

# Cambios microscópicos en la madera de 10 especies forestales de la ciudad de Loja, Ecuador

## *Microscopic changes in the wood of 10 forest species from the city of Loja, Ecuador*

Eva Fernanda Cueva Briceño<sup>1</sup> and Darwin Alexander Pucha Cofrep<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales, Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

\* Autor para correspondencia: darwin.pucha@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 25/04/2023

Fecha de aceptación del manuscrito: 05/12/2023

Fecha de publicación: 31/12/2023

**Resumen**—Las especies del arbolado urbano de la ciudad de Loja brindan múltiples servicios ecosistémicos. Pero el escaso conocimiento sobre su estructura y crecimiento dificulta el manejo en planes de arborización. Por ello, este estudio examinó las características anatómicas de la madera de las diez especies de árboles más comunes (nueve latifoliadas y una conífera) en la ciudad de Loja. El análisis incluyó aspectos cualitativos, cuantitativos e intraanuales, utilizando cortes micrométricos en los planos tangencial, transversal y radial y se basó en la nomenclatura de la Asociación Internacional de Anatomistas de Madera (IAWA). Los resultados mostraron que, aunque las características anatómicas cualitativas de la madera no varían en función del sitio de crecimiento, sí lo hacen las cuantitativas. Las características anatómicas más comunes en las especies latifoliadas fueron vasos solitarios, punteaduras alternas, pared de las fibras de delgadas a gruesas, y radios de células procumbentes de 1 y 3 series. Interanualmente, la diferenciación entre madera temprana y tardía fue evidente por el diámetro de los vasos y fibras, un aspecto clave para visualizar mejor los anillos de crecimiento. En consecuencia, se concluye que las características anatómicas, particularmente las cuantitativas como la longitud y el diámetro de los vasos, pueden servir como valiosos indicadores del sitio para evaluar la adaptabilidad de las especies forestales en diferentes áreas urbanas de Loja.

**Palabras clave**—Árboles urbanos, Anatomía de la madera, Cambios intraanuales, Características cuantitativas, Anillos de crecimiento.

**Abstract**—The urban tree species of the city of Loja provide multiple ecosystem services. However, the limited knowledge about their structure and growth hinders their management in arboriculture plans. Therefore, this study examined the anatomical characteristics of the wood from the ten most common tree species (nine broadleaved and one conifer) in the city of Loja. The analysis included qualitative, quantitative, and intra-annual aspects, using micrometric cuts in tangential, transversal, and radial planes and was based on the nomenclature of the International Association of Wood Anatomists (IAWA). The results showed that, although the qualitative anatomical characteristics of the wood do not vary according to the growth site, the quantitative ones do. The most common anatomical features in broadleaved species were solitary vessels, alternate pitting, fiber walls ranging from thin to thick, and procumbent cell rays of 1 and 3 series. On an intra-annual basis, the differentiation between early and late wood was evident by the diameter of the vessels and fibers, a key aspect to better visualize the growth rings. Consequently, it is concluded that the anatomical characteristics, particularly the quantitative ones such as the length and diameter of the vessels, can serve as valuable site indicators to assess the adaptability of forest species in different urban areas of Loja.

**Keywords**—Urban trees, Wood anatomy, Intra-annual changes, Quantitative characteristics, Tree-rings.

## INTRODUCCIÓN

Los árboles de la ciudad de Loja brindan múltiples servicios ecosistémicos (Cipra-Rodríguez et al., 2020). Por lo que analizar la ciudad de Loja como un ecosistema no tiene sólo interés cultural o científico, si no también nos permite aportar soluciones de otros ámbitos propios del funcionamiento interno de la ciudad (Higuera, 2008). Por ello, es importante conocer también aspectos más específicos de la especie, como es su ecología, fisiología, y adaptación a zonas urbanas.

En ese sentido, la caracterización anatómica de la madera de una especie constituye el punto de partida para conocer

el funcionamiento de los organismos vegetales, su comportamiento asociativo y su relación con el ambiente (Grande y Polanco, 2007). Además, nos permite elaborar claves de identificación que facilitan el reconocimiento entre especies (Giménez et al., 2005). Las diferencias de las características anatómicas son como una huella digital para identificar una especie maderable de otra (Rendle, 1932).

Las características anatómicas cuantitativas de la madera son fundamentales para observar diferencias entre individuos y especies. Otras características anatómicas clave en los procesos de identificación de maderas es la presencia o ausencia de los anillos de crecimiento (Grande y Polanco, 2007), los

cuales son elementos fundamentales para proporcionar información intra-anual valiosa en el estudio de eventos ambientales (Rojas-Badilla *et al.*, 2017). Otra característica clave es la distinción de madera tardía y madera temprana (Sass-klassen *et al.*, 2014). Sin embargo, en varias especies tropicales, los anillos de crecimiento son poco visibles, o forman falsos anillos de crecimiento con bandas interanuales que dificultan su correcta datación. No obstante, la característica caducifolia de la especie y la presencia de particularidades climáticas interanuales, suman características para la presencia de especies arbóreas con anillos de crecimiento anual (Egoavil *et al.*, 2020).

En este sentido, para garantizar la sostenibilidad de las especies forestales urbanas que habitan en la ciudad de Loja, es necesario conocer y profundizar estudios en las características anatómicas macro y microscópicas, así como los cambios intraanuales que presenta la madera en cada especie. Esto permitirá tener información sólida basada en estudios científicos para dar nuevas alternativas de manejo, uso y conservación de los árboles urbanos. Por ello, el objetivo de este estudio es evaluar los cambios cualitativos, cuantitativos, e intraanuales de la madera de las 10 especies forestales más frecuentes en tres sectores (norte, centro, y sur) de la ciudad de Loja.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área estudio

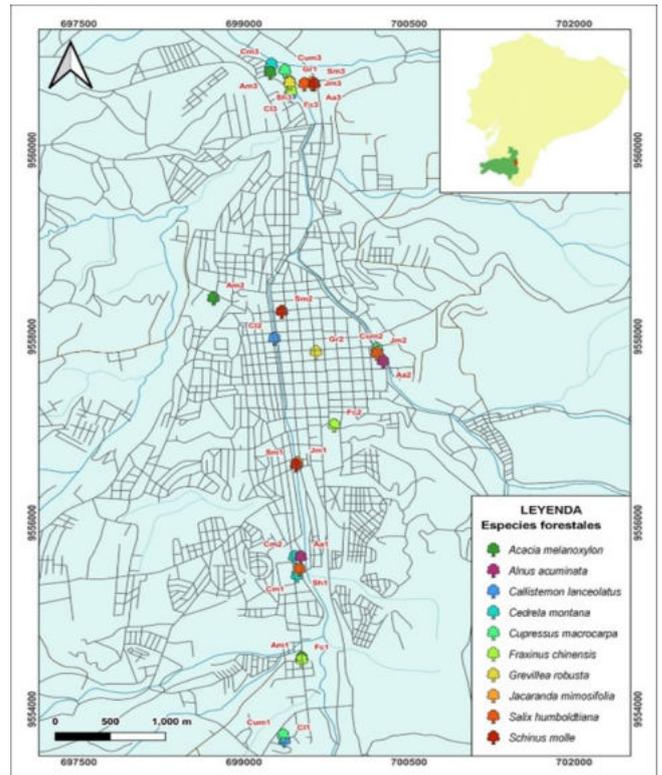
Este estudio se realizó en tres sectores de la ciudad de Loja (norte, centro, y sur) incluyendo avenidas y parques, con diez especies forestales: *Cedrela montana* Moritz ex Turcz (Cedro), *Acacia melanoxylon* R. Br (Acacia negra), *Alnus acuminata* Kunth, 1817 (Aliso), *Callistemon lanceolatus* Sweet (Calistemo), *Cupressus macrocarpa* Hartw. ex Gord (Ciprés), *Fraxinus chinensis* Roxb. 1820 (Fresno chino), *Jacaranda mimosifolia* D. Don, 1822 (Arabisco), *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br (Roble), *Salix humboldtiana* Willd (Sauce), *Schinus molle* L., 1753 (Molle). Los análisis anatómicos fueron desarrollados en el laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales ubicado en la Universidad Nacional de Loja, en el marco del proyecto dominado 17-DI-FARNR-2021 “Dinámica de crecimiento y servicios ecosistémicos del arbolado urbano de la ciudad de Loja” (Figura 1).

### Unidad de muestreo

Por cada especie se seleccionaron tres individuos por especie en los sectores norte, centro, y sur de la ciudad, dando un total de 30 muestras de madera (núcleos). Los criterios de selección de los individuos a muestrear se basaron en el método de selección de caracteres tomando en cuenta: abundancia, accesibilidad del sitio, estado fitosanitario, fuste recto y diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor a 20 cm. La toma de muestras de madera se realizó a una altura de 1,30 m (DAP) con dirección “N – S” con la ayuda de un barrenado de Pressler de 5,5 mm de diámetro y 40 cm de longitud.

