

Artigos

***Zanthoxylum rhoifolium* y su potencial para estudios dendrocronológicos en la Amazonía peruana**

Zanthoxylum rhoifolium and its potential for dendrochronological studies in the peruvian Amazon

Leif Armando Portal-Cahuana^{I, II} 
Rolando Majeed Huamán-Guevara^{III} 
Héctor Cesar Colina-Nano^{IV} 

^IUniversidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Amazonas, Perú

^{II}Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", São Paulo, SP, Brasil

^{III}Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Puerto Maldonado, Tambopata, Madre de Dios, Perú

^{IV}Profesional Independiente, Oxapampa, Homónimos, Pasco, Perú

RESUMEN

El estudio de las especies que presentan potencial dendrocronológico es importante y es la base para investigaciones más complejas que ayuden a entender los bosques mediante técnicas dendrocronológicas. Evaluamos la especie *Zanthoxylum rhoifolium* Lam. y su potencial para estudios dendrocronológicos en la Amazonía peruana. Para dicho fin, fueron utilizados 10 árboles de *Zanthoxylum rhoifolium*, de ocurrencia natural en el fundo El Bosque de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios - UNAMAD, la colecta fue realizada a través del método no destructivo con el auxilio del barrenado de Pressler. Se caracterizaron los anillos de crecimiento en la sección transversal de la especie, su potencial dendrocronológico, la relación de la cronología con el clima local (precipitación y temperatura) y la temperatura de la superficie del mar (SST) HadISST1. Los resultados de la caracterización anatómica de los anillos de crecimiento de la especie de *Zanthoxylum rhoifolium* mostraron tener un gran potencial para estudios en dendrocronología por presentar una buena delimitación del anillo de crecimiento. Se logró construir una cronología de 32 años (1985-2017). Finalmente se pudo comprobar que la especie *Zanthoxylum rhoifolium* presentó respuesta significativa al clima local e influencia a SST.

Palabras-claves: Anillos de crecimiento; Especie forestal; Dendrocronología; Clima



ABSTRACT

The study of the species that present dendrochronological potential is important and is the basis for more complex investigations that help to understand forests through dendrochronological techniques. We evaluated the dendrochronological potential of the species *Zanthoxylum rhoifolium* Lam.. In a high terrace forest in the Madre de Dios region of Peru. For this purpose, 10 trees of *Zanthoxylum rhoifolium* were used, of natural occurrence in the El Bosque farm of the National Amazonian University of Madre de Dios - UNAMAD, the collection was carried out through the non-destructive method with the help of the Pressler's drill. Growth rings were characterized in the cross-section of the species, their dendrochronological potential, the relationship of the chronology with the local climate (precipitation and temperature), and the sea surface temperature (SST) HadISST1. The results of the anatomical characterization of the growth rings of the species of *Zanthoxylum rhoifolium*, showed great potential for studies in dendrochronology because they present a good delimitation of the tree ring. A 32-year chronology (1985-2017) was built. Finally, it was possible to verify that the species *Zanthoxylum rhoifolium*, presented a significant response to the local climate and influence on SST.

Keywords: Growth rings; Forest species; Dendrochronology; Climate

1 INTRODUCCIÓN

La dendrocronología ciencia que estudia los anillos de crecimientos y su datación, en los bosques tropicales, se tienen más de 115 años de estudios sobre el análisis de las especies forestales y sus anillos de crecimiento, en estos bosques se han estudiado confirmando su anualidad de aproximadamente 230 especies tropicales, alrededor de 46 familias botánicas, donde la edad promedio de los árboles está en torno de 200 años y solo un pequeño grupo de especies llegan a 600 años. En función a las especies forestales estudiadas en los bosques tropicales se sugiere que el crecimiento está relacionado con la precipitación y la temperatura donde, los años secos y calurosos pueden reducir el crecimiento, este crecimiento también puede estar influenciado por fenómenos atmosféricos como El Niño y hasta con la temperatura de la superficie del mar. Los resultados de los anillos de crecimiento de las especies forestales mediante herramientas dendrocronológicas han ayudado a entender la ecología de las especies, los patrones de crecimiento a largo plazo, dinámica forestal, respuesta de los árboles al clima, ciclo de corta, etc., que ayudan al manejo forestal y a la comprensión real de nuestros bosques tropicales (MENDIVELSO *et al.*, 2016; ROZENDAAL; ZUIDEMA, 2011; SCHÖNGART *et al.*, 2017; WORBES, 2002).



Es por ello que analizar la anatomía de la madera, la distinción, el tipo de marcación de los anillos de crecimiento, la intercorrelación del ancho de sus anillos y la relación con variables climáticas locales y regionales de las especies tropicales es uno de los estudios básicos para determinar si una especie presenta potencial para estudios dendrocronológicos; es así que diversos estudios se han realizado para ver el potencial de las especies en América del Sur, por ejemplo en especies de un mismo bioma (ARAGÃO *et al.*, 2019), estudiando el potencial de los anillos de crecimiento de una familia botánica (REIS-AVILA; OLIVEIRA, 2017), la anatomía de los anillos de crecimiento de diferentes especies forestales (MARCELO-PEÑA *et al.*, 2020), los anillos de crecimiento y la fenología de las especies (BAUER *et al.*, 2020), etc; resaltando la necesidad de conocer que especies presenta potencial para la dendrocronología y de igual forma conocer en el ámbito científico que especies no presentan potencial dendrocronológico por diversos motivos (visibilidad de los anillos, intercorrelación, etc.) (GROENENDIJK *et al.*, 2014), ya que ayudará en las futuras investigaciones para ganar tiempo en la selección de especies potenciales.

Por otra parte, la familia botánica Rutaceae, cuenta con alrededor de 160 géneros entre ellas *Zanthoxylum*, género que se caracteriza principalmente por presentar una gran diversidad de metabolitos secundarios (alcaloides, cumarinas, flavonoides, lignanos, terpenos, limonoides, crómanos, etc), encontradas en diversos estudios fitoquímicos en muestras de madera seca y molida (TABORDA; SUAREZ, 2007), uno de las especies que se encuentran en este género tenemos a *Zanthoxylum rhoifolium* Lam., especie semidecídua, árbol que se caracteriza por presentar agujijones en el tronco y ramas, hojas compuestas y alternas imparimpinadas con tricomas, la madera se usa en la construcción civil, carpintería, instrumentos agrícolas, utensilios domésticos, leña, carbón, celulosa, el árbol también es considerada ornamental por la forma de la copa que proporciona mucha sombra (COSTA *et al.*, 2014); además fueron encontrados alcaloides carbozólico y cumarina (TABORDA; SUAREZ, 2007).



