

IDENTIFICACIÓN DE OCHO ESPECIES CON POTENCIAL DENDROCRONOLÓGICO EN BOSQUES DE ARENA BLANCA DE JENARO HERRERA, LORETO, PERÚ

Erick Nelson MARIÑO TELLO^{1*}, José Luis MARCELO PEÑA², Rolando MONTEMNEGRO MURO³, Manuel CHAVESTA CUSTODIO³

¹ Investigador Independiente.

² Universidad Nacional de Jaén, Departamento Académico de Ingeniería Forestal y Ambiental, San Ignacio Jaén, Perú.

³ Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de industria forestal. Av. La Molina s/n - La Molina.

* Correo electrónico: erickmt007@gmail.com

RESUMEN

Los varillales amazónicos, bosques de arena blanca caracterizados por su alto endemismo y suelos extremadamente oligotróficos, permanecen escasamente estudiados en cuanto a la formación de anillos de crecimiento y el potencial dendrocronológico de las especies forestales que la conforman. El objetivo del estudio fue evaluar el potencial dendrocronológico de 30 especies arbóreas de los varillales, localizados en Jenaro Herrera – Perú. Se aplicó un método no destructivo para la obtención de muestras de madera por medio del uso de una sonda metálica para la perforación. Se caracterizaron macroscópicamente las 30 especies y de forma microscópica solo aquellas con anillos diferenciados. Los resultados indican que solo 8 de las 30 especies (27%) presentaron anillos anatómicamente verificables siendo el rasgo predominante, la zona de engrosamiento de fibras como delimitador de los anillos de crecimiento. La concordancia entre la caracterización macroscópica y microscópica permitió descartar especies con límites visibles, pero no funcionales como se identificó en *Humiria balsamifera*. Las características anatómicas observadas revelan adaptaciones al estrés hídrico estacional y una alta variabilidad estructural entre especies. Se concluye que solo 8 presentan potencial para estudios dendrocronológicos, constituyendo fuentes confiables para reconstrucciones climáticas y análisis de dinámica forestal en ecosistemas de varillales.

PALABRAS CLAVE: Anillos de crecimiento, varillales, caracterización macroscópica.

IDENTIFICATION OF EIGHT SPECIES WITH DENDROCHRONOLOGICAL POTENTIAL IN WHITE SAND FORESTS OF JENARO HERRERA, LORETO, PERU

ABSTRACT

Amazonian white-sand forests (varillales), characterized by high floristic endemism and extremely oligotrophic soils, remain poorly studied regarding the formation of growth rings and the dendrochronological potential of their tree species. This study evaluated the dendrochronological potential of 30 tree species from white-sand forests in Jenaro Herrera, Peru. Wood samples were obtained using a non-destructive method with a metallic increment borer. All 30 species were examined macroscopically, and only those with visible ring boundaries were analyzed microscopically. Results show that only 8 of the 30 species (27%) exhibited anatomically verifiable growth rings, with fiber-wall thickening being the predominant delimiting feature. Agreement between macroscopic descriptions and microscopic verification allowed the exclusion of species with apparent but non-functional ring boundaries, as observed in *Humiria balsamifera*. The anatomical characteristics recorded reflect adaptations to seasonal water stress and a high degree of structural variability among species. In conclusion, only these eight species demonstrate real potential for dendrochronological studies, representing reliable sources for climate reconstructions and analyses of forest dynamics in white-sand ecosystems.

KEYWORDS: Growth rings, white-sand forests, macroscopic characterization.

INTRODUCCIÓN

Los bosques de arena blanca de la Amazonía peruana, conocidos como varillales, se caracterizan por una alta diversidad florística, presencia de flora endémica y suelos oligotróficos que condicionan el crecimiento de las especies arbóreas (Rivera, 2013). Estos ecosistemas experimentan inundaciones recurrentes durante la temporada lluviosa y sequías severas en los meses de menor precipitación, debido a la baja capacidad de retención hídrica de sus suelos arenosos (Palacios *et al.*, 2016). Fine *et al.* (2006) manifiesta que los varillales se distribuyen principalmente en seis zonas dentro de la Amazonía del Perú: a nivel de las planicies laterales de los ríos Nanay (Reserva Nacional Allpahuayo Mishana), Pintuyucu, Chambira y Morona; y en las cercanías a las localidades de Jenaro Herrera, Jeberos y Tamshiyacu. Moschella (2023) señala que la importancia de este tipo de bosques radica en conservar un alto grado especies endémicas, asimismo, se hallan amenazadas por el tráfico e invasión de tierras, la tala indiscriminada y la extracción de la arena blanca para construcción.

Por otro lado, De Oñate *et al.* (2021) manifiesta que estos bosques, permanecen escasamente estudiados debido a lo singulares y dispersamente distribuidos que se encuentran en la selva amazónica. Dentro de ello, se evidencia la inexistencia de reportes sobre la caracterización de los anillos de crecimiento y estructura anatómica. Al respecto, Rojas *et al.* (2017) sugiere que los árboles dentro de estos ecosistemas podrían formar anillos de crecimiento con anomalías; debido a las condiciones del sitio, estrés hídrico y fuerte competencia.

El estudio de la formación de anillos de crecimiento o dendrocronología, permite establecer relaciones entre el crecimiento radial y el clima, estimar tasas anuales de crecimiento, ciclos de rotación forestal, edades de rodales; así como evaluar la respuesta del bosque a la intervención

humana o prácticas silviculturales (López *et al.*, 2023).

Cabe señalar que, a pesar que los estudios actuales se han centrado en entornos de regiones templadas y frías, las especies tropicales se han comenzado a estudiar con mayor frecuencia, debido a que se han podido identificar zonas de crecimiento con una estratificación anual, impulsada por las variaciones climáticas, ecológicas y geodinámicas (Schongart *et al.*, 2017).

