μm)

DV → Densidad de vasos (n mm^{-2})

DE → Desviación estándar del diámetro de vasos (μm)

CE → Conductividad específica ($\text{kg m}^{-1} \text{MPa}^{-1} \text{s}^{-1}$)

57. $TISC$ → Tilosis esclerótica

58. $GOMS$ → Presencia de gomas

68. FPD → Fibras de pared muy delgadas

69. $FPDG$ → Fibras de pared de delgadas a gruesas

70. FPG → Fibras de pared gruesa

También, se realizó un análisis de correlación entre las especies presentes en los dos rangos altitudinales para *Eriotheca ruizii* y *Erythrina velutina*, el propósito fue evaluar y reconocer si sus características cuantitativas mantienen algún tipo de correlación entre sí de acuerdo con la altitud (Figura 15).

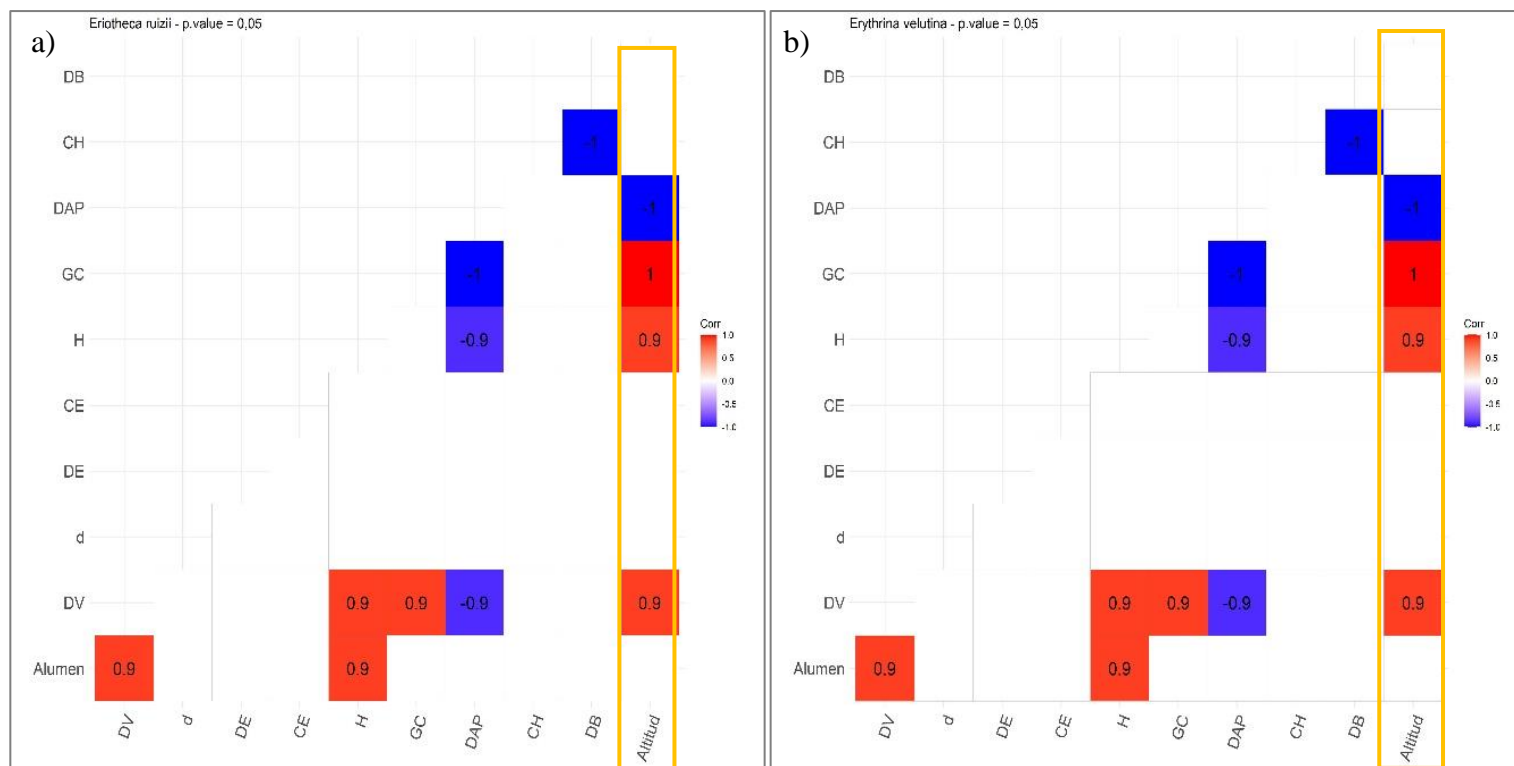


Figura 15. Análisis de correlación de (a) *Eriotheca ruizii* (n=8) y (b) *Erythrina velutina* (n=8) con un p=0,05

Nota:

DB → Densidad básica de la madera (g/cm^3)

CE → Conductividad específica ($kg\ m^{-1}\ MPa^{-1}\ s^{-1}$)

GC → Grosor de la corteza (mm)

CH → Contenido de humedad (%)

d → Diámetro promedio de vasos (μm)

DE → Desviación estándar del diámetro de vasos (μm)

DAP → Diámetro a la altura del pecho (cm)

H → Altura promedio de la especie (m)

Alumen → Área del lumen (mm^2)

DV → Densidad de vasos ($n\ mm^{-2}$)

En la Figura 15a se correlacionó los rasgos físicos y anatómicos de los ocho individuos de *Eriotheca ruizii*, donde se pueden observar una correlación positiva entre variables como área de lumen, densidad de vasos y altura del árbol. Así mismo, la densidad de vasos se correlaciona con el contenido de humedad (CH). Por lo contrario, existe una correlación negativa entre diámetro a la altura del pecho del árbol (DAP) con la densidad de los vasos (DV), altura total del árbol (H) y contenido de humedad de la madera, y con la altitud se correlaciona de forma positiva con la densidad de vasos (DV), altura total del árbol (H) y contenido de humedad. Del mismo modo correlacionó los rasgos de los ocho individuos de *Erythrina velutina* y se observó una correlación positiva entre diámetro de vasos (d) y desviación estándar de diámetro de vasos (DE) (Figura 15b). Otra correlación positiva se da entre el diámetro a la altura del pecho con el diámetro de los vasos y desviación estándar del diámetro de vasos. El diámetro a la altura del pecho (DAP) también se correlaciona de forma negativa con el contenido de humedad (CH). Así mismo, con la altitud se correlacionan de forma positiva el contenido de humedad de la madera.

6.2. Evaluación de propiedades físicas, conductividad hidráulica específica y rasgos anatómicos de la madera de 22 especies forestales de la Reserva Natural Laipuna

Mediante análisis de componentes principales y análisis de correlación de Pearson (Schober et al., 2018) se observó la relación existente entre la densidad de la madera y otros rasgos de la madera. Se destacó la alta relación positiva con diámetro de vasos (d), desviación estándar de diámetro de vasos (DE) y contenido de humedad de la madera (CH). Así mismo, se encontró una relación positiva de los rasgos anatómicos cualitativos con parénquimas asociados a los vasos, la formación de anillos de crecimiento visibles y la distribución de vasos en patrones radiales.

6.2.1. Relación de la densidad básica con las propiedades físicas, hidráulicas y rasgos anatómicos cuantitativos madera

En la Figura 16, se observa el resultado del análisis de componentes principales (ACP) obtenido en base a la información cuantitativa recopilada por cada especie evaluada.

El primer eje del ACP explica el 43,7 % de la variación del valor de la variable o rasgo de la madera. Este primer eje está influenciado principalmente de forma negativa por la densidad básica de la madera (DB) y densidad de vasos (DV). El segundo eje explica el 17,3 % de las variaciones de las variables o rasgos de la madera. Está influenciado negativamente por el grosor de la corteza (GC) y la altura del árbol (H), y de forma positiva con la desviación estándar del diámetro de vasos (DE) y diámetro promedio de vasos (d).

Se destaca que especies como *Eriotheca ruizii* (1 200 m s.n.m.), *Handroanthus chrysanthus*, *Fulcaldea laurofolia* y *Psidium rostratum* muestran valores negativos para el PC2 contribuyendo la densidad de la madera (DB), todas especies a 1 200 m s.n.m. En cambio, especies como *Erythrina velutina* (600 m s.n.m.), *Ceiba trischistandra* e *Ipomoea wolcottiana* muestran valores positivos en el PC1, son especies a 600 m s.n.m. que muestran una correlación con la conductividad específica de la madera (CE).

En el gráfico o *biplot* los vectores lineales representan las variables, en donde se observa una correlación directa entre CE, GC, H, DAP, y Alumen. Así mismo, otro grupo de variables que se correlacionan de acuerdo al ACP es el contenido de humedad de la madera (CH), diámetro promedio de los vasos (d) y desviación estándar del diámetro de vasos (DE). Finalmente, la densidad básica de la madera (DB) y densidad de vasos (DV) están correlacionados fuertemente entre sí, e indirectamente correlacionadas con el diámetro promedio de vasos (d), DE y CH.

En la Figura 16a. se observa tres elipses en base a la densidad básica de la madera de cada especie, roja para maderas livianas, celeste semipesadas y verde pesadas. Donde la elipse de maderas semipesadas interseca con las otras elipses presentando una mayor variabilidad en la agrupación en comparación con la elipse de maderas livianas. Y en la Figura 16b, se agrupó las maderas en base al carácter foliar en donde el grupo de las especies caducifolias abarca el grupo de las especies perennifolias, y posee mayor variabilidad debido al número y distribución las especies en ambos pisos altitudinales (Detalle de ACP en el Anexo 6).

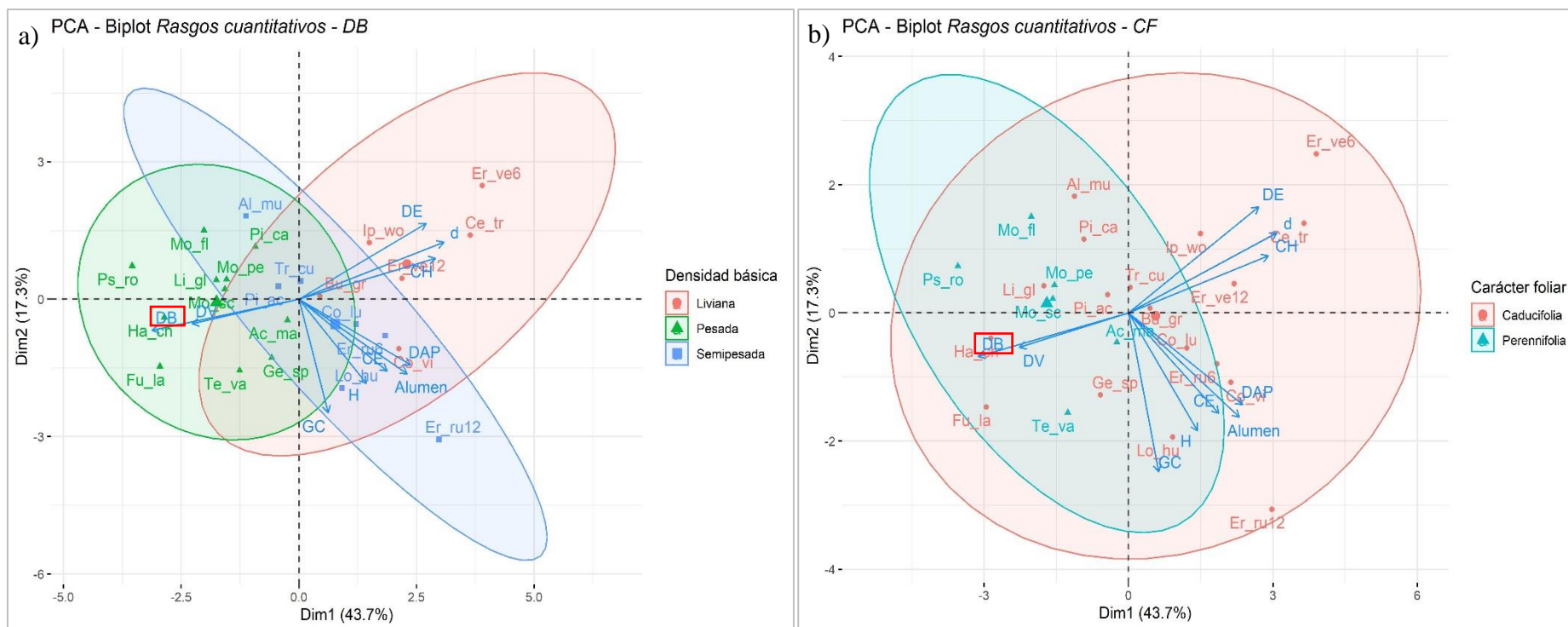


Figura 16. Análisis de componentes principales de las características anatómicas cuantitativas de 22 especies forestales comunes de la R. N Laipuna respecto a su densidad y grupo foliar. a) Características cuantitativas con la categoría de densidad básica de la madera. b) Características cuantitativas de acuerdo con el grupo foliar.

Nota:

DB → Densidad básica de la madera (g/cm^3)

CE → Conductividad específica ($kg\ m^{-1}\ MPa^{-1}\ s^{-1}$)

GC → Grosor de la corteza (mm)

CH → Contenido de humedad (%)

d → Diámetro promedio de vasos (μm)

DE → Desviación estándar del diámetro de vasos (μm)

DAP → Diámetro a la altura del pecho (cm)

H → Altura promedio de la especie (m)

Alumen → Área del lumen (mm^2)

DV → Densidad de vasos ($n\ mm^{-2}$)

6.2.2. *Relación de la densidad básica con los rasgos anatómicos cualitativos de la madera*

En la Figura 17, se observa el resultado del análisis de componentes principales obtenido con base en la información cualitativa recopilada por cada especie evaluada.

El primer eje del ACP explica el 21,9 % de la variación del valor de la variable o rasgo de la madera. Este primer eje está influenciado principalmente de forma negativa por la variable densidad básica de la madera (DB). El segundo eje explica el 14 % de la variación de las variables o rasgos de la madera que está influenciado negativamente por 10.VGR, 5.AD y 89.PA.MARG, junto con otros rasgos como 83.PA.CO, 80.PA.ALI y 82.P.ALAL que son variedades de parénquimas asociados a los vasos (Detalle de importancia de componentes principales en el Anexo 6).

Se destaca las especies *Geoffroea spinosa*, *Acacia macracantha*, *Morisonia flexuosa* y *M. scabrida*, *Cordia lutea* e *Ipomoea wolcottiana* que indican valores negativos para el PC2 (< -2,5) contribuyendo a la variable densidad básica (DB), estas especies se encuentran en las parcelas a 1 200 m s.n.m. En cambio, especies como *Ipomoea wolcottiana*, *Cochlospermum vitifolium*, *Erythrina velutina* y *Ceiba trischistandra* muestran valores positivos en el PC2 (> 2,5) todas son especies de 600 m s.n.m. (Figura 17).

En la Figura 17a se observa el ACP con tres elipses en base a la densidad básica de la madera de cada especie, roja para maderas livianas, celeste semipesadas y verde pesadas. Donde la elipse de maderas livianas interseca con las otras elipses y posee una alta variabilidad por su tamaño y forma; en cambio la elipse de las maderas livianas se presenta con menor variabilidad y abarca en su mayoría especies de 600 m s.n.m. Del mismo modo, en la Figura 17b se agrupó las maderas de acuerdo al carácter foliar en donde el grupo de las especies caducifolias abarca el grupo de las especies perennifolias, y posee mayor variabilidad debido a la abundancia de especies con carácter foliar de tipo caducifolio.

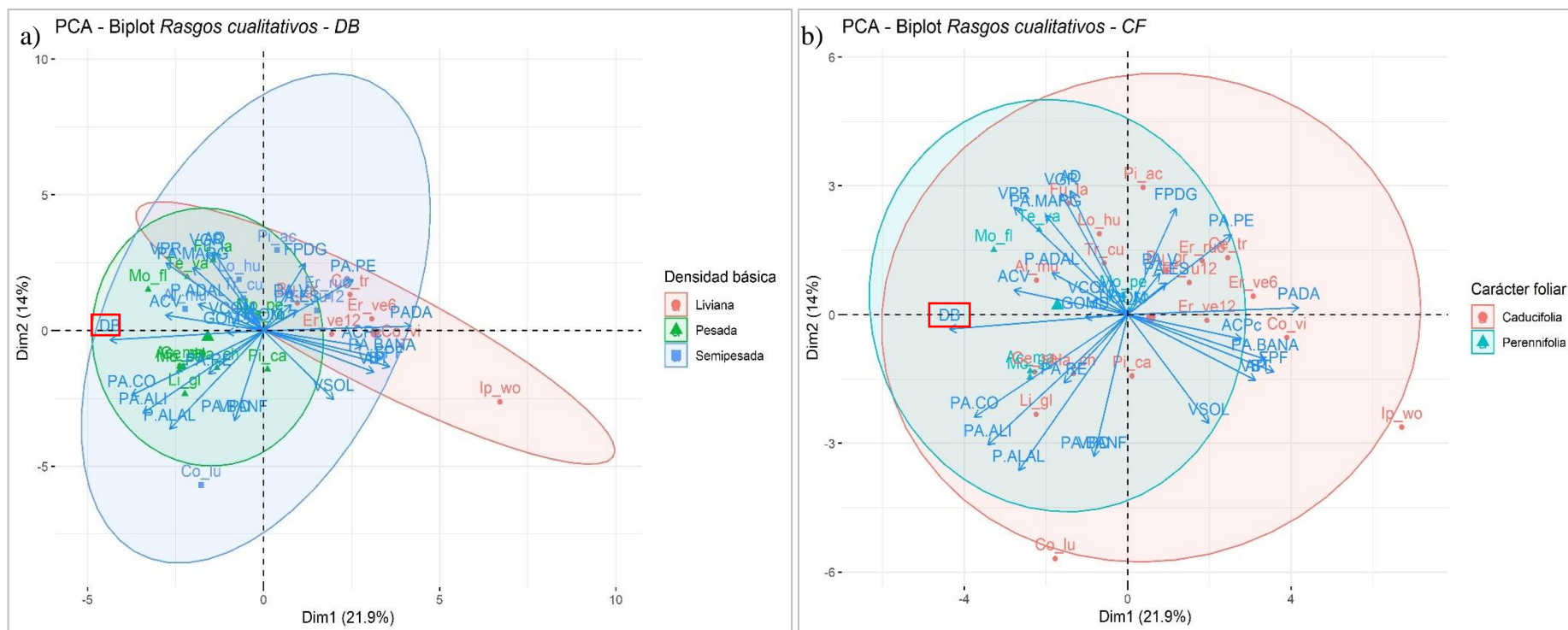


Figura 17. Análisis de componentes principales de las características anatómicas cualitativas de 22 especies forestales comunes de la R. N Laipuna. a) Características cualitativas con la categoría de densidad básica de la madera (DB). b) Características cualitativas de acuerdo al grupo foliar.

