

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Influencia climática en las características de los
vasos de xilema en *Cedrela montana* Moritz ex
Turcz en un bosque nublado andino del Perú**

Tatiana Mariel Jaurapoma Condori

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

A : Dr. Felipe Néstor Gutarra Meza
Decano de la Facultad de Ingeniería

DE : Dr. Ernesto Chanes Rodríguez Ramírez
Asesor de tesis

ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

FECHA : 20 de Octubre de 2023

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "INFLUENCIA CLIMÁTICA EN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS VASOS DE XILEMA EN Cedrela montana Moritz ex Turcz EN UN BOSQUE NUBLADO ANDINO DEL PERÚ", perteneciente al/la/los/las estudiante(s) TATIANA MARIEL JAURAPOMA CONDORI, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 3 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

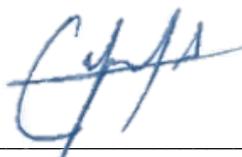
- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: 5) SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



Asesor de tesis

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Tatiana Mariel Jaurapoma Condori, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 73248836, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "INFLUENCIA CLIMÁTICA EN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS VASOS DE XILEMA EN *Cedrela montana* Moritz ex Turcz", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

12 de Octubre de 2023.



TATIANA MARIEL JAURAPOMA CONDORI

DNI. No. 73248836

INFLUENCIA CLIMÁTICA EN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS VASOS DE XILEMA EN *Cedrela montana* Moritz ex Turcz EN UN BOSQUE NUBLADO ANDINO DEL PERÚ

INFORME DE ORIGINALIDAD

3 %	%	3 %	%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

- 1** "Conociendo los componentes (fases) que sustentan el funcionamiento del modelo de gestión de calidad educativa en dos Jardines Infantiles de la Región Metropolitana", Pontificia Universidad Catolica de Chile, 2016
Publicación <1 %
- 2** José Luis Marcelo-Peña, Luiz Santini, Mario Tomazello Filho. "Wood anatomy and growth rate of seasonally dry tropical forest trees in the Marañón River Valley, northern Peru", *Dendrochronologia*, 2019
Publicación <1 %
- 3** Alexander Scholz, Anke Stein, Brendan Choat, Steven Jansen. "How drought and deciduousness shape xylem plasticity in three Costa Rican woody plant species", *IAWA Journal*, 2014
Publicación <1 %

- | | | |
|---|--|-----|
| 4 | Pablo Salazar Zarzosa, Glenda Mendieta-Leiva, Rafael M. Navarro-Cerrillo, Gastón Cruz, Nora Grados, Rafael Villar. "An ecological overview of <i>Prosopis pallida</i> , one of the most adapted dryland species to extreme climate events", <i>Journal of Arid Environments</i> , 2021
Publicación | <1% |
| 5 | Eliana Gómez-Robles, Héctor Acosta-Salmón, José M Mazón-Suástegui, Pedro E Saucedo. "Variaciones estacionales en el desempeño reproductivo y larvario de la concha nácar <i>Pteria sterna</i> asociadas con condiciones ambientales anómalas", <i>Ciencias Marinas</i> , 2023
Publicación | <1% |
| 6 | BISA INGENIERIA DE PROYECTOS S.A.. "Plan de Cierre de Minas Detallado para la Cantera Azul-IGA0014145", R.D. N° 352-2016-PRODUCE/DVMYPE-I/DIGGAM, 2021
Publicación | <1% |
| 7 | Ernesto Chanes Rodríguez-Ramírez, José Antonio Vázquez-García, Ignacio García-González, Othón Alcántara-Ayala et al. "Drought effects on the plasticity in vessel traits of two endemic <i>Magnolia</i> species in the tropical montane cloud forests of eastern Mexico", <i>Journal of Plant Ecology</i> , 2020 | <1% |

-
- 8** Antuanett N Silvia Zambrano, Esperanza R Ayón-Haro, Rocío del Pilar González Chávez. "El efecto del tiempo postexodoncia y la edad en la viabilidad celular total de la pulpa dental", Revista Odontológica Mexicana, 2022
Publicación <1%
-
- 9** "Diseño de una propuesta curricular integrada para una educación ambiental en colegio particular pagado de la comuna de Colina", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2016
Publicación <1%
-
- 10** J.L. Iglesias González, M.A. Gómez-Ríos, J.L. Poveda Marina, J.M. Calvo-Vecino. "Evaluación del videolaringoscopio Airtraq como dispositivo de rescate tras laringoscopia directa difícil", Revista Española de Anestesiología y Reanimación, 2018
Publicación <1%
-
- 11** "Encyclopedic Dictionary of Landscape and Urban Planning", Springer Science and Business Media LLC, 2010
Publicación <1%
-
- 12** E.T. Layme Huaman, M.E. Ferrero, K.S. Palacios Lazaro, E.J. Requena-Rojas. "Cedrela nebulosa : a novel species for dendroclimatological studies in the montane <1%

tropics of South America",
Dendrochronologia, 2018

Publicación

13 Marie Anne Macadar Moron. "Inclusão digital no Brasil: o processo de gestão de telecentros", Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestao da Informacao Academica (AGUIA), 2005 <1%

Publicación

14 Itallo Romany Nunes Menezes, José Roberto Vieira Aragão, Mariana Alves Pagotto, Claudio Sergio Lisi. "Teleconnections and edaphoclimatic effects on tree growth of Cedrela odorata L. in a seasonally dry tropical forest in Brazil", Dendrochronologia, 2022 <1%

Publicación

15 Granados, M.R., R.B. Thompson, M.D. Fernández, C. Martínez-Gaitán, and M. Gallardo. "Prescriptive–corrective nitrogen and irrigation management of fertigated and drip-irrigated vegetable crops using modeling and monitoring approaches", Agricultural Water Management, 2013. <1%

Publicación

16 "El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2021", Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2021 <1%