En este contexto presentamos la evaluación de la especie forestal *Zanthoxylum rhoifolium* Lam., y su potencial para estudios en dendrocronológicos en la Amazonía peruana. Para ellos analizamos la anatomía de los anillos de crecimiento, la construcción de la cronología de la especie y su relación con el clima local y con la temperatura de la superficie del mar SST. Abordamos lo siguiente: ¿Cuáles son las características y el límite de los anillos de crecimiento de la especie?, ¿es posible la construcción de la cronología máster con estadísticos aceptables?, ¿Existe una relación de la cronología con el clima local y con la temperatura de la superficie del mar?, y por último ¿Tiene potencial dendrocronológico la especie *Zanthoxylum rhoifolium*?

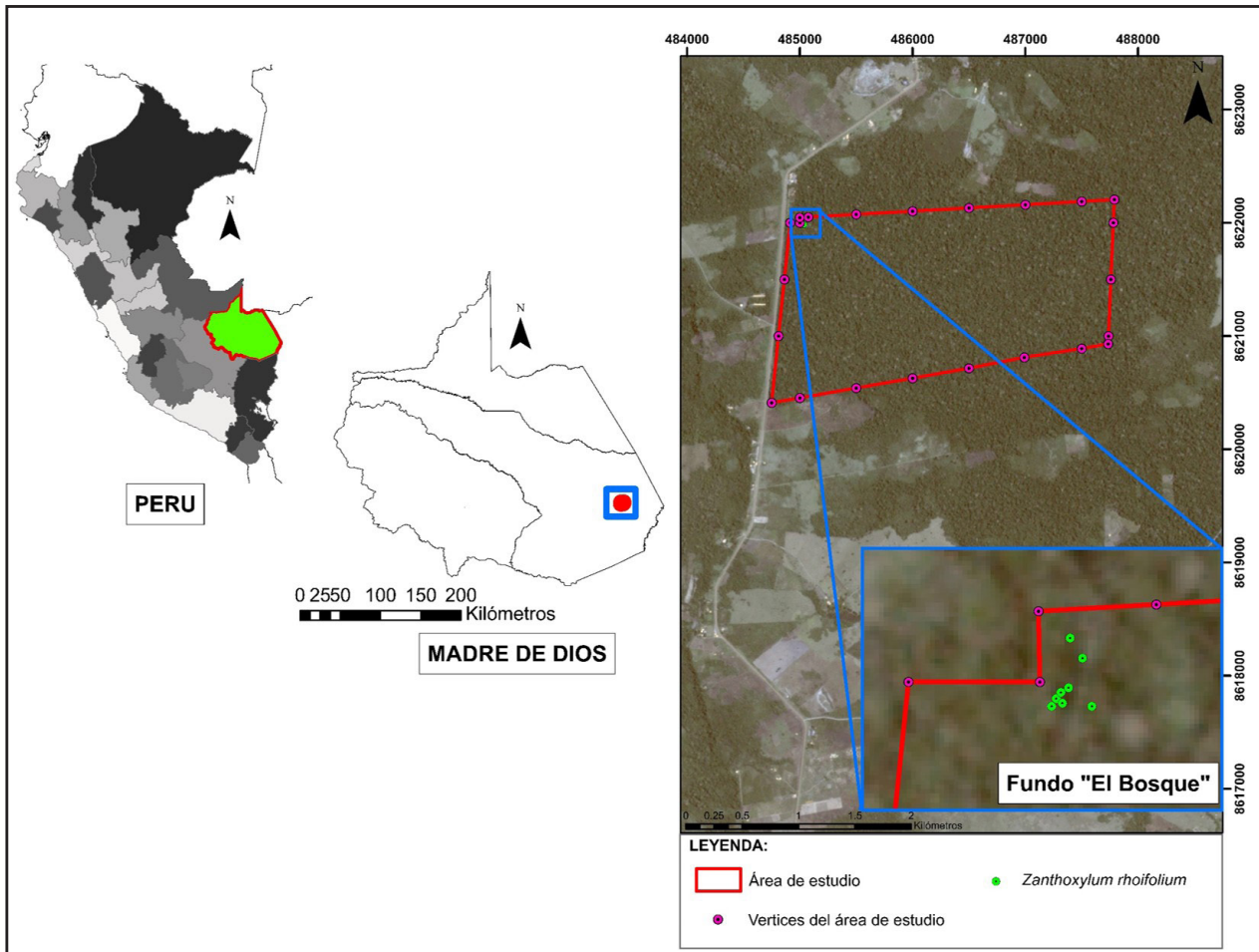
2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El estudio se realizó en la capital de la biodiversidad del Perú, en la región Amazónica de Madre de Dios, denominada así por sus altos índices de diversidad biológica, en el Suroriente del país, que es trifrontera con Brasil y Bolivia, específicamente en el fundo El Bosque (12°27´S, 69°08´W) perteneciente a la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios - UNAMAD, ubicado en el sector de Loboyoc aproximadamente a 17.5 kilómetros de la carretera Interoceánica Sur (Puerto Maldonado -Iñapari), en el distrito de Las Piedras, provincia de Tambopata (Figura 1). Cuenta con un área alrededor de 428 hectáreas distribuidas en 27 bloques. Según la clasificación bioclimática de Holdridge (1982), corresponde a un bosque de terrazas altas, a 250 msnm, con precipitaciones pluviales anuales superiores a 2000 mm, y en la época seca bien marcada (julio a septiembre) la precipitación promedio llega a 100 mm, con una temperatura promedio anual de 25°C.



Figura 1 – Ubicación del área de estudio, mostrando el mapa del Perú destacando la región de Madre de Dios en color verde



Fuente: Autores (2021)

En que: Madre de Dios con sus tres provincias destacando el área de estudio en la provincia de Tambopata y finalmente el fundo El Bosque con la dispersión de las especies de *Zanthoxylum rhoifolium*.