Nota:

DB → Densidad básica (g/cm³)

1.AC.V → Anillos de crecimiento visible

2.ACP → Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes

3.AP → Anillo porosos

4.AS → Anillo semiporosos

5.AD → Anillo con poros difusos

6.VBT → Vasos en bandas tangenciales

7.VPR → Vasos en patrón radiales o diagonales

8.VPD → Vasos en patrones dendríticos

9.VSOL → Vasos exclusivamente solitarios (90% o más)

10.VGR → Vasos en grupos radiales de 4 o más

11.VCOM → Vasos en grupos comunes (de 3 o más vasos)

12.VS.PA → Vaso solitario contorno angular

56.TICOM → Tilosis común

57.TISC → Tilosis esclerótica

58.GOMS → Gomas y otros depósitos en vasos del duramen

68.FPF → Fibras de pared muy fina

69.FPDG → Fibras de pared delgada a gruesa

70.FPG → Fibras de paredes muy gruesas

76.PAD → Parénquima axial difuso

77.PADA → Parénquima axial difuso en agregados

78.PA.PE → Parénquima axial paratraqueal escaso

79.PA.V → Parénquima axial vasicéntrico

80.PA.ALI → Parénquima axial aliforme

81.P.ADAL → Parénquima axial adiamantado-aliforme

82.P.ALAL → Parénquima axial alado-aliforme

83.PA.CO → Parénquima axial confluyente

84.PA.UPA → Parénquima axial unilateral paratraqueal

85.PA.BANA → Parénquima axial en bandas con más de tres células de ancho

86.PA.BANF → Parénquima axial en bandas finas o líneas de hasta tres células de ancho

87.PA.RE → Parénquima axial reticulado

88.PA.ES → Parénquima axial escalariiforme

89.PA.MARG → Parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales

6.2.3. Relación de la densidad básica y la altitud

A 600 m s.n.m. se observó que la densidad influye de forma negativa en la variabilidad del PC1, y las especies que se agrupan en este vector son *Morisonia scabrida* y *M. flexuosa*, que son especies de alta densidad en este piso altitudinal. Es importante destacar que en este piso altitudinal abundan especies con un alto diámetro de vasos ($5 - 9 \mu\text{m}$) y baja densidad básica de la madera ($0,20$ a $0,80 \text{ g/cm}^3$). Del mismo modo, estas especies presentaron baja densidad de vasos ($0,70 - 18 \text{ n mm}^{-2}$), y un alto contenido de humedad de su madera ($50,7 \%$ CH promedio) como es el caso de *Cochlospermum vitifolium* su madera posee $77,3 \%$ CH. También se identificó que en este piso altitudinal abundan las especies que poseen una mayor área del lumen de vasos ($1 - 8 \text{ mm}^2$), con alta conductividad específica como lo son *Eriotheca ruizii* ($180,12 \text{ kg m}^{-1} \text{ MPa}^{-1}\text{s}^{-1}$) y *Cordia lutea* ($141,53 \text{ kg m}^{-1} \text{ MPa}^{-1}\text{s}^{-1}$) (Figura 18).

A 1 200 m s.n.m., en cambio la densidad muestra variabilidad para los dos componentes, para el PC1 positiva y para el PC2 negativa, y así mismo las especies que se agrupan contribuyendo a la variable densidad básica dentro de este piso altitudinal fueron: *Terminalia valverdae* y *Handroanthus chrysanthus*. En este piso altitudinal se identificó un mayor número de especies de alta densidad básica de la madera ($0,20 - 0,90 \text{ g/cm}^3$), menor contenido de humedad ($39,6 \%$ CH promedio) y así mismo, los árboles de las distintas especies tuvieron una mayor altura total ($9,53$ metros promedio) y menor diámetro a la altura del pecho (DAP). Así mismo, estas especies registraron una menor conductividad específica como lo fueron *Pisonia aculeata* ($5,68 \text{ kg m}^{-1} \text{ MPa}^{-1}\text{s}^{-1}$) y *Psidium rostratum* ($4,87 \text{ kg m}^{-1} \text{ MPa}^{-1}\text{s}^{-1}$), una menor área del lumen ($0 - 10 \text{ mm}^2$), un menor diámetro de vasos ($4 - 6 \mu\text{m}$) y una mayor densidad de vasos ($1 - 155 \text{ n mm}^{-2}$) y pocas especies con alto contenido de humedad como *Erythrina velutina* y *P. aculeata* (Figura 18).

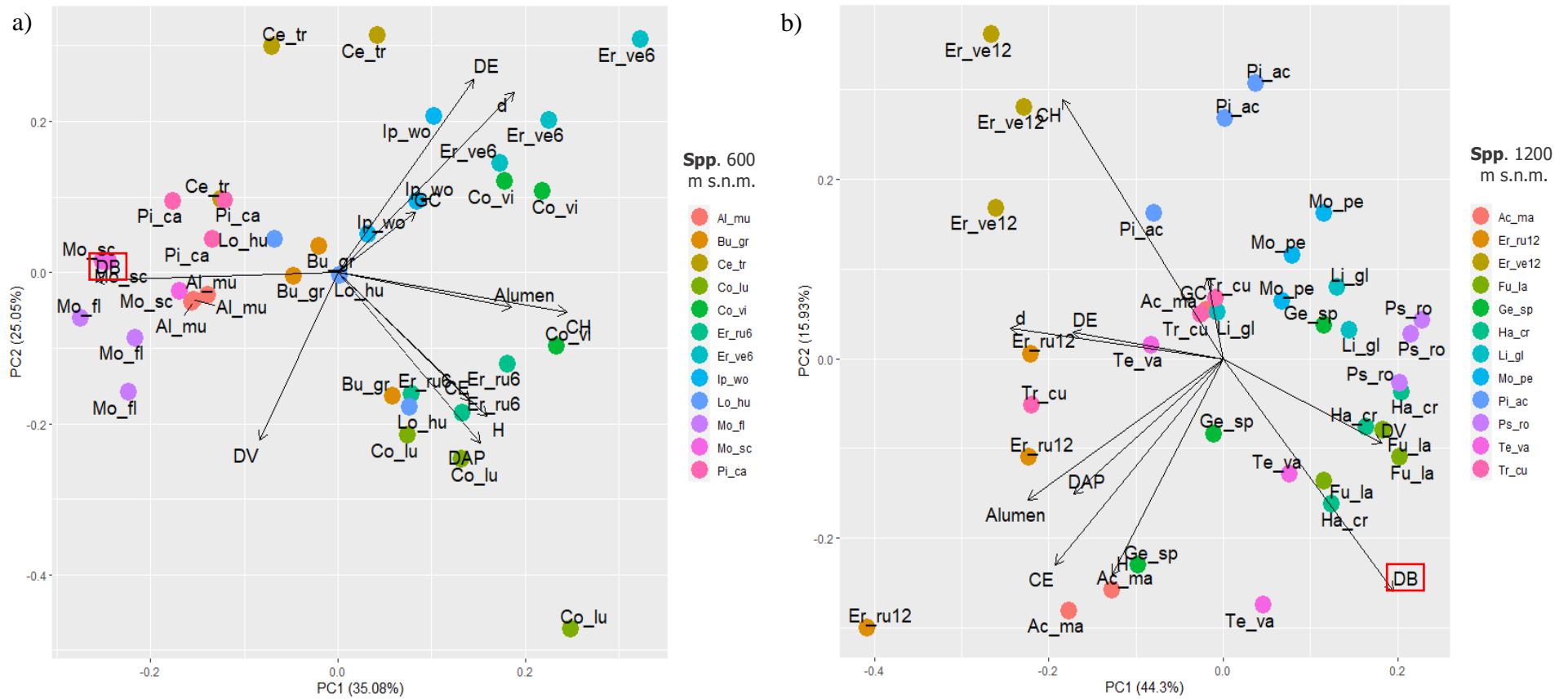


Figura 18. Análisis de componentes principales de características anatómicas cuantitativas y características físicas de la madera tres individuos por especie de la R.N. Laipuna a) Individuos de 600 m.s.n.m. b) Individuos 1 200 m s.n.m.

Nota:

- DB → Densidad básica de la madera (g/cm^3)
- CE → Conductividad específica ($kg\ m^{-1}\ MPa^{-1}\ s^{-1}$)
- GC → Grosor de la corteza (mm)
- CH → Contenido de humedad (%)
- d → Diámetro promedio de vasos (μm)
- DE → Desviación estándar del diámetro de vasos (μm)
- DAP → Diámetro a la altura del pecho (cm)

- H → Altura promedio de la especie (m)
- Alumen → Área del lumen (mm^2)
- DV → Densidad de vasos ($n\ mm^{-2}$)

6.3. Análisis de correlación entre la densidad básica y los rasgos anatómicos cuantitativos y cualitativos.

A 600 m s.n.m. se encontró la mayor correlación positiva entre la desviación estándar del diámetro de vasos con el diámetro de vasos de 1 y entre la conductividad específica con el área del lumen de los vasos 0,9, también entre altura y diámetro 0,9; y de manera negativa entre densidad básica de la madera con contenido de humedad de -0,9 y entre diámetro de vasos con densidad de vasos -0,7 (Figura 19a).

En cambio, a 1 200 m s.n.m. se encontró de manera positiva entre conductividad específica con área del lumen 0,9 y entre altura con diámetro a la altura del pecho 0,8, diámetro a la altura del pecho con área del lumen 0,8, diámetro de vasos con desviación estándar 0,8; y de manera negativa entre contenido de humedad con la densidad básica de la madera - 0,9, la densidad de vasos con el diámetro de vasos - 0,7 y la densidad básica de la madera con el diámetro de vasos - 0,7 (Figura 19b). Donde las celdas rojas explican una correlación positiva que va de 0,5 a 1 positivo, y las celdas azules explican una correlación negativa entre variables que va de - 0,5 a - 1 negativo.

a)

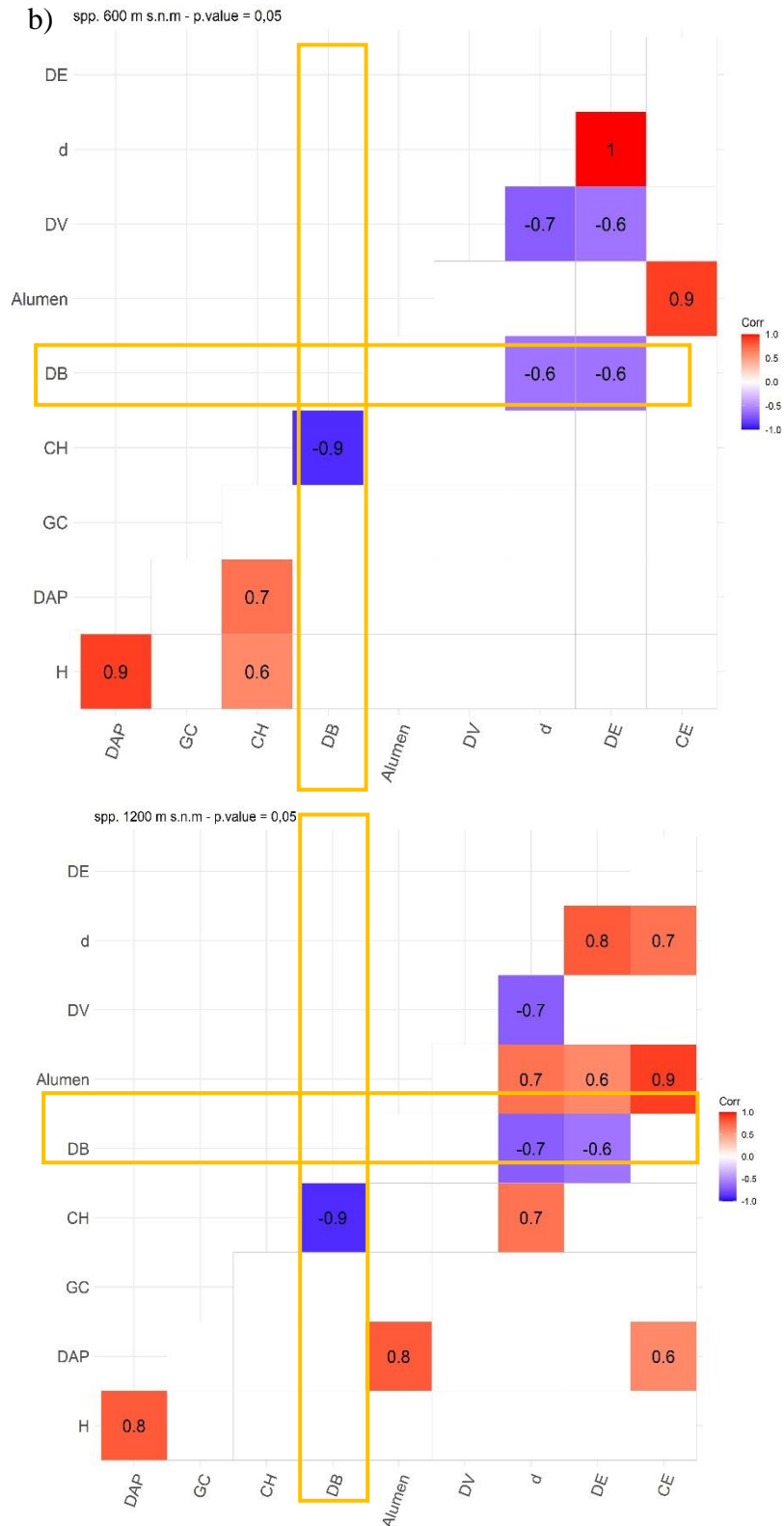


Figura 19. Análisis de correlación entre 22 especies forestales de la R. N Laipuna entre la densidad de la madera y rasgos físicos y cuantitativos ($p = 0,05$). Correlación de Pearson. a) árboles a 600 m s.n.m. y b) árboles a 1 200 m s.n.m. El color rojo representa correlación positiva y el color azul representa correlación negativa.

Nota:

DB \rightarrow Densidad básica de la madera (g/cm^3)

CE \rightarrow Conductividad específica ($kg\ m^{-1}\ MPa^{-1}\ s^{-1}$)

GC \rightarrow Grosor de la corteza (mm)

CH → Contenido de humedad (%)
 d → Diámetro promedio de vasos (μm)
 DE → Desviación estándar del diámetro de vasos (μm)
 DAP → Diámetro a la altura del pecho (cm)
 H → Altura promedio de la especie (m)
 Alumen → Área del lumen (mm^2)
 DV → Densidad de vasos ($n \text{ mm}^{-2}$)

En la Figura 20. se muestra la correlación de la densidad de la madera con los rasgos anatómicos cualitativos, se observó correlación positiva alta con rasgos como grosor de pared de la fibra, disposición de los vasos en solitario, y tipos de parénquima asociado a vasos específicamente con el tipo confluyente y aliforme. Por lo contrario, presentó una correlación negativa con paredes de fibra delgada y de delgada a gruesa, parénquima paratraqueal en agregados y en bandas anchas de parénquima.

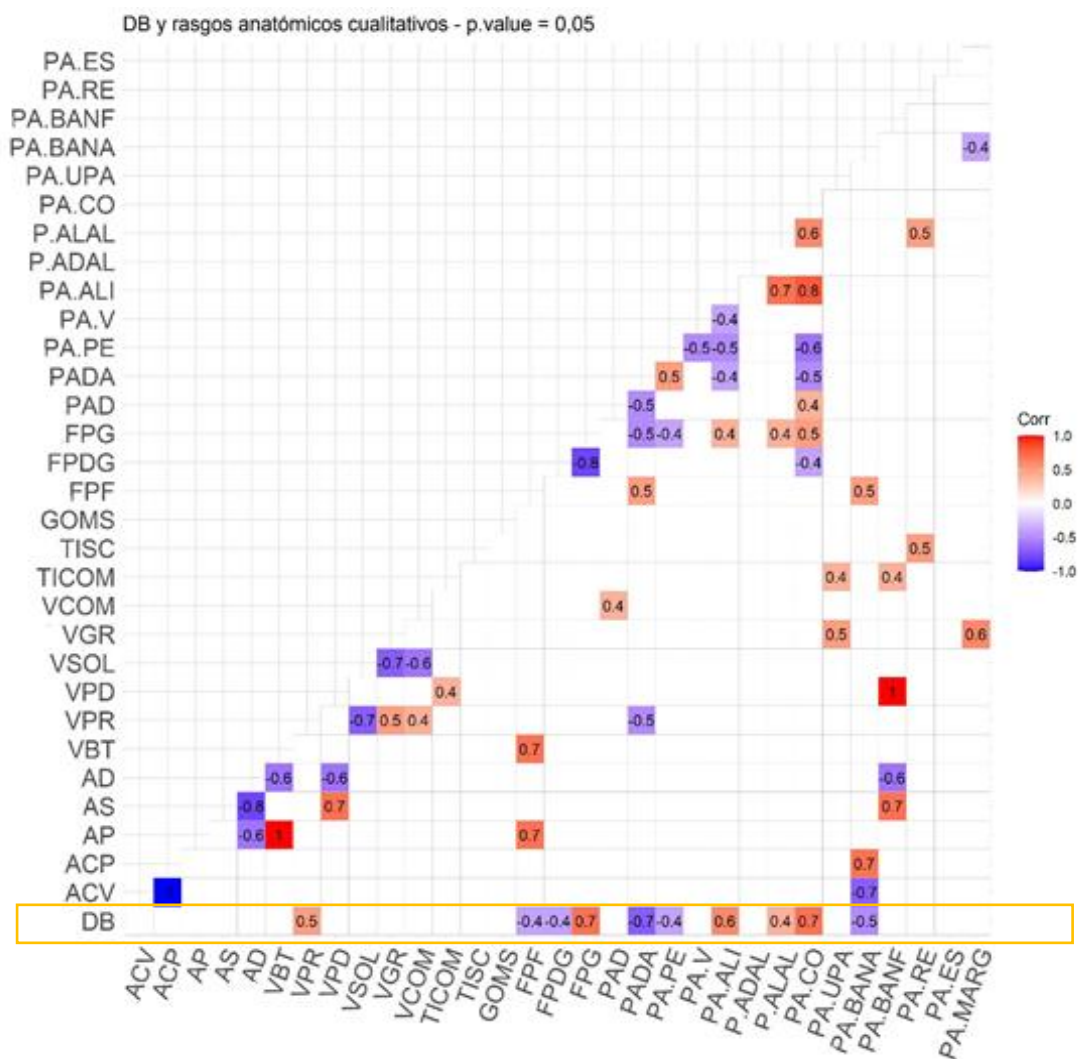


Figura 20. Análisis de correlación entre 22 especies forestales de la RNL entre la densidad de la madera y rasgos anatómicos cualitativos. Correlación de Pearson (p=0,05). El color rojo representa correlación positiva y el color azul representa correlación negativa.

Nota: 1.ACV → Anillos de crecimiento visible
 2.ACP → Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes

- 3.AP → Anillo porosos
- 4.AS → Anillo semiporosos
- 5.AD → Anillo con poros difusos
- 6.VBT → Vasos en bandas tangenciales
- 7.VPR → Vasos en patrón radiales o diagonales
- 8.VPD → Vasos en patrones dendríticos
- 9.VSOL → Vasos exclusivamente solitarios (90% o más)
- 10.VGR → Vasos en grupos radiales de 4 o más
- 11.VCOM → Vasos en grupos comunes (de 3 o más vasos)
- 12.VS.PA → Vaso solitario contorno angular
- 56.TICOM → Tilosis común
- 57.TISC → Tilosis esclerótica
- 58.GOMS → Gomas y otros depósitos en vasos del duramen
- 68.FPF → Fibras de pared muy fina
- 69.FPDG → Fibras de pared delgada a gruesa
- 70.FPG → Fibras de paredes muy gruesas
- 76. PAD → Parénquima axial difuso
- 77.PADA → Parénquima axial difuso en agregados
- 78.PA.PE → Parénquima axial paratraqueal escaso
- 79.PA.V → Parénquima axial vasicéntrico
- 80.PA.ALI → Parénquima axial aliforme
- 81.P.ADAL → Parénquima axial adiamantado-aliforme
- 82.P.ALAL → Parénquima axial alado-aliforme
- 83.PA.CO → Parénquima axial confluyente
- 84.PA.UPA → Parénquima axial unilateral paratraqueal
- 85.PA.BANA → Parénquima axial en bandas con más de tres células de ancho
- 86.PA.BANF → Parénquima axial en bandas finas o líneas de hasta tres células de ancho
- 87.PA.RE → Parénquima axial reticulado
- 88.PA.ES → Parénquima axial escalariforme
- 89.PA.MARG → Parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales

7. Discusión

7.1. Caracterización de la madera de 22 especies comunes de la RNL

La Reserva Natural Laipuna mantiene condiciones climáticas cálido-secas, se conoce las condiciones climáticas en dos pisos altitudinales de la RNL, a una altitud de 600 m s.n.m. la temperatura media de 24,3 °C, con una precipitación media anual de 625 mm, y 73,40 % humedad relativa en el ambiente. Y, a una altitud de 1 200 m s.n.m. la temperatura media es de 17,5 °C disminuye (-6,8 °C menos), con una precipitación media anual de 649 mm (24 mm más), y una humedad relativa de 86,26 % (Peters y Richter, 2012). Este ligero cambio de condiciones ambientales y geográficas que posee la RNL ha provocado que las especies forestales se adapten mediante la diversificación de las estructuras anatómicas de su tejido leñoso. Según Soffiati et al. (2016) la anatomía de la madera puede variar con la altitud, latitud y la distribución geográfica; y puede afectar rasgos anatómicos como la distribución y agrupación de vasos o porosidad. Eso, sin olvidar que la genética de la especie es primordial dentro de la determinación de los rasgos anatómicos de la madera por lo que puede ser utilizada para la identificación de especies y para el estudio de la evolución genética de las mismas. (Giménez et al. 2005; Aguilar et al., 2005).