Worbes (2010) enfatiza que, en los últimos años, la dendrocronología tropical se ha consolidado como un campo integral de investigación que incorpora enfoques ecológicos, climáticos y geomorfológicos, contribuyendo a ampliar el conocimiento actual sobre el funcionamiento de ecosistemas tropicales.

En estudios dendrocronológicos, los anillos de crecimiento se clasifican como diferenciados, no diferenciados o ausentes (Tarelkin *et al.*, 2016). Para la distinción de los límites de los anillos es necesario tanto una observación macroscópica como la validación microscópica (IAWA, 1989), debido a que las especies tropicales pueden presentar estructuras favorables para estudios dendrocronológicos; así como también dificultar el proceso diferenciar anillos debido a irregularidades o casos atípicos como anillos dobles, múltiples, falsos o en cuña (Mendivelso *et al.*, 2016). Por ello, se han empezado a incorporar técnicas modernas como el análisis de isótopos de carbono y oxígeno de la madera para mejorar el proceso de delimitar los anillos de crecimiento (Van der Sleen *et al.*, 2017).

Escobar *et al.* (2023) señala que el análisis de los anillos de crecimiento permite determinar el potencial dendrocronológico de las especies de árboles tropicales con el fin de poder establecer cronologías para la reconstrucción del clima, identificar patrones de la dinámica de ríos, así como obtener información para el manejo de las mismas.

Diversas investigaciones han documentado las características anatómicas asociadas al potencial dendrocronológico, como zonas fibrosas producto del engrosamiento de paredes celulares (Briceño *et al.*, 2018); parénquima marginal en bandas uniseriadas o multiseriadas (Marcelo, 2017; Santini, 2018; Vieira *et al.*, 2018); porosidad circular o semicircular (Rivera, 2013; Pereyra *et al.*, 2014; Mendivelso *et al.*, 2016) y la disminución progresiva del espaciamiento entre bandas de parénquima (Santini, 2018; Vieira *et al.*, 2018).

En los bosques tropicales del Perú, géneros como *Cedrela*, *Swietenia*, *Cedrelinga*, *Amburana* y *Terminalia* han demostrado estructuras favorables para estudios dendrocronológicos (Pereyra *et al.*, 2014; Marcelo, 2017). En Brasil, Santini (2018), reportó la predominancia de zonas con engrosamiento de fibras en especies de alto potencial; y Marcelo (2017), documentó que en bosques estacionalmente secos del Perú los límites se definen principalmente por estructuras fibrosas y parénquima marginal.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo determinar el potencial dendrocronológico de 30 especies de los bosques de arena blanca en Jenaro Herrera (Perú); mediante la caracterización de los anillos de crecimiento, y la caracterización macroscópica y microscópica de las especies prometedoras; para generar información base para estudios relacionados con la anatomía, identificación y ecología en uno de los ecosistemas más singulares y menos estudiados de la Amazonía peruana.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en bosques de arena blanca (varillales) del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana – Centro de investigaciones

Jenaro Herrera (IIAP-CIJH) en Loreto, Perú (Figura 1) a 125 m de altitud (04°54'S, 73°40W). La zona tiene un clima tropical, con temperatura media anual de 26 °C y precipitación promedio anual de 2724 ± 171 mm, con estación lluviosa de diciembre a marzo y estación seca de julio a setiembre.

MUESTREO Y RECOLECCIÓN DE DATOS

Se evaluaron 30 especies arbóreas, con tres individuos por especie con diámetro mínimo de 25 cm en el área de estudio (Tabla 1), en concordancia con los tamaños muestrales referidos y reducidos para estudios dendrocronológicos en bosques naturales caracterizados por una alta diversidad florística, limitada accesibilidad en campo y necesidad de captar la variabilidad inter e intraespecífica según Kirdyanov *et al.* (2018).

En caso de una alta variabilidad en las medidas de los diámetros por especie, se procuró incrementar el muestreo a fin procurar obtener valores consistentes. Las muestras de madera fueron extraídas a 1,30 m de altura (diámetro a la altura del pecho) mediante un método no destructivo, utilizando una sonda metálica de 2,5 × 3,2 × 25 cm (diámetro interno, externo y longitud, respectivamente), acoplada a una perforadora Stihl BT45. Se obtuvieron 3 tarugos por individuo que presentaron las dimensiones internas de la sonda. Los orificios en los árboles fueron sellados con tarugos de madera tratados con una solución preservante de borato de cobre-cromo (CCB), a fin de prevenir el ataque de organismos xilófagos.

PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Las muestras obtenidas fueron codificadas, acondicionadas y transportadas al Laboratorio de Anatomía de la Madera del Departamento Académico de Industrial Forestales, de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM); donde fueron fijadas