Publicación

17	<p>CESEL S A. "Tercer ITS para el Proyecto Enlace 500 kV Nueva Yanango - Nueva Huánuco y Subestaciones Asociadas - ITS N° 3 - YANA-IGA0016214", R.D. N° 00175-2021-SENACE-PE/DEIN, 2022</p> <p>Publicación</p>	<1 %
18	<p>Bruna Hornink. "Dendroclimatologia e dendroecologia de árvores de >i/i< L. da Amazônia oriental Brasileira", Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestao da Informacao Academica (AGUIA), 2022</p> <p>Publicación</p>	<1 %
19	<p>Martín E De La Cruz-Orozco, Eliana Gómez-Ocampo, Luis E Miranda-Bojórquez, Jushiro Cepeda-Morales et al. "Phytoplankton biomass and production off the Baja California Peninsula: 1997–2016", Ciencias Marinas, 2017</p> <p>Publicación</p>	<1 %
20	<p>Estefanía Mata Nicolás. "Utilización de una colección de germoplasma de tomate para la identificación de genes de interés", Universitat Politecnica de Valencia, 2021</p> <p>Publicación</p>	<1 %
21	<p>LINDA M. PITKIN. "Neotropical ennomine moths: a review of the genera (Lepidoptera: Geometridae)", Zoological Journal of the Linnean Society, 2002</p>	<1 %

22 M. Santana, J. Pina, G. Duarte, M. Neto, A. Machado, D. Dominguez-Ferraz. "Efectos de la Nintendo Wii sobre el estado cardiorrespiratorio de adultos mayores: ensayo clínico aleatorizado. Estudio piloto", *Fisioterapia*, 2016

Publicación

23 N Turyahabwe, M Tweheyo. "Does forest tenure influence forest vegetation characteristics? A comparative analysis of private, local and central government forest reserves in central Uganda", *International Forestry Review*, 2010

Publicación

24 Patricia Batista Grau. "Desarrollo de nanoestructuras de ZnO mediante anodizado electroquímico en diferentes condiciones para su aplicación en el área energética", *Universitat Politecnica de Valencia*, 2021

Publicación

25 Sergio Morell Monzó. "Desarrollo de procedimientos para la detección del abandono de cultivos de cítricos utilizando técnicas de teledetección", *Universitat Politecnica de Valencia*, 2023

Publicación

26	"Evaluación y monitoreo de estudiantes extranjeros en una escuela municipal de Santiago centro : proceso de validación de estudios.", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2020	<1 %
Publicación		
27	"Rol moderador de las funciones ejecutivas en la relación entre estrés e ingesta alimentaria en estudiantes universitarios", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2018	<1 %
Publicación		
28	"Sucesión forestal en microcuencas del sur de Chile : consecuencia de las perturbaciones en las funciones ecosistémicas y sistemas sociales", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2019	<1 %
Publicación		
29	L. YANEZ-ESPINOSA. "Integrated Analysis of Tropical Trees Growth: A Multivariate Approach", Annals of Botany, 06/21/2006	<1 %
Publicación		
30	Marta Gómez Ferrer. "Terapias innovadoras basadas en vesículas extracelulares derivadas de células madre mesenquimales modificadas genéticamente", Universitat Politècnica de Valencia, 2022	<1 %
Publicación		

- 31 Paola Lopez Mora, Ana Lopez Gutierrez, Marta Marulanda-Angel. "Estandarización de la extracción de adn genómico en Tabebuia rosea (Bertol.) DC. y Cordia alliodora (Ruiz y Pav.) Okén", Temas Agrarios, 2011
Publicación <1%
-
- 32 del Castillo, R.F.. "Pinus chiapensis, a keystone species: Genetics, ecology, and conservation", Forest Ecology and Management, 20090510
Publicación <1%
-
- 33 Manuel Moyano, Humberto M. Trujillo. "Intention of activism and radicalism among Muslim and Christian youth in a marginal neighbourhood in a Spanish city / Intención de activismo y radicalismo de jóvenes musulmanes y cristianos residentes en un barrio marginal de una ciudad española", Revista de Psicología Social, 2014
Publicación <1%
-
- 34 Stephanie Aracena, Marco Barboza, Victor Zamora, Oswaldo Salaverry, Doreen Montag. "Health system adaptation to climate change: a Peruvian case study", Health Policy and Planning, 2020
Publicación <1%
-
- 35 Ángel Valentín Mercedes García. "Metodología de análisis para la mejora de los indicadores de sostenibilidad en las redes de <1%

distribución presurizadas mediante el uso de sistemas híbridos", Universitat Politècnica de València, 2023

Publicación

36 Sara González Orenga. "Mecanismos de tolerancia a estrés salino e hídrico en plantas endémicas, raras o amenazadas.", Universitat Politècnica de València, 2021

Publicación

<1%

37 CESEL S A. "EIA-D del Proyecto Enlace 500 kV Nueva Yanango - Nueva Huánuco y Subestaciones Asociadas-IGA0011521", R.D. N° 00085-2020-SENACE-PE/DEIN, 2021

Publicación

<1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 5 words

Excluir bibliografía

Apagado

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios interno, por enseñarme y darme la oportunidad de seguir aprendiendo y de servir a la vida.

A mis padres.

Al proyecto 039-2019 FONDECYT por financiar este tipo de investigaciones y al equipo que hicieron posible la culminación de la tesis.

Al Dr. Ernesto, por asesorarme y ser muy paciente para culminar este trabajo.

A Fressia Ames y Anthony Guerra por su apoyo en la ejecución de esta investigación.

A Saida Paraguay por su compañía durante este proceso.

DEDICATORIA

A los árboles por sustentar la vida de muchas formas.

A mi madre, por ser ejemplo de vida.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	xiii
DEDICATORIA	xiv
ÍNDICE DE CONTENIDO	xv
ÍNDICE DE TABLAS	xviii
ÍNDICE DE FIGURAS	xix
RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxi
INTRODUCCIÓN	xxii
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema	1
1.1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.2. Formulación del problema	5
1.2. Objetivos	6
1.2.1. Objetivo general	6
1.2.2. Objetivos específicos	6
1.3. Justificación e importancia	6
1.4. Hipótesis y descripción de variables	7
1.4.1. Hipótesis	7
1.4.2. Variables	7
1.4.3. Matriz de operacionalización	9
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes de la investigación	11
2.2. Bases teóricas.	13
2.2.1. Dendrocronología	13
2.2.2. Dendroclimatología	17
2.2.3. Dendroecología	19
2.2.4. Los bosques nublados andinos	21
2.2.5. <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz	27
2.3. Definición de términos básicos	33
2.3.1. Anillos de crecimiento:	33
2.3.2. Corteza:	34
2.3.3. Albura y duramen	34
2.3.4. Leño temprano:	34
2.3.5. Leño tardío:	35
2.3.6. Xilema:	35