Un estudio relacionado con definir el origen de procedencia de las especies concluye que la anatomía de la madera de las especies de alta adaptabilidad puede cambiar rápidamente ante cambios de condiciones climáticas o geográficas (Hevia, 2020). Lo cual puede influenciar también a especies como *Erythrina velutina* y *Eriotheca ruizii* que poseen rasgos anatómicos funcionales que les permiten estar ampliamente distribuidas en ambos sitios de muestreo dentro de la RNL.

Las características cuantitativas físicas, anatómicas y de conductividad específica están definidas por la altitud, de este modo en 600 m s.n.m. se encuentran las especies de densidad liviana y alto contenido de humedad, por el contrario, en 1 200 m s.n.m. mayormente especies de densidad pesada y bajo contenido de humedad. Además, se tiene que el diámetro y la altura se relaciona de manera directa con la conductividad específica hidráulica.

Las características cualitativas anatómicas se diferencian por piso altitudinal, teniendo en 600 m s.n.m. las especies con vasos solitarios de mayor diámetro y presencia de parénquima, fibras delgadas, por otro lado, en 1 200 m s.n.m. predominan las especies con mayor densidad de vasos y de menor diámetro, escaso parénquima, fibras gruesas.

7.1.1. Características cuantitativas: físicas, anatómicas y de conductividad específica teórica (Ce^{teo})

En 600 m s.n.m. se pudo encontrar que existe mayor cantidad de especies con baja densidad básica de la madera, pero con un valor alto en contenido de humedad, por el contrario en 1 200 m s.n.m. se determinó mayor presencia de especies con alta densidad básica de la madera (pesadas), pero con menor contenido de humedad. Lo que se asemeja a lo encontrado por Rosales-Solórzano, 2019, que menciona que las especies de alto contenido de humedad poseen baja densidad. Es decir, la densidad de la madera se ve afectada por el contenido de humedad, ya que la madera se contrae a medida que pierde humedad y se expande a medida que la absorbe. Por lo tanto, la densidad de la madera aumenta en medida que disminuye su contenido de humedad.

Así mismo, la densidad de algunas especies fue comparada con la base de datos proporcionada por Zanne et al. (2009), como es el caso de *Acacia macracantha* que en la base de datos registra una densidad de $0,73 \text{ g/cm}^3$, mientras que en la presente investigación fue de $0,75 \text{ g/cm}^3$ y de *Ceiba trischistandra* que en la base de datos (Zanne et al., 2019) registra una densidad de $0,32 \text{ g/cm}^3$ mientras que en este estudio fue de $0,23 \text{ g/cm}^3$.

Las especies en 600 m s.n.m. y 1 200 m s.n.m., se caracterizaron porque la conductividad específica es dependiente de la altura y el diámetro de los árboles. Debido a que a mayor altura requieren tener mayor eficiencia en el transporte de agua para que llegue hasta sus hojas (Carrasco, 2018). Lo que se asemeja a lo mencionado por Edelman (2013), los árboles grandes en la capa superior de la copa subyacen a los altos déficits de presión de vapor y siguen el gradiente potencial de agua, por lo que se ven obligados a mover grandes cantidades de agua en su sistema conductor para sustentar su biomasa viva. Así mismo, la conductividad específica aumenta con la altura del árbol y por lo tanto permite un alto potencial de suministro (Tyree, 2003). De igual forma Edelman (2013) menciona, las propiedades físicas como la altura del árbol y el diámetro a la altura del pecho (DAP), se encuentran altamente relacionadas con las propiedades hidráulicas como es la conductividad específica.

7.1.2. Características cualitativas: Rasgos anatómicos

Se encontró especies muy diversas anatómicamente, en donde es importante destacar que este tipo de características puede variar entre especies pues son sensibles al sitio o entorno de la planta. Tanto la densidad de la madera como la proporción de elementos no conductores en la madera, como las fibras y elementos anatómicos, varían mucho entre las especies e individuo

(Gartner et al., 2004). Debido a las características ambientales de la Reserva Natural Laipuna la variabilidad intraindividual de la anatomía de la madera de las especies es sustancial, por lo que es importante en cuestiones ecológicas relacionadas con la identificación de estrategias funcionales, la capacidad de respuesta de las especies a las condiciones ambientales cambiantes y las estimaciones de biomasa aérea (Pulido et al., 2020).

A 600 m s.n.m. se destacó la presencia de rasgos anatómicos como vasos de grandes diámetros y solitarios, y los tipos parénquima apotraqueal fueron los que mayormente se manifestaron dentro de este grupo de especies. Mientras que a 1 200 m s.n.m. los diámetros de los vasos fueron menores y se presentó en ciertas especies la agrupación de vasos. Así mismo se presentó en su mayoría tipos de parénquimas asociados a vasos. Las diferencias anatómicas cuantitativas en las especies de los dos sitios sugieren la influencia que las condiciones ambientales pueden tener en la anatomía de la madera. Las características anatómicas observadas son consideradas de utilidad para estudios taxonómicos y ecológicos de esta especie y género (Campbell et al., 2016). La anatomía de ambas comunidades está relacionada con el tipo de clima que les permite sobrevivir durante la estación seca que se presenta anualmente (Ramírez et al. 2017).

Así mismo, el predominio de caracteres como grandes vasos solitarios en algunas especies y en otras agrupados con rasgos, orientan hacia la eficiencia de la conducción. Según Leon (2015) el tamaño de los poros y número de vasos están relacionados a los índices de vulnerabilidad en este tipo de bosques con condiciones climáticas particulares. Según Ágila et al. (2018) las características anatómicas de la madera y su diferenciación puede permitir realizar una identificación pertinente de las especies una vez que ya han sido aprovechadas y no se cuenta con rasgos botánicos o taxonómicos evidentes.

7.2. Evaluación de rasgos anatómicos, físicos y conductividad específica teórica (C_e^{teo}) de la madera de 22 especies forestales de la Reserva Natural Laipuna

7.2.1. Variables cuantitativas y densidad básica

A 600 m s.n.m registró las especies con vasos de mayor diámetro, menor densidad de vasos y menor densidad básica de la madera; por el contrario, a 1 200 m.s.n.m se evidenció menor diámetro de vasos, mayor densidad de vasos y mayor densidad básica de la madera. Lo que se asemeja a lo mencionado por Presston et al. (2006), sobre las especies adaptadas a la sequía poseen vasos pequeños, alta densidad de vasos y una densidad básica de la madera relativamente alta. Además, la densidad básica de la madera podría ser un indicador para seguir patrones ecológicos, por lo que puede ser considerado como un elemento central de rasgos

funcionales porque muestra una amplia correlación ecológico –funcional. Esto debido a que las especies con vasos pequeños y alta densidad básica de la madera tienen una menor susceptibilidad al estrés por sequía. Las especies con tal adaptación pueden incluso crecer, cuando otras especies de árboles con madera ligera se ven obligadas a proteger su sistema de transporte (desprendimiento de hojas) (Preston et al., 2006; Martínez et al., 2009).

A 600 m s.n.m. se evidenció una relación entre el área del lumen con el contenido de humedad y con la conductividad hidráulica y de manera negativa con la densidad básica de la madera. De igual forma Edelman (2013) indica que, el lumen pequeño debe ser relacionado con alta densidad de la madera y gran lumen con baja densidad de la madera por ende mayor contenido de humedad. Así mismo, el área de los vasos y la densidad del vaso variaron inversamente están correlacionados de manera negativa con la densidad de la madera. Es poco probable que esta correlación surja de una simple compensación geométrica entre tamaño y número (Carlquist y Hoekman, 1985). Lo que se asemeja a lo mencionado por Taneda y Taten (2004), la asignación óptima de carbono produciría tallos que maximizarían la conductividad (vasos grandes) y minimizarían la densidad de la madera.

A 1 200 m s.n.m. no existió una relación entre el área del lumen con el contenido de humedad y la densidad básica de la madera, pero si existió con el diámetro a la altura del pecho, conductividad específica, y la altura de los árboles. Esto podría explicarse dado que las especies a 1 200 m s.n.m. tienen posiblemente una mayor cantidad de humedad y menor temperatura anual, por ende, mejores condiciones lo que determina mayor cantidad de recursos. De igual manera Sungpalee et al. (2009), sugiere que los árboles altos deberían poseer una menor densidad de madera, pero esto no es evidente en este estudio. De igual manera Edelman (2013), menciona que el aumento del área del lumen se da con el aumento de altura del árbol, porque permite un mayor flujo de savia. Así mismo, Preston (2006), indica que la altura del árbol y el diámetro hidráulico se correlacionan positivamente con una disminución de la densidad de vasos.

7.2.2. Variables cualitativas y densidad básica

La Reserva Natural Laipuna mantiene condiciones climáticas cálidas y secas, en verano cuando ambiente él es más fresco, pues bordea temperaturas de 25 a 30 ° C (Tapia, 2011). Por lo que, es importante considerar que los árboles tropicales que experimentan períodos secos cortos o prolongados, pueden revelar una relación relativamente estrecha entre la densidad de la madera y la anatomía de la madera, que parece desaparecer hacia climas más húmedos (Schuldt y Homeier, datos no publicados). Así mismo, la densidad de la madera está

relacionada con el almacenamiento de agua y estructura anatómica del tallo y la eficiencia del transporte hidráulico, lo que resalta la importancia del entorno para que los árboles desarrollen las características necesarias para garantizar su supervivencia y resiliencia. (Jacobs et al., 2015). Y según Edelman (2013) la densidad de la madera también está influenciada por factores determinantes como la disponibilidad de nitrógeno, es decir la biología del suelo que no consideró en la presente investigación.

Por lo contrario, según algunos autores (Preston et al. 2006; Leal et al. 2011; Fan et al. 2012) la evidencia empírica que respalda una estrecha relación entre la densidad de la madera y la anatomía de los vasos es inconsistente para las angiospermas y puede depender significativamente del ambiente o entorno donde se desarrolla la especie encontrando una estrecha relación mientras que otros no (Martínez-Cabrera et al., 2009; Poorter et al., 2009; Russo et al., 2010).

En la presente investigación, en árboles tropicales de clima seco la densidad de la madera presenta asociación con rasgos como la distinción de anillos de crecimiento, disposición y tamaño de vasos relacionados (a mayor número de vasos menor diámetro y dispuesto en agrupaciones), parénquima paratraqueal aliforme-confluente y parénquima apotraqueal marginal. En cambio, en árboles tropicales de clima húmedo, la densidad de la madera podría estar más ligada a las características anatómicas de las fibras o al área total de radios y/o parénquima axial (Edelman, 2013).

Las especies *Erythrina velutina*, *Cochlospermum vitifolium*, *Ceiba trischistandra* e *Ipomoea wolcottiana* en esta región, mostraron baja densidad y rasgos anatómicos comunes como la presencia de tejido parenquimático apotraqueal en bandas mayores a tres células. En otros estudios, realizados *ex situ* en este tipo de ecosistemas, demostraron que la madera ligera puede estar asociada con la vulnerabilidad a la sequía. Por lo tanto, la baja densidad de la madera está asociada con un rápido crecimiento de la planta, debido a que la inversión de carbono influye principalmente en el crecimiento en altura y no en la formación de madera densa (Edelman, 2013).

8. Conclusiones

- Los rasgos anatómicos de la madera de las especies del bosque seco de la Reserva Natural Laipuna son distintos en su densidad, número/diámetro/densidad de vasos, parénquima, fibras, etc. entre los dos pisos altitudinales a 600 m s.n.m. y a 1 200 m s.n.m.
- A 600 m s.n.m., las especies tienen mayor diámetro de vaso, área de lumen, conductividad específica y baja densidad de vasos. De igual forma, dominan las especies con vasos solitarios y presentan varios tipos de parénquima asociado a los vasos (paratraqueal). En esta altitud, las especies tienen una densidad básica de madera liviana a semipesada.
- En 1 200 m s.n.m., las especies tienen menor diámetro de vasos, área del lumen, conductividad específica y alta densidad de vasos. Del mismo modo, el parénquima no asociado a vasos (apotraqueal) fue escaso y la pared de las fibras fue gruesa. En este piso altitudinal las especies presentan una alta densidad básica de madera.
- En el bosque seco de la Reserva Natural Laipuna, los rasgos anatómicos cualitativos de la madera tienen una correlación con la densidad de la madera, especialmente con el grosor de la pared de las fibras y los diferentes tipos de parénquima asociado a vasos.
- La altitud es un factor que influye en las condiciones climáticas, y, por ende, en la estructura poblacional y en la fisiología de las especies. En 600 m s.n.m. existe mayor número de especies de baja densidad de la madera y alto contenido de humedad; al contrario, a 1 200 m.s.n.m. existe un mayor número de especies de alta densidad y bajo contenido de humedad.
- La densidad de la madera se relaciona con varios rasgos anatómicos. A medida que aumenta la densidad de la madera presentan un menor diámetro de vasos, un área del lumen menor y una mayor densidad de vasos, lo que resulta en una menor conductividad hidráulica. Además, las especies que tienen poco tejido de parénquima y paredes de fibra gruesa tienden a tener una mayor densidad.
- La densidad básica de la madera es un parámetro indicador relacionado con patrones ecológicos y como un elemento central en el estudio de rasgos funcionales debido a su relación ecológico – funcional.
- En la Reserva Natural Laipuna la variabilidad intraindividual de la anatomía de la madera de las especies es sustancial, por lo que es importante para resolver

interrogantes ecológicas relacionadas con la identificación de estrategias funcionales, y la capacidad de respuesta de las especies al cambio de condiciones ambientales.

9. Recomendaciones

- Se recomienda realizar nuevos estudios sobre ecología funcional, en donde se puedan considerar variables climáticas, para conocer si la diferencia en precipitación y temperatura genera un cambio en la distribución de las especies.
- Se debe considerar estudios de suelos para conocer como estos pueden influir en las características cuantitativas y cualitativas de la madera.
- La metodología usada no genera impactos negativos en los árboles; por lo que, se recomienda su uso para determinar propiedades físicas y anatómicas de la madera, pues es considerada útil, eficiente, y obtiene resultados confiables.
- Considerar la albura y duramen de la madera para la determinación de los rasgos anatómicos cuantitativos, cualitativos y densidad básica de la madera, debido a que esos pueden presentar mucha variación.
- Extraer los núcleos de madera de mínimo 5 cm de longitud, para cuando las especies poseen pocos vasos por mm².
- Para la obtención de cortes anatómicos de la madera de la sección transversal se debe considerar un mínimo de 100 vasos completos.
- Evitar la ruptura de vasos en la fase de cortes anatómicos transversales de la madera.
- Para el montaje de muestras anatómicas se recomienda el uso de bálsamo Euparal.

10. Bibliografía

- Agila, S., Burneo, A., Narváez, L., and Pucha-Cofrep, D. (2018). Propiedades físicas y características anatómicas de la madera de tres especies de Guayacán al sur del Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 8(2). Recuperado a partir de <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/490>
- Aguilar-Alcántara, M., Aguilar-Rodríguez, S., y Terrazas, T. (2014). Anatomía de la madera de doce especies de un bosque mesófilo de montaña de Tamaulipas, *Revista México*, 20(4), 45-50. <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v20n3/v20n3a7.pdf>.
- Aguirre, N., Eguiguren, P., Maita, J., Ojeda, T., Samaniego, N., Furniss, M., and Aguirre, Z. (2017). Potential impacts to dry forest species distribution under two climate change scenarios in southern Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 3(1), 18-29.
- Aguirre, N., Alvarado, J., Ruiz, L., y Granda, J. (2018). Bienes y servicios ecosistémicos de los bosques secos de la provincia de Loja. *Bosques Latitud Cero*, 8(2), 118 - 130
- Aguirre, Z. y Kvist, P. (2005). Composición florística y estado de conservación de los bosques secos del sur-occidente del Ecuador. *Lyonia*. Volumen 8 (2): 41-67.
- Aguirre, Z., Kvist, P. y Sánchez, O., (2006) Bosques secos en Ecuador y su diversidad. Universidad Mayor de San Andrés. *Botánica Económica de los Andes Centrales*. p. 162-187.
- Aguirre, Z. (2012). Especies forestales de los bosques secos de Ecuador. https://www.researchgate.net/publication/280625434_Especies_forestales_de_los_bosques_secos_del_Ecuador
- Aguirre, Z. (2013). Estructura del bosque seco de la provincia de Loja y sus productos forestales no maderables: caso de estudio Macará. Tesis Doctoral. Universidad Pinar del Río. Cuba.
- Aguirre Z. (2014). Estructura del bosque seco de la provincia de Loja y sus Productos Forestales No Maderables: caso de estudio Macará Tesis Doctoral. Universidad de Pinar del Río, Cuba.
- Albert, C., Grassein, F., Schurr, F., Vieilledent, G. and Violle, C. (2011). When and how should intraspecific variability be considered in trait-based plant ecology?, *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 13 (3): 217-225, ISSN 1433-8319,

<https://doi.org/10.1016/j.ppees.2011.04.003>.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S143383191100028X>

Araneo, D. (2008). Introducción al Análisis de Componentes Principales. *IANIGLA – CONICET-CCT* MENDOZA.

https://www.academia.edu/8132363/Introducci%C3%B3n_al_An%C3%A1lisis_de_Componentes_Principales

Arbo, M. (2019). Fibras y parénquima xilemático. <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema15/15-6fibras.htm>

Asner, G. P., and Martin, R. E. (2016). Convergent elevation trends in canopy chemical traits of tropical forests. *Global Change Biology*, 22(6), 2216-2227. doi: 10.1111/gcb.13164

Asner, G. P., Martin, R. E., Anderson, C. B., Kryston, K., Vaughn, N., Knapp, D. E., ..., and Tupayachi, R. (2017). Scale dependence of canopy trait distributions along a tropical forest elevation gradient. *New Phytologist*, 214(3), 973-988. doi: 10.1111/nph.14068

Bahar, N. H., Ishida, F. Y., Weerasinghe, L. K., Guerrieri, R., O'Sullivan, O. S., Bloomfield, K. J., ..., and Phillips, O. L. (2017). Leaf-level photosynthetic capacity in lowland Amazonian and high-elevation Andean tropical moist forests of Peru. *New Phytologist*, 214(3), 1002-1018. doi: 10.1111/nph.14079

Bass, P., Rao, A., Matamoros, A. and Leo, L. (2016). Stability properties of neuronal microtubules. DOI: 10.1002/cm.21286

Benito-Garzón, M., Alía, R., Robson, M. and Zavala, M. (2011). Intra-specific variability and plasticity influence potential tree species distributions under climate change. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00646.x>

Caballe, Gonzalo y Curetti, Mariela y Dalla Salda, Guillermina y Fernández, María y Fernández, Roberto y Graciano, Corina y Gyenge, Javier y Varela, Santiago y Keller, Aldo y Licata, Julian y Portela, José y Scholz, Fabián y Stecconi, Marina y Videla, Cecilia y Villagra, Pablo. (2010). Técnicas de medición en ecofisiología vegetal: conceptos y procedimientos. https://www.researchgate.net/publication/262672372_Tecnicas_de_medicion_en_ecofisiologia_vegetal_conceptos_y_procedimientos

- Camacho-Sandoval, J. (2008). Asociación entre variables cuantitativas: análisis de correlación. Scielo. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0001-60022008000200005&script=sci_arttext
- Campbel, G., Rodriguez, G. and Da Cunha, G. (2016). Ecological significance of wood anatomy of *Alseis pickelii* Pilg. and Schmale (Rubiaceae) in a Tropical Dry Forest. <https://doi.org/10.1590/0102-33062015abb0267>
- Carlquist, S.W. and Hoekman, D.A. (1985). Ecological wood anatomy of the woody southern Californian flora. *International Association of Wood Anatomists Bulletin new series* 6:319-347.
- Casanova, H. (2017). Graficación Estadística y Visualización de Datos. *Ingeniería*: 21, (3), 54-75 Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, México <https://www.redalyc.org/pdf/467/46754522005.pdf>
- Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S., Swenson, N., Zanne, A. Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecol Lett.* 2009 Apr;12(4):351-66. doi: 10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x. Epub 2009 Feb 20. PMID: 19243406.
- Clark, A. J. (2010). Empathy: An integral model in the counseling process. *Journal of Counseling and Development*, 88(3), 348–356. <https://doi.org/10.1002/j.1556-6678.2010.tb00032.x>
- Contento, R. 2000. Estudio de la composición florística y regeneración natural forestal del bosque seco en la Ceiba Grande, cantón Zapotillo. Tesis Ing. For. Loja, Ecuador. Universidad Nacional de Loja Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. p 72.
- Cuadras, C. (2010). *Nuevos Métodos de análisis multivariante*. Barcelona: CMC Editions.
- De Belo, F., Lavorel, S., Albert, C., Thuiller, W., Grigulis, K., Doleza, J., Janecek, S. y Leps, J. (2011). Quantifying the relevance of intraspecific trait variability for functional diversity. *Methods in Ecology and Evolution* 2011,2, 163–174. DOI: 10.1111/j.2041-210X.2010.00071.x Ó2010 The Authors. *Methods in Ecology and Evolution* Ó2010 British Ecological Society
- De Vicente, M., Bassa J. y Jiménez, F. (1999) *Análisis Multivariante para las Ciencias sociales*. Madrid: Dykinson.