### Cortes anatómicos

Los núcleos de madera fueron llevados al Laboratorio de Anatomía de Madera Tropicales de la Universidad Nacional



**Fig. 1:** Mapa de ubicación y distribución de 10 especies forestales en estudio al norte, centro, y sur de la ciudad de Loja.

de Loja para obtener finas láminas de madera (de 1 a 3  $\mu\text{m}$ ) con un micrótopo GSL1/ WSL (Gärtner *et al.*, 2014). Cabe resaltar, que este es el primer estudio donde se obtuvo cortes anatómicos de los tres planos, transversal, tangencial, y radial a partir de núcleos de madera de 5,5 mm de diámetro. Una vez hechos los cortes, se los colocó en un porta-objetos para ser revisados en el microscopio y así seleccionar los mejores cortes para la tinturación. A cada corte se le colocó Astrablue dejando reposar de 10 a 15 minutos dependiendo de cada especie.

Posteriormente con ayuda de una pipeta se lavó las muestras con alcohol en diferentes concentraciones (50 %, 95 % y 96 %) para quitar el exceso de tinte. Luego con la ayuda de un palillo fue extraída una porción de Bálsamo de Canadá natural y se colocó una mínima cantidad en un extremo de la muestra, luego se procede a ubicar un cubreobjetos sobre la muestra con Bálsamo de Canadá, y se presiona con precaución. Las muestras fueron envueltas en una lámina de papel de aluminio y presionadas con imanes sobre una placa metálica para tener presión constante durante todo el tiempo de secado y evitar que queden burbujas de aire.

Finalmente, las placas metálicas con las muestras se colocaron en la estufa a una temperatura de 75 °C por 24 horas o hasta que se seque completamente el Bálsamo de Canadá, siguiendo la metodología establecida por (Feijoo *et al.*, 2018). Con ayuda del microscopio Olympus BX41TF y el Software Infinity Analyze v5 se tomó fotografías digitales de cada corte en sus diferentes planos y con diferentes objetivos (4X, 10X y 20X) para poder observar con mayor facilidad las características microscópicas establecidas según la nomenclatura “IAWA”.

## Análisis de datos

El análisis estadístico se realizó con la importación de datos al software R y RStudio para evaluar un total de 87 características anatómicas en 9 especies latifoliadas (Tabla 1), y 42 características para la única especie conífera (Tabla 2). Se realizó una matriz de correlación para identificar las especies que presentaron mayor similitud en sus estructuras anatómicas. Además, se realizaron diagramas de caja (Boxplot) y diagrama de vértices mediante análisis no paramétricos de Kruskal–Wallis, y Wilcox test para identificar similitud o diferencias significativas entre los tres sectores estudiados. Este análisis se realizó únicamente para las características cualitativas de la madera entre sitios, y entre características intra-anales de la madera.

El análisis se realizó a partir de las variables: número de vasos, diámetro de lumina de vaso, elemento de vaso, número de radios, tamaño de radios, y punteaduras con 25 mediciones por cada una de las variables. Posteriormente, se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA), con el propósito de buscar relaciones e interacciones entre todas las variables. Finalmente, para el análisis de la evaluación intraanual de madera temprana y tardía se analizaron las siguientes variables cuantitativas: número de vasos, diámetro de vasos, y diámetro de fibras tanto para madera temprana como para tardía, y como variables cualitativas se analizó: la presencia y ausencia de anillos de crecimiento, tipo de vasos, parénquima, tilosis, y fibras.

## RESULTADOS

Se encontró que cinco de las diez especies mostraron anillos de crecimiento visibles (*Alnus acuminata*, *Cedrela montana*, *Fraxinus chinensis*, *Jacaranda mimosifolia* y *Salix humboldtiana*) con presencia de vasos en patrones radiales de tipo solitarios, punteaduras simples, y punteaduras alternas (excepto *Alnus*); pared de fibra delgada a gruesa (excepto *Salix*), y células radiales todas procumbentes (excepto *Salix*) (Figura 6). Únicamente *Acacia melanoxylon*, *Callistemon lanceolatus*, *Grevillea robusta*, *Schinus molle* y *Cupressus macrocarpa* presentaron anillos de crecimiento poco visibles o ausentes con poros difusos, punteaduras simples, y punteaduras alternas (Figura 2).

En el caso de la especie conífera *Cupressus macrocarpa* se identificó límites del anillo de crecimiento borrosos a ausentes, punteaduras en traqueidas en paredes radiales predominantemente: uniseriados, traqueidas en espacios intercelulares en toda la madera (en sección transversal): presente con el espesor del muro traqueal de la madera tardía: pared delgada, parénquima axial presente con disposición tangencialmente zonificar y con paredes transversales de perlas o nodular, composición en el radio traqueal comúnmente presente, canales intercelulares axiales presente y células epiteliales de pared delgada (Figura 2).

De acuerdo con el análisis de la matriz de correlación se demostró que de las nueve especies estudiadas únicamente tres presentan correlación significativa mayor o igual al 50%. *Cedrela montana* con un 70% de correlación con *Fraxinus chinensis* (p-valor: 1,47E-07), y el 60% de correlación entre *Jacaranda mimosifolia* (p-valor: 0,0006) y *Fraxinus chinensis* (p-valor: 0,0008). En cambio, las especies con una menor

correlación fueron *Cedrela montana* con un 40% de correlación con *Acacia melanoxylon* (p-valor: 0,005) y *Callistemon lanceolatus* (p-valor: 0,018).

### Características anatómicas cuantitativas de la madera

Se encontró que el mayor número de vasos en promedio los tuvo: *Schinus molle* y *Jacaranda mimosifolia*. Además, analizando a nivel de sector se determinó que las especies *Grevillea robusta* (p-valor: 0,003) y *Fraxinus chinensis* (p-valor: 0,026) presentaron una varianza moderada entre los tres sectores, a diferencia de las especies *Acacia melanoxylon* (p-valor: 0,985), *Jacaranda mimosifolia* (p-valor: 0,933) y *Schinus molle* (p-valor: 0,866) que presentaron valores de varianza más bajos.

El mayor número de radios mediante el promedio se presentó en las especies: *Alnus acuminata*, *Fraxinus chinensis* y *Jacaranda mimosifolia*. Además, analizando a nivel de sector se determinó que las especies: *Grevillea robusta* (p-valor: 3,11E-05) y *Acacia melanoxylon* (p-valor: 0,055) presentaron una alta variabilidad a diferencia de las especies: *Alnus acuminata* (p-valor: 0,787), *Schinus molle* (p-valor: 0,669) y *Fraxinus chinensis* (p-valor: 0,465) que presentaron los valores de variabilidad más bajos.

Las mayores longitudes del radio mediante el promedio se presentaron en las especies: *Grevillea robusta* y *Callistemon lanceolatus*. Además, analizando a nivel de sector se determinó que la especie: *Callistemon lanceolatus* (p-valor: 0,020) presentó una moderada correlación a diferencia de las especies: *Jacaranda mimosifolia* (p-valor: 0,631) y *Fraxinus chinensis* (p-valor: 0,542) que presentaron los valores de variabilidad más bajos.

El promedio que los elementos del vaso mayores se presentaron en las especies: *Callistemon lanceolatus* y *Salix humboldtiana*. Además, analizando a nivel de sector se determinó que las especies: *Acacia melanoxylon* (p-valor: 1,73E-08), *Cedrela montana* (p-valor: 1,93E-05) y *Grevillea robusta* (p-valor: 7,28E-10) presentaron una alta variabilidad a diferencia de las especies: *Salix humboldtiana* (p-valor: 0,803) y *Fraxinus chinensis* (p-valor: 0,665) que presentaron los valores de variabilidad más bajos.

El promedio que los mayores diámetros de vasos se presentaron en las especies: *Cedrela montana*, *Fraxinus chinensis* y *Grevillea robusta*. Además, analizando a nivel de sector se determinó que las especies: *Acacia melanoxylon* (p-valor: 5,15E-07), *Cedrela montana* (p-valor: 0,000296) y *Salix humboldtiana* (p-valor: 0,000562) presentaron una alta variabilidad a diferencia de las especies: *Alnus acuminata* (p-valor: 0,946), *Grevillea robusta* (p-valor: 0,346) y *Jacaranda mimosifolia* (p-valor: 0,199) que presentaron los valores de variabilidad más bajos.

El promedio que los diámetros de punteaduras mayores se presentaron en las especies: *Salix humboldtiana* y *Schinus molle*. Además, analizando a nivel de sector se determinó que las especies: *Acacia melanoxylon* (p-valor: 7,88E-05), *Cedrela montana* (p-valor: 0,000274), *Fraxinus chinensis* (p-valor: 4,08E-06), *Schinus molle* (p-valor: 0,000252), *Salix humboldtiana* (p-valor: 0,00652) y *Grevillea robusta* (p-valor: 0,031) presentaron una alta variabilidad a diferencia de las especies: *Jacaranda mimosifolia* (p-valor: 0,157), *Callistemon lanceolatus* (p-valor: 0,12) y *Alnus acuminata* (p-valor: 0,112) que presentaron los valores de variabilidad más bajos.

**Tabla 1:** Características anatómicas para especies latifoliadas utilizadas en el presente estudio, de acuerdo con la nomenclatura IAWA.