2.2 Inventario y colecta de las muestras

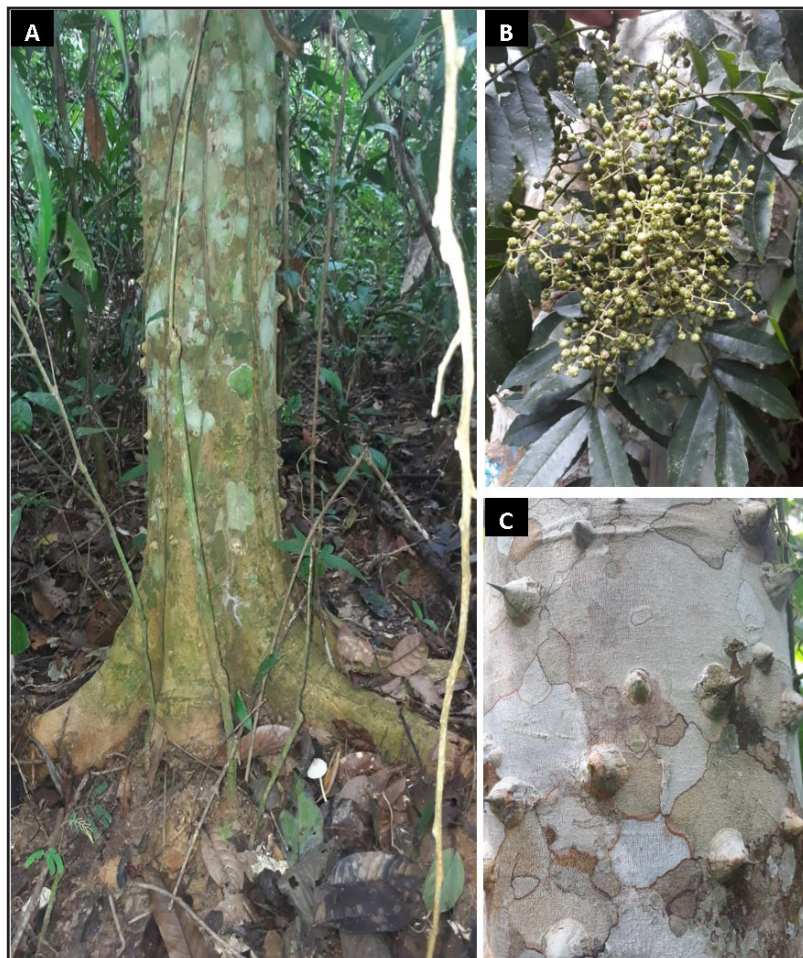
Se realizó un inventario en el fundo El Bosque de la UNAMAD, bosque descremado donde la distribución administrativa del área para investigación es de 27 bloques, se seleccionó una hectárea del cual se dividió en parcelas y se seleccionó una parcela donde se realizó el inventario de todos los árboles mayores a 10 cm de diámetro a la altura del pecho DAP, de la especie *Zanthoxylum rhoifolium* (Rutaceae), conocido localmente como limoncillo.



Una vez que se realizó el inventario de la parcela de los árboles de *Zanthoxylum rhoifolium*, se seleccionó 10 árboles (Tabla 1), y se colectaron, teniendo como criterio, que los árboles seleccionados tengan buenas características fitosanitarias, de fuste lo más recto y alto posible, teniendo en consideración las características morfológicas de la especie (PORTAL *et al.*, 2021). De los árboles seleccionados, se obtuvieron muestras botánicas (Figura 2), los cuales fueron identificados por un especialista en botánica.

Las muestras de los 10 árboles se colectaron por el método no destructivo con ayuda del Barreno o Sonsa de Pressler, con dimensiones de 5,1 x 400 mm (diámetro x largo) (BATIST; SCHÖNGART, 2018). Se colectaron cuatro muestras (radios) por árbol, en dirección corteza - médula, distanciadas a 90° y colectadas al nivel del Diámetro a la Altura del Pecho (DAP), del fuste de los árboles seleccionados, posteriormente los agujeros fueron preservados con una pasta cicatrizante y el agujero sellado con silicona.

Figura 2 – *Zanthoxylum rhoifolium*



Fuente: Autores (2021)

En que: A) Raíz y Tronco; B) Muestra botánica y fruto; C) Corteza externa con presencia de aguijones.



Después de obtener las muestras de leño de los árboles de *Zanthoxylum rhoifolium*, fueron acondicionados en tubos de plásticos (sorbetes grandes), las cuales fueron codificadas para su fácil distinción y diferenciación entre los árboles y finalmente estas fueron transportadas para el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, ubicada en la Planta Piloto de Tecnología de la Madera – UNAMAD.

Tabla 1 – Árboles seleccionados de la especie *Zanthoxylum rhoifolium* Lam., del fundo “El Bosque”, con las informaciones dasométricas y sus coordenadas

N°	COD	Nombre Científico	Circunferencia (cm)	Diámetro (cm)	Hc (m)	Ht (m)	Coordenadas	
							Este X	Norte Y
01	ZANR08	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	50.5	15.6	3.1	7	485020	8622028
02	ZANR19	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	61	18.4	3.2	10	485028	8622015
03	ZANR24	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	48	15.1	4	6	485019	8621996
04	ZANR31	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	70	21.55	4.5	9	485015	8621986
05	ZANR32	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	88	31.3	2	7	485014	8621993
06	ZANR50	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	71.4	21.85	5.5	12	485034	8621984
07	ZANR31	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	41	13	5	9	485015	8621986
08	ZANR29	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	38	12	4	9	485014	8621993
09	ZANR32	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	53	17	6	12	485008	8621984
10	ZANR30	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	57	18	4.5	8	485011	8621989

Fuente: Autores (2021)

En que: *Hc = Altura comercial; Ht = Altura total.

2.3 Análisis del potencial dendrocronológico

Las muestras obtenidas (radios) se secaron al aire libre para posteriormente colarlas en un soporte de madera, posteriormente fueron lijadas y pulidas con lijas de diferentes granulometrías (60-1200 granos/cm²), con la finalidad de poder visualizar mejor los anillos de crecimiento. Seguidamente se escanearon las muestras a una resolución de 1200 dpi. La caracterización de los anillos de crecimiento se realizó en base a lo estipulado en la Norma internacional (IAWA, 1989).



Paso seguido, las imágenes digitalizadas de las muestras de leño *Zanthoxylum rhoifolium* fueron medidas con el *Software Image Pro Plus*. Una vez finalizado el proceso de medición del ancho de los anillos de crecimiento de manera manual, se exportaron los valores obtenidos por cada árbol seleccionado hacia hojas de cálculo del programa *Microsoft Office Excel 2007*, con la finalidad de ordenarlos y analizarlos.

Luego de haber realizado mediciones de los anillos de crecimiento de la especie *Zanthoxylum rhoifolium*, se procedió a realizar el control de calidad y verificación de la sincronización de las series entre y dentro de los árboles mediante el programa COFECHA (HOLMES, 1983), para la construcción de las cronologías se utilizó el programa ARSTAN (MRWE Application Framework Copyright © 1997-2004) y se usó un spline cúbico flexible de 15 años con un corte de longitud de onda de 50% para eliminar las tendencias de crecimiento (HOLMES, 1983).

Para evaluar el crecimiento radial de los árboles de la especie *Zanthoxylum rhoifolium* se determinó el crecimiento en diámetro del tronco a partir "ICAD" Incremento Corriente Anual en Diámetro, el "IDA" Incremento Diametral acumulado y el IMAD Incremento Medio Anual en Diámetro. Después de determinar el ICA para cada año, se calculó el "IMA" Incremento Medio Anual (PORTAL *et al.*, 2020; PORTAL *et al.*, 2021).