- Díaz, A. (2020). Biogeografía: Factores. Biogeografía. <http://biogeografia.net/factores.html>
- Díaz, S., Casanoves, F., Pla, L., Y Di Rienzo, J. (1998). Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. Turrialba: CATIE , 2011. p. 1-4.
- Díaz, S. y Cabido, M. (2001). Plant functional diversity matters to ecosystem processes, Trends in Ecology and Evolution, 16 (11): 646-655, ISSN 0169-5347, [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02283-2](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02283-2).
- Edelman, M. (2013). Wood anatomical, biometric and leaf morphological traits of tropical rain forest trees from South America and South-East Asia in their dependence on the environment [Masterarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Master of Science (M.Sc.) an der Georg-August-Universität Göttingen angefertigt am]. Department of Plant Ecology. ZENTRUM FÜR BIODIVERSITÄT UND NACHHALTIGE LANDNUTZUNG SEKTION BIODIVERSITÄT, ÖKOLOGIE UND NATURSCHUTZ. Göttingen, Februar, 2013.
- Fan, Z., Zhang, S. Guang-You, H., Ferry Slik, J.W. y Kung-Fang, C. (2012). Hydraulic conductivity traits predict growth rates and adult stature of 40 Asian tropical tree species better than wood density. *Journal of Ecology* 100 (3), pp. 732-741. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2011.01939.x>
- Ganzhi, J. (2006). Estudio anatómico de las especies arbóreas del bosque nublado de la Estación Científica San Francisco [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Loja. Carrera de Ingeniería Forestal. Loja, Ecuador
- Gartner, B., Moore, J. y Gardiner, B. (2004). Gas in stems: abundance and potential consequences for tree biomechanics. *Tree Physiology*, 24 (11), pp. 1239–1250, <https://doi.org/10.1093/treephys/24.11.1239>
- Gerhardt, K. y Hytteborn, H. (1992). Natural dynamics and regeneration methods in tropical dry forests -an introduction- *Journal of Vegetal sciences* 3:361-364
- González-Jaramillo, V., Fries, A., Rollenbeck, R., Paladines, J., Oñate-Valdivieso, F. and Bendix, J. (2016). Assessment of deforestation during the last decades in Ecuador using NOAA- AVHRR satellite data. *Erdkunde*, pp.217-235.

- Hevia, A., Campelo, F., Chambel, R., Vieira, J., Alía, R., Majada, J. and Sánchez-Salguero, R. (2020). Which matters more for wood traits in *Pinus halepensis* Mill., provenance or climate?. *Annals of Forest Science* 77, 55. <https://doi.org/10.1007/s13595-020-00956-y>
- Jacobsen SE, Sørensen M, Pedersen SM. and Weiner J (2015) Usando nuestra agrobiodiversidad: soluciones basadas en plantas para alimentar al mundo. *Agron Sustain Dev* 35:1217–1235. doi: 10.1007/s13593-015-0325-y
- Janzen, D. (1988). Tropical dry forests: The most endangered major tropical ecosystem
- Lavorel, S. and Garnier, E. (2002). Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2002.00664.x>
- Leal, S., Sousa, V.B., Knapic, S., Louzada, J.L. and Pereira, E. (2011). Vessel size and number are contributors to define wood density in cork oak. *European Journal of Forest Research* 130, pp. 1023–1029. <https://doi.org/10.1007/s10342-011-0487-3>
- Lecerf, A. and Chauvet, E. (2008). Intraspecific variability in leaf traits strongly affects alder leaf decomposition in a stream. DOI: 10.1016/j.baee.2007.11.003
- León, W. y Espinoza de Pernía, N. (2001). Parénquima disyuntivo y filogenia. *Revista Forestal Venezolana* 43 (2): 137-146.
- León, Williams J. (2005). Anatomía ecológica del xilema secundario de un bosque seco tropical de Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica*, 28(2), 257-274. Recuperado en 09 de abril de 2023, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttextandpid=S0084-59062005000200006&lng=es&tlng=es
- Linares-Palomino, R. (2004a). Los bosques tropicales estacionalmente secos: I. El concepto de los bosques secos en el Perú. *Arnoldia* 11(1): 85-102.
- Linares-Palomino, R. (2004b). Los bosques tropicales estacionalmente secos: II.
- López, F. (2002). Ecuador-Perú, conservación para la Paz. Editorial UTPL. Loja, Ecuador. P 73-76.
- Madsen, J. (2002). Cactus en el Sur del Ecuador. Pp. 289—304. En: Aguirre, Z., J.E. Madsen, E. Cotton y H.Balslev (eds.). *Botánica austroecuatoriana: Estudios sobre los recursos*

vegetales en las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe. Abya-Yala. Quito.
Botánica Sistemática Ecuatoriana.
https://www.researchgate.net/publication/290435567_Botanica_Sistematica_Ecuatoriana

- Martínez-Cabrera H.I., Jones C.S., Espino S. and Schenk H.J. (2009) Wood anatomy and wood density in shrubs: Responses to varying aridity along transcontinental transects, *American Journal of Botany* 96(8), 1388–1398
- Mason, N., De Bello, F., Mouillot, D., Pavoine, S. and Dray, S. (2013). A guide for using functional diversity indices to reveal changes in assembly processes along ecological gradients. *Journal of Vegetation Science* 24:794-806.
- Montaño L. y Roa J.C. (2012). Estado actual de la conservación de los bosques secos pluviestacionales del suroccidente de la provincia de Loja. Tesis Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador.
- Mosandl, R., Günter, S., Stimm, B. and Weber, M. (2008). Ecuador Suffers the Highest Deforestation Rate in South America. *Ecological Studies*, pp.37-40.
- Moony, H., Bullock, S y Medina, E. (1995). Introducción. Pp. 1-8 En: Bulluck, S.H., Mooney, H.A. y E. Medina (eds.) *Seasonally Dry Tropical Forests*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Miles, L., Grainger, A., y Phillips, O. (2004). The impact of global climate change on tropical forest biodiversity in Amazonia. *Global Ecology and Biogeography*, 13(6), 553-565.
- Muñoz-Acosta, Freddy, y Moreno-Perez, P. A. (2013). Contracciones y propiedades físicas de *Acacia mangium* Willd., *Tectona grandis* L. f. y *Terminalia amazonia* A. Chev, maderas de plantación en Costa Rica. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 19(2), 287–303. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.06.040>
- Muñoz, J., Armijos, D. y Erazo, S. (2019). Flora y Fauna del Bosque Seco de la provincia de Loja, Ecuador. EdiLoja. Ecuador. 107. ISBN 978-9978-355-50-3
- Murga-Orillo, H., Coronado, M., Abanto-Rodriguez, C. y De Almeida Lobo, F. (2021). Gradiente altitudinal y su influencia en las características edafoclimáticas de los bosques tropicales. *Madera y bosques*, 27 (3), Instituto de Ecología A.C. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2732271>

- Núñez, C. (2016). Relaciones entre densidad básica y densidad seca de madera. Universidad Nacional de Misiones. *Ciencia y Tecnología*, 9(1), 1-7. <http://www.cenunez.com.ar/archivos/126-ConversdensRECYT.pdf>
- Ochoa de la Torre, J. (1999). La Vegetación como Instrumento para el control Microclimático. [Tesis doctoral]. Escola Técnica Superior d'Arquitectura de Barcelona. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93436/01JMot01de12.pdf>
- Oliva Carrasco, Laureano. (2018). Transporte de agua en plantas. El balance hídrico en tallos de árboles nativos del norte de Argentina: uso e importancia de los reservorios internos de agua. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n6473_OlivaCarrasco
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (2010). Factores de manejo. <http://www.fao.org/3/x8234s/x8234s09.htm>
- Pacheco, M., Molist-García, P., y Pombal, M. (2015). Tejidos vegetales. Conductores. *Atlas de Histología Vegetal y Animal*. https://mmegias.webs.uvigo.es/1-vegetal/guiada_v_conductores.php
- Pearman, P., D'Amen, M., Graham, C. and Zimmermann, N. (2010). Within-taxon niche structure: Niche conservatism, divergence and predicted effects of climate change. *Ecography* 33(6):990 - 1003
- Peña, D. (2002). Análisis de datos multivariados. Madrid: McGraw Hill.
- Peters, T. and Richter, M. (2012): Climate Station Data Reserv Laipuna Valley. In: Platform for Biodiversity and Ecosystem and Ecosystem Monitoring and Research in South Ecuador. Available online at <http://www.tropicalmountainforest.org/>, checked on 10/1/2012.
- Pla, L, Casanoves, F. and Di Rienzo. (2012). Functional Diversity Indices. Statistical Software Development (InfoStat). *Quantifying Functional Biodiversity*. DOI: 10.1007/978-94-007-2648-2_3
- Pennington, R., Prado, D. and Pendry, C. (2000). Neotropical seasonally dry forests and quaternary vegetation changes. *Journal of Biogeography* 27: 261-273.
- Pizano, C. y García, H. (2014). El bosque seco tropical en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humbolt (IAvH). Bogotá, D.C., Colombia.

- Poorter, L., McDonald, I., Alarcón, A., Fichtler, E., Licona, J., Peña-Claros, M., Sterck, F., Villegas, Z. and Ute Sass-Klaassen. (2009). The importance of wood traits and hydraulic conductance for the performance and life history strategies of 42 rainforest tree species. *New Phytologist* 185 (2), pp. 481-492. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.03092.x>
- Preston K.A., Cornwell W.K., DeNoyer J.L. (2006) Wood density and vessel traits as distinct correlates of ecological strategy in 51 California coast range angiosperms, *New Phytologist* 170, 807–818
- Pulido-Rodríguez, E., López-Camacho, R., Tórres, J. et al. (2020). Traits and trade-offs of wood anatomy between trunks and branches in tropical dry forest species. *Trees* 34, 497–505. <https://doi.org/10.1007/s00468-019-01931-5>
- Ramírez-Martínez, M., Terrazas, T., Aguilar-Rodríguez, S. y Martínez-Ávalos, J. (2017). Anatomía de la madera de especies de la selva baja caducifolia de Tamaulipas, México. *Madera y bosques*, 23(2), 21-41. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2321126>
- Restrepo, L. y González, J. (2007). De Pearson a Spearman. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20(2), 183-192. Universidad de Antioquia. Colombia. ISSN: 0120-0690. <https://www.redalyc.org/pdf/2950/295023034010.pdf>
- Restrepo, L. Posada, S. y Noguera, R. (2012). Aplicación del análisis por componentes principales en la evaluación de tres variedades de pasto. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 25 (2), 258-266. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia
- Richter, H. G., Grosser, D., Heinz, I., and Gasson, P. E. (Eds.). (2004). IAWA list of microscopic features for softwood identification. *IAWA Journal*, 25(1): 1-70.
- Rosales-Solórzano, E. (2019). Ecuaciones de niveles de humedad relacionada a la densidad básica de la madera de especies forestales tropicales en Madre de Dios, Perú. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* 16 (39): 33-42.
- Russo, S.E., Jenkins, K.L., Wiser, S.K., Uriarte, M., Duncan, R.P. and Coomes, D.A. (2010) Interspecific relationships among growth, mortality and xylem traits of woody species from New Zealand. *Functional Ecology*, 24, 253– 262. DOI: 10.1111/j.1365-2435.2009.01670.x

- Salgado-Negret, B.; Pérez, F.; Markesteijn, L.; Jimenez-Castillo, M.; Armesto, J. (2013). Diverging drought tolerance strategies explain tree species distribution along a fog-dependent moisture gradient in a temperate rain forest. *Oecologia* 173:625-635.
- Sarmiento, L., Llambí L., Escalona, A., Márquez N. (2013). Vegetation patterns, regeneration rates and divergence in an old-field succession of the high tropical Andes. *Plant Ecology*. 166: 63-74.
- Schachner, H., Reiterer, A. y Stanzl-Tschegg, S. (2000). Orthotropic fracture toughness of wood. *Journal of Materials science letters*, 19(20), 1783-1785.
- Schober, P. Boer, C. y Schwarte, L. (2018). Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesthesia and Analgesia*. 126. 1. 10.1213/ANE.0000000000002864.
- Sierra, R. (1999). Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador Continental. Proyecto INEFAN/ GEF-BIRG y *EcoCiencia*, Quito. 194 p.
- Soffiatti, P., Torres Boeger, M., Nisgoski, S. y Kauai, F. (2016). Rasgos anatómicos de la madera de la Selva de Araucaria, Sur de Brasil. *Bosque (Valdivia)*, 37 (1), 21-31. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002016000100003>
- Spavento, E., Keil, G., y Monteoliva, S. (2008). Propiedades físicas de la madera. [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/1689/mod_resource/content/0/Propiedades Fisicas 2008.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/1689/mod_resource/content/0/Propiedades_Fisicas_2008.pdf)
- Stattersfield, A., Crosby, M., Long, A. y Wege, D. (1998). Endemic Bird Areas of the world: priorities for biodiversity conservation. Cambridge, UK: *BirdLife International*.
- Suding, K., Lavorel, S., Chapin, F., Johannes, H., Cornelissen, H., Díaz, S., Garnier, E. Goldberg, D. (2008). Scaling environmental change through the community-level: a trait-based response-and-effect framework for plants. *Global Change Biology*, 14, (5): 1125-1140. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01557.x>
- Suirezs, T. y Gilson B. (2009). Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Primera edición. Posadas: EdUNaM - *Editorial Universitaria* de la Universidad Nacional de Misiones, 2010. 58 p. ISBN 978-950-579-154-5 1.
- Sun, Y. y Genton, M. (2010). Funtional Boxplot. *Journal of Computational and Graphical Statistics* 20(2). DOI: 10.2307/23110490

- Sungpalee, W., Itoh, A., Kanzaki, M., Sri-ngernyuang, K., Noguchi, H., Mizuno, T., Teejuntuk, K., Hara, M., Chai-udom K., Ohkubo, T., Sahunalu, P., Dhanmmanonda, P., Nanami, S., Takuo Yamakura y Sorn-nga, A. (2009). Intra- and interspecific variation in wood density and fine-scale spatial distribution of stand-level wood density in a northern Thai tropical montane forest. *Journal of Tropical Ecology*. 25, pp. 359-320. doi:10.1017/S0266467409006191
- Swenson, N. y Enquist, B. (2008). Opposing assembly mechanisms in a Neotropical dry forest: Implications for phylogenetic and functional community ecology- *Ecology*. 90 (8): 2161-70. DOI: 10.1890/08-1025.1
- Tapia, M. (2011). Identificación y Dinamización del Corredor Aviturístico de Endemismo Tumbesino, Sector “Reserva Natural Laipuna. Tesis de grado. Universidad Nacional de Loja. file:///C:/Users/ASUS/Downloads/TESIS.pdf
- Taneda, H. y Tateno, M. (2004). The criteria for biomass partitioning of the current shoot: water transport versus mechanical support. *American Journal of Botany* 91, pp. 1949-1959.
- Terra, M. D. C. N. S., Mello, J. M. D., Mello, C. R. D., Santos, R. M. D., Nunes, A. C. R., and Raimundo, M. R. (2015). Influência topo-edafo-climática na vegetação de um fragmento de Mata Atlântica na Serra da Mantiqueira, MG. *Revista Ambiente and Água*, 10(4), 928-942. doi: 10.4136/ambi-agua.1705
- Terradéz, M. (2018). Análisis de componentes principales. Proyecto e-Math. Financiado por la Secretaría de Estado de Educación y Universidades (MECD). https://www.academia.edu/5228558/An%C3%A1lisis_de_componentes_principales
[AN%C3%81LISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES ESQUEMA DE CONTENIDOS An%C3%A1lisis de componentes principales Modelo factorial](#)
- Tibshirani, R., Walther, G. y Hastie, T. (2001) Estimating the number of clusters in a data set via the gap statistic. *J R Statist Soc B* 2001; 63: 411-423
- Tukey, J. W. (1970), Análisis de datos exploratorios (edición preliminar limitada), vol. 1, Lectura, MA: Addison-Wesley, Cap. 5. [317]
- Tukey, J.W. (1977). Análisis de datos exploratorios, Lectura, MA: Addison-Wesley. [317]

- Tyree, M.T. (1991) The hydraulic architecture of trees and other woody plants. *New Phytol* 119:345–360.
- Tyree, M.T. (2003) Hydraulic limits on tree performance: transpiration, carbon gain and growth of trees, *Trees* 17, 95–100
- Vásquez-Valderrama, M. y Solorza-Bejarano, J. (2018). Agrupación funcional de especies vegetales para la restauración ecológica de ecosistemas de montaña, Bogotá, Colombia. *Colombia Forestal*, vol. 21-1, pp. 5-17. <https://www.redalyc.org/journal/4239/423954588001/html/>
- Villa, L. (2018). *Así se adaptan los árboles españoles a las sequías extremas*. Obtenido de <https://www.ublico.es/ciencias/cambio-climatico-adaptan-arboles-espanoles-sequias-extremas.html>.05-07-2019.
- Violle, C. (2007). Let concept of trait be functional. *Oikos*, United Kingdom, v. 116. n. 5, p. 882-892, 2007.
- Wheeler, E. y Gasson, P. (1989). IAWA List of microscopic feature for hardwood identification: with an Appendix on non-anatomical information. *IAWA Bulletin*. 10(2), 219-332.
- Wheeler JK Sperry JS Hacke UG Hoang N (2005) Inter-vessel pitting and cavitation in woody Rosaceae and other vesselled plants: a basis for a safety versus efficiency trade-off in xylem transport. *Plant Cell Environ* 28:800–812.
- Wheeler, E., Bass, P. y Rodgers, S. (2007). Variations in dieot wood anatomy: a global analysis based on the insidewood database. *IAWA Journal*. 28(3): 229-258
- Wheeler, E.A. (2011). InsideWood, web resource for hardwood anatomy. *IAWA Journal*, 32 (2), 199-211.
- Zanne, A., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D.A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S.L., Miller, R.B., Swenson, N., Wiemann, M., and Chave, J. (2009). Global wood density database. Dryad. Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.