2.3.7.	Cambio vascular:	35
2.3.8.	Poros:	35
2.3.9.	Vasos de xilema:	35
2.3.10.	Potencial de evapotranspiración:	36
2.3.11.	PDSI (Palmer Drought Southern Index):	36
2.3.12.	ENSO (El Niño Southern Oscillation):	36
2.3.13.	Tilosis o tñlide:	38
CAPÍTULO III METODOLOGÍA		39
3.1.	Método, y alcance de la investigación	39
3.1.1.	Método de la investigación	39
3.1.2.	Alcances de la investigación	39
3.2.	Diseño de la investigación	40
3.2.1.	Tipo de diseño de investigación	40
3.3.	Población y muestra	40
3.3.1.	Población	40
3.3.2.	Muestra	40
3.4.	Área de estudio:	40
3.4.1.	Localización:	40
3.4.2.	Clima:	42
3.4.3.	Composición florística y estructura de la vegetación:	43
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	43
3.5.1.	Técnica de recolección de datos	43
3.5.2.	Instrumentos de recolección de datos	47
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN		49
4.1.	Resultados	49
4.1.1.	Diferencia del índice de ancho de anillo (RWI) durante eventos de sequía y no sequía:	49
4.1.2.	Relación entre el potencial de evapotranspiración (PET), El Niño Southern Oscillation (ENSO) y Palmer Drought Severity Index (PDSI) con el Índice de ancho de anillo de <i>Cedrela montana</i> .	51
4.1.3.	Características presentes en los rasgos anatómicos de los vasos de xilema (diámetro, densidad e índice de vulnerabilidad) durante eventos específicos de sequía y no sequía en <i>Cedrela montana</i> .	53
4.2.	Discusión de resultados	59
CONCLUSIONES		63
RECOMENDACIONES		64

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXOS	76
ANEXO 01: Matriz de Consistencia	76
ANEXO 02: Extracción de datos de evapotranspiración con el programa Rstudio	78
ANEXO 03: Digitalización de los vasos de <i>C. montana</i>	79
ANEXO 04: Medición de rasgos anatómicos de los vasos de <i>Cedrela montana</i> con el programa ImageJ.	80
ANEXO 05: Uso del programa SigmaPlot para análisis estadístico de la relación de los rasgos anatómicos de <i>Cedrela montana</i> en Años Secos y No Secos.	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de Operacionalización	9
Tabla 2. Ecotonos con BNA.....	25
Tabla 3: Especie relicto-endémicas del BNA	26
Tabla 4. Correlación entre hábitat y su influencia en los vasos	33
Tabla 5: Obtenidos de ^C : COFECHA, ^R : Rstudio.....	50
Tabla 6. Valores estadísticos de los caracteres de los vasos de <i>Cedrela montana</i> para años secos y años no secos.....	55
Tabla 7: Valores estadísticos de los diagramas de cajas para categorías de años secos	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Cobertura Vegetal del Perú.....	3
Figura 2. Bosque Nublado Andino (BNA) en el Perú.....	4
Figura 3: Niveles del bosque.....	21
Figura 4: Ecotono.....	21
Figura 5: Bosque Nublado Andino.	24
Figura 6. Hojas de <i>Cedrela montana</i>	29
Figura 7. Flor de <i>Cedrela montana</i>	29
Figura 8. Fruto de <i>Cedrela montana</i>	30
Figura 9. Muestra de madera de <i>Cedrela montana</i> a una escala de 1 mm.; A: duramen y B: albura, a: madera temprana y b: madera tardía.	31
Figura 10. Anillos bien delimitados con presencia de poros paralelos a la banda marginal de parénquima de <i>Cedrela montana</i>	31
Figura 11. Anillos claramente visibles, con poros solitarios y agrupados.	32
Figura 12. Anillos de crecimiento y factores limitantes externos.	33
Figura 13. Albura y duramen.	34
Figura 14. El Niño Southern Oscillation.....	37
Figura 15: Anomalías de temperatura y precipitación por teleconexiones por El Niño	38
Figura 16: Mapa de localización de la comunidad nativa Shaani	41
Figura 17: Evapotranspiración promedio mensual de Shaani.	42
Figura 18: Climograma de Walter Lieth, T= Temperatura promedio, P= Precipitación promedio anual.	42
Figura 19. Procedimiento que se realizó en este trabajo	43
Figura 20: Captura de un anillo de crecimiento de <i>Cedrela montana</i> , conformado por Pr: parénquima, Vs: vasos de xilema que a veces está cubierto por Ti: tilosa, Ra: radios que son bandas perpendiculares a las Pr.....	46
Figura 21: Cronología residual de <i>Cedrela montana</i>	50
Figura 22. Índice de ancho de anillo en años secos y no secos.	51
Figura 23. Correlación de Pearson (r) del índice de ancho de anillo (RWI) con PET, PDSI y El Niño (ENSO). Las abreviaturas de los meses en minúscula corresponden al año anterior (inicio de formación de los anillos) y las abreviaturas en mayúscula corresponden al año actual.....	52
Figura 24. Rasgos anatómicos de los vasos de <i>Cedrela montana</i> en años secos y no secos. El test de normalidad que se usó fue el de Kruskal-Wallis, posteriormente la prueba post-hoc Tukey	54
Figura 25: Rasgos anatómicos de los vasos de <i>Cedrela montana</i> en años secos. Se usaron dos tipos de test estadístico, el de Kruskal-Wallis y Brown Forsythe, posteriormente la prueba post-hoc Tukey.....	57

RESUMEN

El presente trabajo de investigación: Influencia climática en las características de los vasos de xilema en *Cedrela montana* Moritz ex Turcz en un Bosque Nublado Andino (BNA) del Perú, tiene como objetivo evaluar la adaptación anatómica de la madera de *C. montana* ante eventos de sequía específicos, porque los vasos de xilema son muy importantes para la conducción hidráulica y por ende, para la supervivencia de los árboles. La hipótesis fue que los eventos específicos de sequía y no sequía influyen en el ancho de anillos y en los rasgos anatómicos de los vasos de xilema de *C. montana* en un BNA de la comunidad nativa de Shaani de la región Ucayali.