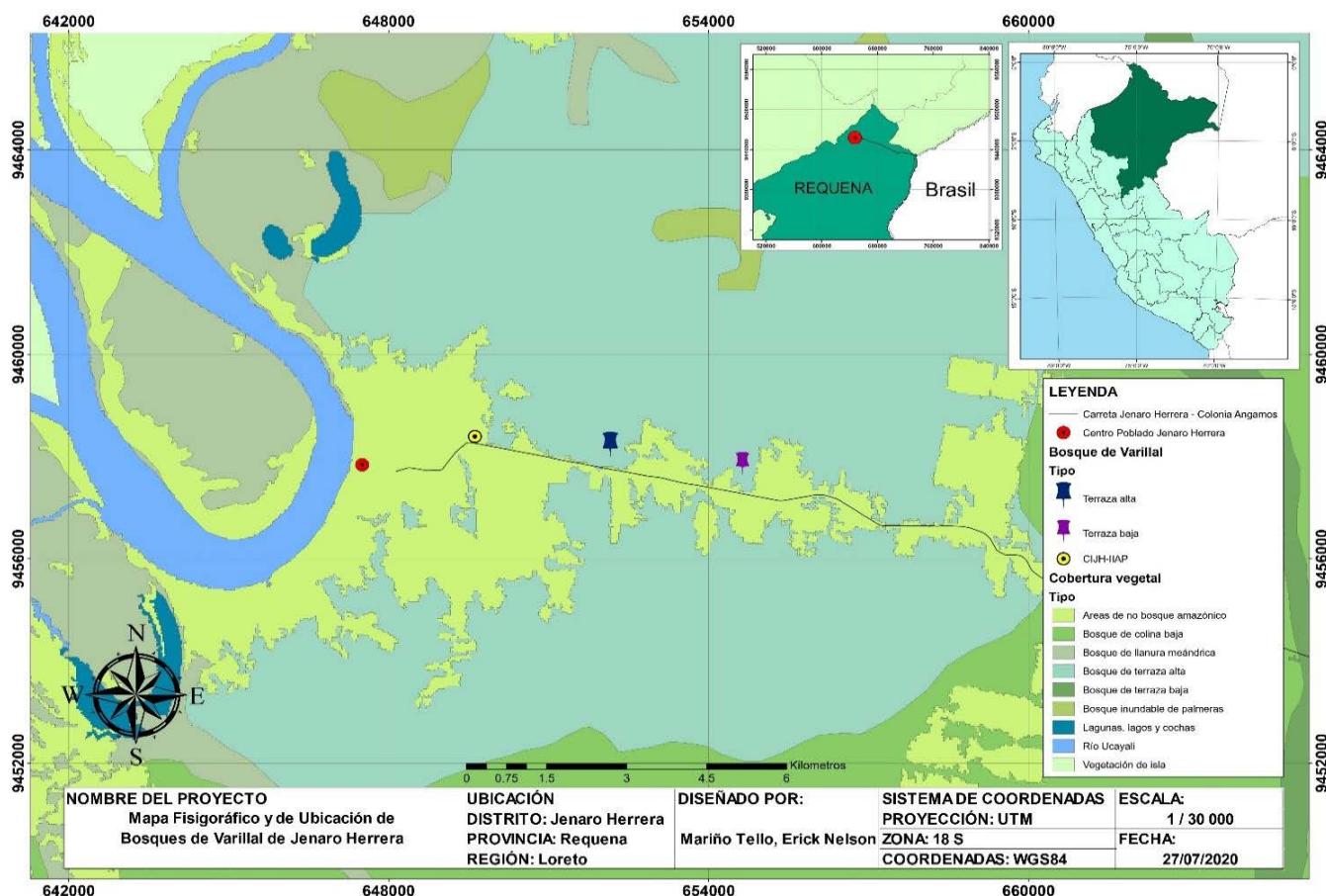


Figura 1. Zona de colección de muestras en varillales de Jenaro Herrera- IQUITOS.

en soportes de madera de 1,20 m de largo, con cola sintética y secadas al aire por una semana. Luego, se seccionaron en 1/4 de su diámetro con una sierra circular. La superficie de corte fue pulida con lijadora orbital utilizando lijas 80, 120, 180, 240, 400 y 600 (grano/pulgada²) con el fin de exponer los elementos anatómicos necesarios para el análisis de los anillos de crecimiento.

Para facilitar su observación y análisis, las muestras fueron digitalizadas mediante el escáner Epson Perfection V370 a una resolución de 1200 dpi, incluyendo una escala de referencia.

Posteriormente, se delimitaron los anillos de crecimiento con ayuda de un estereoscopio Leica EZ4W conectado a una computadora, lo que permitió la identificación, visualización y captura de los anillos verdaderos y falsos.

CARACTERIZACIÓN DE ANILLOS DE CRECIMIENTO

La caracterización de los anillos de crecimiento se realizó según los criterios del IAWA (1989); considerando los siguientes atributos anatómicos: a) fibras de pared gruesa y radialmente aplanadas; b) marcada diferencia en el diámetro de los vasos entre madera tardía y madera temprana del siguiente anillo como en maderas de porosidad semicircular y circular; c) parénquima marginal; d) vasos muy estrechos y numerosos; e) frecuencia decreciente de las bandas de parénquima hacia la madera tardía y f) alargamiento de radios.

CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA Y MICROSCÓPICA

La caracterización macroscópica y microscópica sólo se realizó para aquellas especies que marcaron anillos de crecimiento; conforme a la norma del Instituto Brasileiro de Meio Ambiente dos Recursos Naturais Renovaveis (IBAMA, 1992) y a la Association of Wood Anatomists (IAWA, 1989). El análisis macroscópico se realizó con una lupa 10X para la descripción de textura, poros, parénquima e inclusiones. Para el análisis microscópico, la preparación de láminas histológicas se realizó conforme al Franklin (1946), protocolo clásico, seleccionado por su elevada reproducibilidad. Estas secciones fueron teñidas con safranina al 1%, y documentadas mediante microfotografías con el software de la cámara ICCHD de Leica acoplado a la computadora.

ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de la información se realizó bajo un enfoque descriptivo y cualitativo orientado a caracterizar y comparar las estructuras anatómicas observadas entre las especies. Se registraron 25 mediciones por parámetro, conforme a los lineamientos de COPANT (1972) e IAWA (1989), con el fin de cumplir el estándar mínimo de representatividad anatómica; sin embargo, no se aplicaron análisis estadísticos inferenciales, debido al objetivo descriptivo del estudio, centrado en contrastar las características anatómicas entre especies. La documentación y medición básica se efectuó con Leica Application Suite LAS EZ y el software ICCHD del microscopio Leica.

RESULTADOS

La caracterización anatómica de los anillos de crecimiento permitió identificar dos tipos estructurales predominantes. El más frecuente fue la

zona de engrosamiento de fibras, observada en el 37 % de las especies evaluadas (Tabla 1). El segundo tipo de estructura fue la combinación de zonas fibrosas con parénquima marginal, registrada en el 23 % de las especies.