Finalmente, la cronología master de la especie *Zanthoxylum rhoifolium*, fueron correlacionadas con los valores mensuales de temperatura y precipitación, que se obtuvo de la base del *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NCEP-NCAR Reanalysis); datos históricos de temperatura del aire y precipitación total (KALNAY *et al.*, 1996), también, se utilizó el KNMI Climate Explorer (<https://climexp.knmi.nl>) del Real Instituto Meteorológico de los Países Bajos para analizar la influencia de la temperatura de la superficie del mar SST con la cronología master a través de correlaciones espaciales HadISST1, con la finalidad de identificar qué regiones del océano afectan el crecimiento de los árboles (TROUET; VAN OLDENBORGH, 2013); dicho análisis se realizaron mensualmente y hasta en seis meses dado que el análisis es complejo y se trata de evitar errores en la respuesta del crecimiento y clima (ARAGÃO *et al.*, 2019; LAND *et al.*, 2017).



3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La especie *Zanthoxylum rhoifolium* está caracterizada anatómicamente en su sección transversal, por evidenciar anillos de crecimiento distintos a simple vista. El límite de los anillos de crecimiento está caracterizado por la variación de la densidad que se da por la variación en el espesor de la pared de las fibras, con el achatamiento radial de las fibras y mayor espesamiento de sus paredes, y una menor frecuencia de vasos, presentando por esto una coloración oscura, asociado en algunos casos con el parénquima marginal (Figura 3 A). En función a los anillos de crecimiento falsos de la especie *Zanthoxylum rhoifolium*, se caracterizó por presentar zonas fibrosas más tenues y discontinuas.

Se observó que los anillos de crecimiento de los diez árboles de *Zanthoxylum rhoifolium*, presentaron variaciones en el ancho de los anillos de crecimiento, caracterizados por secuencias de camadas anchas y estrechas, dentro de un mismo árbol, esto refleja que la especie tiene un factor limitante en su proceso de crecimiento (Figura 3 B). Por lo tanto *Zanthoxylum rhoifolium*, es sensible a las condiciones de crecimiento, así como climáticos y esto es importante en la dendrocronología tropical como demuestran otras investigaciones (LATORRACA *et al.*, 2015; VASCONCELLOS *et al.*, 2019).

En la literatura científica podemos encontrar diferentes descripciones sobre los anillos de crecimiento de la especie *Zanthoxylum rhoifolium*, como: poco distintos o apenas distinto (CURY, 2002; TOMAZELLO *et al.*, 2004), moderadamente distintos por la variación en el espesor de la pared de las fibras y el parénquima marginal (MARCELO-PEÑA *et al.*, 2020), distintos por parénquima marginal (VIEIRA *et al.*, 2019) y con potencial para estudios dendrocronológicos caracterizados por la variación en el espesor de la pared de las fibras y parénquima marginal (MENDIVELSO *et al.*, 2016), el tipo de marcación de los anillos de crecimiento para la especie coincide con la descripción realizada en la presente investigación resaltando que los anillos son distintos.



Sobre los anillos falsos que presenta la especie forestal *Zanthoxylum rhoifolium*, es normal que presente debido a que el clima de los bosques tropicales es cambiante y esto hace que el cambium pueda generar anillos falsos en el leño de las especies, pero con práctica y analizando a detalle se puede detectar con facilidad como otras investigaciones realizadas en la Amazonía que hablan de estos anillos falsos como por ejemplo en la especie *Hymenaea stigonocarpa*, *Jacaranda copaia* (GRANATO *et al.*, 2019; PORTAL *et al.*, 2020) que encontraron anillos falsos de tejido parenquimatoso y variación en el espesor de la pared de las fibras, de manera discontinuas y poco marcadas. Otro estudio de *Tectona grandis* en Brasil describió la presencia de anillos falsos en la albura y el duramen de esta especie y señala que existe mayor ocurrencia de anillos falsos en la región de la albura (OLIVEIRA, 2011). En otro estudio en Brasil se estudió a la especie *Schizolobium parahyba*, donde los autores señalan que la ocurrencia de anillos falsos se generan por la respuesta a condiciones ambientales con la formación de falsos anillos puede estar asociado al hecho que la especie es sensible a probables señales de eventos climáticos fuera de la época, además los autores señalan que para considerar una especie sensible a las variaciones ambientales, ellas deben poseer valor iguales o superiores a 0,40 (LATORRACA *et al.*, 2015) y en el caso de *Zanthoxylum rhoifolium*, la sensibilidad fue de 0,516 (Tabla 02).

Por medio del análisis e interpretación de los datos del ancho de los anillos de crecimiento de los 10 árboles de la especie *Zanthoxylum rhoifolium* Lam., realizado por el software COFECHA, fue posible sincronizar las series cronológicas. El resultado de la intercorrelación para cada individuo mostró valores por encima de 0,32 que establece el software COFECHA, lo que permitió un buen ajuste entre las series de los anillos de crecimiento de los árboles individuales.

Tabla 2 – Resultados del control de calidad de las medidas del ancho de los anillos de crecimiento de *Zanthoxylum rhoifolium*, ejecutado por el programa COFECHA

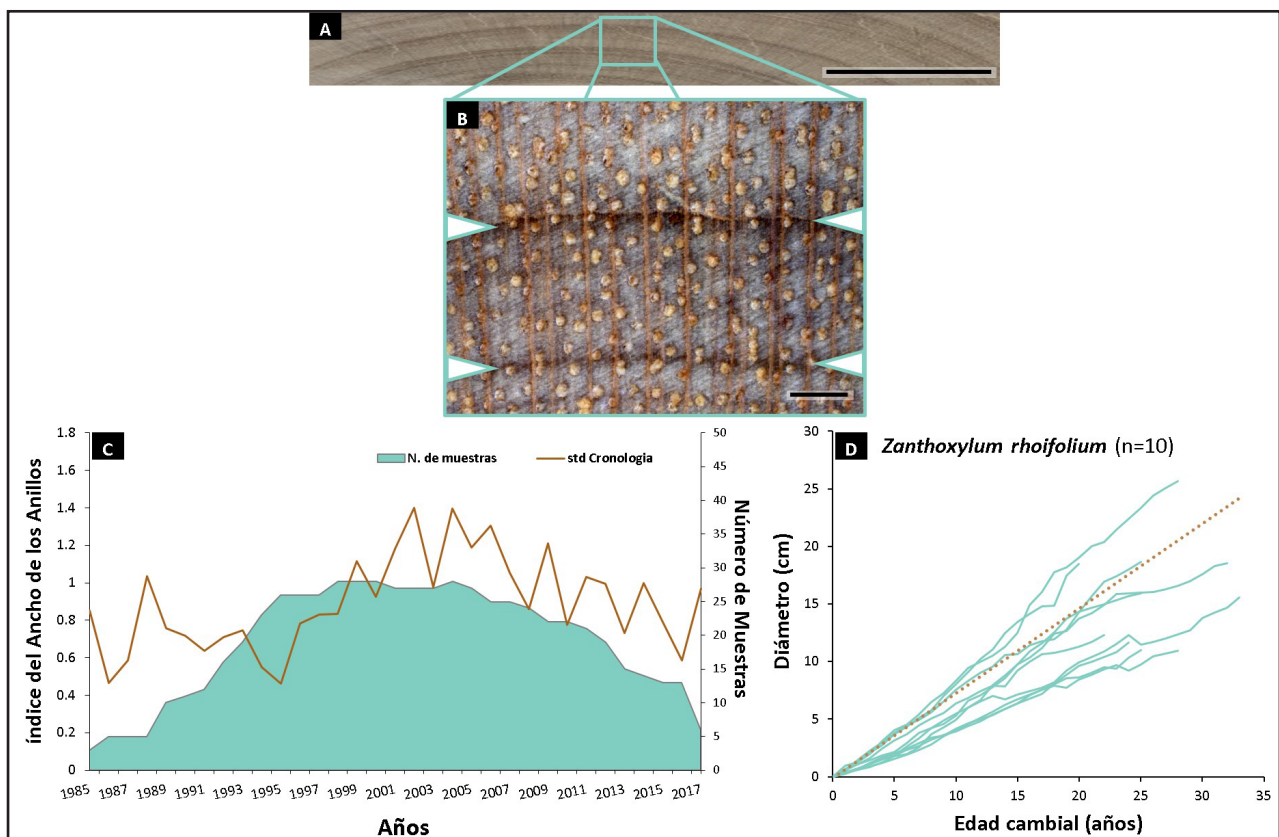
Especie	N° de árboles (series)		Promedio de intercorrelación	Promedio de sensibilidad	Cronología (intervalo)	Edad máxima
	Antes	Después				
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	10(40)	10(29)	0,425	0,516	1985-2017	32