Para este estudio se muestrearon 16 árboles de la especie *C. montana*, dos de cada árbol, obteniéndose un total de 32. La serie maestra abarca 29 años ($r = 0.468$) desde 1980 hasta 2008, este periodo presenta años históricos de sequía que son de interés para la presente investigación. Asimismo, presenta un EPS = 0.713 y Rbar = 0.184 y una correlación de 0.468. La correlación entre el índice de ancho de anillo (RWI) y la evapotranspiración potencial no fueron significativas para ningún año, sin embargo, para ENSO (Niño 3.4 Index) se obtuvieron correlaciones negativas, y para PDSI, se obtuvo una correlación de $r = -0.4$ para el mes de junio pasado desde el año 1984 al 2008. La correlación de los caracteres de los vasos para años secos y no secos no presenta diferencias significativas, sin embargo, podemos destacar que la especie presenta un mayor diámetro de vasos y número de vasos para años secos en comparación con años no secos, sin embargo, el índice de vulnerabilidad fue mayor para años no secos, es decir, la especie es másica. Finalmente, se concluye que la especie *C. montana* se adapta ante eventos de sequía, presenta mayor número de vasos para aumentar la seguridad hídrica y un mayor diámetro para la eficiencia de conducción hidráulica.

Palabras clave: dendrocronología, dendroclimatología, dendroecología, Bosque Nublado Andino, *Cedrela montana*, anillos de crecimiento, vasos.

ABSTRACT

The present research work: Climatic influence on the characteristics of the xylem vessels in *Cedrela montana* Moritz ex Turcz in an Andean cloud forest of Peru, aims to evaluate the anatomical adaptation of *C. montana* wood to specific drought events, because the xylem vessels are very important for hydraulic conduction and therefore, for the survival of the trees. We hypothesized that specific drought and non-drought events influence ring width and anatomical features of *Cedrela montana* xylem vessels in an Andean Cloud Forest of the Shaani native community of the Ucayali region.

For this study, 16 trees of the *C. montana* species were sampled, two from each tree, obtaining a total of 32 samples. The master series covers 29 years ($r = 0.468$) from 1980 to 2008, this period presents historical years of drought that are of interest for the present investigation, it also presents an EPS = 0.713 and Rbar = 0.184 and an correlation of 0.468. The correlation between the ring width index (RWI) and potential evapotranspiration were not significant for any year, however, for ENSO (Niño 3.4 Index) negative correlations were obtained, and for PDSI, a correlation of $r = -0.4$ was obtained for the month of June from 1984 to 2008. The correlation of the characters of the vessels for dry and non-dry years does not present significant differences, however, we can highlight that the species presents a greater diameter of vessels and number of vessels for dry years compared to non-dry years, however, the vulnerability index was higher for non-dry years, that is, the species is mesic. Finally, it is concluded that the species *C. montana* adapts to drought events, presents a greater number of vessels to increase water security and a greater diameter for the efficiency of hydraulic conduction.

Keywords: dendrochronology, dendroclimatology, dendroecology, Andean Cloud Forest, *Cedrela montana*, growth rings, vessels.

INTRODUCCIÓN

La dendrocronología es una ciencia antigua que data los anillos de árboles, estos registran todos los eventos o fenómenos de su entorno a lo largo de sus vidas. En sus inicios, la dendrocronología se enfocaba en especies leñosas de regiones templadas y frías. En 1927, Charles Coster publica una tesis sobre anillos de crecimiento en los trópicos, no había información sobre árboles tropicales, la investigación de estos tomaría años, por la periodicidad de sus hojas y actividad cambial (1). En América del Sur, las regiones tropicales, tienen estaciones marcadas de precipitación y de sequía lo que resulta en la formación de anillos de crecimiento anual (2). Asimismo, se observa los cambios en su estructura anatómica de la madera. En este trabajo de investigación se aplica los conocimientos de la dendrocronología en árboles de *Cedrela montana* Moritz ex Turcz de un Bosque Nublado Andino (BNA) en la comunidad nativa de Shaani, región Ucayali, Perú para analizar la respuesta adaptativa de esta especie ante eventos extremos de sequía en años puntuales, analizados en el ancho de anillos y en los rasgos anatómicos de sus vasos de xilema.

En el primer capítulo, se realiza el planteamiento y formulación del problema, se explica la importancia de los árboles como almacén de información climática de muchos años, y cómo la dendrocronología es una herramienta eficaz para interpretar registros climáticos en los anillos de los árboles, además se describe el BNA en el Perú, lugar que alberga a *C. montana*, especie vulnerable al cambio climático porque depende de la precipitación y de la intercepción de agua a través de las nubes. Asimismo, se brinda una justificación breve sobre la importancia del estudio, objetivos e hipótesis de la investigación.

En el segundo capítulo, se desarrolla el marco teórico, explicando los antecedentes de la investigación, bases teóricas de lo general a lo particular, con conceptos fundamentales de dendrocronología, dendroclimología y dendroecología, y explicar un poco sobre el BNA en el Perú, su distribución y especies endémicas que alberga, y posteriormente se desarrolla la anatomía de la madera de *C. montana*.

En el tercer capítulo, se explica la metodología, para saber paso a paso el proceso de campo y gabinete, como el uso de programas importantes como COFECHA y el paquete dplR asociado del programa RStudio, detalles de la investigación de nivel descriptivo y de la correlación entre eventos de sequía y su efecto en las características de la madera de *C. montana*.

En el cuarto capítulo, se presentan los resultados, en primer lugar la correlación entre el índice de ancho de anillo con la evapotranspiración potencial y con los índices ambientales como ENSO y PDSI. Asimismo, la respuesta de *C. montana* ante eventos de sequía, a través de una comparación

entre años secos y no secos, y los caracteres anatómicos de la madera como el diámetro, densidad e índice de vulnerabilidad en los vasos. Finalmente, en las discusiones, se explican los resultados y se constatan con resultados de otros autores que estudiaron previamente al género *Cedrela*, obteniéndose datos como la intercorrelación, la sensibilidad media, y otros datos como el tamaño de vasos.

Finalmente, se presentan las conclusiones de esta investigación y se enfatiza la importancia de aplicar la dendrocronología para este tipo de estudios.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

La dendrocronología es la ciencia que estudia los anillos de crecimiento de los árboles en donde se registran las variables ambientales que influyen en su crecimiento. Por ejemplo, eventos climáticos extremos como sequía, altas precipitaciones, incendios forestales, etc., los cuales quedan registrados en los anillos de crecimiento (1).

La dendrocronología generalmente se ha desarrollado en zonas donde el crecimiento está asociado al clima, en latitudes medias o altas donde las estaciones están bien diferenciadas en cuanto a temperatura y precipitación (4). No obstante, los estudios dendrocronológicos en los trópicos se desarrollaron más tarde debido a la diversidad de hábitats y especies, y a la ausencia de las cuatro estaciones del año bien marcadas lo que resulta en una actividad cambial variable y dificulta conocer el desarrollo de los anillos de crecimiento y su ciclo anual (5). Sin embargo, a partir de 1927 se publicaron estudios de dendrocronología en los trópicos, y en 1931 se dio a conocer la primera cronología desarrollada de anillos de árboles tropicales, actualmente se estudian de manera frecuente y con diversos estudios realizados se comprueban que varias especies tropicales tienen un patrón de crecimiento regular, a veces anual debido a su sensibilidad ante las variaciones climáticas y ambientales (5).