11. Anexos

Anexo 1. Listado completo de características. Características anatómicas para especies latifoliadas de la normativa IAWA en español e inglés

Características anatómicas para especies latifoliadas de la normativa IAWA [ESPAÑOL]	IAWA Anatomical features for hardwood tree species [ENGLISH]
Anillos de crecimiento - pág. 234	Growth rings — p. 234
1. Anillos de crecimiento visibles	1. Growth ring boundaries distinct
2. Anillos de crecimiento poco visibles o ausentes	2. Growth ring boundaries indistinct or absent
Vasos	Vessels — p. 236
Porosidad - pág. 236	Porosity — p. 236
3. Anillos porosos	3. Wood ring-porous
4. Anillos semiporosos	4. Wood semi-ring-porous
5. Anillos con poros difusos	5. Wood diffuse-porous
Disposición de los vasos o poros - pág. 238	vasos arrangement — p. 238
6. Vasos (poros) en bandas tangenciales	6. vessels in tangential bands
7. Vasos (poros) en patrones radiales o diagonales	7. vessels in diagonal and/or radial pattern
8. Vasos (poros) en patrones dendríticos	8. vessels in dendritic pattern
Agrupación de vasos - pág. 242	Vessels groupings — p. 242
9. Vasos (poros) exclusivamente solitarios (90 % o más)	9. vessels exclusively solitary (90% or more)
10. Vasos (poros) en grupos radiales de 4 o más	10. vessels in radial multiples of 4 or more common
11. Vasos (poros) en grupos comunes (de 3 o más vasos)	11. vessels clusters common
Perfil de vasos solitarios - pág. 244	Solitary vasos outline — p. 244
12. Perfil angular de vasos solitarios	12. Solitary vessels outline angular
Placas de perforación - pág. 246	Perforation plates — p. 246
13. Placas perforadas simples	13. Simple perforation plates
14. Placas de perforación escalariformes	14. Scalariform perforation plates
15. Placas de perforación escalariformes con ≤ 10 barras	15. Scalariform perforation plates with ≤ 10 bars
16. Placas de perforación escalariformes con 10 -20 barras	16. Scalariform perforation plates with 10 –20 bars
17. Placas de perforación escalariforme con 20- 40 barras	17. Scalariform perforation plates with 20– 40 bars
18. Placas de perforación escalariformes con ≥ 40 bares	18. Scalariform perforation plates with ≥ 40 bars
19. Reticular, foraminado y/u otros tipos de placas perforadas múltiples	19. Reticulate, foraminate, and/or other types of multiple perforation plates
Punteaduras comunes: disposición y tamaño - pág. 250	Intervessels pits: arrangement and size — p. 250
20. Punteaduras intervasculares escalariformes	20. Intervasos pits scalariform
21. Punteaduras intervasculares opuestas	21. Intervessels pits opposite
22. Punteaduras intervasculares alternas	22. Intervessels pits alternate
23. Forma de las punteaduras intervasculares alternas	23. Shape of alternate pits polygonal
24. Diminutas- ≤ 4 µm	24. Minute – ≤ 4 µm
25. Pequeño - 4-7 µm	25. Small – 4–7 µm
26. Medio - 7-10 µm	26. Medium – 7–10 µm
27. Grande - ≥ 10 µm	27. Large – ≥ 10 µm
28. Rango de tamaño de la fosa intermodal (µm)	28. Range of intervessels pit size (µm)
Punteaduras con relieve - pág. 252	Vestured pits — p. 252
29. Punteaduras con relieve	29. Vestured pits
Punteaduras radiovasculares- pág. 253	Vasos–ray pitting — p. 253
30. Punteaduras radiovasculares con bordes distintos, similares en forma y tamaño a las intervasculares	30. vessels–ray pits with distinct borders; similar to intervessels pits in size and shape throughout the ray cell
31. Punteaduras radiovasculares con areola reducida o aparentemente simples; forma redondeada o angular	31. vessels–ray pits with much reduced borders to apparently simple: pits rounded or angular
32. Punteaduras radiovasculares con areola reducida o aparentemente simples; forma alargada horizontal o verticalmente	32. vessels–ray pits with much reduced borders to apparently simple: pits horizontal (scalariform, gash-like) to vertical (palisade)
33. Punteaduras radiovasculares de dos tamaños o tipos distintos en la misma celda de radios	33. vessels–ray pits of two distinct sizes or types in the same ray cell
34. Punteaduras radiovasculares unilateralmente compuestas y gruesas (más de 10 µm)	34. vessels–ray pits unilaterally compound and coarse (over 10 µm)
35. Punteaduras radiovasculares restringidas a filas marginales	35. vessels–ray pits restricted to marginal rows
Estrías espiraladas - pág. 256	Helical thickenings — p. 256

Características anatómicas para especies latifoliadas de la normativa IAWA [ESPAÑOL]	IAWA Anatomical features for hardwood tree species [ENGLISH]
36. Estrías espiraladas en los elementos del vaso	36. Helical thickenings in vessels elements present
37. Estrías espiraladas en todo el cuerpo del elemento del vaso	37. Helical thickenings throughout body of vessels element
38. Estrías espiraladas sólo en las colas de los elementos del vaso	38. Helical thickenings only in vessels element tails
39. Estrías espiraladas sólo en elementos del vasomás estrechos	39. Helical thickenings only in narrower vessels elements
Diámetro tangencial del lumen del vaso— pág. 258	Tangential diameter of vessels lumina — p. 258
Diámetro tangencial promedio del lumen del vaso	Mean tangential diameter of vessels lumina
40. $\leq 50 \mu\text{m}$	40. $\leq 50 \mu\text{m}$
41. 50 -100 μm	41. 50 –100 μm
42. 100-200 μm	42. 100–200 μm
43. $\geq 200 \mu\text{m}$	43. $\geq 200 \mu\text{m}$
44. Media, +/- Desviación estándar, Rango, n = x	44. Mean, +/- Standard Deviation, Range, n = x
45. Vasos de dos clases diamétricas distintas, madera sin anillos porosos	45. vessels of two distinct diameter classes, wood not ring-porous
Vasos (poros) por milímetro cuadrado - pág. 259	Vessels per square millimetre — p. 259
46. ≤ 5 poros por milímetro cuadrado	46. ≤ 5 vessels per square millimetre
47. 5-20 poros por milímetro cuadrado	47. 5–20 vessels per square millimetre
48. 20-40 poros por milímetro cuadrado	48. 20–40 vessels per square millimetre
49. 40-100 poros por milímetro cuadrado	49. 40–100 vessels per square millimetre
50. ≥ 100 poros por milímetro cuadrado	50. ≥ 100 vessels per square millimetre
51. Media, +/- Desviación estándar, Rango, n = x	51. Mean, +/- Standard Deviation, Range, n = x
Longitud media del elemento del vaso - pág. 259	Mean vessels element length — p. 259
52. $\leq 350 \mu\text{m}$	52. $\leq 350 \mu\text{m}$
53. 350-800 μm	53. 350–800 μm
54. $\geq 800 \mu\text{m}$	54. $\geq 800 \mu\text{m}$
55. Media, +/- Desviación estándar, Rango, n = x	55. Mean, +/- Standard Deviation, Range, n = x
Tilosis y depósitos en vasos - pág. 259	Tyloses and deposits in vessels — p. 259
56. <i>Tilosis común</i>	56. <i>Tyloses common</i>
57. <i>Tilosis esclerótica</i>	57. <i>Tyloses sclerotic</i>
58. <i>Gomas y otros depósitos en vasos del duramen.</i>	58. <i>Gums and other deposits in heartwood vessels</i>
Madera sin vasos- pág. 262	Wood vessels — p. 262
59. Madera sin vasos	59. Wood vessels
Traqueidas y fibras - pág. 262	Tracheids and fibres — p. 262
60. Traqueídeas vasculares /vasicéntricas presentes	60. Vascular /vasicentric tracheids present
Fibras con punteaduras - pág. 264	Ground tissue fibres — p. 264
61. Fibras con punteaduras de simple a minuciosamente bordeadas	61. Fibres with simple to minutely bordered pits
62. Fibras con punteaduras claramente delimitadas	62. Fibres with distinctly bordered pits
63. Punteaduras de fibra comunes en paredes radiales y tangenciales	63. Fibre pits common in both radial and tangential walls
64. Estrías espiraladas en fibras de tejido permanente	64. Helical thickenings in ground tissue fibres
Fibras septadas y bandas de fibras similares al parénquima - pág. 266	Septate fibres and parenchyma-like fibre bands — p. 266
65. Fibras septadas presentes	65. Septate fibres present
66. Fibras no septadas presentes	66. Non-septate fibres present
67. Bandas de fibras similares al parénquima que alternan con fibras ordinarias	67. Parenchyma-like fibre bands alternating with ordinary fibres
Espesor de la pared de fibra - pág. 268	Fibre wall thickness — p. 268
68. <i>Fibras de pared muy fina</i>	68. <i>Fibres very thin-walled</i>
69. <i>Fibras de pared delgada a gruesa</i>	69. <i>Fibres thin- to thick-walled</i>
70. <i>Fibras de paredes muy gruesas</i>	70. <i>Fibres very thick-walled</i>
Longitud media de las fibras - pág. 269	Mean fibre lengths — p. 269
71. $\leq 900 \mu\text{m}$	71. $\leq 900 \mu\text{m}$
72. 900 -1600 μm	72. 900 –1600 μm
73. $\geq 1600 \mu\text{m}$	73. $\geq 1600 \mu\text{m}$
74. Media, +/- Desviación estándar, Rango, n = x	74. Mean, +/- Standard Deviation, Range, n = x
Parénquima axial - pág. 270	Axial parenchyma — p. 270
75. <i>Parénquima axial ausente o extremadamente raro.</i>	75. <i>Axial parenchyma absent or extremely rare</i>
Parénquima axial apotraqueal - pág. 270	Apotracheal axial parenchyma — p. 270

Características anatómicas para especies latifoliadas de la normativa IAWA [ESPAÑOL]	IAWA Anatomical features for hardwood tree species [ENGLISH]
76. <i>Parénquima axial difuso</i>	76. <i>Axial parenchyma diffuse</i>
77. <i>Parénquima axial difuso en agregados.</i>	77. <i>Axial parenchyma diffuse-in-aggregates</i>
Parénquima axial paratraqueal - pág. 272	Paratracheal axial parenchyma — p. 272
78. <i>Parénquima axial paratraqueal escaso</i>	78. <i>Axial parenchyma scanty paratracheal</i>
79. <i>Parénquima axial vasicéntrico</i>	79. <i>Axial parenchyma vasicentric</i>
80. <i>Parénquima axial aliforme</i>	80. <i>Axial parenchyma aliform</i>
81. <i>Parénquima axial adiamantado aliforme</i>	81. <i>Axial parenchyma lozenge-aliform</i>
82. <i>Parénquima axial alado aliforme</i>	82. <i>Axial parenchyma winged-aliform</i>
83. <i>Parénquima axial confluyente</i>	83. <i>Axial parenchyma confluent</i>
84. <i>Parénquima axial unilateral paratraqueal</i>	84. <i>Axial parenchyma unilateral paratracheal</i>
Parénquima en bandas - pág. 276	Banded parenchyma — p. 276
85. <i>Parénquima axial en bandas con más tres células de ancho</i>	85. <i>Axial parenchyma bands more than three cells wide</i>
86. <i>Parénquima axial en bandas finas o líneas de hasta tres células de ancho</i>	86. <i>Axial parenchyma in narrow bands or lines up to three cells wide</i>
87. <i>Parénquima axial reticulado</i>	87. <i>Axial parenchyma reticulate</i>
88. <i>Parénquima axial escaliforme</i>	88. <i>Axial parenchyma scalariform</i>
89. <i>Parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales</i>	89. <i>Axial parenchyma in marginal or in seemingly marginal bands</i>
Parénquima axial por tipo de células / longitud de hebra - pág. 280	Axial parenchyma cell type/strand length — p. 280
90. <i>Células de parénquima fusiforme</i>	90. <i>Fusiform parenchyma cells</i>
91. <i>Dos células por hebra de parénquima</i>	91. <i>Two cells per parenchyma strand</i>
92. <i>Cuatro (3-4) células por hebra de parénquima</i>	92. <i>Four (3– 4) cells per parenchyma strand</i>
93. <i>Ocho (5-8) células por hebra de parénquima</i>	93. <i>Eight (5–8) cells per parenchyma strand</i>
94. <i>Más de ocho células por hebra de parénquima</i>	94. <i>Over eight cells per parenchyma strand</i>
95. <i>Parénquima no lignificado</i>	95. <i>Unlignified parenchyma</i>
Radios - pág. 282	Rays — p. 282
Ancho de radio - pág. 282	Ray width — p. 282
96. <i>Radios exclusivamente uniseriados</i>	96. <i>Rays exclusively uniseriate</i>
97. <i>Radios con ancho de 1 a 3 series</i>	97. <i>Ray width 1 to 3 cells</i>
98. <i>Radios comunmente de 4 a 10 series</i>	98. <i>Larger rays commonly 4- to 10-seriate</i>
99. <i>Radios comunmente mayores a 10 series</i>	99. <i>Larger rays commonly > 10-seriate</i>
100. <i>Radios con porciones multiseriadas y porciones uniseriadas.</i>	100. <i>Rays with multiseriate portion(s) as wide as uniseriate portions</i>
Radios agregados - pág. 284	Aggregate rays — p. 284
101. <i>Radios agregados</i>	101. <i>Aggregate rays</i>
Altura de radio - pág. 284	Ray height — p. 284
102. <i>Radios de altura mayor a 1mm</i>	102. <i>Ray height > 1 mm</i>
Radios de dos tamaños distintos - pág. 286	Rays of two distinct sizes — p. 286
103. <i>Radios de dos tamaños distintos</i>	103. <i>Rays of two distinct sizes</i>
Radios: composición celular - pág. 288	Rays: cellular composition — p. 288
104. <i>Todas las células procumbentes</i>	104. <i>All ray cells procumbent</i>
105. <i>Todas las células verticales y/o cuadradas</i>	105. <i>All ray cells upright and/or square</i>
106. <i>Cuerpo del radio con células procumbentes y una sola fila de células verticales y/o cuadradas marginales</i>	106. <i>Body ray cells procumbent with one row of upright and/or square marginal cells</i>
107. <i>Cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales</i>	107. <i>Body ray cells procumbent with mostly 2– 4 rows of upright and/or square marginal cells</i>
108. <i>Cuerpo del radio con células procumbentes con más de 4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales</i>	108. <i>Body ray cells procumbent with over 4 rows of upright and/or square marginal</i>
109. <i>Radios con una mezcla de células procumbentes, cuadradas y verticales</i>	109. <i>Rays with procumbent, square and upright cells mixed throughout the ray</i>
Células envolventes - pág. 292	Sheath cells — p. 292
110. <i>Células radiales envolventes</i>	110. <i>Sheath cells</i>
Células tipo teja - pág. 292	Tile cells — p. 292
111. <i>Células tipo teja</i>	111. <i>Tile cells</i>
Células radiales perforadas - pág. 294	Perforated ray cells — p. 294
112. <i>Células radiales perforadas</i>	112. <i>Perforated ray cells</i>
Pared celular del parénquima radial disyuntivo - pág. 294	Disjunctive ray parenchyma cell walls — p. 294
113. <i>Pared celular del parénquima radial disyuntivo</i>	113. <i>Disjunctive ray parenchyma cell walls</i>
Radios por milímetro - pág. 296	Rays per millimetre — p. 296

Características anatómicas para especies latifoliadas de la normativa IAWA [ESPAÑOL]	IAWA Anatomical features for hardwood tree species [ENGLISH]
114. ≤ 4 / mm	114. ≤ 4 / mm
115. 4-12 / mm	115. 4-12 / mm
116. ≥ 12 / mm	116. ≥ 12 / mm
Madera sin radios - pág. 297	Wood rayless — p. 297
117. Madera sin radios	117. Wood rayless
Estructuras apiladas - pág. 298	Storied structure — p. 298
118. Todos los radios apilados	118. All rays storied
119. Radios bajos apilados, radios altos no apilados	119. Low rays storied, high rays non-storied.
120. Parénquima axial y/o elementos del vaso apilados	120. Axial parenchyma and/or vessels elements storied
121. Fibras apiladas	121. Fibres storied
122. Radios y/o elementos axiales apilados irregularmente	122. Rays and /or axial elements irregularly storied
123. Número de niveles de radios por eje mm	123. Number of ray tiers per axial mm
Elementos secretores y variantes cambiales - pág. 300	Secretary elements and cambial variants — p. 300
Células de aceite y mucilago - pág. 300	Oil and mucilage cells — p. 300
124. Células oleíferas y/o mucilaginosas asociadas al parénquima radial	124. Oil and /or mucilage cells associated with ray parenchyma
125. Células oleíferas y/o mucilaginosas asociadas al parénquima axial	125. Oil and /or mucilage cells associated with axial parenchyma
126. Células oleíferas y/o mucilaginosas presentes entre las fibras	126. Oil and /or mucilage cells present among fibres
Canales intercelulares - pág. 302	Intercellular canals — p. 302
127. Canales axiales en líneas tangenciales largas	127. Axial canals in long tangential lines
128. Canales axiales en líneas tangenciales cortas	128. Axial canals in short tangential lines
129. Canales axiales difusos	129. Axial canals diffuse
130. Canales radiales	130. Radial canals
131. Canales intercelulares de origen traumático	131. Intercellular canals of traumatic origin
Tubos/tubos - pág. 306	Tubes / tubules — p. 306
132. Laticíferos o tubos taninos	132. Laticifers or tanniferous tubes
Variantes cambiales- pág. 308	Cambial variants — p. 308
133. Floema incluido, concéntrico	133. Included phloem, concentric
134. Floema incluido, difuso	134. Included phloem, diffuse
135. Otras variantes cambiales	135. Other cambial variants
Inclusiones minerales - pág. 310	Mineral inclusions — p. 310
Cristales prismáticos - pág. 310	Prismatic crystals — p. 310
136. Cristales prismáticos presentes	136. Prismatic crystals present
137. Cristales prismáticos en células de radio rectas y/o cuadradas	137. Prismatic crystals in upright and /or square ray cells
138. Cristales prismáticos en células de radios procumbentes	138. Prismatic crystals in procumbent ray cells
139. Cristales prismáticos en alineación radial en células de radio procumbent	139. Prismatic crystals in radial alignment in procumbent ray cells
140. Cristales prismáticos en células de radios rectos y/o cuadrados en cámara	140. Prismatic crystals in chambered upright and /or square ray cells
141. Cristales prismáticos en células de parénquima axial sin cámara	141. Prismatic crystals in non-chambered axial parenchyma cells
142. Cristales prismáticos en células de parénquima axial en cámara	142. Prismatic crystals in chambered axial parenchyma cells
143. Cristales prismáticos en fibras	143. Prismatic crystals in fibres
Drusas — pág. 313	Druses — p. 313
144. Drusas presentes	144. Druses present
145. Drusas en las células del parénquima del radio	145. Druses in ray parenchyma cells
146. Drusas en las células del parénquima axial	146. Druses in axial parenchyma cells
147. Drusas en fibras	147. Druses in fibres
148. Drusas en las células compartimentadas	148. Druses in chambered cells
Otros tipos de cristal - pág. 313	Other crystal types — p. 313
149. Rafidios	149. Raphides
150. Cristales aciculares	150. Acicular crystals
151. Cristales estiloides y/o alargados	151. Styloids and /or elongate crystals
152. Cristales de otras formas (en su mayoría pequeños)	152. Crystals of other shapes (mostly small)
153. Cristales de arena	153. Crystal sand
Otras características de los cristales - pág. 315	Other diagnostic crystal features — p. 315