Característica Nro.	Nro. IAWA	Nombre de la característica
		<b>Anillo de crecimiento</b>
1	1	Anillo crecimiento visible
2	2	Anillo crecimiento ausentes
		<b>Porosidad - pág. 236</b>
3	3	Anillo poroso
4	4	Anillo semiporoso
5	5	Anillos poros difusos
		<b>Disposición de los vasos o poros - pág. 238</b>
6	6	Vasos en bandas tangenciales
7	7	Vasos en patrones radiales
8	8	Vasos en patrones dendríticos
		<b>Agrupación de vasos - pág. 242</b>
9	9	Vasos (poros) exclusivamente solitarios (90% o más)
10	10	Vasos (poros) en grupos radiales de 4 o más
11	11	Vasos (poros) en grupos comunes (de 3 o más vasos)
		<b>Perfil de vasos solitarios - pág. 244</b>
12	12	Perfil angular de vasos solitarios
		<b>Placas de perforación - pág. 246</b>
13	13	Placas perforadas simples
14	14	Placas de perforación escalariforme
15	15	Placas de perforación escalariformes con $\leq 10$ barras
16	16	Placas de perforación escalariformes con 10 -20 barras
17	17	Placas de perforación escalariforme con 20- 40 barras
18	18	Placas de perforación escalariformes con $\geq 40$ barras
19	19	Reticular, foraminado y/u otros tipos de placas perforadas múltiples
		<b>Punteaduras comunes: disposición y tamaño - pág. 250</b>
20	20	Punteaduras intervasculares escalariformes
21	21	Punteaduras intervasculares opuestas
22	22	Punteaduras intervasculares alternas
23	23	Forma de las punteaduras intervasculares alternas
24	24	Punteaduras diminutas $\leq 4\mu m$
25	25	Punteaduras pequeño 4-7 $\mu m$
26	26	Punteaduras medio 7-10 $\mu m$
27	27	Punteaduras grande $\geq 10\mu m$
		<b>Diámetro medio tangencial de la lúmina de los vasos (Diam_lum_v) – pág. 258</b>
28	40	$\leq 50\mu m$
29	41	50-100 $\mu m$
30	42	100-200 $\mu m$
31	43	200 $\mu m$
32	44	Media, +/- Desviación estándar, Rango, n = x
33	45	Vasos_dist_clas_diam
		<b>Vasos (poros) por milímetro cuadrado (V_mm2) - pág. 259</b>
34	46	$\leq 5Pmm^2$
35	47	5-20 P mm <sup>2</sup>
36	48	20-40 P mm <sup>2</sup>
37	49	40-100 P mm <sup>2</sup>
38	50	100 P mm <sup>2</sup>
39	51	Media, +/- Desviación estándar, Rango, n = x
		<b>Longitud media del elemento del vaso - pág. 259</b>
40	52	$\leq 350\mu m$
41	53	350-800 $\mu m$
42	54	V 800 $\mu m$
43	55	Media, +/- Desviación estándar, Rango, n = x
		<b>Tilosis y depósitos en vasos - pág. 259</b>
44	56	Tilosis común
45	57	Tilosis esclerótica
46	58	Gomas y otros depósitos en vasos del duramen
		<b>Espesor de la pared de fibra - pág. 268</b>

Tabla 1 continúa de la página anterior

Característica Nro.	Nro. IAWA	Nombre de la característica
47	68	Fibras de pared muy fina
48	69	Fibras de pared delgada a gruesa
49	70	Fibras de paredes muy gruesas
		<b>Parénquima axial - pág. 270</b>
50	75	Parénquima axial ausente o extremadamente raro
		<b>Parénquima axial apotraqueal - pág. 270</b>
51	76	Parénquima axial difuso
52	77	Parénquima axial difuso en agregados
		<b>Parénquima axial paratraqueal - pág. 272</b>
53	78	Parénquima axial paratraqueal escaso
54	79	Parénquima axial vasicéntrico
55	80	Parénquima axial aliforme
56	81	Parénquima axial adiamantado aliforme
57	82	Parénquima axial alado aliforme
58	83	Parénquima axial confluyente
59	84	Parénquima axial unilateral paratraqueal
		<b>Parénquima en bandas - pág. 276</b>
60	85	Parénquima axial en bandas con más tres células de ancho
61	86	Parénquima axial en bandas finas o líneas de hasta tres células de ancho
62	87	Parénquima axial reticulado
63	88	Parénquima axial escaliforme
64	89	Parénquima axial marginal o en bandas aparentemente marginales
		<b>Parénquima axial por tipo de células longitud de hebra - pág. 280</b>
65	90	Células de parénquima fusiforme
66	91	Dos células por hebra de parénquima
67	92	Cuatro (3-4) células por hebra de parénquima
68	93	Ocho (5-8) células por hebra de parénquima
69	94	Más de ocho células por hebra de parénquima
70	95	Parénquima no lignificado
		<b>Radios - pág. 282</b>
		<b>Ancho de radio - pág. 282</b>
71	96	Radios exclusivamente uniseriados
72	97	Radios con ancho de 1 a 3 series
73	98	Radios comunmente de 4 a 10 series
74	99	Radios comunmente mayores a 10 series
75	100	Radios con porciones multiseriadas y porciones uniseriadas
		<b>Radios agregados - pág. 284</b>
76	101	Radios agregados
		<b>Altura de radio - pág. 284</b>
77	102	Radios de altura mayor a 1mm
		<b>Radios de dos tamaños distintos - pág. 286</b>
78	103	Radios de dos tamaños distintos
		<b>Radios: composición celular - pág. 288</b>
79	104	Todas las células procumbentes
80	105	Todas las células verticales y/o cuadradas
81	106	Cuerpo del radio con células procumbentes y una sólo fila de células verticales y/o cuadradas marginales
82	107	Cuerpo del radio con células procumbentes con 2-4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales
83	108	Cuerpo del radio con células procumbentes con más de 4 filas de células verticales y/o cuadradas marginales
84	109	Radios con una mezcla de células procumbentes, cuadradas y verticales
		<b>Radios por milímetro (r<sub>mm</sub>) - pág. 296</b>
85	114	$R_{\leq} 4/mm$
86	115	$R_{4-12} / mm$
87	116	$R_{\geq} 12/mm$

**Tabla 2:** Características anatómicas para especies coníferas utilizadas en el presente estudio de acuerdo con la nomenclatura IAWA.

Característica Nro.	Nro. IAWA	Nombre de la característica
		<b>Anillos De Crecimiento</b>
		<b>Presencia de límites en el anillo de crecimiento - pág. 16</b>
1	40	Límites del anillo de crecimiento distintos
2	41	Límites del anillo de crecimiento borrosos o ausentes
		<b>Transición de la madera temprana a la madera tardía - p. 16</b>
3	42	Abrupto
4	43	Gradual
		<b>Traqueidas</b>
		<b>Picadura de traqueida en paredes radiales (sólo en madera temprana) - p. 19</b>
5	44	(predominantemente) Uniseriadas
6	45	(predominantemente) Dos o más seriados
		<b>Disposición de (dos o más seriadas) punteaduras de traqueidas en paredes radiales (sólo madera temprana) - p. 19</b>
7	46	Opuesto
8	47	Alternos
		<b>Depósitos orgánicos (en las traqueidas del duramen) - p. 21</b>
9	48	Presente
		<b>Longitud media de la traqueida (clases de tamaño) - p. 22</b>
10	50	Corto (menos de 3000 m)
11	51	Medio (3000 a 5000 m)
12	52	Largo (más de 5000 m)
		<b>Espacios intercelulares en toda la madera (en sección transversal) - p. 23</b>
13	53	Presente
		<b>Espesor del muro traqueal de la madera tardía - p. 24</b>
14	54	Pared delgada (espesor de pared doble inferior al diámetro del lumen radial)
15	55	Pared gruesa (espesor de pared mayor que el diámetro del lumen radial)
		<b>Parénquima Axial</b>
		<b>Parénquima axial (excluidas las células epiteliales y subsidiarias de los canales intercelulares) - p. 35</b>
16	72	Presente
		<b>Disposición del parénquima axial - pág. 37</b>
17	73	Difusa (distribuida uniformemente a lo largo de todo el crecimiento)
18	74	Tangencialmente
19	75	Marginal
		<b>Paredes de los extremos transversales - p. 39</b>
20	76	Lisos
21	77	Engrosamiento irregular
22	78	Perlas o nodulares
		<b>Composición de Radios</b>
		<b>Traqueidas radiales - p. 40</b>
24	79	Comúnmente presente
25	80	Ausentes o muy escasas
		<b>Tamaño Radio</b>
		<b>Altura media de los radios - p. 55</b>
26	101	... < m »>...
		<b>Altura media del radio (número de celdas) - p. 57</b>
27	102	Muy bajo (hasta 4 células)
28	103	Medio (5 a 15 células)
29	104	Alto (de 16 a 30 células)
30	105	Muy alta (más de 30 células)
		<b>Canales Intercelulares</b>
		<b>Canales intercelulares axiales (resina) - p. 58</b>
31	109	Presente
		<b>Canales intercelulares radiales (resina) - p. 60</b>
32	110	Presente
		<b>Canales traumáticos (de resina) (axiales, radiales) - p. 60</b>
33	111	Presente