En regiones tropicales los anillos de crecimiento son diversos, las especies tienen diferentes estrategias de adaptación ante cambios ambientales y en comparación con los anillos de árboles de zonas con clima templado presentan más variaciones, por ejemplo, en su grado de distinción, continuidad tangencial y periodicidad, además que en estas zonas tropicales, los factores que impulsan el crecimiento de las plantas son desencadenantes y la presencia o ausencia de uno de ellos pueden determinar que los anillos de crecimiento se expresen o no tal como su estructura este genéticamente fijada. Por tanto, la dendrocronología tropical tiene potencial para desarrollar información tanto climática como ambiental en esta latitud del planeta, donde los estudios realizados en comparación con la diversidad de especies que existen son escasos, la mayoría de estudios de dendrocronología en los trópicos se realizaron en Norte América, y existen menos cantidad de estudios en Asia, África y Oceanía.

A inicios del siglo XXI, los estudios en dendrocronología en los trópicos aumentaron notablemente, desarrollándose con mayor frecuencia en dendroclimatología (51%),

dendroecología (45%) y solo un 4 % en dendrogeomorfología y dendroarqueología. La dendroclimatología tiene mayores estudios en América (57%), en Asia (29%), África (12%) y en Oceanía (2%), principalmente estos estudios están enfocados a la relación de crecimiento y clima, reconstrucciones climáticas, relación de crecimiento de árboles y precipitación, la respuesta de árboles ante sequías y la relación entre el crecimiento de árboles con fenómenos como El Niño (5).

Entre los países de América del Sur que tienen bosques tropicales está el Perú. El 57.3% del territorio del Perú, lo ocupan los bosques, por la extensión simbolizan una reserva importante de carbono a nivel mundial, por tanto, su conservación es esencial para la mitigación del cambio climático (6).

El Bosque Nublado Andino (BNA) se encuentra en la región Yunga y dentro del mapa de cobertura vegetal del Perú (Figura 1) es parte del bosque de montaña basimontano (Bm-ba) y del bosque de montaña montano (Bm-mo) (7), tiene la denominación de bosque nublado debido a que se caracteriza por presentar alta densidad de humedad superficial en forma de niebla. El BNA está ubicado en los Andes con presencia de pendientes (8), a una altitud de 1500 a 3600 m.s.n.m. en donde la humedad ambiental se condensa y forma nubes como se observa en la Figura 2, con 3000 a 6000 mm/año de precipitación media. Estos bosques albergan especies endémicas y relictas que poseen alta riqueza en animales, hongos y plantas (9). En este tipo de bosque la evapotranspiración es baja, pero junto a la intercepción del agua de las nubes (captura de humedad atmosférica), el coeficiente de escorrentía es alta, por tanto, estos bosques son vulnerables al calentamiento global, con solo un leve aumento de días sin precipitación, el efecto tanto en la flora y fauna se hace notar, cambiando su tamaño y cifras de la población (10).

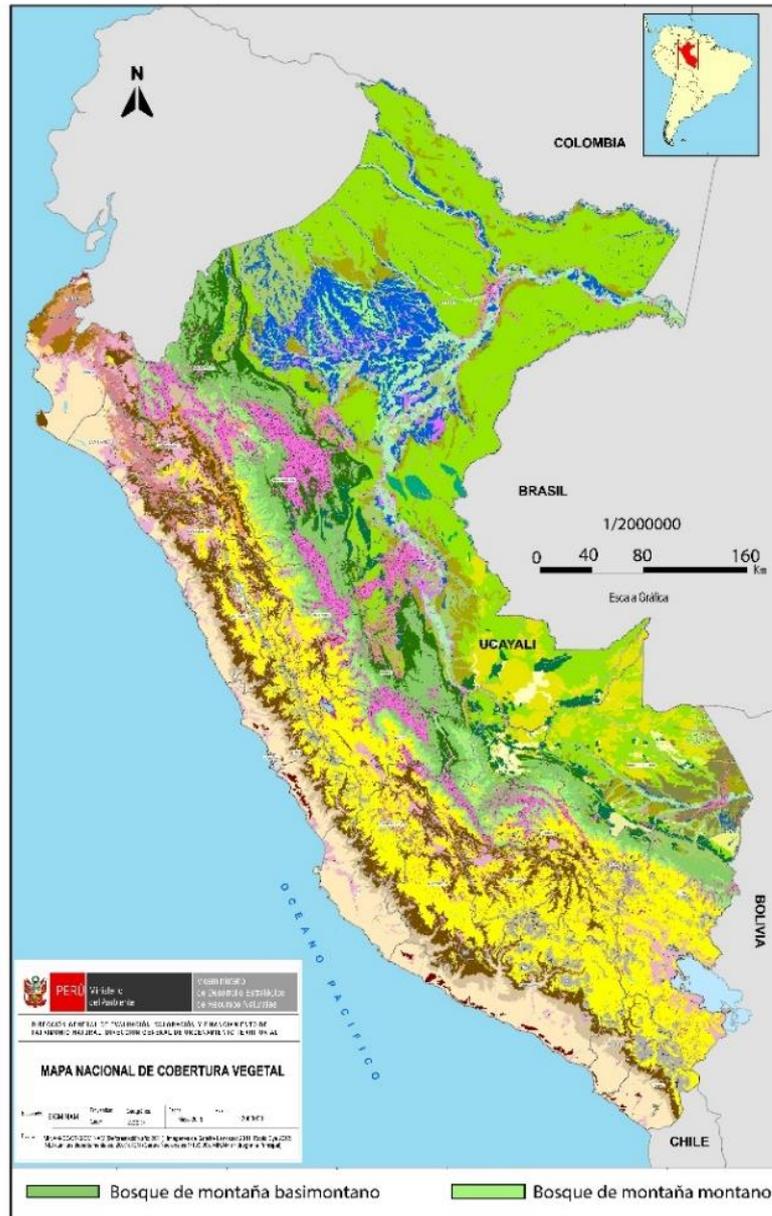


Figura 1. Mapa de Cobertura Vegetal del Perú.

Fuente: MINAM,2015 (7).