En la evaluación macroscópica, 9 de las 30 especies analizadas presentaron anillos claramente diferenciables, mientras que 13 especies mostraron anillos poco definidos, y 8 especies no evidenciaron delimitaciones visibles. Si bien nueve especies fueron seleccionadas inicialmente por presentar anillos visibles a nivel macroscópico, solo ocho de ellas confirmaron estructuras consistentes a nivel microscópico. La especie *Humiria balsamifera*, pese a mostrar delimitaciones externas, no evidenció rasgos anatómicos internos que respaldaran la formación de anillos verdaderos, por lo que fue descartada en esta categoría.

La Tabla 2 resume las características macroscópicas observadas en las nueve especies que presentaron anillos de crecimiento diferenciados. Se identificaron tres especies con textura fina, cinco con textura media y una con textura gruesa: *Hymenolobium nitidum*. Las 9 especies evaluadas mostraron porosidad difusa.

En relación con la distribución de los vasos, cinco especies presentaron poros múltiples dispuestos radialmente, mientras que las otras cuatro exhibieron poros solitarios. El análisis del parénquima permitió identificar distintas configuraciones anatómicas. En *Duguetia stenantha*, se observó parénquima apotraqueal del tipo difuso en agregados con patrón escalariforme. En *Dimorphandra coccinea*, se identificó parénquima paratraqueal aliforme. Por su parte, *Pagamea coriacea* presentó bandas anchas de parénquima. Además, se identificó la coexistencia de múltiples tipos de parénquima en varias especies. En *Hymenolobium nitidum* y *Dicymbae uaiparuensis* se observaron parénquima aliforme, aliforme confluente y marginal. Asimismo, *Macrolobium*

Tabla 1: Especies en estudio y caracterización de los anillos de crecimiento de 30 especies.

Nº	Especie	Anillos de crecimiento			Nº	Especie	Anillos de crecimiento		
		DAC	EAC	PD			DAC	EAC	PD
1	<i>Alchornea triplinervia</i>	B	ZEF	2	16	<i>Macoubea guianensis</i>	C	ND	3
2	<i>Aspidosperma rigidum</i>	B	ZEF	2	17	<i>Macrolobium microcalyx</i>	A	ZEF-PM	1
3	<i>Aspidosperma schultesii</i>	C	ND	3	18	<i>Ocotea argyrophylla</i>	B	ZEF	2
4	<i>Buchenavia viridiflora</i>	B	ZEF-PM	2	19	<i>Osteophleum platyspermum</i>	A	ZEF-PM	1
5	<i>Chrysophyllum sanguinolentum</i>	C	ND	3	20	<i>Otoba parvifolia</i>	B	ZEF-PM	2
6	<i>Dicymbae uaiparuensis</i>	A	ZEF	1	21	<i>Pagamea coriacea</i>	A	PM	1
7	<i>Dimorphandra coccinea</i>	A	ZEF	1	22	<i>Pagamea guianensis</i>	C	ND	3
8	<i>Duguetia stenantha</i>	A	ZEF	1	23	<i>Qualea paraensis</i>	C	ND	3
9	<i>Guatteria megalophylla</i>	B	ZEF	2	24	<i>Roucheria punctata</i>	C	ND	3
10	<i>Haploclathra cordata</i>	B	ZEF	2	25	<i>Sloanea floribunda</i>	B	ZEF-PM	2
11	<i>Hevea nitida</i>	B	ZEF	2	26	<i>Taralea oppositifolia</i>	B	ZEF	2
12	<i>Humiria balsamifera</i>	A	ZEF-ZAP	2	27	<i>Tovomita calophyllophylla</i>	B	ZEF	2
13	<i>Hymenolobium nitidum</i>	A	PM	1	28	<i>Tovomita longifolia</i>	C	ND	3
14	<i>Ladenbergia oblongifolia</i>	B	ZEF	2	29	<i>Virola albidiflora</i>	A	ZEF-PM	1
15	<i>Licania lata</i>	C	ND	3	30	<i>Virola pavonis</i>	B	ZEF-PM	2

DAC: Diferenciación de anillos de crecimiento. A: Diferenciados. B: Poco diferenciados. C: No diferenciados. EAC: Estructura de anillos de crecimiento. ZEF: Zonas de engrosamiento de fibras. PM: Parénquima marginal. ZAP: Zona de agrupación de poros. ND: No diferenciado. PD: Potencial Dendrocronológico. 1: Óptimo. 2: Con dificultad. 3: No potencial.

Tabla 2: Características macroscópicas de las 9 especies con anillos diferenciados.

Nº	Especies	Características macroscópicas													
		Textura				Poros				Parénquima				Inclusión	
		F	M	G	Pd	Prs	Prm	Da	Va	Al	Alc	Ba	Mg	Gm	Ti
1	<i>Dicymbae uaiparuensis</i>	-	✓	-	✓	✓	-	-	✓	✓	-	✓	-	-	-
2	<i>Dimorphandra coccinea</i>	-	✓	-	✓	✓	-	-	✓	-	-	-	-	-	-
3	<i>Duguetia stenantha</i>	-	✓	-	✓	✓	-	✓	-	-	-	-	-	-	-
4	<i>Humiria balsamifera</i>	✓	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	✓	-
5	<i>Hymenolobium nitidum</i>	-	-	✓	✓	-	✓	-	-	✓	✓	-	✓	✓	✓
6	<i>Macrolobium microcalyx</i>	✓	-	-	✓	-	✓	-	✓	-	-	-	✓	-	-
7	<i>Osteophleum platyspermum</i>	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	-	-	✓	-	-
8	<i>Pagamea coriacea</i>	✓	-	-	✓	-	✓	-	-	-	-	✓	-	-	-
9	<i>Virola albidiflora</i>	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	-	-	✓	-	-

Textura: (F) fina, (M) media, (G) gruesa; Poros = (Pd) porosidad difusa, (Prs) predominantemente solitarios, (Prm) predominantemente múltiples; Parénquima: (Da) difuso en agregados, (Va) vasicéntrico, (Al) aliforme, (Alc) aliforme confluyente, (Ba) bandas anchas, (Mg) Marginal; Inclusión: (Gm) gomas, (Ti) tilosios.

microcalyx, *Osteophloeum platyspermum* y *Virola albiflora* exhibieron parénquima vasicéntrico asociado al marginal. En *Humiria balsamifera*, el tipo de parénquima no fue identificable aún con el uso de lupa de 10x. Además, se observó presencia de gomas en *Hymenolobium nitidum* y *Humiria balsamifera*, así como tilosis en *Hymenolobium nitidum*.