Tabla 2 continúa de la página anterior

		<b>Células epiteliales (de canales intercelulares) - pág. 62</b>
34	116	De pared gruesa
35	117	De pared delgada
		<b>Inclusiones Minerales</b>
		<b>Cristales - p. 65</b>
36	118	Presente
		<b>Tipo de cristales - p. 65</b>
37	119	Prismático
38	120	Drusas
39	121	Otras formas (especifique)
		<b>Cristales ubicados en - p. 65</b>
40	122	Radios
41	123	Parénquima axial
42	124	Células asociadas a canales intercelulares

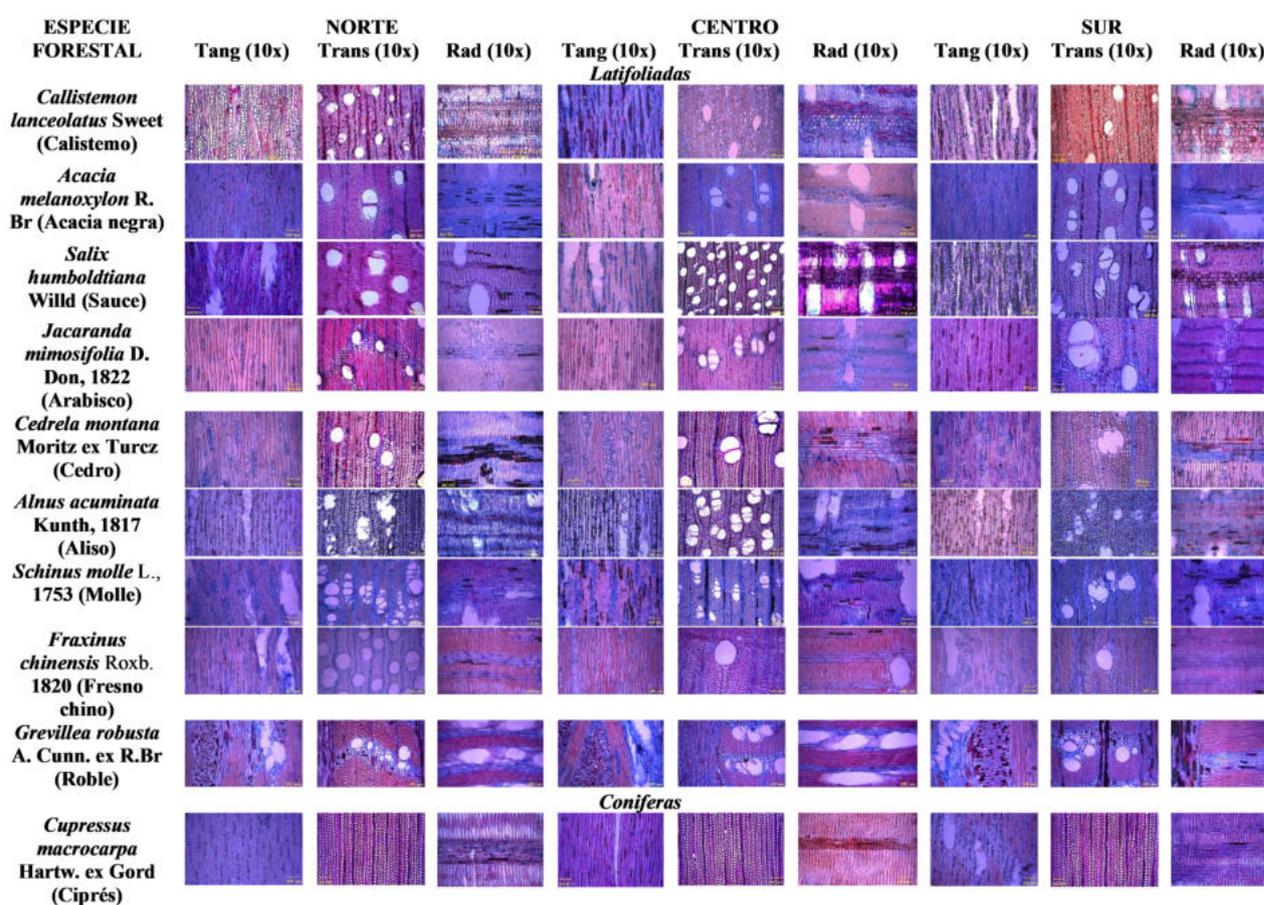


Fig. 2: Imágenes microscópicas de la madera por especie y sector de estudio, en tres planos anatómicos: tangencial, transversal y radial. Aumento 10X

En el caso del análisis cuantitativo de *Cupressus macrocarpa* se encontró que presentó una longitud promedio de la traqueida en el sector norte de 16,91  $\mu\text{m}$ , en el centro 17,01  $\mu\text{m}$ , y en el sur de 14,1  $\mu\text{m}$ . La longitud media de la traqueida fue corta ya que los valores fueron menores de 3000  $\mu\text{m}$ . En el caso de la altura media del radio el sector norte tuvo 169,13  $\mu\text{m}$ , en el centro 123,39  $\mu\text{m}$ , y en el sur 136,83  $\mu\text{m}$ . Mientras que en el promedio del número de células del radio para el sector norte se obtuvo 7,68  $\mu\text{m}$ , en el centro 6,32  $\mu\text{m}$ , y en el sur 7,76  $\mu\text{m}$ . Dándonos una altura media del radio en la categoría medio ya que tuvo de 5 a 15 células.

Mediante el análisis de los diagramas de vértices se encontró que el número de vasos, número de radios, longitud del radio, y diámetro de punteaduras de los sectores estudiados no presentaron diferencias significativas entre sectores (Figura 3). Únicamente se encontró diferencias en el caso de los elementos del vaso debido a que el sector centro y sur no se conectaron con el sector norte. De igual forma, en el diámetro de vasos el sector norte fue significativamente diferente al sector centro y sur, ya que no se conectan los vértices entre sí.

### Relación entre los elementos de vasos con la cercanía a fuentes de agua

Para este análisis se seleccionaron los individuos con una cercanía aproximadamente a 20 metros de distancia a las fuentes de agua de la ciudad, esto para poder afirmar o descartar que los cambios significativos entre sectores se deban a esta condición de crecimiento de cada árbol. Con lo cual, se realizó un análisis estadístico mediante gráficos de vértices (Figura 4) donde se logró determinar que no presentan diferencias significativas ninguna de las variables de los elementos de los vasos con la cercanía a fuentes de agua.

Mediante el análisis PCA de las diferencias en base a la estructura anatómica cuantitativa de la madera de las nueve especies latifoliadas evaluadas, se encontró que la especie más diferente fue *Grevillea robusta*, la cual mostró mayor sensibilidad a las variables diámetro de vasos, y longitud de vasos. En cambio, para las variables número de vasos, diámetro de punteaduras, y número de radios. Las especies con más sensibilidad fueron *Schinus molle* y *Jacaranda mimosifolia*. En el caso de *Callistemon lanceolatus* y *Cedrela montana* presentaron mayor sensibilidad a la longitud de vasos y diámetro de vasos. Mientras que *Acacia melanoxylon*, *Alnus acuminata*, *Fraxinus chinensis* y *Salix humboldtiana* presentaron mayor sensibilidad al diámetro de punteaduras y al número de radios (Figura 5).

### Cambios intraanuales en la madera

#### Características anatómicas cualitativas

Las especies que presentaron anillos de crecimiento visible para la identificación de madera temprana y tardía fueron: *Alnus acuminata*, *Cedrela montana*, *Fraxinus chinensis*, *Jacaranda mimosifolia*, y *Salix humboldtiana* (Figura 6).

En las especies evaluadas se determinó que la mayor diferencia entre tipo de madera se dio en el parénquima, en cambio donde se presentó similitud entre especies fue en el tipo de vasos, arrojando que todas las especies presentan vasos solitarios tanto para madera temprana como para tardía,

excepto *Alnus acuminata* que presentó vasos en grupos radiales en madera tardía (Tabla 3).

**Tabla 3:** Características presentes en la madera temprana y tardía de las cinco especies que presentaron anillos de crecimiento visibles.