Características anatómicas para especies latifoliadas de la normativa IAWA [ESPAÑOL]	IAWA Anatomical features for hardwood tree species [ENGLISH]
154. Más de un cristal de aproximadamente el mismo tamaño por célula o cámara	154. More than one crystal of about the same size per cell or chamber
155. Dos tamaños distintos de cristales por célula o cámara	155. Two distinct sizes of crystals per cell or chamber
156. Cristales en células agrandadas	156. Crystals in enlarged cells
157. Cristales en tilosis	157. Crystals in tyloses
158. Cistolitos	158. Cystoliths
Sílice - pág. 318	Silica — p. 318
159. Cuerpos de sílice presentes	159. Silica bodies present
160. Cuerpos de sílice en células de radios	160. Silica bodies in ray cells
161. Cuerpos de sílice en células de parénquima axial	161. Silica bodies in axial parenchyma cells
162. Cuerpos de sílice en fibras	162. Silica bodies in fibres
163. Sílice vítrea	163. Vitreous silica
APÉNDICE - Información no anatómica - pág. 321	APPENDIX — Non-anatomical information — p. 321
Distribución geográfica - pág. 321	Geographical distribution — p. 321
164. Europa y Asia templada (región de Brazier y Franklin 74)	164. Europe and temperate Asia (Brazier and Franklin region 74)
165. Europa, excluido el Mediterráneo	165. Europe, excluding Mediterranean
166. Mediterráneo, incluyendo África del Norte y Oriente Medio	166. Mediterranean including Northern Africa and Middle East
167. Asia templada (China), Japón, URSS	167. Temperate Asia (China), Japan, USSR
168. Asia Central del Sur (región de Brazier y Franklin 75)	168. Central South Asia (Brazier and Franklin region 75)
169. India, Pakistán, Sri Lanka	169. India, Pakistan, Sri Lanka
170. Birmania	170. Burma
171. Asia sudoriental y el Pacífico (región de Brazier y Franklin 76)	171. Southeast Asia and the Pacific (Brazier and Franklin region 76)
172. Tailandia, Laos, Vietnam, Camboya (Indochina)	172. Thailand, Laos, Vietnam, Cambodia (Indochina)
173. Indomalesia: Indonesia, Filipinas, Malasia, Brunei, Papúa Nueva Guinea e Islas Salomón.	173. Indomalesia: Indonesia, Philippines, Malaysia, Brunei, Papua New Guinea, and Solomon Islands
174. Islas del Pacífico (incluidas Nueva Caledonia, Samoa, Hawai y Fiji)	174. Pacific Islands (including New Caledonia, Samoa, Hawaii, and Fiji)
175. Australia y Nueva Zelanda (región de Brazier y Franklin 77)	175. Australia and New Zealand (Brazier and Franklin region 77)
176. Australia	176. Australia
177. Nueva Zelanda	177. New Zealand
178. África continental tropical e islas adyacentes (región de Brazier y Franklin 78)	178. Tropical mainland Africa and adjacent islands (Brazier and Franklin region 78)
179. África tropical	179. Tropical Africa
180. Madagascar & Mauricio, Reunión & Comores	180. Madagascar & Mauritius, Réunion & Comores
181. África meridional (al sur del trópico de Capricornio) (región de Brazier y Franklin 79)	181. Southern Africa (south of the Tropic of Capricorn) (Brazier and Franklin region 79)
182. América del Norte, al norte de México (región 80 de Brazier y Franklin)	182. North America, north of Mexico (Brazier and Franklin region 80)
183. Neotrópico y Brasil templado (región 81 de Brazier y Franklin)	183. Neotropics and temperate Brazil (Brazier and Franklin region 81)
184. México y Centroamérica	184. Mexico and Central America
185. Caribeño	185. Caribbean
186. América del Sur tropical	186. Tropical South America
187. Sur de Brasil	187. Southern Brazil
188. América del Sur templada, incluyendo Argentina, Chile, Uruguay y S. Paraguay (región Brazier y Franklin 82).	188. Temperate South America including Argentina, Chile, Uruguay, and S. Paraguay (Brazier and Franklin region 82)
Hábito de crecimiento - pág. 321	Habit — p. 321
189. Árbol	189. Tree
190. Arbusto	190. Shrub
191. Viña/liana	191. Vine/liana
Madera de importancia comercial - pág. 322	Wood of commercial importance — p. 322
192. Madera de importancia comercial	192. Wood of commercial importance
Peso específico - pág. 322	Specific gravity — p. 322
193. Gravedad específica básica baja, ≤ 0.40	193. Basic specific gravity low, ≤ 0.40
194. Gravedad media específica básica, 0.40-0.75	194. Basic specific gravity medium, 0.40–0.75
195. Gravedad específica básica alta, ≥ 0.75	195. Basic specific gravity high, ≥ 0.75
Color duramen - pág. 323	Heartwood colour — p. 323

Características anatómicas para especies latifoliadas de la normativa IAWA [ESPAÑOL]	IAWA Anatomical features for hardwood tree species [ENGLISH]
196. Color duramen más oscuro que el color albura	196. Heartwood colour darker than sapwood colour
197. Duramen básicamente marrón o tonos de marrón	197. Heartwood basically brown or shades of brown
198. Duramen básicamente rojo o tonos de rojo	198. Heartwood basically red or shades of red
199. Duramen básicamente amarillo o matices de amarillo	199. Heartwood basically yellow or shades of yellow
200. Duramen básicamente blanco a gris	200. Heartwood basically white to grey
201. Duramen con vetas	201. Heartwood with streaks
202. Duramen no como el anterior	202. Heartwood not as above
Olor - pág. 325	Odour — p. 325
203. Olor característico	203. Distinct odour
Fluorescencia del duramen - pág. 325	Heartwood fluorescence — p. 325
204. Duramen fluorescente	204. Heartwood fluorescent
Extractos de agua y etanol: fluorescencia y color - pág. 326	Water & ethanol extracts: fluorescence & colour — p. 326
205. Extracto de agua fluorescente	205. Water extract fluorescent
206. Extracto de agua básicamente incoloro a marrón o tonos de marrón	206. Water extract basically colourless to brown or shades of brown
207. Extracto de agua básicamente rojo o tonos de rojo	207. Water extract basically red or shades of red
208. Extracto de agua básicamente amarillo o tonos de amarillo	208. Water extract basically yellow or shades of yellow
209. Extracto de agua no como arriba	209. Water extract not as above
210. Extracto de etanol fluorescente	210. Ethanol extract fluorescent
211. Extracto de etanol básicamente incoloro a marrón o tonos de marrón	211. Ethanol extract basically colourless to brown or shades of brown
212. Extracto de etanol básicamente rojo o tonos de rojo	212. Ethanol extract basically red or shades of red
213. Extracto de etanol básicamente amarillo o matices de amarillo	213. Ethanol extract basically yellow or shades of yellow
214. Extracto de etanol no como el anterior	214. Ethanol extract not as above
Prueba de espuma - pág. 327	Froth test — p. 327
215. Prueba de espuma positiva	215. Froth test positive
Prueba del cromo Azurol-S - pág. 328	Chrome Azurol-S test — p. 328
216. Prueba de Cromo Azurol-S positiva	216. Chrome Azurol-S test positive
Prueba de la astilla en llamas - pág. 328	Burning splinter test — p. 328
217. La astilla se quema hasta convertirse en carbón	217. Splinter burns to charcoal
218. La astilla se quema hasta convertirse en ceniza: Color del fresno blanco brillante	218. Splinter burns to a full ash: Colour of ash bright white
219. La astilla se quema hasta convertirse en ceniza: Color del fresno amarillo-marrón	219. Splinter burns to a full ash: Colour of ash yellow-brown
220. La astilla se quema hasta convertirse en ceniza: Color de la ceniza distinto del anterior	220. Splinter burns to a full ash: Colour of ash other than above
221. La astilla se quema hasta convertirse en una ceniza parcial	221. Splinter burns to a partial ash

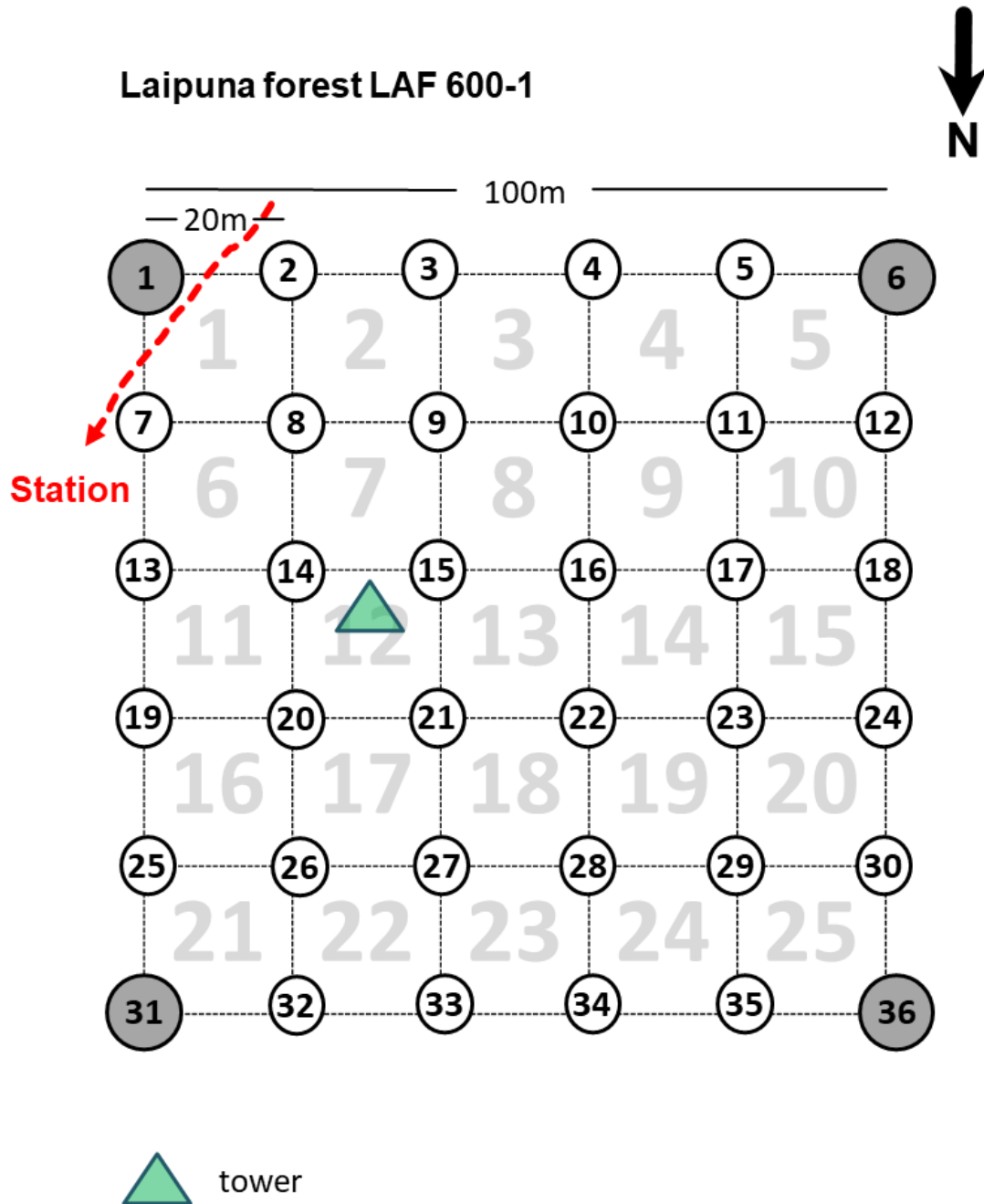
* las características en *cursiva* fueron las características seleccionadas para el presente estudio

Anexo 2. Lista de especies seleccionadas para el muestreo al azar dentro del rango altitudinal

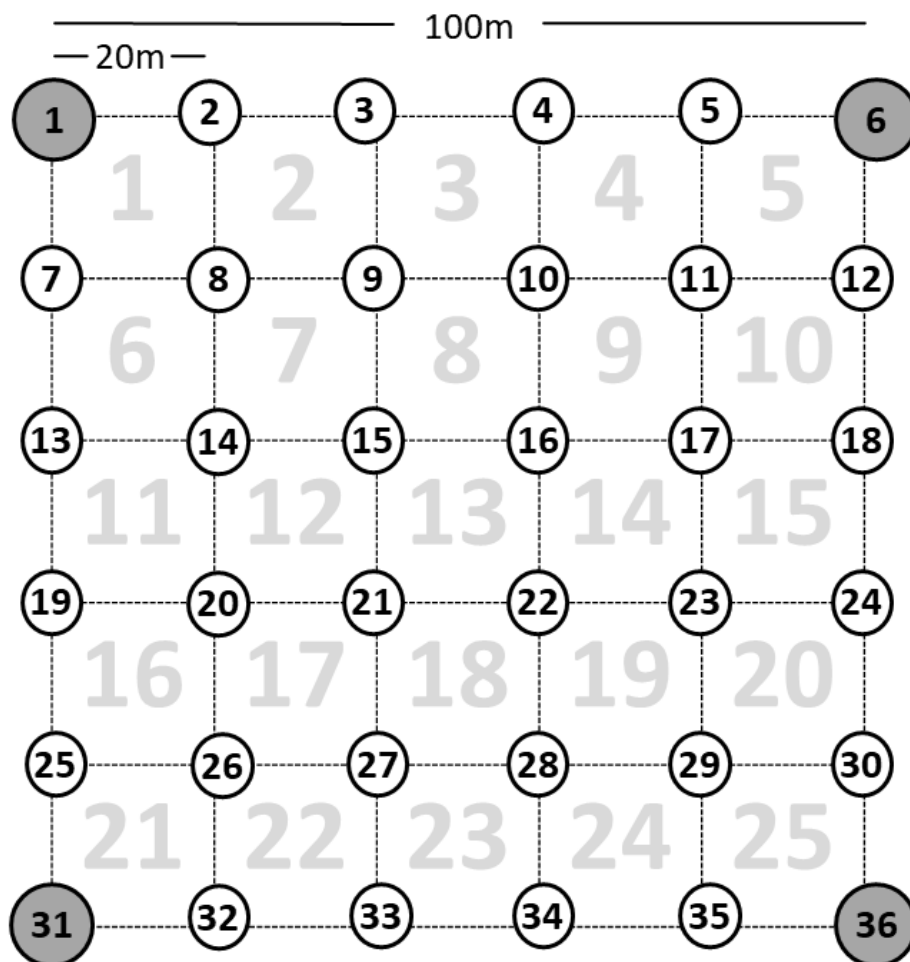
N	Familia	Género	Especie
1	Fabaceae	<i>Acacia</i>	<i>macracantha</i>
2	Fabaceae	<i>Albizia</i>	<i>multiflora</i>
3	Burseraceae	<i>Bursera</i>	<i>graveolens</i>
4	Malvaceae	<i>Ceiba</i>	<i>trischistandra</i>
5	Bixaceae	<i>Cochlospermum</i>	<i>vitifolium</i>
6	Boraginaceae	<i>Cordia</i>	<i>lutea</i>
7	Malvaceae	<i>Eriotheca</i>	<i>ruizii</i>
8	Fabaceae	<i>Erythrina</i>	<i>velutina</i>
9	Asteraceae	<i>Fulcaldea</i>	<i>laurifolia</i>

N	Familia	Género	Especie
10	Fabaceae	<i>Geoffroea</i>	<i>spinosa</i>
11	Bignoniaceae	<i>Handroanthus</i>	<i>chrysanthus</i>
12	Convolvulaceae	<i>Ipomoea</i>	<i>wolcottiana</i>
13	Fabaceae	<i>Libidibia</i>	<i>glabrata</i>
14	Anacardiaceae	<i>Loxopterygium</i>	<i>huasango</i>
15	Capparaceae	<i>Morisonia</i>	<i>scabrida</i>
16	Capparaceae	<i>Morisonia</i>	<i>flexuosa</i>
17	Capparaceae	<i>Morisonia</i>	<i>petiolare</i>
18	Fabaceae	<i>Piscidia</i>	<i>carthagenensis</i>
19	Nyctaginaceae	<i>Pisonia</i>	<i>aculeata</i>
20	Myrtaceae	<i>Psidium</i>	<i>rostratum</i>
21	Combretaceae	<i>Terminalia</i>	<i>valverdae</i>
22	Polygonaceae	<i>Triplaris</i>	<i>cumingiana</i>

Anexo 3. Mapas de parcelas permanentes ubicadas en La Reserva Natural Laipuna
(LAF 600 y LAF 1200)