Las características microscópicas para las nueve especies con anillos de crecimiento marcados se presentan en la Tabla 3. El diámetro tangencial de los vasos fue pequeño en *Pagamea coriacea*, grande en *Hymenolobium nitidum*, y mediano en las otras siete especies.

En cuanto a la longitud de los elementos vasculares, se observaron elementos cortos en *Dimorphandra coccinea*, *Duguetia stenantha*, *Hymenolobium nitidum* y *Macrolobium microcalyx*; elementos largos en *Humiria balsamifera* y *Osteophloeum platyspermum*; y medianos en las especies restantes.

Con respecto al parénquima, se confirmó coincidencias entre la observación macroscópica y la microscópica en *Macrolobium microcalyx*, *Hymenolobium nitidum*, *Dicymbe uaiparuensis* y *Osteophloeum platyspermum*. En *Dimorphandra coccinea* y *Pagamea coriacea* se verificó la presencia de bandas marginales; esta última también presentó parénquima difuso. *Duguetia stenantha* presentó parénquima difuso en agregados con tendencia escalariforme y distribución vasicéntrica. En *Humiria balsamifera*, el parénquima paratraqueal escaso y difuso solo fue visible microscópicamente. En *Virola albiflora*, se observó parénquima difuso y paratraqueal escaso, en contraste con la porosidad vasicéntrica observada a nivel macroscópico.

Respecto a los radios, *Dimorphandra coccinea* fue la única especie con radios completamente homocelulares. Por otro lado, *Duguetia stenantha*, *Humiria balsamifera* y *Pagamea coriacea* presentaron una combinación de radios homocelulares

y heterocelulares. Las especies restantes, exhibieron exclusivamente radios heterocelulares.

En cuanto a la longitud de fibras, las especies *Humiria balsamifera*, *Osteophloeum platyspermum* y *Hymenolobium nitidum* se caracterizaron por presentar fibras largas. Las demás especies mostraron fibras cortas.

Con relación al espesor de pared de las fibras, fue muy delgado en *Dimorphandra coccinea* y *Virola albiflora*, mientras que *Humiria balsamifera*, *Hymenolobium nitidum* y *Pagamea coriacea* presentaron paredes engrosadas. Las cuatro especies restantes mostraron paredes delgadas.

DISCUSIÓN

El hallazgo de anillos de crecimiento diferenciados en solo 27% de las especies analizadas resalta la complejidad ecológica de los varillales amazónicos, donde la marcada alternancia entre inundaciones y sequías y los suelos extremadamente oligotróficos limitan la formación de anillos anatómicamente distinguibles (Palacios *et al.*, 2016). Este valor es comparable al 15% de especies con anillos diferenciados reportados en bosques inundables del sudeste del Perú (Ranilla *et al.*, 2025), pero inferior al 30% observados en los bosques de la selva central del Perú según reporta Beltran & Valencia (2013); y del 35% registrado por Campos *et al.* (2008) en bosques de la Amazonía peruana y brasileña. Ello sugiere que las condiciones particulares de los varillales podrían limitar la formación o la visibilidad anatómica de los anillos, en comparación con bosques más estacionales o con mejor suministro de nutrientes, como manifiesta Brienen *et al.* (2016).

En términos estructurales, las zonas con engrosamiento de fibras, que representan un 37% de las delimitaciones observadas, constituyeron el rasgo de delimitación anatómico más frecuente, y que coincide con lo hallado por Worbes (1995)

Tabla 3: Características microscópicas de las 9 especies con anillos diferenciados.

Especies	Características microscópicas																			
	Poros / Vasos						Parénquima						Radios				Fibras			
	Diámetro			Longitud			Df	Da	Pe	Va	Al	Alc	Mg	He	Ho	Ct	L	Md	D	Gr
	P	M	G	Ct	M	L														
<i>Dicymbe uaiparuensis</i>	-	✓	-	-	✓	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	-	-	✓	-
<i>Dimorphandra coccinea</i>	-	✓	-	✓	-	-	✓	-	-	✓	-	-	-	-	✓	✓	-	✓	-	-
<i>Duguetia stenantha</i>	-	✓	-	✓	-	-	✓	-	✓	-	-	-	✓	✓	✓	-	-	✓	-	-
<i>Humiria balsamifera</i>	-	✓	-	-	✓	✓	-	✓	-	-	-	-	✓	✓	-	✓	-	-	✓	-
<i>Hymenolobium nitidum</i>	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	-	-	✓
<i>Macrolobium microcalyx</i>	-	✓	-	✓	-	-	-	-	✓	-	-	✓	✓	✓	-	✓	-	-	✓	-
<i>Osteophloeum platyspermum</i>	-	✓	-	-	✓	-	-	-	✓	-	-	✓	✓	✓	-	-	✓	-	✓	-
<i>Pagamea coriacea</i>	✓	-	-	-	✓	-	✓	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	✓
<i>Virola albidiflora</i>	-	✓	-	-	✓	-	✓	-	✓	-	-	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	-	-

(P): pequeños (50 a 100u); (M): medianos (101 a 200u); (G): grandes (> 200u); (Ct): cortos (< 350u); (M): medianos (351 a 800u); (L): largos (> 800u); Parénquima: (Df) difuso, (Da) difuso en agregados, (Pe) paratraqueal escaso, (Va) vasicéntrico, (Al) aliforme, (Alc) aliforme confluente, (Mg) marginal; Radios: (He) heterocelular, (Ho) homocelular; Fibras: (Ct): cortos (< 900u); (L): largos (> 1600u); (Md) muy delgados, (D) delgados, (Gr) gruesos.

que enfatiza que en árboles tropicales los límites del anillo se manifiestan frecuentemente como cambios en la pared celular más que como una transición temprana-tardía típica en regiones templadas.