Fuente: Autores (2021)



Sobre la Tabla 2, del control de calidad se puede observar que antes de dicho control se tenían 10 árboles con 40 muestras de madera y después del control de calidad las muestras disminuyeron hasta 29 muestras garantizando así la calidad de los datos. Además, en dicha tabla se comprueba que la edad máxima de los 10 árboles estudiados de *Zanthoxylum rhoifolium*, fue de 32 años y la edad varía de 23 a 32 años. La cronología producida presentó una intercorrelación de Pearson de 0,425, siendo este valor significativo. En cuanto a la sensibilidad promedio para la especie *Zanthoxylum rhoifolium* fue de 0.516. La serie master fue de 1985 - 2017 con 32 años (Figura 3 C, D).

Figura 3 – Anatomía, cronología y crecimiento de la especie *Zanthoxylum rhoifolium*



Fuente: Autores (2021)

En que: A) Muestra escaneada de la sección transversal obtenida con el barren de Pressler, barra de 50 mm; B) Sección transversal de *Zanthoxylum rhoifolium* Lam., con el límite de los anillos de crecimiento con triángulos blancos, barra de 500 µm; C) Serie cronológica master de los índices del ancho de los anillos de crecimiento de los 10 árboles de la especie *Zanthoxylum rhoifolium*, con el número de muestras de la especie; D) Trayectorias de crecimiento de la especie *Zanthoxylum rhoifolium* en un bosque húmedo tropical en Perú; *Cada línea turquesa representa la trayectoria de crecimiento de vida de un árbol individual; la línea naranja discontinua muestra el patrón de crecimiento promedio.



El crecimiento en diámetros encontrados de los diez árboles promedio, mínimo, y máximo fue de 0,66, 0,32 y 1,33 cm/año respectivamente. Sobre el crecimiento promedio anual de la especie *Z. rhoifolium*, no se tiene reportes al respecto, sin embargo, comparándola con una especie del mismo género (*Z. kellermanii*) y con la misma categoría diamétrica se observa que nuestros resultados son inferiores a 0,86 cm/año de *Z. kellermanii* (MANZANO *et al.*, 2016)

Mendivelso *et al.* (2016), en un estudio en los bosques neotropicales secos, señalan que la especie *Zanthoxylum rhoifolium*, se encuentran entre las 25 especies con potencial dendrocronológico en los bosques neotropicales secos por ser una especie caducifolia y semi caducifolia, además de la buena marcación de sus anillos de crecimiento y que en esta investigación se confirma que es una especie potencial para estudios no solo en los bosques secos sino también en los bosques de terraza alta de la región de Madre de Dios por presentar una intercorrelación de series dendrocronológica superior a 0,32.

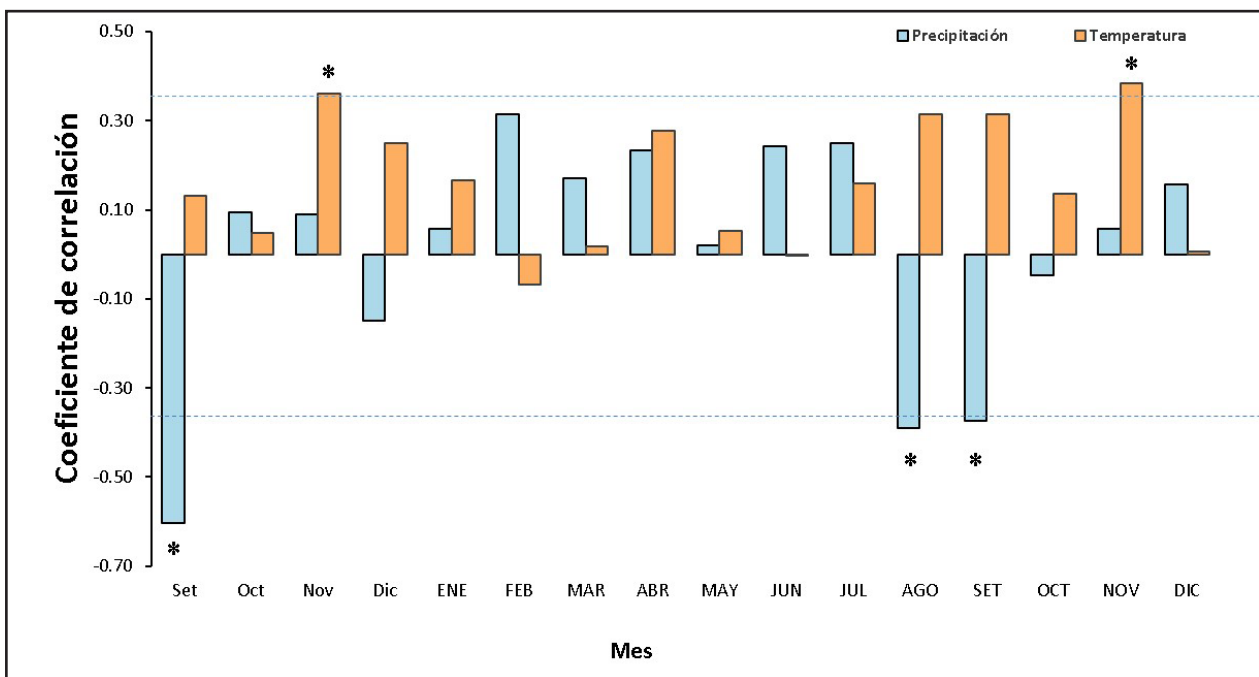
En un estudio en Brasil (Paraná), con la especie *Zanthoxylum rhoifolium*, donde estudiaron las características morfométricas y las dendrocronológicas (VANTROBA *et al.*, 2020), encontraron que la intercorrelación de los anillos de crecimientos de diez árboles de *Zanthoxylum rhoifolium* fue de 0,32 y su sensibilidad promedio de 0,435, ósea que estuvo en el límite del índice aceptable para especies tropicales. Mientras que en la presente investigación con el mismo número de árboles se llegó a una intercorrelación de 0,425 y sobre la sensibilidad resultados son un poco más altos; esta diferencia en la intercorrelación de las especies, podría deberse a que los autores colectaron solo dos muestras por árbol, teniendo pocas posibilidades de correlacionar dentro y entre los árboles, limitados por las pocas muestras por árbol.