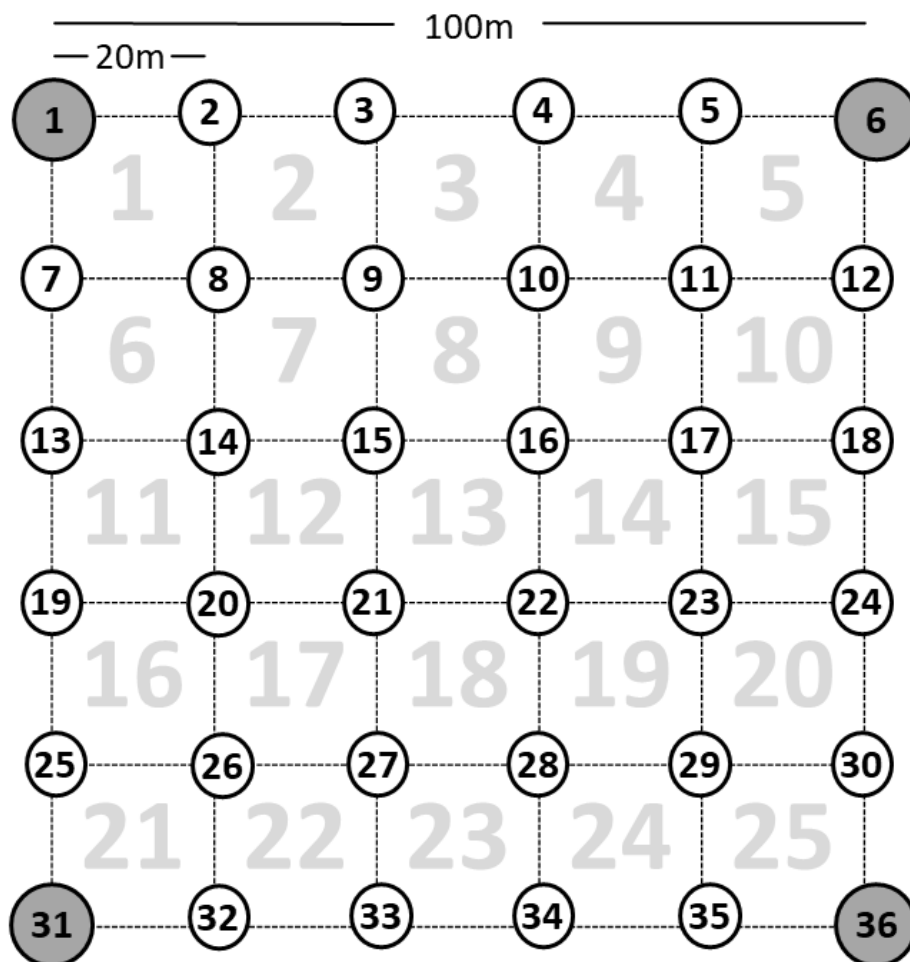


Laipuna forest LAF 600-2



Rio Catamayo

Laipuna forest LAF 600-3

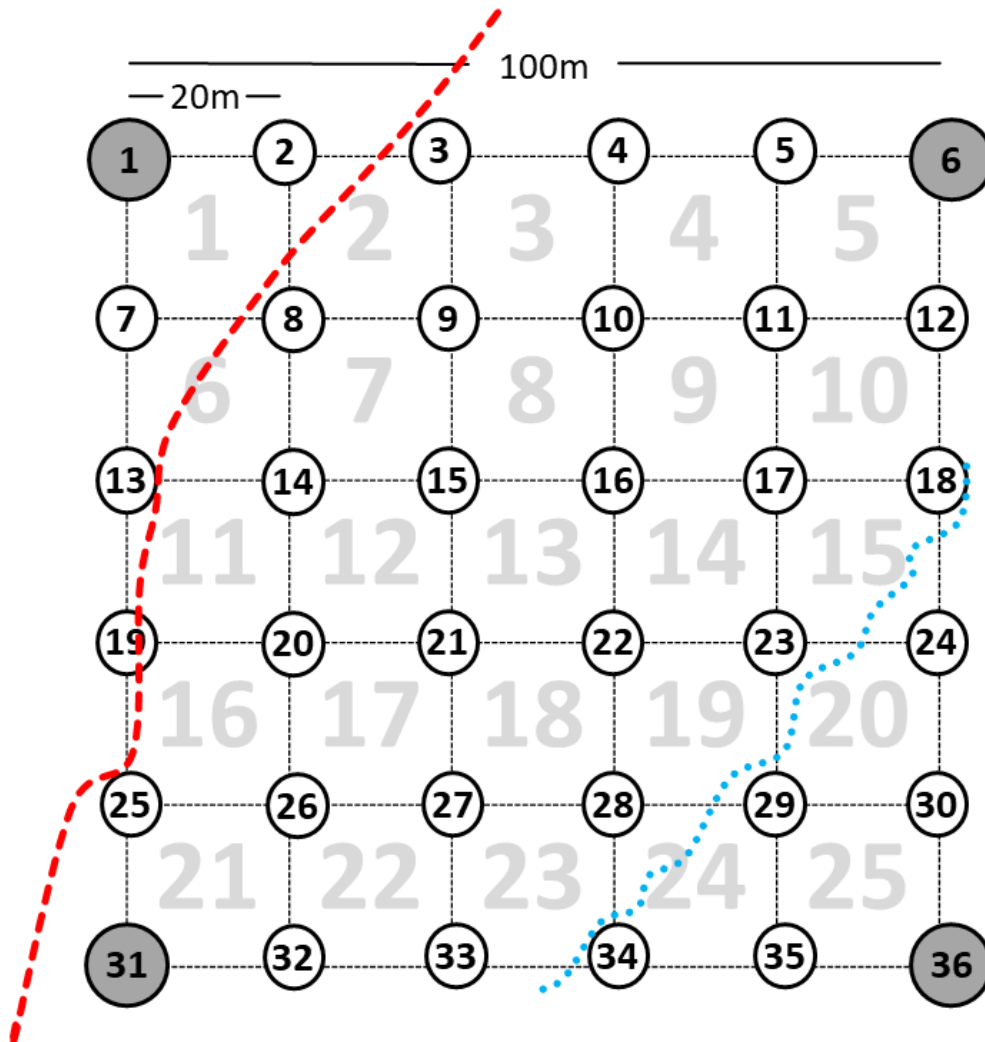


Station ←

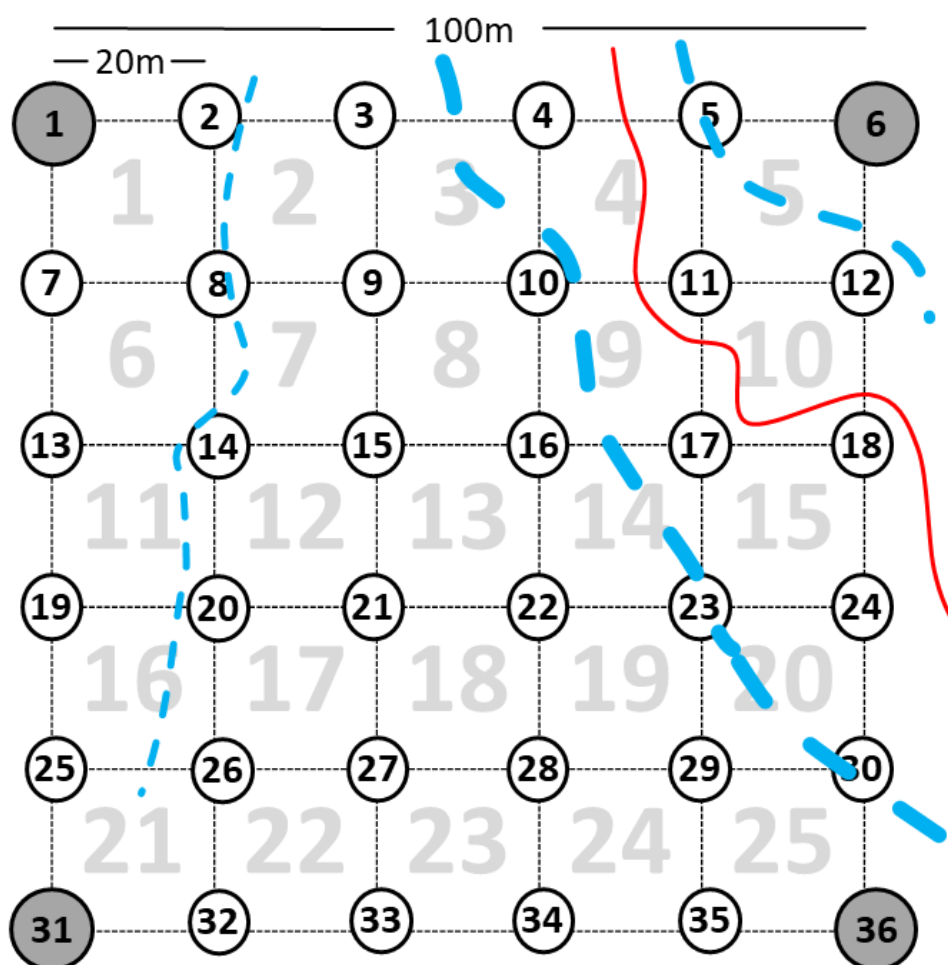


Rio Catamayo

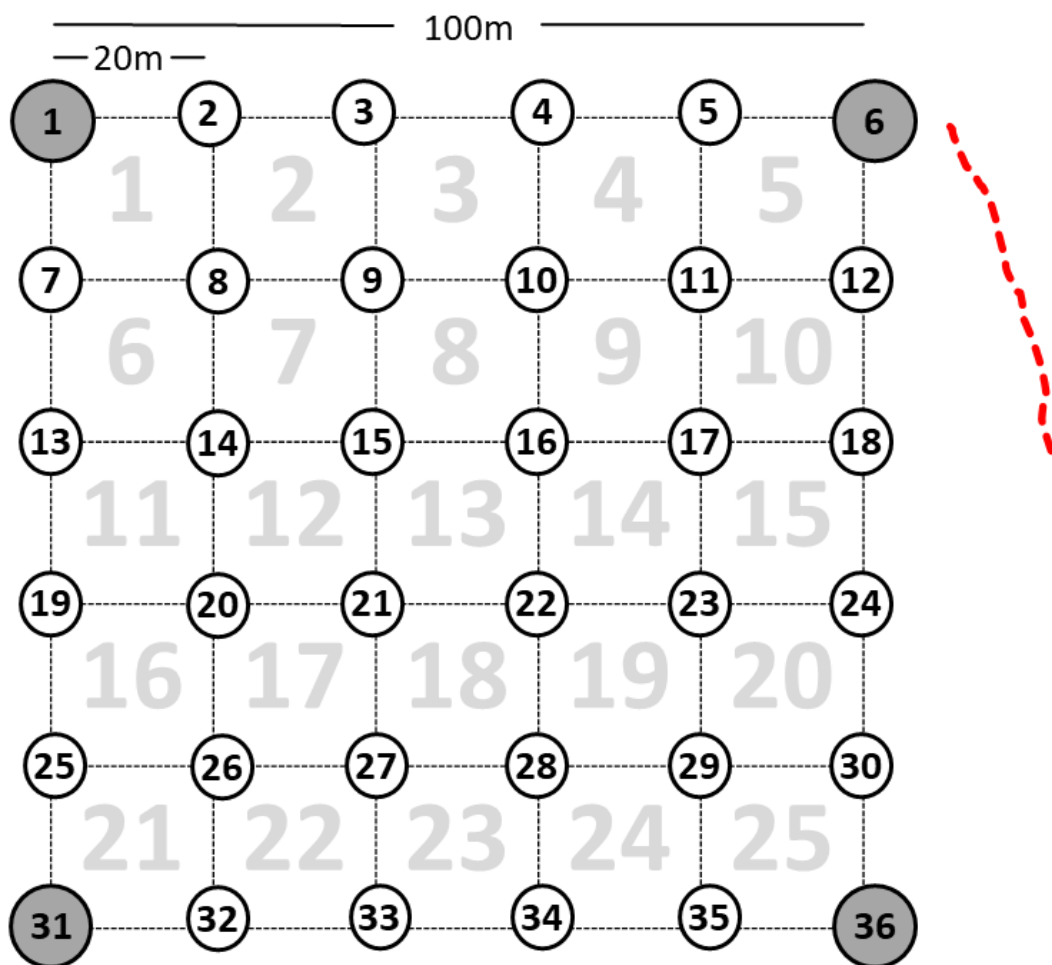
Laipuna forest LAF 1200-1



Laipuna forest LAF 1200-2



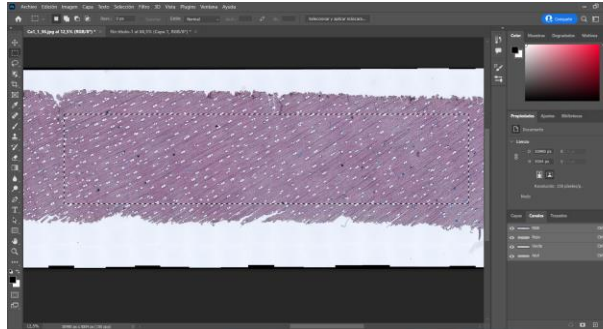
Laipuna forest LAF 1200-3



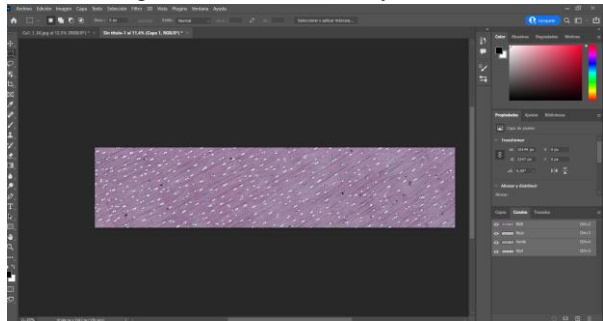
Anexo 4. Metodología para la obtención de datos cuantitativos anatómicos de la madera

Abrir Imagen Completa en Photoshop

Seleccionar área con herramienta rectángulo

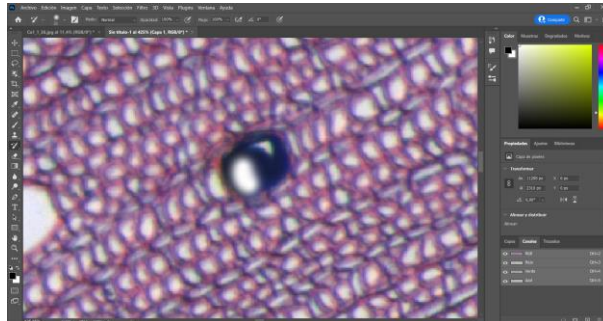


Ctrl + x, luego Archivo Nuevo Ok y Ctrl + v

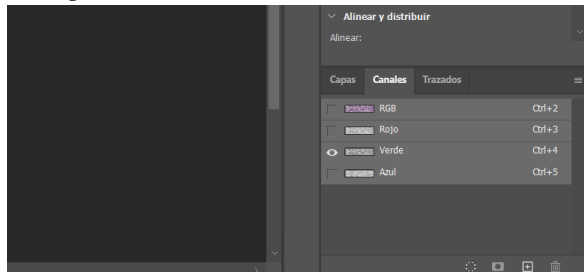


Save As La#_#_#_PS_01.jpg

Luego con la herramienta pincel pintamos los vasos tapados o obstruidos por gomas o por tinte



En la parte de canales se selecciona solo el verde



Luego en Imagen – Modo – Escala de grises – Acoplar – Descartar

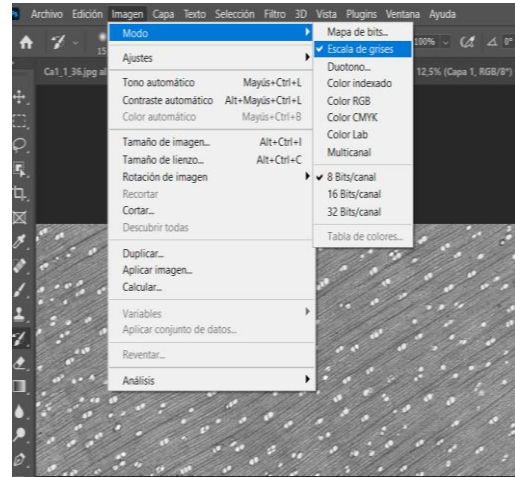
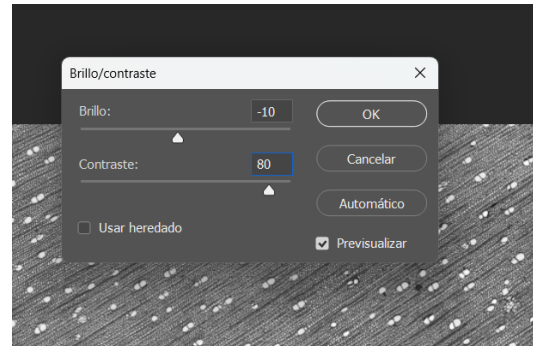
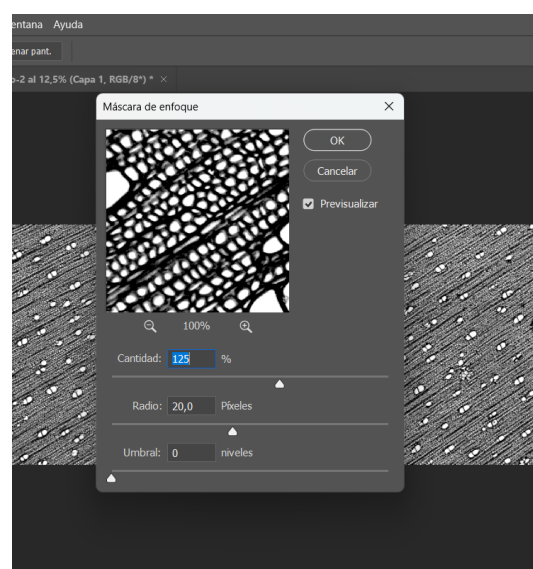


Imagen – Ajustes – Brillo y Contraste -- -10 y 80



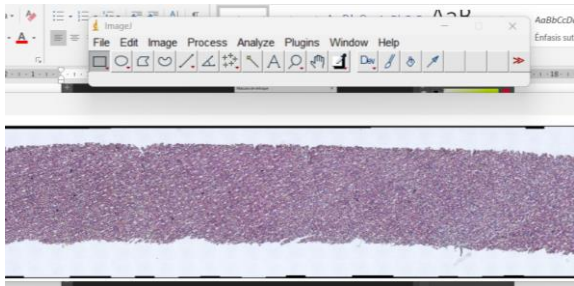
Filtro – Enfocar – Máscara de Enfoque – 125 y 20



Save as La#_#_#_PS_02.jpg

Abrir ImageJ

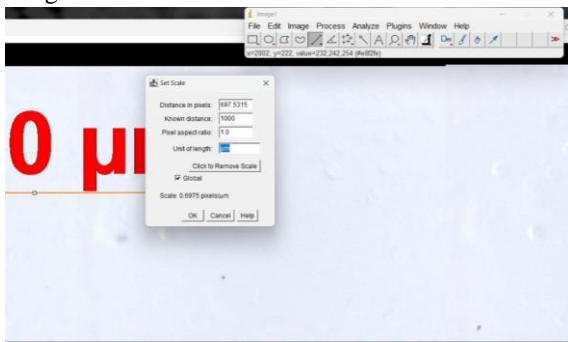
Abrir la imagen complete con la escala



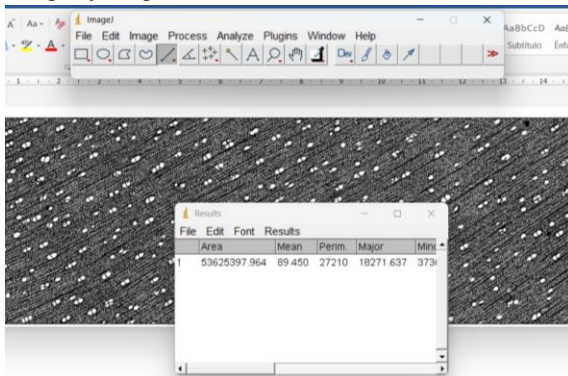
Luego con la herramienta Line marcamos la zona de la escala



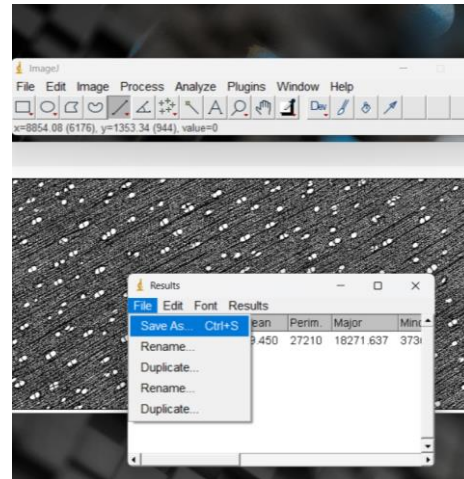
Analyze – Set Scale – Know distance 1000 Unit of length μm y Global check – Ok y luego se Cierra la imagen