El contraste entre la observación macroscópica y verificación microscópica permitió identificar únicamente 8 especies con potencial dendrocronológico real, lo que reitera la importancia del análisis microscópico como requisito fundamental para determinar el potencial de una especie (IAWA, 1989; Rivera, 2013).

El caso de *Humiria balsamifera* es ilustrativo, al presentar límites aparentes en leño, pero que no cuentan con estructuras anatómicas internas diagnósticas de anillos verdaderos, lo que sugiere la presencia de

anomalías en los anillos de crecimientos como anillos falsos y discontinuos que resultan en falsos positivos al realizar la evaluación macroscópica (Schongart *et al.*, 2017). Esta discrepancia resalta que la verificación microscópica es indispensable en estudios dendrocronológicos en la Amazonía (Marcelo-Peña *et al.*, 2020).

Por otro lado, la predominancia de zonas con engrosamiento como indicador de anillos de crecimiento, coincide con lo documentado por Santini (2018) y Marcelo (2017) en especies de bosques tropicales del Perú y Brasil. Estas estructuras se asocian a una reducción en la actividad de crecimiento durante períodos de baja precipitación, lo que origina fibras de paredes gruesas y de menor diámetro,

generando una banda compacta al final del crecimiento anual (Requena & Taquira, 2019).

En general, las especies que mostraron delimitaciones anatómicas claras corresponden a aquellas cuyas estructuras reflejan variaciones estacionales marcadas, asociadas a la reducción de la precipitación entre los meses de julio y septiembre, como evidencian los estudios de Beltran & Valencia (2013) y Escobar *et al.* (2023) en especies de bosques tropicales. Las características anatómicas observadas macroscópicamente en las 9 especies evaluadas reflejan la adaptación funcional de las especies de varillales a un ambiente con condiciones edáficas y climáticas particulares.

La porosidad difusa observada en todas las especies con anillos marcados coincide

con lo descrito por Quesada *et al.* (2022), quien indica que este patrón es típico de especies con crecimiento continuo influenciado principalmente por la disponibilidad de agua. Asimismo, la predominancia de poros múltiples dispuestos radialmente y solitarios concuerdan con lo descrito por Pons & De Franceschi (2007), en los bosques amazónicos.

La diversidad en los tipos de parénquima observados, desde bandas marginales hasta paratraqueal y vasicéntrico, sugiere variaciones funcionales en la capacidad de almacenamiento y respuesta a cambios en el medio como el grado de humedad del suelo y factores como el clima, altitud, latitud entre otros (Wodzicki, 2001). Asimismo, la presencia de inclusiones, como gomas y tilosis en algunas de las especies evaluadas, resultan ser útiles como criterios diagnósticos en la identificación anatómica (Rodrigues *et al.*, 2014).

Con relación al tamaño y longitud de los vasos, predominan aquellos medianos y cortos entre las especies evaluadas, al respecto, Ferreira *et al.* (2017) señalan que la existencia de un comportamiento similar entre especies distintas responde a la disponibilidad recurrente de agua en la formación existente, lo que conduce a que exista menor diferenciación entre las características anatómicas ya que la competencia interespecífica por acaparar recursos decrece. Sin embargo, la ausencia de tendencias claras en dimensiones de fibras, radios y tipos de parénquima entre las 9 especies en estudio, y que comparten un mismo ecosistema, evidencia la influencia de procesos fisiológicos intrínsecos y de variabilidad interespecífica (Giménez & López, 2000).

En conjunto, los factores ecológicos desempeñan un papel decisivo en la formación de los anillos de crecimiento en los varillales. Factores como el suelo, la temperatura, la disponibilidad de agua y aireación del suelo, la luz y el dióxido de carbono para la fotosíntesis y elementos para el equilibrio nutricional, tienen influencia directa

en las comunidades vegetales y en las características anatómicas que desarrollan (Cosmo, 2012). Además, estudios recientes señalan que la formación de anillos está fuertemente condicionada por la interacción de densidad de madera, elementos químicos y anatomía, dificultando la delimitación anual (Ortega *et al.*, 2022).

Las implicaciones de estos hallazgos son relevantes para el avance de la dendrocronología amazónica. Las ocho especies identificadas con anillos funcionales representan candidatos sólidos para reconstrucciones climáticas, análisis de dinámica forestal y estudios de disturbios en ecosistemas de arena blanca, los cuales son altamente vulnerables al cambio climático y a presiones antrópicas. Sin embargo, la baja tasa de éxito registrada (27 %) señala limitaciones reales para desarrollar cronologías dendroanatómicas sin el uso de metodologías complementarias.

Finalmente, es necesario reconocer las limitaciones del estudio; el tamaño muestral reducido, de 3 individuos por especie, el muestreo en un solo sitio y en una única campaña temporal restringen la generalización de los resultados. Limitaciones similares han sido señaladas en estudios dendroanatómicos preliminares en bosques tropicales (Silva *et al.*, 2019). Por ello, investigaciones futuras deberían ampliar la replicación espacial y temporal e incorporar técnicas avanzadas de validación como densitometría de rayos X, análisis de isótopos estables y datación radiocarbónica (Van der Sleen *et al.*, 2017; Ortega *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2021) a fin de reducir la incertidumbre y fortalecer los resultados de las validaciones por medios tradicionales del potencial dendrocronológico que las especies amazónicas contienen de forma latente.