En el Perú, los BNA se extienden a lo largo de la vertiente oriental de los Andes (9), que atraviesan el país desde la frontera con Ecuador hasta la frontera con Bolivia, pasando por la región Ucayali. De acuerdo a la Estrategia Regional de Cambio Climático de Ucayali, esta región se ve influenciada por alta precipitación, cabe señalar que, en el año 2011, tuvo un evento histórico de inundaciones, siendo las lluvias intensas el evento de mayor riesgo a la que se enfrenta. “La variación de la intensidad y estacionalidad de las precipitaciones, el incremento de la temperatura, así como también de eventos extremos tales como la sequía, friaje, inundaciones y lluvias

sumados a la deforestación, impactan significativamente los ecosistemas y la diversidad biológica de la región” (11). Particularmente, los eventos históricos de sequía que se han identificado en la región Ucayali, por ejemplo, en el año 2010, causó disminución de producción de palma aceitera, afectando a los agricultores del lugar, según la estadística de desastres naturales, eventos de sequía extremos ocurrieron en los años 2006, 2010 y en el año 1983, en donde afectó principalmente la disposición afectando a un 88.6% de la población. Asimismo, el GORE Ucayali menciona que el índice de sequía en la región se considera como medio, abarcando una extensión del 84.91% del área total de la región (12).



Figura 2. Bosque Nublado Andino (BNA) en el Perú.

Fuente: MINAM, 2014 (9)

Las especies arbóreas reaccionan a los factores bióticos y abióticos de su entorno, las cuales son reflejadas en diferentes características morfo-anatómicas como una respuesta inmediata ante un evento que afecte directa y/o indirectamente al individuo, población o comunidad vegetal. La suma de adaptaciones se puede reflejar a largo plazo en los anillos de crecimiento (13). Las reacciones de los árboles son medibles con la ayuda de equipos apropiados y la aplicación de la dendrocronología y sus ramas de investigación (dendroclimatología, dendroecología, dendroanatomía, dendroquímica, entre otras) son trascendentales en zonas del país que tienen eventos climáticos extremos; de la misma manera, mediante el estudio de la anatomía de la madera de la especie arbórea y la interpretación de sus rasgos anatómicos se puede saber cómo la especie se adapta anatómicamente ante eventos extremos de déficit hídrico.

En la anatomía de la madera, los vasos de xilema de los árboles presentan ciertas respuestas ante cambios ambientales y de clima, debido a que estos son responsables de la conducción hidráulica, entonces ante cualquier cambio ambiental extremo como la sequía o altas precipitaciones presenta una adaptación diferente, para citar, el diámetro y la longitud de los vasos disminuyen con la aridez, y en ambientes más húmedos, los vasos se muestran más largos, las correlaciones entre el diámetro y la longitud de vaso se le puede atribuir a la disponibilidad de agua y temperatura (14). Asimismo, bajo situaciones de sequía, se espera que la agrupación de vasos sea mayor, y que por tanto corran más peligro de sufrir embolias, esto se explica porque los vasos agrupados brindan seguridad, si uno de ellos se emboliza, los otros siguen cumpliendo la función de mantener el camino de la conducción de agua, por eso el grado de agrupación de vasos aumenta en relación con la aridez del hábitat, sin embargo, esta acción de adaptación no ocurre siempre, hay algunas familias de árboles que no producen agrupamiento de vasos a pesar de existir en un hábitat muy seco (14).

En el género *Cedrela* hay muchas investigaciones debido a su potencial dendrocronológico ya que presenta anillos visibles y llega a vivir hasta más de 60 años, dentro de este género está la especie *Cedrela montana*, la cual tiene estudios previos sobre anatomía de la madera, construcción de cronología, y la correlación de crecimiento con el clima (temperatura y precipitación), no obstante, otras especies de *Cedrela* han sido más estudiadas como *Cedrela odorata* y *C. fissilis* y con ellas se ha desarrollado por ejemplo, correlaciones con eventos climáticos como: El Niño Oscilación Sur (ENSO), índice de sequía de Palmer (PDSI) y potencial de evapotranspiración (PET), ahora bien, el cambio climático trae consecuencias como la sequía y por lo tanto, las especies tienen que adaptarse para poder sobrevivir, ¿Cómo se adapta *C. montana* ante eventos de sequía?

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cómo influyen los eventos específicos de sequía y no sequía en el ancho de anillos y en los rasgos anatómicos de los vasos de xilema de *Cedrela montana* en un Bosque Nublado Andino de la comunidad nativa de Shaani?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ✓ ¿Qué diferencia presenta el índice de ancho de anillos (RWI) durante eventos de sequía y no sequía?

- ✓ ¿Qué relación existe entre el potencial de evapotranspiración (PET), El Niño Southern Oscillation (ENSO) y Palmer Drought Severity Index (PDSI) con el índice de ancho de anillos (RWI) de *Cedrela montana*?
- ✓ ¿Qué características presentan los rasgos anatómicos de los vasos de xilema (diámetro, densidad e índice de vulnerabilidad) durante eventos específicos de sequía (moderado, severo y extremo) y no sequía en *Cedrela montana*?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la influencia de los eventos de sequía y no sequía en el ancho de anillos y en los rasgos anatómicos de los vasos xilema de *Cedrela montana* en un Bosque Nublado Andino, de la comunidad nativa de Shaani, Ucayali, Perú.

1.2.2. Objetivos específicos

- ✓ Conocer la diferencia que presenta el índice de ancho de anillo (RWI) durante eventos de sequía y no sequía.
- ✓ Determinar la relación entre el potencial de evapotranspiración (PET), El Niño Southern Oscillation (ENSO) y Palmer Drought Severity Index (PDSI) con el índice de anillos (RWI) de *Cedrela montana*.
- ✓ Evaluar las características que presentan los rasgos anatómicos de los vasos de xilema (diámetro, densidad e índice de vulnerabilidad) durante eventos específicos de sequía (moderado, severo y extremo) y no sequía en *Cedrela montana*.

1.3. Justificación e importancia

El Bosque Nublado Andino (BNA), alberga diversidad particular de especies arbóreas debido a su clima característico entre ellas se distribuye la especie *Cedrela montana*, que se encuentra en estado vulnerable (15) por ser muy demandada por su calidad de madera para usos como la ebanistería, asimismo, el cambio climático y eventos extremos como la sequía dificultan el crecimiento y conservación de este tipo de especies, por tanto, el objetivo de esta investigación es evaluar la adaptación anatómica de la madera de *C. montana* ante eventos de sequía específicos.