El crecimiento en diámetro de los 10 árboles de la especie *Zanthoxylum rhoifolium*, estuvieron influenciados por el clima local de la zona de estudios, principalmente la influencia de las variaciones de la temperatura y precipitación (Figura 4). Los árboles de *Zanthoxylum rhoifolium* presentaron correlaciones positivas y significativas entre la



cronología y la temperatura, en los meses de noviembre ($r=0,36$; $p<0,05$) del año previo y en el mes de noviembre ($r=0,38$; $p<0,05$) del año corriente. Por otra parte, existió correlación negativa y significativa entre la cronología y la precipitación, en los meses de setiembre ($r=-0,60$; $p<0,05$) del año previo, agosto ($r=-0,39$; $p<0,05$) y setiembre ($r=-0,37$; $p<0,05$) del año corriente.

Figura 4 – Coeficientes de correlación climática durante el período 1985-2017 para la cronología master de la especie *Zanthoxylum rhoifolium*,



Fuente: Autores (2021)

En que: Las líneas horizontales discontinuas representan el umbral de significación ($p < 0,05$); (*) indica una correlación significativa en la variación del crecimiento influenciada por la variable climática (precipitación y temperatura) en la especie; Letras minúsculas para el año anterior; Letras mayúsculas para el año actual, para las condiciones de precipitación y temperatura

Otros estudios realizados en América del Sur en temas de dendrocronología mostraron también que la precipitación es un factor limitante en el crecimiento de las especies forestales nativas (LATORRACA *et al.*, 2015; OLIVEIRA, 2011).

Rubio (2016), en su tesis de maestría realizado en España con *Pinus pinaster*, concluyó que en el desarrollo diametral influyen las precipitaciones anteriores al



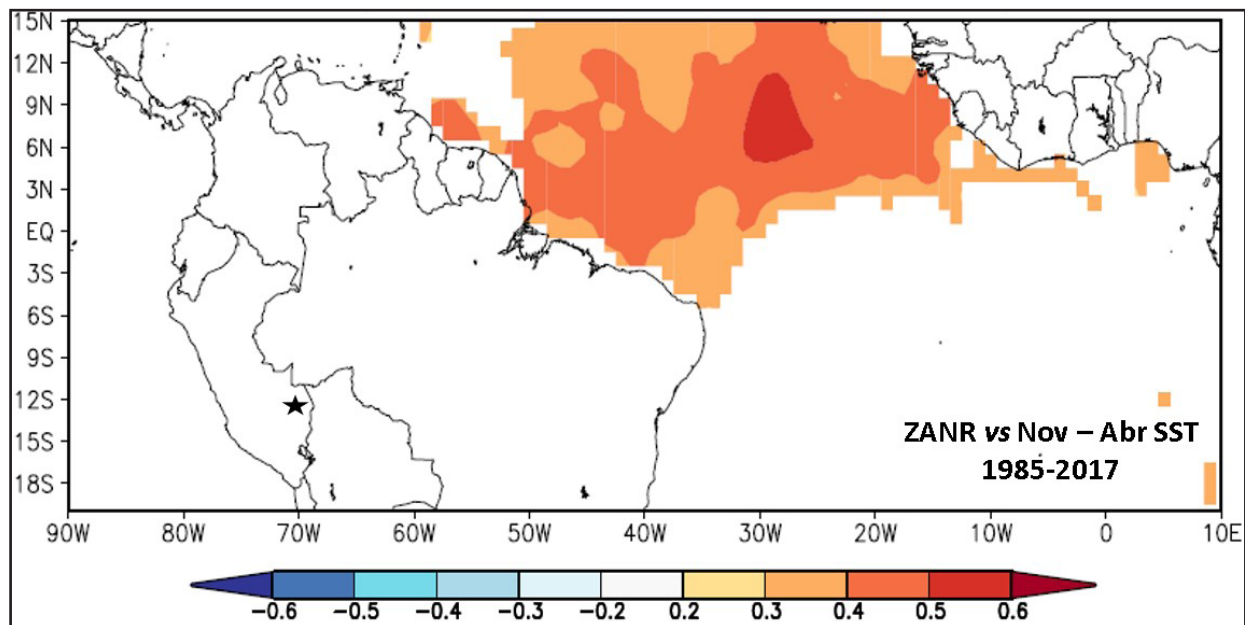
inicio del crecimiento y las que se dan durante el mismo hasta el mes de julio, y las temperaturas del mismo periodo más septiembre (mes en el que se puede retomar el crecimiento de la madera tardía); este aspecto de que el clima del anterior y el clima año corriente influyen directamente en el crecimiento de la especie *Zanthoxylum rhoifolium*, es lo que se puede observar (Figura 4) y que la especie en estudio no se comporta igual cada periodo anual de crecimiento, puesto que está influenciado por el clima.

Un estudio en Brasil (Paraná), con la especie *Zanthoxylum rhoifolium*, encontró que cuando existe mayor precipitación media mensual en un año, trae por consecuencia mayor saturación hídrica del suelo puede no ayudar al crecimiento de la especie y mientras que cuando existen años con baja precipitación la especie tuvo mayor crecimiento (VANTROBA *et al.*, 2020); en otro estudio en Brasil (Rio Grande do Sul), relacionando los factores climáticos y el incremento en diámetro de dos especies del género *Zanthoxylum* entre ellas *Zanthoxylum rhoifolium*, mostró que la precipitación, temperatura, y el índice de evapotranspiración no pudo explicar las variaciones encontradas con el incremento radial de estas dos especies, donde solamente el balance hídrico dio resultado significativo positivos (NUTTO; WATZLAWICK, 2002), todo ello puede explicar porque en este estudio la precipitación fue correlación significativa pero de manera negativa.