CONCLUSIONES

Solo 8 de las 30 especies evaluadas (27%) mostraron potencial dendrocronológico verificable,

lo que evidencia que la marcada estacionalidad hídrica de los varillales amazónicos no garantiza la formación de anillos anuales anatómicamente distinguibles, y que los patrones de crecimiento en estos bosques son altamente impredecibles. La validación microscópica se confirmó como un requisito crítico para evitar falsos positivos derivados de delimitaciones macroscópicas ambiguas, como se evidenció en *Humiria balsamifera*. Las zonas de engrosamiento de fibras emergieron como el rasgo anatómico más confiable para detectar límites de anillos, constituyendo un indicador robusto del potencial dendrocronológico en ecosistemas de arena blanca. Las 8 especies identificadas proporcionan nuevas oportunidades para reconstruir variaciones históricas de condiciones climáticas, de crecimiento forestal y disturbios ecológicos, aportando información crítica para el manejo sostenible de los varillales. Finalmente, se resalta la necesidad de integrar técnicas de validación modernas, para reducir la incertidumbre al delimitar los límites de los anillos de crecimiento y para ampliar la aplicabilidad de la información recabada en diversas investigaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beltran, L.; Valencia, G. 2013. Anatomía de anillos de crecimiento de 80 especies arbóreas potenciales para estudios dendrocronológicos en la Selva Central, Perú. *Revista de Biología Tropical*, 61(3).
- Briceño, A.; Rangel, J.; Marys, S. 2018. Anatomía y Anualidad de los anillos de crecimiento de tres especies del Bosque seco Tropical del Caribe de Colombia. *Polibotánica*, 46: 169–178. DOI: <https://doi.org/10.18387/polibotanica.46.10>
- Brienen, R.; Schongart, J.; Zuidema, P. 2016. Tree Rings in the Tropics: Insights into the Ecology and Climate Sensitivity of Tropical Trees. *Tropical Tree Physiology*, 6: 439–461. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-27422-5>
- Campos, L.; Lobao, M.; Rosero, J.; Tomazello, M.; Lisi, C.; Yepez, F. 2008. *Potencialidad de especies forestales para dendrocronología a través de la caracterización anatómica de los anillos de crecimiento en la Amazonía peruana-brasilera*. VII Congreso Nacional de Estudiantes Forestales.
- COPANT. 1972. Maderas: *Métodos para realizar el análisis estadístico de las propiedades de las maderas*. COPANT, 30: 1–12.
- Cosmo, N. 2012. *Ecología do lenho de 19 espécies nativas do estado do Paraná*. (Tesis doctoral). Universidade Federal do Paraná, Brasil.
- De Oñate, R.; San Miguel, A.; Oresanz, J.; Salazar, A.; Roig, S. 2013. Amazonian White-Sand Forest: A Black Future?. *Bois Et Forests Des Tropiques*, 315 (1): 63–72.
- Escobar, M.; Marin, A.; Giraldo, J.; Ramírez, J. 2023. Potencial dendrocronológico de tres especies de Podocarpáceas de la Cordillera de los Andes. *Revista de Biología Tropical*, 7(1). DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/rev.bioltrop..v71i1.54971>
- Ferreira, J.; Torres, M.; Amorim, M.; Herdt, S.; Da Silva, M.; Da Silva, K.; Sofiatti, P. 2017. Anatomia funcional da madeira e condutividade hidráulica de espécies lenhosas de restinga. Patrimônio Natural, Cultura e Biodiversidade da Restinga do Parque Estadual Acaraí. Ed. 1.
- Fine, P.; Mesones, I.; García, R.; Miller, Z.; Daly, D.; Coley, P. 2006. Especialización Edáfica en Plantas De La Amazonía Peruana. *Folia Amazónica*, 15(1–2): 39–99. DOI: <https://doi.org/10.24841/fa.v15i1-2.226>
- Franklin, G.L. 1946. A rapid method of softening wood for microtome sectioning. *Australian Journal of Botany*, 33: 393–408.
- Giménez, A.; López, C. 2000. Caracteres anatómicos que determinan la variabilidad del leño de *Schinopsis quebracho colorado*,