Característica anatómica	Tipo de madera	<i>Alnus acuminata</i> (Aliso)	<i>Cedrela montana</i> (Cedro)	<i>Fraxinus chinensis</i> (Fresno chino)	<i>Jacaranda mimosifolia</i> (Arabisco)	<i>Salix humboldtiana</i> (Sauce)
Anillos de crecimiento visibles	Temp	X	X	X	X	X
	Tard	X	X	X	X	X
Vasos solitarios	Temp	X	X	X	X	X
	Tard		X	X	X	X
Vasos en grupos radiales	Temp					
	Tard	X				
Tilosis común	Temp					X
	Tard					
Tilosis en gomas	Temp		X			
	Tard		X			
Espesor de la pared de fibra muy delgada	Temp	X				X
	Tard					
Espesor de la pared de fibra delgada a gruesa	Temp		X	X	X	
	Tard	X	X	X	X	X
Parénquima difuso-agregado	Temp				X	
	Tard	X				
Parénquima paratraqueal - escaso	Temp		X			
	Tard					X
Parénquima ausente - difuso	Temp	X				
	Tard					
Parénquima vasicéntrico - marginal	Temp			X		
	Tard		X		X	
Parénquima confluyente	Temp			X		
	Tard					
Parénquima ausente - marginal	Temp					X
	Tard					

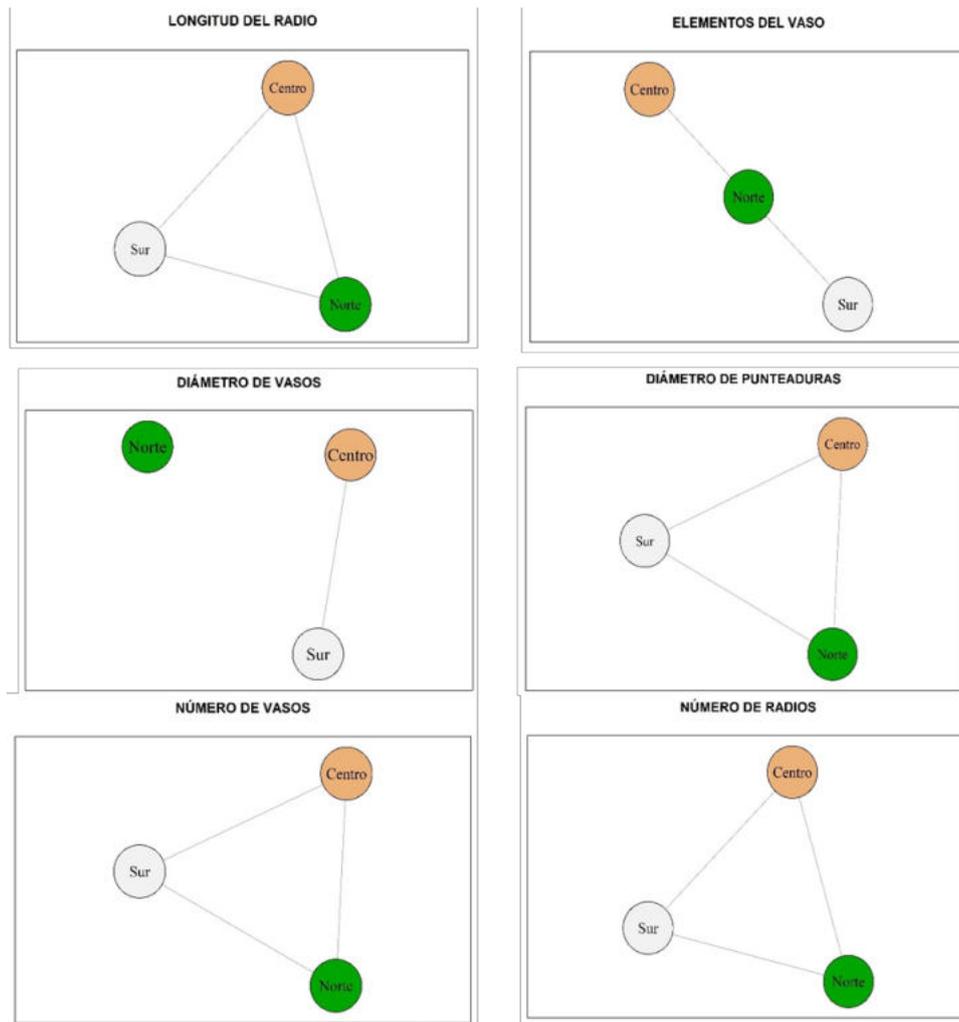
#### Características anatómicas cuantitativas de la madera

El mayor número de vasos mediante el promedio presentaron las especies: *Alnus acuminata* y *Salix humboldtiana*. Además, analizando mediante el tipo de madera se determinó que las especies: *Cedrela montana* (p-valor: 1,41E-06), *Fraxinus chinensis* (p-value: 0,000182) y *Jacaranda mimosifolia* (p-valor: 0,0953) presentaron una alta variabilidad a diferencia de la especie *Salix humboldtiana* (p-valor: 0,862) que presentó los valores de variabilidad más bajos (Figura 5 y 6).

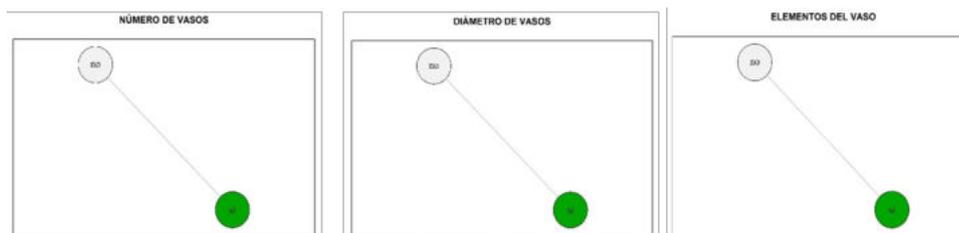
Las especies que presentan el diámetro de vasos mayor mediante el promedio fueron: *Cedrela montana* y *Fraxinus chinensis*. Además, evaluando por el tipo de madera se determinó que las especies: *Fraxinus chinensis* (p-valor: 0,341) y *Jacaranda mimosifolia* (p-valor: 0,277) presentaron una alta variabilidad a diferencia de las especies: *Alnus acuminata* (p-valor: 0,495) y *Salix humboldtiana* (p-valor: 0,46) que presentó los valores de variabilidad más bajos (Figura 5 y 6).

Las especies que presentan el diámetro de fibras mayor mediante el promedio fueron: *Cedrela montana* y *Salix humboldtiana*. Además, de acuerdo a el tipo de madera se determinó que en las cinco especies: *Alnus acuminata* (p-valor: 0,203), *Cedrela montana* (p-valor: 0,304), *Fraxinus chinensis* (p-valor: 0,282), *Jacaranda mimosifolia* (p-valor: 0,314) y *Salix humboldtiana* (p-valor: 0,135) se presentó una alta variabilidad (Figura 5 y 6).

Mediante el análisis de los diagramas de vértices de los cambios intraanuales se determinó que, en el caso del número de vasos no presentó diferencias significativas entre made-



**Fig. 3:** Diagramas de vértices de las características anatómicas cuantitativas de las nueve especies evaluadas. Los sitios o círculos conectados no son significativamente diferentes (son iguales) a través de las pruebas no paramétricas de Wilcoxon o Mann-Whitney test,  $p$ -valor = 0.01.



**Fig. 4:** Diagramas de vértices de las características anatómicas cuantitativas de las nueve especies evaluadas, para ver las diferencias significativas por sector.

ras, debido a que se conectan entre ellas. Mientras que para el caso de diámetro de vasos y diámetro de fibras si hay diferencias significativas en los tipos de maderas estudiadas ya que no se conectan entre sí (Figura 7).