El cambio climático y los bosques están íntimamente relacionados, los cambios de temperatura, periodos de precipitación y la frecuencia de fenómenos climáticos extremos afectan la estructura de los ecosistemas forestales. Asimismo, el cambio climático afecta negativamente a este tipo de

vegetación, influyendo directamente en el aumento de la temperatura, cambios en los regímenes de la precipitación y concentración de CO₂. Todas estas variaciones climáticas disminuyen la resiliencia de la especie ante eventos climáticos, aumentando la posibilidad de extinción de especies relicto-endémicas (16).

La investigación planteada aportará información sobre cómo el RWI y rasgos anatómicos de los vasos de *C. montana* varían como respuesta a eventos de sequía extremos registrados en un BNA de la comunidad nativa de Shaani, Ucayali; por tanto, esta información es esencial para conocer si esta especie es resiliente a cambios extremos y si conserva señal climática para otros estudios dendroclimatológicos.

1.4. Hipótesis y descripción de variables

1.4.1. Hipótesis

A. Hipótesis de investigación

Los eventos específicos de sequía y no sequía influyen en el ancho de anillos y en los rasgos anatómicos de los vasos de xilema de *Cedrela montana* en un Bosque Nublado Andino de la comunidad nativa de Shaani.

B. Hipótesis nula

Los eventos específicos de sequía y no sequía no influyen en el ancho de anillos y en los rasgos anatómicos de los vasos de xilema de *Cedrela montana* en un Bosque Nublado Andino de la comunidad nativa de Shaani.

C. Hipótesis específicas

- ✓ El índice de ancho de anillo (RWI) para años secos es menor que para años no secos
- ✓ Existe una relación negativa entre el potencial de evapotranspiración (PET), El Niño Southern Oscillation (ENSO) y Palmer Drought Severity Index (PDSI) con el índice de ancho de anillo (RWI).
- ✓ Los rasgos anatómicos de los vasos de xilema (diámetro, densidad e índice de vulnerabilidad) presentan características diferentes durante eventos específicos de sequía (moderado, severo y extremo) y no sequía en *Cedrela montana*.

1.4.2. Variables

A) Variables

- Variable dependiente:

- Índice de ancho de anillo (RWI) de *Cedrela montana*.
- Rasgos anatómicos de los vasos (diámetro, densidad e índice de vulnerabilidad).
- Variables Independiente:
 - Potencial de evapotranspiración (PET)
 - Palmer Drought Southern Index (PDSI)
 - El Niño Southern Oscillation (ENSO).
 - Eventos de sequía (moderado, severo y extremo)
 - Eventos de no sequía

1.4.3. Matriz de operacionalización

Tabla 1. Matriz de Operacionalización

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
Índice de ancho de anillo de crecimiento de <i>Cedrela montana</i>	El ancho de anillos formados en el tronco anualmente representa las condiciones en las que creció, bajo buenas condiciones climáticas el ancho es mayor (17).	Medición de ancho de anillo con el sistema de medición Velmex con el software Measure J2X. Programa COFECHA Programa R con paquete dplR.	Crecimiento	Anillos anchos y estrechos	Micras(μm)
Rasgos anatómicos de los vasos de <i>Cedrela montana</i>	Un vaso es un conjunto vertical de células superpuestas que forman una estructura tubular cuya función es la conducción de líquidos en la madera y que son solo parte de las latifoliadas (17).	Digitalización de anillos de crecimiento con un estereoscopio, cámara 10px y el programa AmScope. Medición anatómica de los vasos con el programa ImageJ.	Anatomía de los vasos	Diámetro de los vasos	Micras(μm)
				Densidad de los vasos	mm^2
				Índice de vulnerabilidad	$\mu\text{m}/\text{mm}^2$
Potencial de evapotranspiración (PET)	Combinación de dos procesos separados de pérdida de agua de la superficie del suelo por evaporación y transpiración de la planta (18).	Descargar data gratuita de chelsa-climate.org de la comunidad nativa Shaani, Ucayali, Perú.	Coeficiente de correlación de Pearson (r) con el índice de ancho de anillo	$r = 1$ c. perfecta $0.8 \leq r < 1$ c. muy alta $0.6 \leq r < 0.8$ c. alta $0.4 \leq r < 0.6$ c. moderada $0.2 \leq r < 0.4$ c. baja $0 \leq r < 0.2$ c. muy baja	$-1 \leq r \leq 1$
Palmer Drought Southern Index (PDSI)	Es un indicador para medir la deficiencia de humedad basada en las condiciones normales de humedad climática (19).	Descargar data gratuita de Climate Explorer de la comunidad nativa Shaani, Ucayali, Perú.			

El Niño Southern Oscillation (ENSO)	comprende los eventos de “El Niño” y “La Niña”, en donde existen oscilaciones en la temperatura superficial del mar (20).	Descargar data gratuita de Climate Explorer de la comunidad nativa Shaani, Ucayali, Perú.		<i>r= 0 c. nula</i>	
Eventos de sequía	Fenómeno que se produce naturalmente cuando las lluvias tienen niveles inferiores a los registrados normalmente (21).	Años seleccionados (1982,1983,1988,1990,1994,1997,1998,2004 y 2005) basados en el artículo de Jiménez et al. (2018), sobre anomalías térmicas y sequías en los bosques tropicales de América del Sur.	Categorías de años con sequía	Moderado Severo Extremo	

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

La tesis titulada “Determinación de la relación del crecimiento radial de especies arbóreas con la estacionalidad climática del Valle del Mantaro”, realizada por, Aylas Huaman, Fabiola, que tuvo como objetivo, determinar la relación de crecimiento radial con la estación climática del Valle del Mantaro aplicada en la especie *Alnus acuminata* Kunth, para lo cual se tomó 37 muestras de San Pedro de Saño y 12 rodajas de Apata y utilizando los datos de clima (evapotranspiración potencial, PDSI, ENSO) de las estaciones meteorológicas de Santa Ana y Jauja, se construyó la cronología utilizando programas COFECHA y ARSTAN, para luego hacer una correlación de la cronología con las variables climáticas, obteniendo como resultados que en épocas donde se registra mayores temperaturas hay una influencia negativa en el crecimiento de anillos y en época de precipitación hay mayor crecimiento, concluyendo que la especie *Alnus acuminata* tiene potencial dendrocronológico por tener buena señal climática demarcado en sus anillos de crecimiento (22).