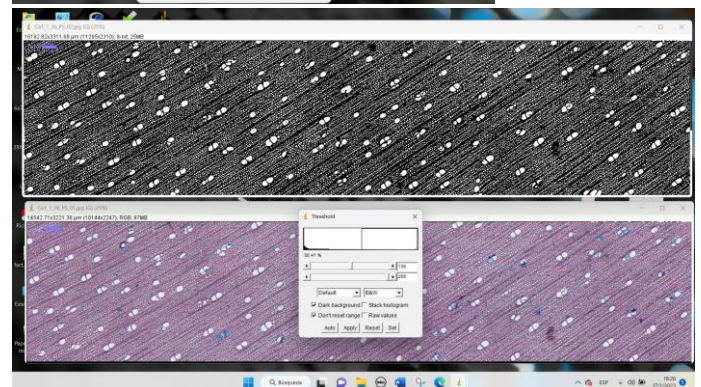
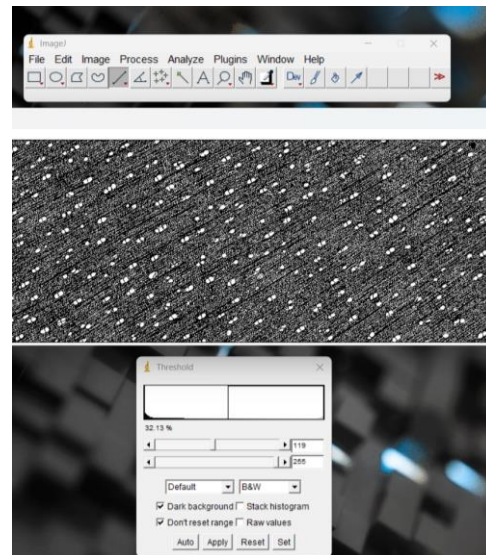
Luego abrimos la imagen blanco y negro (PS_02) en ImageJ y luego Ctrl + m



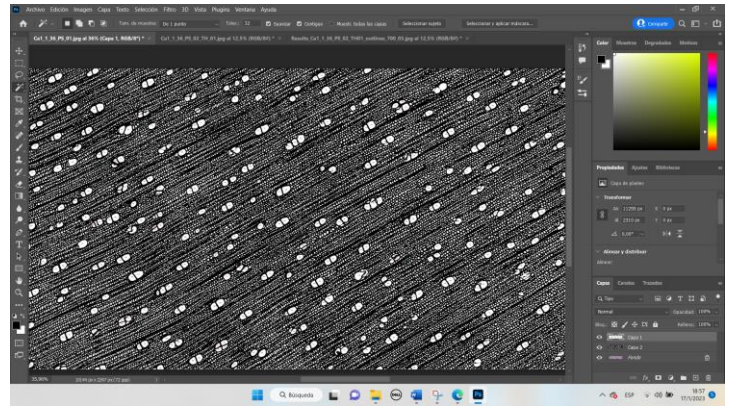
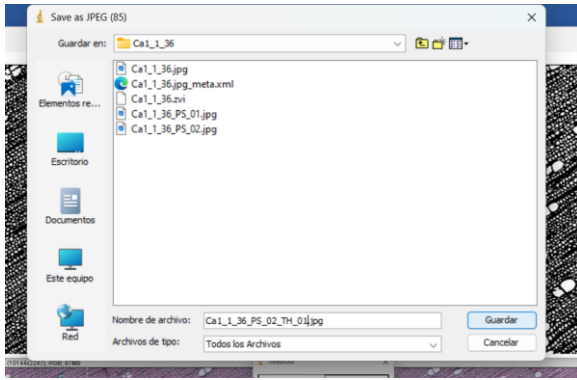
Los resultados que se obtienen se pone File – Save As -- Results_Ca1_1_36_Axylem.csv



Seguidamente se hace el Thershold para lo cual se usa el comando Ctrl + shift + T y ajustamos de modo que los vasos posean la forma similar al original. El número en que se ajusta a la original se anota para el caso es 130

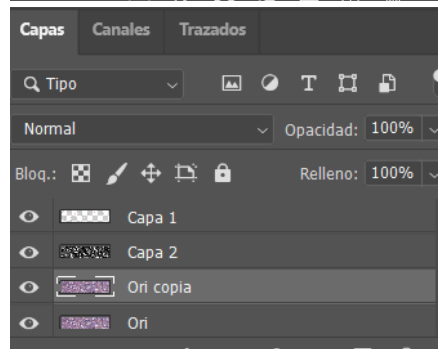
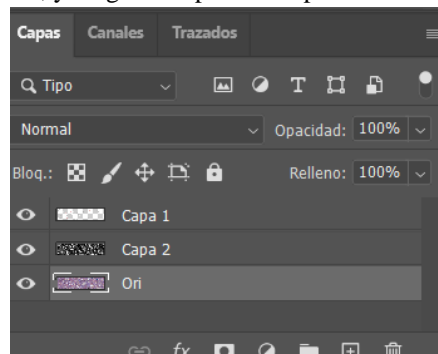
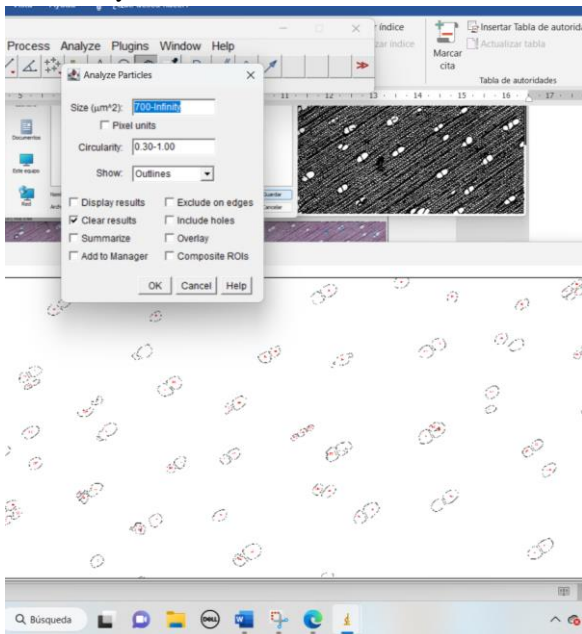


Luego Save As y guardamos el Threshold como La0_00_00_PS_02_TH_01_jpg



Luego ponemos en Analyze – Analyze Particles y ponemos en size un rango en el que dibuje la dimensión de los vasos para este caso de 700 – infinity, circularity de 0.3 a 1 y en Show Outline

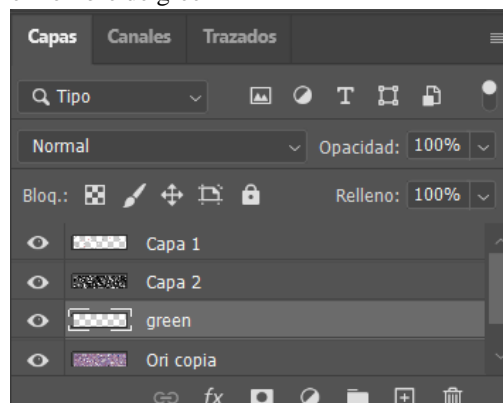
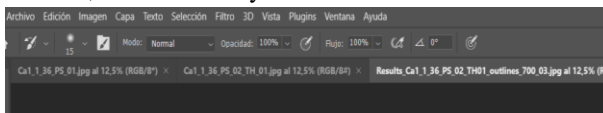
Luego se renombra la capa del fondo (imagen orginial) ori, y luego se duplica la capa Ori



Los resultados de este se guardan Save As Luego se guarda la imagen de outlines Save As – Results_La0_00_00_PS_02_TH_outlines_0000(Número de Size).03 (circularity).

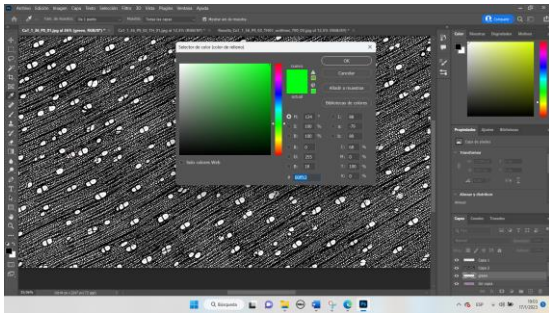
Luego se crea una nueva capa con Ctrl + Shift + N con el nombre de green

Abrimos Photoshop con la imagen PS_01 en una ventana, en otra la TH y en otra la de outlines

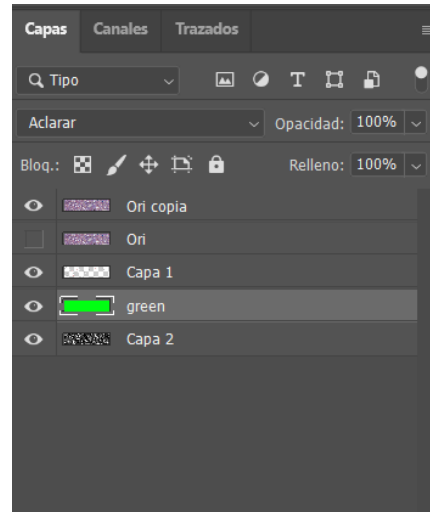


Luego en cada pestaña ponemos Ctrl + a luego Ctrl + X y Ctrl + V en la principal que es la PS_01 y con la varita mágica se selecciona los vasos (outlines) y se pone Ctrl X

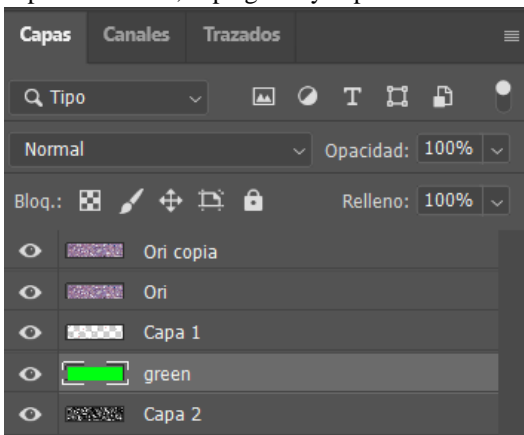
Luego shift + F5 para poner el color verde de la capa



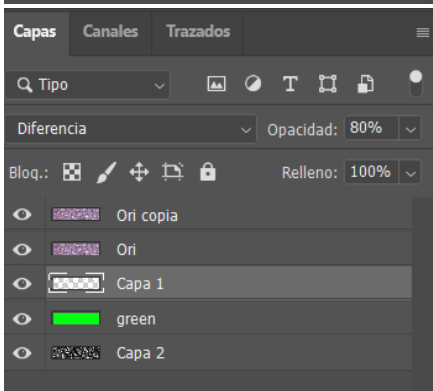
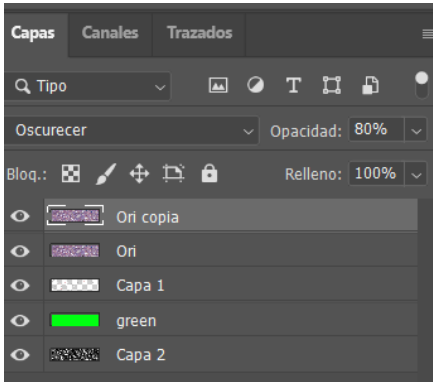
Se ordena las capas de la siguiente manera ori copi, ori, capa de outlines, capa green y capa th



Y Save Ass



Luego en la capa ori copia se pone en formato Darken (Oscurecer) y 80 % Opacidad, en la capa outlines se le pone modo Diferencia y 80 % Opacidad



En la capa green se pone modo Aclarar y 100 % Opacidad

Anexo 5. Códigos R para el análisis de componentes principales y análisis de correlación de Pearson

```
## 1. IMPORTACION, VISUALIZACION, ESTADISTICOS BASICOS Y EXPORTACION DE DATOS
# Fijar la carpeta de trabajo

setwd("D:/a. samples_LAIPUNA/R_analysis")

# importar archivo CSV

db <- read.csv("BD_species.csv", sep = ";")
# SubTabla
db2.1 <- db[, c("Parcela", "Name", "WGS_CLA")] # Categorías
db2.2 <- db[, sapply(db, class) == "numeric"] # solo numericos
db2.3 <- db[, sapply(db, class) == "integer"] # solo enteros

# nueva Tabla
db2 <- cbind(db2.1, db2.2, db2.3)
db2
# Eliminar manualmente variables
db2$DAP_cm <- NULL
db2$HT_m <- NULL
db2$C_long <- NULL
db2$R_tan_rad <- NULL

# Filtro para dejar solo celdas completas
db3 <- db2[complete.cases(db2), ]
db3

rownames(db3) <- db3$Name # poner nombres a las filas
db3

# 2. ANALISIS DE DATOS
# 2.1. DENDROGRAMAS
db4 <- data.matrix(db3) # to matrix
##db4 <- t(db4) # Transponer datos

db4 <- scale(db4, center=T, scale=T) # data standarization
db4

# 3. PCA (Análisis de componentes principales)
## PCA
# Crear un objeto PCA
#TODAS
db4.pca <- prcomp(db4, scale = T, center = T) # menos primeras 4 columnas
db4.pca.cuanti <- prcomp(db4[, 1:10 ], scale = T, center = T) # solo propiedades cuantitativas
db4.pca.cuali <- prcomp(db4[, c(5, 11:41) ], scale = T, center = T) # solo propiedades cualitativas
db4.pca
summary(db4.pca)
plot(db4.pca)
# 3.1. VISUALIZACION DE DATOS
# 3.1.1. Datos INDIVIDUALES
library(factoextra) # Abrir libreria para realizar los graficos

jpeg(filename="pca_ind_Cartuche&Feijoo_all.jpg", width = 350, height = 200, units = "mm", res=500)

fviz_pca_ind(db4.pca,
  title = expression("ÁNÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES - Ind" * italic(" TODAS - Altitud ")),
  legend.title = "Variables:",
  habillage = db2$Parcela,
  addEllipses = T,
  ellipse.level = 0.99,
  label = "all", # "all" es para ver todas las etiquetas, para ninguno "n"
  repel = TRUE,
  labelsize = 3.5,
  pointsize = "contrib" )
dev.off()
```

```
#####cualitativas
jpeg(filename="pca.biplot_Cartuche&Feijoo_cualitativas_densidad_24_03.jpg", width = 350, height = 200, units = "mm", res=500)

fviz_pca_biplot(db4.pca.cuali,
  title = expression("PCA - Biplot" * italic(" Cualitativas - WGS")),
  col.var = "dodgerblue",
  #col.ind = "forestgreen", # "grey70", # Individuals color
  addEllipses = T,
  habillage = db2$WGS_CLA,
  legend.title = "Densidad básica",
  label = "all",
  repel = T)

dev.off()
#####3
#####
#####PCA INDIVIDUAL #####
alles<-db3 [,1:10]

pca_alles <- prcomp(alles, retx=T, scale.=T)
biplot(pca_alles, choices = 1:2, pc.biplot = TRUE)
summary(pca_alles)

autoplot(pca_alles, y=2, scale = 1, shape = 19, size=5,
  colour = 'elevation', fill = 'elevation',
  label = TRUE, label.size = 3,
  label.label = "genus",
  label.colour='black', label.repel = TRUE,
  loadings = TRUE, loadings.label = TRUE, loadings.label.size = 5,
  loadings.colour = 'black', loadings.label.colour='black', loadings.label.repel = TRUE,
  frame=FALSE, asp = 1, data = db2)

autoplot(pca_alles,
  label=TRUE, label.color='black',
  loadings=TRUE, loadings.label=TRUE )

##### CORRELOGRAMAS #####
# GRAFICOS DE CORRELACIONES
# Basado en: https://rpkgs.datanovia.com/ggcorrplot/reference/ggcorrplot.html

rm(list=ls()) # Limpiar espacio de trabajo
graphics.off() # Limpiar area de graficos

setwd("D:/a. samples_LAIPUNA/R_analysis")

# Cargar datos
db <- read.csv("BD_1200.csv", sep = ";")

str(db)
# SubTabla
db2.1 <- db[, c("Name", "WGS_CLA")] # Categorías
db2.2 <- db[, sapply(db, class) == "numeric"] # solo numericos
db2.3 <- db[, sapply(db, class) == "integer"] # solo enteros

# nueva Tabla
db2 <- cbind(db2.1, db2.2)

#db2.3
# Eliminar manualmente variables
db2[, c("H", "DAP", "GC", "CH", "Alumen_mm2", "VD_n_mm.2", "d_um", "DE_um", "CE")] <- NULL
# Filtro para dejar solo celdas completas
db3.0 <- db2[complete.cases(db2), ] #para colores
db3 <- db2[complete.cases(db2), ]
rownames(db3) <- db3$Name # poner nombres a las filas

db3$Name <- NULL
db3$WGS_CLA<- NULL
db3$X12_VS_PA <- NULL
```



```

#db3$Numero <- NULL
#db3$CAT_densidad <- NULL

write.csv(db3, "db3_cor_cualitativas_1200_01_04.csv")
datos <- read.csv("db3_cor_cualitativas_1200_01_04.csv", row.names = 1)

# Crear matriz de correlaciones
cor <- round(cor(datos), 1)
cor
# Crear matriz de p-values
library(rstatix)
p.value <- cor_pmat(datos)

# Plot de correlaciones General
library(ggcorrplot)
jpeg(filename="Correlograma_22sp_1200_p_value0.05_CUALITATIVAS_01_04.jpg", width = 250, height = 250, units = "mm", res=600)
ggcorrplot(cor, p.mat = p.value, sig.level = 0.05, title = "árboles 1 200 m s.n.m",
            type = "lower", insig = "blank", lab = T,
            lab_size = 3, tl.cex = 10, tl.srt = 90)
dev.off()

```

Anexo 6. Resultados de importancia de componentes principales

PROPIEDADES FÍSICAS, HIDRÁULICAS Y ANATÓMICAS CUANTITATIVAS DE LA MADERA DE 22 ESPECIES FORESTALES										
Importance of components:										
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Standard devi	2.0911	1.3143	1.274	0.8459	0.81601	0.74523	0.4266	0.30038	0.19813	0.16832
Proportion of	0.4373	0.1727	0.1623	0.07156	0.06659	0.05554	0.0182	0.00902	0.00393	0.00283
Cumulative pr	0.4373	0.61	0.7723	0.84389	0.91048	0.96602	0.9842	0.99324	0.99717	1

PROPIEDADES FÍSICAS Y ANATÓMICAS CUANTITATIVAS DE LA MADERA DE 22 ESPECIES FORESTALES														
Importance of components:														
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12	PC13	PC14
Standard devi	2.3937	1.9334	1.6958	1.5148	1.30479	1.13847	1.035	0.88018	0.7946	0.68767	0.65767	0.5158	0.45098	0.397
Proportion of	0.2605	0.1699	0.1307	0.1043	0.07739	0.05891	0.04869	0.03521	0.0287	0.02149	0.01966	0.01209	0.00924	0.00716
Cumulative pr	0.2605	0.4304	0.5611	0.6654	0.74276	0.80167	0.85036	0.88558	0.9143	0.93577	0.95543	0.96753	0.97677	0.98394
	PC15	PC16	PC17	PC18	PC19	PC20	PC21	PC22						
Standard devi	0.36859	0.28338	0.25325	0.20019	0.1817	1.59E-16	9.97E-17	1.86E-17						
Proportion of	0.00618	0.00365	0.00292	0.00182	0.0015	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00						
Cumulative pr	0.99011	0.99376	0.99668	0.9985	1	1.00E+00	1.00E+00		1.00E+00					

Anexo 7. Certificado de traducción del Abstract

Lic. Larry Palacio

Con cédula de identidad 1103982987, certificado como traductor e intérprete en la Senecyt con registro **MDT-3104-CCL-279678**,

C E R T I F I C O:

Que tengo el conocimiento y dominio de los idiomas español e inglés y que la traducción del resumen de la tesis, "**RASGOS ANATÓMICOS DE LA MADERA DE ESPECIES COMUNES DE BOSQUE SECO EN LA RESERVA NATURAL LAIPUNA AL SUR DE ECUADOR**", cuya autoría de los estudiantes Keyla Mabel Cartuche Peralta, con cédula 1106042474, y Cesar Emiliano Feijoo Feijoo, con cédula 1150357778, es verdadero y correcto a mi mejor saber y entender.

Se autoriza a lo interesados hacer uso de la misma para los trámites que crean convenientes.

Emitida en Loja, a los 17 días del mes de mayo de 2023.

Atentamente



Lic. Larry Palacio

Licenciado en Ciencias de la Educación mención Idioma Inglés