- Anacardiaceae. *Invest. Agr. Sist. Recur. For.*, 9 (2).
- IAWA. 1989. List of Microscopic Features for Hardwood Identification with an appendix on non-anatomical information. *IAWA Bulletin*, 10(3): 219–332.
- IBAMA. 1992. *Normas de procedimientos em estudos de anatomía da madeira: Angiospermae*. Brasilia: Diretoria de incentivo à Pesquisa e Divulgao (Serie técnica 15). 17pp.
- Kirdyanov, A.; Piermattei, A.; Kolar, T.; Rybnicek, M.; Krusic, P.; Nikolaev, A.; Reinig, F.; Buntgen, U. 2018. Notes towards an optimal sampling strategy in dendroclimatology. *Dendrochronologia*, 52: 162-166. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.10.002>
- López, L.; Giménez, M.; Villalba, R. 2023. La dendrocronología como herramienta útil para evaluar la variabilidad del crecimiento radial en 11 especies tropicales de Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 58(1): 7-14.
- Marcelo, J. 2017. *Diversidade florística, dendrologia e dendroecologia em florestas estacionais decíduas do Centro e Norte do Peru*. (Tese de Doutorado). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo, Brasil. 162pp.
- Marcelo-Peña, J.; Roig, F.; Goodwin, Z.; Tomazello, M. 2020. Characterizing growth rings in the trees of Perú: A wood anatomical overview for potential applications in dendroecological-related fields. *Dendrochronologia*, 62. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2020.125728>
- Mendivelso, H.; Camarero, J.; Gutiérrez, E. 2016. Dendrocronología en bosques neotropicales secos: métodos, avances y aplicaciones. *Ecosistemas*, 25(2): 66–75. DOI: <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-2.08>
- Moschella, P. 2023. Pérdida de bosques amazónicos por expansión urbana en el Perú. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, (12), A-007. DOI: <http://dx.doi.org/10.18800/kawsaypacha.202302.a007>.
- Ortega, D.; Hevia, A.; Sánchez, R.; Santini, L.; Pereira, H.; Roig, F.; Tomazello, M. 2022. Exploración de la anatomía, la densidad y los perfiles químicos de la madera para comprender la formación de los anillos de crecimiento en especies arbóreas amazónicas. *Dendrochronologia*, 71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125915>
- Palacios, J.; Zárate, R.; Torres, G.; Denux, J.; Maco, J.; Gallardo, G.; Mori, T.J.; Rengifo, J.; Jarama, A.; Marín, M.; García, F.; Cuadros, A. 2016. Mapeo de los bosques tipo varillal utilizando imágenes de satélite rapideye en la provincia Maynas, Loreto, Perú. *Folia Amazónica*, 25(1): 25–36. DOI: <https://doi.org/10.24841/fa.v25i1.380>
- Pereyra, M.; Inga, G.; Santos, M.; Rodríguez, R. 2014. Potencialidad de Cedrela odorata (Meliaceae) para estudios dendrocronológicos en la selva central del Perú. *Revista de Biología Tropical*, 62(2): 783–793. DOI: <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i2.9835>
- Pons, D.; De Franceschi, D. 2007. Neogene woods from western Peruvian Amazon and palaeoenvironmental interpretation. *Bulletin of Geosciences*, 82(4): 343–354. DOI: <https://doi.org/10.3140/bull.geosci.2007.04.343>
- Quesada, A.; Ballesteros, J.; George, S.; Stoffel, M. 2022. Dendrocronología tropical y subtropical: Enfoques, aplicaciones y perspectivas. *Ecological Indicators*, 144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109506>
- Ranilla, M.; Cassana, I.; Canales, J.; Navio, J.; Macedo, K.; Farfán, R.; Portal, L. 2025. Potencial dendrocronológico de especies tropicales en la Amazonía peruana: un análisis en bosques inundados del sureste. *BioResources*, 20(1): 1482-1503.
- Requena, E.; Taquire, A. 2019. Anatomía del leño y caracterización de los anillos de crecimiento en individuos de *Polylepis tarapacana* en el

- Altiplano - Tacna – Perú. *Quebracho*, 27(1-2): 66-75.
- Rivera, C. 2013. *Potencial dendrocronológico de árboles de la Amazonía Colombiana*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Leticia, Colombia.
- Rodrigues, E.; Souza, A.; Celerino, J.; Braga, P.; Viana, C. 2014. Anatomia Sistemática Do Lenho De Espécies De Fabaceae. *Enciclopédia Biosfera*, 10(19): 128–155.
- Rojas, M.; Álvarez, C.; Velásquez, G.; Hadad, M.; Le Quesne, C.; Christie, D. 2017. Anomalías anatómicas en anillos de crecimiento anuales de *Austrocedrus chilensis* (D. Don) Pic-Serm. et Bizzarri en el norte de su rango de distribución. *Gayana Botánica*, 74(2): 269-281. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432017000200269>
- Santini, L. 2018. *Estudo dendrológico e anatômico do lenho das árvores do Parque da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo: subsídios para a sua conservação*. (Tese de Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. 117pp. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33528.44809>
- Santos, G.; Ortega, D.; De Oliveira, N.; Assis, G.; Barbosa, A.; Roig, F.; Tomazello, M. 2021. Evaluación del crecimiento de especies arbóreas nativas del suroeste de la Amazonía brasileña mediante análisis de ^{14}C posterior a 1950 d.C : Implicaciones para los estudios de dendrocronología tropical y las reconstrucciones atmosféricas de ^{14}C . *Bosques*, 12(9): 1-18. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12091177>
- Schöngart, J.; Bräuning, A.; Campos, A.; Lisi, C.; Morales, J. 2017. Estudios dendrocronológicos en el Neotrópico: historia, estado actual y retos futuros. En MM Amoroso, LD Daniels, PJ Baker, JJ Camarero (Eds), *Dendroecología: Análisis de anillos de árboles aplicados a estudios ecológicos*, Springer, Suiza. pp. 35-73. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-61669-8_3.
- Silva, M.; Funch, L.; Da Silva, L. 2019. The growth ring concept: seeking a broader and unambiguous approach covering tropical species. *Biol Rev Camb Philos Soc*, 94(3): 1161-1178. DOI: <https://doi.org/10.1111/brv.12495>
- Tarelkin, Y.; Delvaux, C.; De Ridder, M.; El Berkani, T.; De Cannière, C.; Beeckman, H. 2016. Growth-ring distinctness and boundary anatomy variability in tropical trees. *IAWA Journal*, 37(2): 275–294. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-20160134>
- Van der Sleen, P.; Zuidema, P.; Pons, T. 2017. Isótopos estables en anillos de árboles tropicales: teoría, métodos y aplicaciones. *Ecología funcional*, 31(9): 1674-1689. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12889>
- Vieira, J.; Groenendijk, P.; Lisi, C. 2018. Dendrochronological potential of four neotropical dry-forest tree species: Climate-growth correlations in northeast Brazil. *Dendrochronologia*, 32(1): 1-30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.10.011>
- Wodzicki, N. 2001. Natural factors affecting wood structure. *Wood Science and Technology*, 35: 5-26. DOI: <https://doi.org/10.1007/s002260100085>
- Worbes, M. 1995. How to measure growth dynamic in tropical trees a review. *IAWA Journal*, 16(4): 337-351. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-90001424>
- Worbes, M. 2010. Wood anatomy and tree-ring structure and their importance for tropical dendrochronology. In: Junk, W.; Piedade, M.; Wittman, F.; Schongart, J.; Parolin, P. (Eds.), *Amazonian Floodplain Forests*. Springer.

Recibido: 11 de diciembre de 2024 Aceptado para publicación: 29 de mayo de 2025