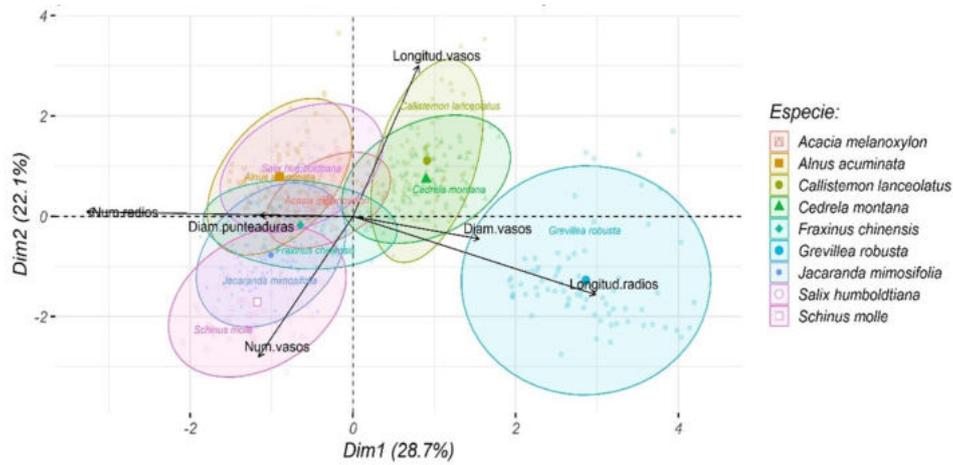
## DISCUSIÓN

### *Características anatómicas cualitativas de la madera*

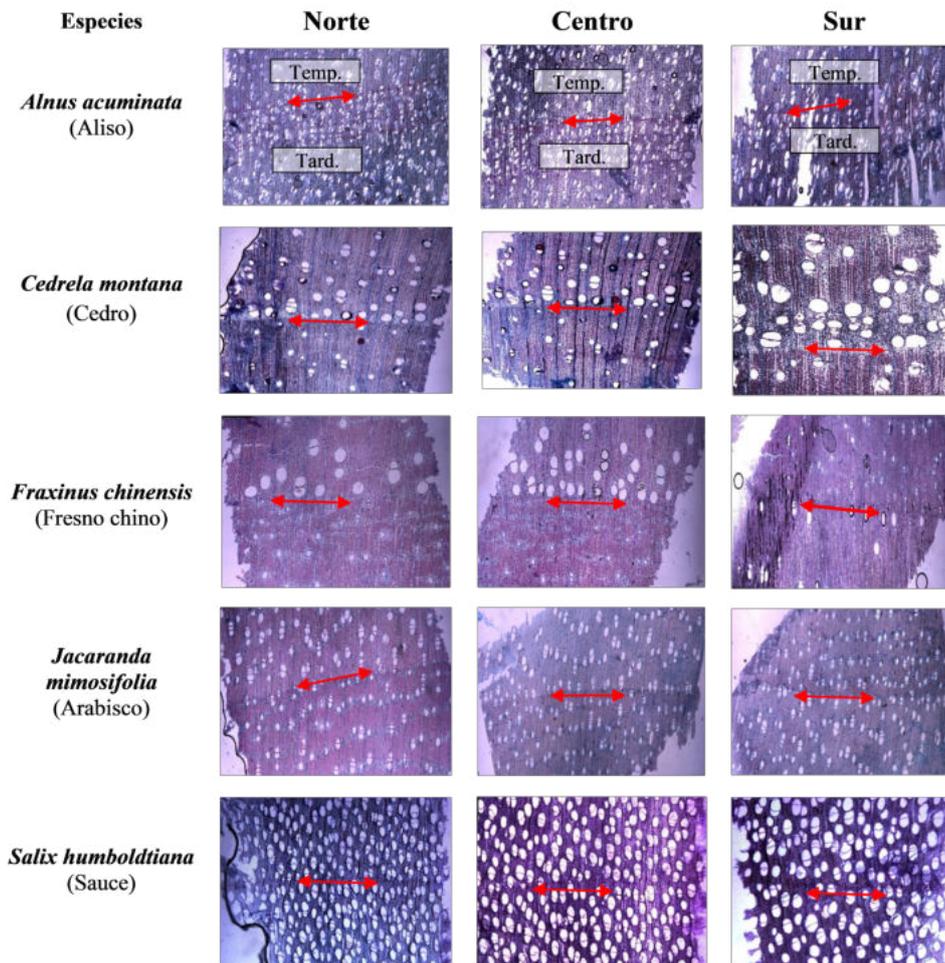
#### *Anillos de crecimiento*

De las 10 especies estudiadas cinco presentaron anillos de crecimiento visibles, esta diferencia en los niveles de visibilidad de anillos de crecimiento puede estar dada por la naturaleza de caducidad de las hojas. Barbosa et al., (2018), men-

cionan que la presencia de los anillos pueden estar asociadas a zonas donde hay lapsos bien definidos de precipitación y del clima durante el año vegetativo, mientras que las que crecen en lugares donde las condiciones climáticas se mantienen constantes durante gran parte del año, tienen anillos de crecimiento poco notables (Giménez et al., 2005). Adicionalmente, existen diversos factores que interrumpen el crecimiento o desarrollo de los anillos de crecimiento en las especies como son los daños por insectos, enfermedades, viento, fuego, competencia arbórea y estrés (Giménez et al., 2005) y (Briceno. et al., 2018). Sin embargo, el carácter distintivo de la anatomía de los anillos varía entre especies (Coster, 1928) y esto es causado principalmente por las diferencias en la estructura de la madera, una condición específica propia de



**Fig. 5:** Análisis de componentes principales de los árboles urbanos de la ciudad de Loja. Se muestra las diferencias de la estructura anatómica cuantitativa de las nueve especies evaluadas.



**Fig. 6:** Estructura microscópica y cambios intraanuales en la madera de las cinco especies que presentaron anillos de crecimiento visibles.

\*La flecha indica la presencia del anillo de crecimiento en la madera

\*Temp: madera temprana Tard: madera tardía

cada especie (León Hernandez, 2009). La presencia de anillos visibles en las especies mencionadas fue reportado por el estudio realizado por Armijos, (2019) al sur de Ecuador, y así mismo por Poma, (1973) al norte de Ecuador.

**Vasos o poros**

De las especies evaluadas *Acacia melanoxylon*, *Alnus acuminata*, *Callistemon lanceolatus*, *Cedrela montana*, *Grevillea robusta*, *Jacaranda mimosifolia* y *Schinus molle* presentaron anillos con poros difusos, resultados que concuerdan con los estudios realizados por Monteoliva y Igartúa (2010);



**Fig. 7:** Análisis estadístico de vértices de las características anatómicas cuantitativas de las cinco especies evaluadas mediante el tipo de madera. Los círculos conectados no son significativamente diferentes (son iguales) a través de las pruebas no paramétricas de Wilcoxon o Mann-Whitney test, p-value = 0.01.

y Igartúa et al. (2013) confirmando la presencia de esta característica en estas especies. El estudio realizado por Rangel (2016) nos señala que el comportamiento de las especies en cuanto a su distribución, podría generar la modificación en el tipo de porosidad y podría estar relacionado con la reacción de las especies a las condiciones climáticas del sitio donde crecen (Undurraga, 1997); tal como lo vemos en *Salix humboldtiana* y *Fraxinus chinensis*, especies que presentaron anillos semiporosos en su estructura, convirtiéndose esto en un elemento clave para su identificación.

En cuanto a la disposición de los vasos de las nueve especies latifoliadas analizadas cuatro de ellas presentaron vasos en patrones radiales (*Acacia melanoxylon*, *Alnus acuminata*, *Cedrela montana*, *Salix humboldtiana* y *Schinus molle*). Mientras que *Callistemon lanceolatus* y *Fraxinus chinensis* presentan vasos solitarios. Y en el caso de *Jacaranda mimosifolia* vasos en bandas tangenciales. Respecto a esto, Wodzicki (2001) menciona que esta variedad de patrones se debe a que las plantas están expuestas a factores ambientales cuya variación puede provocar cambios anatómicos para adaptar a la planta a las condiciones externas. Por su parte, León Hernández (2001) menciona que en las plantas leñosas, las características de los elementos de vaso se modifican, dependiendo del grado de humedad del suelo y de factores como el clima, la altitud y la latitud. Cabe mencionar que los vasos fueron las únicas características que presentaron diferencias por sitio, y pueden ser consideradas como indicadores claves de sitio para identificar en qué condiciones se ha desarrollado la especie.

## Parénquima

El parénquima se presenta de distintos tipos en las especies evaluadas donde *Acacia melanoxylon*, *Cedrela montana* y *Fraxinus chinensis* presentaron parénquima vasicéntrico, lo que concuerda con los estudios realizados por Monteoliva y Igartúa (2010); y Maza (2010), quienes mencionan que las tendencias anatómicas están desarrolladas con algunos aspectos climáticos y evolutivos de adaptación de cada especie. Mientras que las especies *Alnus acuminata*, *Callistemon lanceolatus*, *Jacaranda mimosifolia*, *Salix humboldtiana* y *Schinus molle* presentaron parénquima difuso y ausente, características que también se reportaron en el estudio desarrollado por Huarcaya (2016) para estas especies. Por su parte Poma (1973) indica que hay especies que aunque presenten un parénquima difuso se puede identificar anillos de crecimiento mediante la presencia bien marcada del cambium, confirmando los resultados obtenidos en el presente estudio, en los cuales la coloración y estructura del parénquima nos permitió

la identificación de anillos de crecimiento en cinco especies de las 10 especies estudiadas.

## Parénquima radial (Radios)

En este estudio se encontró que tres especies latifoliadas (*Alnus acuminata*, *Jacaranda mimosifolia* y *Salix humboldtiana*) de las nueve evaluadas presentaron radios exclusivamente uniseriados, en el caso de *Cedrela montana*, *Acacia melanoxylon*, *Callistemon lanceolatus* y *Fraxinus chinensis* registran radios 1 a 3 series. Sin embargo, *Schinus molle* presentó radios de 4 a 10 series de cuerpo procumbente de 1 fila cuadrados, lo que concuerda con el estudio realizado por Olvera et al. (2005) donde nos dice que las especies del género *Acacia* y *Callistemon* tienden a presentar radios de 1 a 3 series. En el caso de *Schinus molle* difiere con los resultados obtenidos por Olvera-Licon et al. (2021) donde nos dice que la especie presenta radios triseriados y heterogéneos con cristales.

### Características anatómicas cuantitativas de la madera

La frecuencia de vasos/mm<sup>2</sup> está dada como un indicativo muy importante en referencia al tipo de clima de una región (Carlquist, 2000), además el número elevado de vasos es frecuente en ambientes secos o fríos, constituyendo una expresión muy sensible del xerofitismo o mesomorfismo de las especies (Chiu y Ewers, 1992) lo cual concuerda con nuestros resultados al observar una variabilidad moderada dentro de las especies *Grevillea robusta* y *Fraxinus chinensis* en la gradiente altitudinal muy corta de la ciudad de Loja (2 100-2 700 m. s.n.m.).