En la Figura 5, se muestra el mapa del patrón de correlación espacial entre la cronología master de *Zanthoxylum rhoifolium* y la temperatura de la superficie del mar SST, mostrando que el crecimiento de la especie se correlaciona positivamente con el Atlántico Sur Tropical del año corriente, obteniendo correlaciones más fuertes en los meses de noviembre a abril (semestre), coincidiendo con el periodo lluvioso en la región de Madre de Dios, la cronología master de *Zanthoxylum rhoifolium*, captura la variabilidad de las temperaturas del océano Atlántico.



Figura 5 – Patrones de correlación espacial entre la cronología master de la especie *Zanthoxylum rhoifolium* y la temperatura semestral (noviembre a abril) de la superficie del mar SST en el océano Atlántico, para el periodo de 1985-2017



Fuente: Autores (2021)

En que: *El área de colecta se indica con una estrella negra, los colores indican los coeficientes de correlación de Pearson; Las correlaciones se calcularon con la ayuda de KNMI Climate Explorer (<https://climexp.knmi.nl>).

Diversos estudios sobre la relación de la cronología de los árboles y la temperatura de la superficie del mar SST han demostrado que existe correlación entre ella, de manera positivas o negativas, en América del Sur las temperaturas del Océano Pacífico y Atlántico pueden influir, como en Minas Gerais en el Brasil donde se estudió la especie *Hymenaea stigonocarpa*, donde los autores encontraron correlaciones positivas y significativas con el SSTs en el año corriente (GRANATO *et al.*, 2019); otro estudio sobre anillos de crecimiento en el Brasil (Sergipe), mostró que las especies se correlacionan con el Atlántico Sur Tropical o Ecuatorial Sur del Pacífico Tropical y en la época de lluvias de ese bioma de la Caatinga (ARAGÃO *et al.*, 2019), por último, en un estudio en Perú (Junín) con la especie *Cedrela nebulosa*, los autores al analizar los anillos de crecimiento encontraron correlaciones positivas con SST, principalmente con las variaciones del Océano Pacífico tropical (LAYME *et al.*, 2018); esto corrobora



nuestros resultados con *Zanthoxylum rhoifolium*, que se puede explicar porque a mayor temperatura de la superficie del mar del Atlántico trae evaporación del agua, toda esa humedad es llevado por los vientos al continente y mediante la evapotranspiración de los árboles generan núcleos de condensación de nubes, este fenómeno llamado ríos voladores puede explicar claramente la relación de los océanos con los árboles.

4 CONCLUSIÓN

Concluimos que la especie *Zanthoxylum rhoifolium*, en el bosque húmedo tropical de Madre de Dios en la Amazonía peruana, forma anillo de crecimiento anuales y que estos anillos presentan potencial para estudios dendrocronológicos, que pueda ayudar al manejo forestal de la especie.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios – UNAMAD, por las facilidades en las colectas de las muestras y disponibilidad de sus laboratorios. Al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo -PRONABEC (Beca Presidente de la República), por el apoyo en los estudios de posgrado.

REFERENCIAS

- ARAGÃO, J. R.; GROENENDIJK, P.; LISI, C. Dendrochronological potential of four neotropical dry-forest tree species: Climate-growth correlations in northeast Brazil. **Dendrochronologia**, [s.l.] v. 53, p. 5-16. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.10.011>. 2019.
- BATISTA, E.; SCHÖNGART, J. Dendroecology of *Macrolobium acaciifolium* (Fabaceae) in Central Amazonian floodplain forests. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 48, n. 4, p. 311-320. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201800302>. 2018.
- BAUER, D.; SCHMITT, J. L.; OLIVEIRA, J. M. Xylem growth rings and leaf phenological patterns in tree species of a subtropical seasonal forest. **Acta Botanica Brasilica**, [s.l.], v. 34, n. 4, p. 680-693. <https://doi.org/10.1590/0102-33062019abb0395>. 2020.
- COSTA, C. da; MARTINS-DA-SILVA, R.; MACIEIRA, A. P.; CARVALHO, L. T. de; GOMES, J. I.; MARGALHO, L. F. M. Conhecendo Espécies de Planta da Amazônia: Tamanqueira (*Zanthoxylum rhoifolium* Lam. – Rutaceae). En Comunicado Técnico, 249 (p. 05). **EMPBRAPA**. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/996207/1/COM249.pdf>. 2014.



CURY, G. **Descrição da estrutura anatômica do lenho e sua aplicação na identificação de espécies arbóreas do cerrado e da Mata Atlântica do Estado de São Paulo**. Mestrado em Recursos Florestais, Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/D.11.2002.tde-23102002-145402>. 2002.

GRANATO, D.; BARBOSA, A.; FERREIRA, H. Drivers of growth variability of *Hymenaea stigonocarpa*, a widely distributed tree species in the Brazilian Cerrado. **Dendrochronologia**, [s.l.] v. 53, p. 73-81. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.12.001>. 2019.

GROENENDIJK, P.; SASS-KLAASSEN, U.; BONGERS, F.; ZUIDEMA, P. A. Potential of tree-ring analysis in a wet tropical forest: A case study on 22 commercial tree species in Central Africa. **Forest Ecology and Management**, [s.l.], v. 323, p. 65-78. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.03.037>. 2014.

HOLDRIDGE, L. **Ecología basada en zonas de vida**. Traducción del inglés por Humberto Jiménez Saa. (Primera edición). 1982.

HOLMES, R. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. **Tree-ring** bulletin, 11. 1983.

IAWA. COMMITTEE. **List of microscopic features of hardwood identification**. Netherlands: IAWA Bulletin, 3 ed. 1989, 332 p. 116p.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; ZHU, Y.; LEETMAA, A.; REYNOLDS, R.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; HIGGINS, W.; JANOWIAK, J.; MO, K. C.; ROPELEWSKI, C.; JOSEPH, D. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, n. 3, p. 437-471. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2). 1996.

LAND, A.; REMMELE, S.; SCHÖNBEIN, J.; KÜPPERS, M.; ZIMMERMANN, R. Climate-growth analysis using long-term daily-resolved station records with focus on the effect of heavy precipitation events. **Dendrochronologia**, [s.l.], v. 45, p. 156-164. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.08.005>. 2017.

LATORRACA, J. V.; SOUZA, M. T.; SILVA, L. D. S. A. de; RAMOS, L. M. A. Dendrocronologia de árvores de *Schizolobium parahyba* (Vell.) S. F. Blake de ocorrência na Rebio de Tinguá-RJ. **Revista Árvore**, [s.l.], v. 39, n. 2, p. 385-394. <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000200018>. 2015.