Las especies *Grevillea robusta* y *Acacia melanoxylon* presentaron una alta variabilidad en el número de radios a nivel de sectores, a diferencia de *Callistemon lanceolatus* que fue la única especie con una variabilidad moderada, lo que concuerda con los resultados del estudio realizado por Elaieb et al. (2019), este estudio muestra que el número y el tamaño de los radios está influenciado por la estructura interna de cada especie, condiciones climáticas y de sitio donde se desarrollan que hacen que la especie presente cambios anatómicos para adaptar a la planta a las condiciones externas y generar la formación de radios dependiendo de sus requerimientos (Aguilar-Rodríguez y Barajas-Morales, 2017)

La variabilidad de los elementos del vaso presentado en las especies estudiadas puede estar relacionado a la altitud sobre el nivel del mar (Montaño-Arias et al., 2016) así como la ubicación geográfica (Giménez y Moglia, 1998), donde las regiones húmedas se caracterizan por presentar un xilema con elementos de vaso largos, diámetros medianos a grandes y poco numerosos para conducir grandes volúmenes de

agua como estrategia de optimización y conducción tal como lo observamos en *Acacia melanoxylon*, *Cedrela montana* y *Grevillea robusta*.

Las especies *Acacia melanoxylon*, *Cedrela montana*, *Fraxinus chinensis*, *Schinus molle*, *Salix humboldtiana* y *Grevillea robusta* presentaron una alta variabilidad en el diámetro de punteaduras, característica que puede estar relacionada a la entrada de aire en los elementos del vaso así como la presión que ejerce el agua (Carlquist, 1987) considerando a las punteaduras como una característica anatómica importante para diferenciar una especie de otra según las condiciones del sitio y el clima en donde se desarrolló la especie (Montañón-Arias *et al.*, 2016).

### **Cambios intraanuales de la madera**

#### **Características anatómicas cualitativas de la madera**

Cherubini *et al.* (2003), ratifica que se conoce poco sobre las relaciones intraanuales entre el clima y la madera en regiones mediterráneas, donde los árboles están sujetos a un doble estrés caracterizado por dos interrupciones de la actividad del cambium; una durante el invierno causada por las bajas temperaturas y otra durante el verano causada por las altas temperaturas y la falta de precipitaciones. Enunciado que coincide con lo obtenido dentro de nuestros resultados en la que únicamente nos basamos en las especies que presentaron anillos de crecimiento visibles, generando información nueva sobre estos cambios mediante el análisis del tipo de madera temprana y tardía, en la que presentó diferencias en el diámetro de vasos y fibras respectivamente.

Estos resultados pueden estar relacionados a que las características anatómicas en la madera temprana pueden darse debido a que el leño temprano deriva del reinicio del crecimiento vegetativo a partir de la primavera y resulta del cambio repentino en la tasa de división celular (Haines *et al.*, 2016), y su formación se da cuando las nuevas hojas empiezan a formarse, no necesariamente por cambio de temporada, ya que nuestro sitio de estudio está en los trópicos, y las células de parénquima y fibras son las que presentan un mayor tamaño en la madera temprana.

Rathgeber *et al.* (2006), menciona que la lluvia al principio del periodo vegetativo estimula la formación de la madera temprana, disminuyendo su densidad, y concluye que a la mitad del periodo vegetativo los factores climáticos afectan al crecimiento radial, mientras que durante la segunda mitad del periodo vegetativo afectan fundamentalmente a los procesos de engrosamiento de la pared celular. Experimentos más detallados mostraron que la máxima producción de células corresponde al periodo de máxima duración del día, haciendo que la formación de la pared celular y su lignificación se produzcan al final del verano (Rossi *et al.*, 2006).

Igualmente, en madera tardía la variabilidad presentada entre las especies estudiadas puede estar relacionada al engrosamiento de las paredes celulares y el aplanamiento radial de las células, cuyo límite es marcado por un cambio abrupto en el tamaño y forma de las células entre un año y el siguiente tal como lo menciona Haines *et al.* (2016) al analizar diferentes características que presenta generalmente el leño tardío.

#### **Características anatómicas cuantitativas de la madera**

Se determinó, que dentro de la caracterización anatómi-

ca cuantitativa de los cambios intraanuales de madera en relación con el tipo de madera, solamente *Cedrela montana*, *Fraxinus chinensis* y *Jacaranda mimosifolia* presentaron una variabilidad grande en el número de vasos, lo cual podemos confirmar mediante el estudio realizado por Carlquist, (2000) donde nos dice que la frecuencia de vasos está dada como un indicativo muy importante en referencia al tipo de clima de una región. Así también, el estudio de Chiu y Ewers, (1992) menciona que la proporción del leño tardío (4-5 células aprox.) es notoriamente menor al leño temprano (25 células aprox.).

En el caso de *Fraxinus chinensis* y *Jacaranda mimosifolia* fueron las especies que presentaron una variabilidad grande en el diámetro de vasos. En el caso del diámetro de fibras todas las especies presentaron una variabilidad grande. Esto lo podemos relacionar con lo mencionado por Giménez y Moglia (1998) las especies de regiones húmedas se caracterizan por presentar los elementos de vaso grandes para conducir grandes volúmenes de agua, dependiendo del hábitat de las especies, serán las estrategias que desarrollen las plantas para optimizar y asegurar la conducción de agua.

En nuestro estudio, uno de los principales factores que influyó en la diferenciación entre madera temprana y tardía, está relacionada por los cambios de follaje propios de cada especie. De acuerdo con Adamo, (2002) *Cedrela montana* es una especie totalmente caducifolia, por tal motivo se puede afirmar la claridad de la presencia de anillos de crecimiento en esta especie. León Hernández (2001) menciona que en las plantas leñosas, las características de los elementos de vaso y fibras se modifican, dependiendo del grado de humedad del suelo y de factores como el clima, la altitud y la latitud.

Los resultados obtenidos en este estudio están fuertemente influenciados por los factores climáticos como la temperatura, precipitación y el sitio donde se desarrollaron cada uno de los individuos de las especies evaluadas, ya que hubo variedad de condiciones unos se encontraron en laderas de vías principales, otras en terrenos planos, y en orillas de los ríos o lagunas de los parques de la ciudad de Loja.

### **CONCLUSIONES**

El sitio de crecimiento de los árboles urbanos de Loja no influye en las características anatómicas cualitativas de la madera, sin embargo, sí influye en las características cuantitativas como es en el tamaño del diámetro y longitud de los vasos. De las 10 especies del arbolado urbano de la ciudad de Loja sólo *Grevillea robusta* tuvo diferencias significativas en las características anatómicas cuantitativas por sus grandes radios y diámetro de vasos. Las características anatómicas cualitativas más comunes para las nueve especies forestales latifoliadas son vasos solitarios en patrones radiales, placas de perforación simples, punteaduras alternas, pared de las fibras de delgadas a gruesas, y radios de células procumbentes de 1 y 3 series.

La especie que muestra mayor sensibilidad al diámetro de vasos y longitud de vasos por sector es *Grevillea robusta*. A nivel intraanual, el diámetro de vasos y diámetro de fibras son los principales indicadores para diferenciar la madera temprana de la madera tardía, o para diferenciar claramente un anillo de crecimiento verdadero, esto debido a los cambios fisiológicos que se presentan mediante el desarrollo de la es-

pecie.

La mayor diferencia entre tipo de madera está en el parénquima, mientras que la mayor similitud está en el tipo de vasos, ya que todas las especies tienen vasos solitarios tanto para madera temprana como para madera tardía, excepto *Alnus acuminata* que tiene vasos en grupos radiales en su madera tardía. En el análisis cuantitativo de los cambios intraanuales se determinó que *Cedrela montana*, *Fraxinus chinensis* y *Jacaranda mimosifolia* son las especies que presentaron el mayor número de vasos en madera temprana. *Fraxinus chinensis* y *Jacaranda mimosifolia* el mayor diámetro de vasos en madera temprana.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a la Dirección de investigaciones de la Universidad Nacional de Loja, por el apoyo a la investigación mediante el proyecto 17-DI-FARNR-2021. Igualmente agradecemos al técnico del laboratorio Andrés Armijos por su acertada asistencia técnica en el desarrollo de la presente investigación.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: EC y DP; metodología: EC y DP; análisis formal: EC y DP; investigación: EC; recursos: DP; curación de datos: EC y DP; redacción — preparación del borrador original: EC y DP; redacción — revisión y edición: EC y DP; visualización: DP; supervisión: DP; administración de proyecto: DP; adquisición de financiamiento para la investigación: DP. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito. Darwin Pucha: DCP. Eva Cueva: EC

## FINANCIAMIENTO

El presente estudio fue financiado por la Dirección de investigaciones de la Universidad Nacional de Loja, a través del proyecto de investigación 17-DI-FARNR-2021: Dinámica de crecimiento y servicios ecosistémicos del arbolado urbano de la ciudad de Loja.