LAYME, E. T.; FERRERO, M. E.; PALACIOS-LAZARO, K. S.; REQUENA-ROJAS, E. J. *Cedrela nebulosa*: A novel species for dendroclimatological studies in the montane tropics of South America. **Dendrochronologia**, [s.l.], v. 50, p. 105-112. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.06.004>. 2018.

MANZANO, F. *et al.* Crecimiento en diámetro de *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson en una selva perennifolia del norte de Oaxaca, México. **Madera y Bosques**, v. 16, n. 2, p. 19, 2016.

MARCELO-PEÑA, J.; ROIG, F.; GOODWIN, Z.; TOMAZELLO, M. Characterizing growth rings in the trees of Perú: A wood anatomical overview for potential applications in dendroecological-related fields. **Dendrochronologia**, [s.l.], 125728. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2020.125728>. 2020.



MENDIVELSO, H. A.; CAMARERO, J. J.; GUTIÉRREZ, E. Dendrochronology in neotropical dry forests: Methods, advances and applications. **Ecosistemas**, [s.l.], v. 25, n. 2, p. 66-75. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-2.08>. 2016.

NUTTO, L.; WATZLAWICK, L. F. Relações entre fatores climáticos e incremento em diâmetro de *Zanthoxylum rhoifolia* Lam. e *Zanthoxylum hyemale* St. Hil. na região de Santa Maria, RS. **Bol. Pesq. Fl.**, Colombo, v. 45, p. 41-55, 2002.

OLIVEIRA, B. **Dendrocronologia e análise da variação radial da densidade do lenho de árvores de *Tectona grandis* L.f., do município de Cáceres, MT. Seropédica RJ - Brasil.** Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

PORTAL, L. A.; HUAMÁN, B. A.; MAMANI, E. M.; PALERMO, P. de M.; LATORRACA, J. V. Dendrochronology of two forest species in the urban area of the city of Puerto Maldonado, Peru. **Floresta**, v. 51, n. 3, p. 10. <https://doi.org/10.5380/rf.v51i3.72410>. 2021.

PORTAL, L.; CARDOZO, J.; SANTOS, L.; SAAVEDRA, G.; HUAMÁN, B. Dendrocronología de *Jacaranda copaia* que contiene registro enso en Madre de Dios, Perú. **Nativa**, [s.l.], v. 8, n. 4, p. 572-578. <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i4.10082>. 2020.

REIS-AVILA, G.; OLIVEIRA, J. M. Lauraceae: A promising family for the advance of neotropical dendrochronology. **Dendrocronologia**, [s.l.], v. 44, p. 103-116. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.04.002>. 2017.

ROZENDAAL, D. M.; ZUIDEMA, P. A. Dendroecology in the tropics: A review. **Trees**, [s.l.], v. 25, n. 1, p. 3-16. <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0480-3>. 2011.

RUBIO, A. **Estudio del crecimiento y su relación con el clima en *Pinus pinaster* comparando las técnicas clásicas empleadas en dendrocronología con las multivariantes.** [Universidad de Salamanca]. https://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/135564/1/TFM_MAADM_Rubio_Cuadrado_Alvaro.pdf. 2016.

SCHÖNGART, J.; BRÄUNING, A.; BARBOSA, A.; LISI, C.; DE OLIVEIRA, J. **Dendroecological Studies in the Neotropics: History, Status and Future Challenges.** 2017. En M. Amoroso, L. Daniels, P. Baker; J. Camarero (Eds.), *Dendroecology* (Vol. 231, pp. 35-73). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61669-8_3. 2017.

TABORDA, M. E.; SUAREZ, L. E. Un nuevo alcaloide carbozólico de *Zanthoxylum rhoifolium*. **Scientia et Technica**, [s.l.], Año XIII, 33, 2. 2007.

TOMAZELLO, M.; LISI, C. S.; HANSEN, N.; CURY, G. Características anatômicas das zonas de incremento do lenho de diferentes espécies arbóreas do Estado de São Paulo, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 66, p. 46-55, 2004.

TROUET, V.; VAN OLDENBORGH, G. KNMI Climate Explorer: A Web-Based Research Tool for High-Resolution Paleoclimatology. **Tree-Ring Research**, v. 69, n. 1, p. 3-13. <https://doi.org/10.3959/1536-1098-69.1.3>. 2013.

VANTROBA, A. P.; BERTOLINI, I. C.; SENS, T. M. Z. G.; WATZLAWICK, L. F.; SCHRAN, J. A.; PEDROSO, B. C. Características morfológicas e dendrocronológicas de *Zanthoxylum rhoifolium* Lam. em fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 48, n. 127, e3338, p. 1-12. <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n127.10>. 2020.



VASCONCELLOS, T., TOMAZELLO, M.; CALLADO, C. H. Dendrochronology and dendroclimatology of *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna (Malvaceae) exposed to urban pollution in Rio de Janeiro city, Brazil. **Dendrochronologia**, [s.l.], v. 53, p. 104-113. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.12.004>. 2019.

VIEIRA, H. C.; RIOS, P. D.; SANTOS, T. M; CUNHA, A. B. D.; BRAND, M. A.; DANIELLI, D., FLOREZ, J. B.; STANGE, R.; BUSS, R.; HIGUCHI, P. Agrupamento e caracterização anatômica da madeira de espécies nativas da Floresta Ombrófila Mista. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, 70, e04382017. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201970038>. 2019.

WORBES, M. One hundred years of tree-ring research in the tropics – a brief history and an outlook to future challenges. **Dendrochronologia**, [s.l.], v. 20, n. 1-2, p. 217-231. <https://doi.org/10.1078/1125-7865-00018>. 2002.

Contribución de los Autores

1 Leif Armando Portal-Cahuana

Doctor en Ciencias, Mención en Tecnología de Productos Forestales

<https://orcid.org/0000-0002-2717-4348> • leifportal@usp.br

Contribuição: Conceptualización, Investigación, Metodología, Administración del proyecto, Software, Supervisión, Validación, Verificación, Visualización, Redacción

2 Rolando Majeed Huamán-Guevara

Estudiante de Ingeniera Forestal y Medio Ambiente

<https://orcid.org/0000-0002-1966-4013> • majeck2000@gmail.com

Contribuição: Curación de datos, Metodología, Verificación, Visualización, Redacción

3 Héctor Cesar Colina-Nano

Ingeniero Forestal y Medio Ambiente

<https://orcid.org/0000-0001-5351-3262> • cesarcn03@gmail.com

Contribuição: Adquisición de fondos, Investigación, Metodología, Recursos, Supervisión, Validación, Redacción

Cómo citar este artículo

Portal-Cahuana, L. A.; Huamán-Guevara, R. M.; Colina-Nano, H. C. *Zanthoxylum rhoifolium* y su potencial para estudios dendrocronológicos en la Amazonía peruana. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 33, n. 1, e67592, p. 1-19, 2023. DOI 10.5902/1980509867592. Disponible en: <https://doi.org/10.5902/1980509867592>.