## REFERENCIAS

Adamo, G. M. (2002). *Autoecología de la especie: CEDRO. Cartilla N°4, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables y SEFORVEN, Caracas, Venezuela. Cedro | Jardín Botánico de Mérida*. [http://vereda.ula.ve/jardin\\_botanico/areas-tematicas/jardin-caducifolio/cedro/](http://vereda.ula.ve/jardin_botanico/areas-tematicas/jardin-caducifolio/cedro/)

Aguilar-Rodríguez, S., y Barajas-Morales, J. (2017). Anatomía de la madera de especies arbóreas de un bosque mesófilo de montaña: un enfoque ecológico-evolutivo. *Botanical Sciences*, 58(77), 51. <https://doi.org/10.17129/botsci.1712>

Armijos, A. (2019). *Fo Restales En El Sur Del Ecuador* ". <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/21992>

Barbosa, A. C. M., Pereira, G. A., Granato-Souza, D., Santos, R. M., y Fontes, M. A. L. (2018). Tree rings and growth trajectories of tree species from seasonally dry

tropical forest. *Australian Journal of Botany*, 66(5), 414–427. <https://doi.org/10.1071/BT17212>

Briceño-J., A. M., Rangel-Ch., J. O., y Marys-Bogino, S. (2018). *COLOMBIA WOOD ANATOMY AND ANNUITY OF THREE RINGS OF SPECIES OF THE DRY FOREST IN THE CARIBBEAN*. 169–178. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.46.10>

Carlquist, S. (1987). Wood Anatomy of Noteworthy Species of *Ludwigia* (Onagraceae) with Relation to Ecology and Systematics. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 74(4), 889. <https://doi.org/10.2307/2399455>

Carlquist, S. (2000). Wood and stem anatomy of *Sarcobatus* (Caryophyllales): Systematic and ecological implications. *Taxon*, 49(1), 27–34. <https://doi.org/10.2307/1223929>

Cherubini, P., Gartner, B. L., Tognetti, R., Braker, O. U., Schoch, W., y Innes, J. L. (2003). Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from mediterranean climates. *Biol. Rev.*, 78, 119–148. <https://doi.org/10.1017/S1464793102006000>

Chiu, S. T., y Ewers, F. W. (1992). Xylem structure and water transport in a twiner, a scrambler, and a shrub of *Lonicera* (Caprifoliaceae). *Trees*, 6(4), 216–224. <https://doi.org/10.1007/BF00224339>

Cipra Rodríguez, J. A., Montoya Yanavilca, A. E., Adriano Reyes, J. J., Colán de la Vega, X. del P., y Móstiga Rodríguez, M. J. (2020). Anatomía de la madera de *Schinus molle* L. con tumoraciones en zonas urbanas. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 4(1), 62. <https://doi.org/10.25127/aps.20201.545>

Coster, C. (1928). Zur anatomie und physiologie der zuwachszone-und jahresringbildung in den tropen. *Annales Jardim Botanica Buitenzorg*, 38, 1–114. <https://edepot.wur.nl/162386>

Egoavil, G., Pereira, M., Klitzke, R. J., y Mora, E. G. (2020). *Caracterización anatómica y variabilidad de los componentes de la madera de Calycophyllum spruceanum ( Benth ). Hook . Anatomical characterization and variation of components of Calycophyllum spruceanum ( Benth ). Hook . wood*. 11(2), 93–106. <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v11n2p93-106>

Elaieb, M. T., Shel, F., Jalleli, M., Langbour, P., y Candelier, K. (2019). Propiedades físicas de la madera de cuatro especies de latifoliadas de porosidad anular: influencia de los radios sobre las contracciones tangencial y radial. *Madera y Bosques*, 25(2). <https://doi.org/10.21829/MYB.2019.2521695>

Feijoo, C., Ramon, D., y Pucha, D. (2018). *Guía Para Cortes Anatómicos De La Madera* (Issue October).

Gärtner, H., Lucchinetti, S., y Schweingruber, F. H. (2014). New perspectives for wood anatomical analysis in dendrosciences: The GSL1-microtome. *Dendrochronologia*, 32(1), 47–51. <https://doi.org/10.1016/J.DENDRO.2013.07.002>

Giménez, A., Moglia, J., y Gerez, R. (2005). *Anatomía de madera*. <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/sd-1-anatomia-de-madera.pdf>

Giménez, M., y Moglia, J. (1998). Rasgos anatómicos característicos del hidrosistema de las principales especies arbóreas de la Región Chaqueña Argentina. *Investiga-*

- ción Agraria. Sistemas y Recursos Forestales, ISSN 1131-7965, Vol. 7, Nº 1-2, 1998, Págs. 53-72, 7(1), 53-72.*
- Grande, D., y Polanco, C. (2007). *DESCRIPCIÓN ANATOMICA DE LA MADERA DE CUARENTA ESPECIES DEL BOSQUE. 10(20).*
- Haines, H. A., Olley, J. M., Kemp, J., y English, N. B. (2016). Progress in Australian dendroclimatology: Identifying growth limiting factors in four climate zones. *Science of the Total Environment, 572(December), 412–421.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.096>
- Higueras, E. (2008). La ciudad como ecosistema urbano. *El Reto de La Ciudad Habitable y Sostenible, Pamplona. España. Pdf.* <https://www.marcialpons.es/libros/el-reto-de-la-ciudad-habitable-y-sostenible/9788492507191/>
- Huarcaya, R. (2016). *Universidad nacional del centro del peru.*
- Igartúa, D. V., Piter, J. C., y Monteoliva, S. E. (2013). Propiedades xilotecnológicas de Acacia melanoxylon implantada en el sudeste de la Provincia de Buenos Aires - Argentina. *Tesis Doctoral, 1–286.*
- León Hernandez, W. J. (2001). Anatomía del leño, aspectos ecologicos y filogenia en mangles de Venezuela. In *Revista Forestal Venezolana (Vol. 45, Issue 2, pp. 191–203).*
- León Hernandez, W. J. (2009). Anatomía De La Madera Y Clave De Identificación Para Especies Forestales Vedadas En Venezuela. *Revista Forestal Venezolana, Volumen 53(1), 51–62.*
- Maza, H. (2010). Anatomia macroscópica y algunas características físicas de siete especies maderables de pie de monte de la zona alta de la cuenca del Rio Puyango. In *Revista Ecologica Forestal (Vol. 1, Issue 1, p. 150).* <http://dspace.unl.edu.ec:8080/xmlui/handle/123456789/327>
- Montaño-Arias, S. A., Camargo-Ricalde, S. L., y Grether, R. (2016). Anatomía de la madera de tres especies de Mimosa (Leguminosae-Mimosoideae) distribuidas en México. *Madera Bosques, 22(1), 191–202.* <https://doi.org/10.21829/myb.2016.221486>
- Monteoliva, S., y Igartúa, V. (2010). *Variación anatómica de la madera de Acacia melanoxylon implantada en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. 109, 1–7.*
- Olvera-Licona, G., Machuca, Borja, R., Corona, A., y Zaragoza, A. (2021). *Xilotecnia de la madera de Schinus molleL. de una plantación forestal comercial en Hidalgo, México. 27, 1–19.* <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2711567>
- Olvera, P., Paz, C. De, Sotelo, D., Isaías, Q., Alejandra, P., De, C., y Pérez, P. (2005). *Influencia de los radios en algunas propiedades físicas y mecánicas de la madera de ocho encinos ( Quercus ) de Durango , México.* <https://www.redalyc.org/pdf/617/61711204.pdf>
- Poma, L. F. (1973). *Descripción macroscópica y microscópica de 15 maderas del Ecuador y clave de identificación con tarjetas perforadas. Instituto Interamericano de ciencias agrícolas de la OEA. Centro Tropical de Enseñanza e Investigación. Departamento de Ciencias Forestale.* <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/1117>
- Rangel, G. (2016). *Descripción anatómica de la madera de Fresno Fraxinus uhdei ( Wenz .) Lingelsh. July.* <https://docplayer.es/63502251-Descripcion-anatomica-de-la-madera-de-fresno-fraxinus-uhdei-wenz-lingelsh.html>
- Rathgeber, C. B. K., Decoux, V., y Leban, J. M. (2006). Linking intra-tree-ring wood density variations and tracheid anatomical characteristics in Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). *Annals of Forest Science, 63(7), 699–706.* <https://doi.org/10.1051/forest:2006050>
- Rendle B. J. (1932). *Anatomía de la madera como vínculo entre la botánica y la silvicultura. 130(3292), 834–836.* <https://www.nature.com/articles/130834a0>
- Rojas-Badilla, M., Álvarez, C., Velásquez-Álvarez, G., Hadad, M., Quesne, C. Le, y Christie, D. A. (2017). *Anomalías anatómicas en anillos de crecimiento anuales de Austrocedrus chilensis ( D. Don ) Pic . -Serm . et Bizzarri en el norte de. 74(2), 269–281.*
- Rossi, S., Deslauriers, A., Anfodillo, T., Morin, H., Sarcino, A., Motta, R., y Borghetti, M. (2006). Conifers in cold environments synchronize maximum growth rate of tree-ring formation with day length. *New Phytologist, 170(2), 301–310.* <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01660.x>
- Sass-klassen, U., Gebrekirstos, A., Bra, A., y Mbow, C. (2014). *ScienceDirect Opportunities and applications of dendrochronology in Africa. 48–53.* <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.10.011>
- Undurraga, J. P. (1997). *CARACTERIZACIÓN ANATOMICA DE MADERA DE Salix L.* [http://revistacienciasforestales.uchile.cl/1997-1998\\_vol12-13/n1-2a8.pdf](http://revistacienciasforestales.uchile.cl/1997-1998_vol12-13/n1-2a8.pdf)
- Wodzicki, T. J. (2001). Natural factors affecting wood structure. *Wood Science and Technology 2001 35:1, 35(1), 5–26.* <https://doi.org/10.1007/S002260100085>