La tesis titulada “Relación entre la distribución intra-anual de los vasos xilemáticos en la madera de *Prosopis* sp. (Algarrobo) y la variabilidad climática durante un año de evento El Niño” realizado por Palacios Mc Cubbin, Elva Rosa, que tuvo como objetivo, analizar el efecto de las condiciones climáticas durante El Niño, en la madera de *Prosopis*, a través de la evaluación de del desarrollo vascular de xilema y de parámetros como evapotranspiración potencial, PDSI, ENSO, para lo cual se midió el grosor de anillos y densidad de los vasos para evaluar la presencia de aumento o escasez de agua en los años 1998 (año niño-húmedo), y el año 2000 (año no niño-seco), obteniendo como resultados que en el año 1998 los vasos fueron significativamente más grandes, lo cual coincidió el evento El Niño. En años niño y no niños estudiados, los vasos tienen la misma densidad, pero la distribución cambia porque se dispone para llevar a cabo el transporte hídrico a todo el árbol, concluyendo que los vasos de xilema, en año niño y no niño tuvieron el mismo número de vasos, sin embargo, la distribución cambia, en año niño los vasos son grandes y están rodeados de vasos pequeños, o que da transporte hidráulico eficiente (23).

La tesis titulada “Wood anatomy and growth rate of seasonally dry tropical forest trees in the Marañón River Valley, Northern Peru” realizado por Marcelo, José., Snatini, Luiz y Tomazello, Mario, en donde se estudiaron las especies *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, *Cedrela kuelapensis* T.D. Penn. & Daza, *Cordia iguaguana* Melch. Ex I.M. Johnst., y *Esenbeckia cornuta* Eng y que tuvo como objetivo, caracterizar la anatomía de la madera de las especies en estudio y compararla con otras especies similares del valle del Marañón, estimando la edad del árbol y

comparar la curva de crecimiento de las cuatro especies para demostrar su potencial dendroecológico, para lo que se seleccionaron cuatro especies del bosque del valle del Marañón y se analizaron macro y micro anatómicamente a partir de cortes transversales lijado y escaneado para tener imágenes digitales, además de cortes histológicos delgados, además de obtener la cronología de cada uno, para calcular la edad de cada árbol, obteniendo como resultado que el promedio de diámetro de vaso (108 μm) para *C. kuelapensis*, fue mayor que para las otras especies, mientras que la densidad de vasos fue mayor en *E. cornuta* y en cuanto a la intercorrelación se obtuvo la mayor para *C. iguaguana* (0.601) y la menor para *A. colubrina* (0.417), concluyendo que los árboles del Marañón tienen potencial dendroecológico y dendroclimático. *C. kuelapensis* presenta mayor crecimiento radial del tronco y por tanto sería mejor para planes de restauración o reforestación (24).

El Artículo titulado “*Cedrela nebulosa*: A novel species for dendroclimatological studies in the montane tropics of South America” realizado por Layme E., et. al, que tuvo como objetivo, describir la estructura de la especie y desarrollar la cronología para evaluar la respuesta del crecimiento de *C. nebulosa* al clima local y saber el potencial para reconstrucción climática, para lo que se recolectaron muestras del distrito de Monobamba para analizar sus características anatómicas y obtener la cronología de la especie correlacionándola con precipitación y temperatura, obteniendo como resultado que a cronología data 133 años de 1883 a 2015, con intercorrelación de 0.47, Rbar de 0.43 y EPS de 0.91. La precipitación influyó positivamente en el crecimiento a principios de la primavera y la temperatura en época de verano, concluyendo que Los árboles tropicales tienen respuestas a las variaciones climáticas, lo que significa que los ecosistemas de montaña son sensibles a los cambios de clima, y aptos para reconstruir el clima pasado (2).

El Artículo titulado “Climatic response of *Cedrela fissilis* Radial Growth in the Ombrophilous mixed forest, Paraná, Brazil” realizado por Marcon, A. et. al, que tuvo como objetivo, examinar la respuesta climática del crecimiento radial de *Cedrela fissilis* ante precipitación, humedad relativa del aire, temperatura y amplitud térmica mensual, para lo que se recolectaron muestras de un bosque mixto Ombófilo, al sur de Brasil, y las muestras fueron procesadas con la metodología dendrocronológica común y luego se utilizaron modelos lineales para la correlación con clima, obteniendo como resultado que la cronología cubrió el periodo de 1981 a 2014, de 15 series, con intercorrelación de 0.313, se obtuvo correlación significativa con la temperatura desde los años 1960 a 1979, concluyendo que la temperatura es la principal variable que afecta al crecimiento radial de *Cedrela fissilis*, además, el año en donde tuvo mayor correlación de significancia con la especie fue en 1980 que corresponde a un periodo de incremento de temperatura (25).

El Artículo titulado “Drought effects on the plasticity in vessel traits of two endemic *Magnolia* species in the tropical montane cloud forests of eastern Mexico” realizado por Rodríguez-Ramírez, E. et al. en donde se estudiaron especies de *Magnolia* como *Magnolia vovidesii* y *Magnolia schiedeana*, que tuvo como objetivo evaluar como las fluctuaciones climáticas influyen en la plasticidad de los rasgos anatómicos de los vasos y en el ancho de anillos anuales de dos especies de magnolias mexicanas endémicas, y con la ayuda de imágenes digitales de los anillos de crecimiento se evaluó la tasa de crecimiento, el crecimiento radial de los árboles y la plasticidad de los vasos (diámetro hidráulico, densidad de vasos, porcentaje de área conductiva) en años secos y no secos, obteniendo como resultados que la temperatura y precipitación tuvieron correlación significativa con el índice de ancho de anillo teniendo diferencia en el ancho de anillos para año seco y no seco y que la plasticidad de los vasos estaba relacionada con la temperatura y disponibilidad de agua para las dos especies estudiadas, concluyendo que La especie se adaptó reduciendo sus rasgos en años secos en comparación de los no secos, lo cual sirvió para el transporte de agua y a supervivencia de las especies por periodos de estrés (26).

El Artículo titulado “How drought and deciduousness shape xylem plasticity in three Costa Rican woody plant species” realizado por Scholz, A. et al. en donde se estudiaron las especies *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken, *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. y *Ocotea veraguensis* (Meisn.) Mez y que tuvo como objetivo demostrar que distintos patrones fenotípicos de las hojas influyen en los niveles de plasticidad del xilema, para lo que se estudió la anatomía de la madera en especies de hoja húmeda *C. alliodora*, especie seca caducifolia *T. rosea* y especie siempre verde *O. veraguensis*, los que fueron colectados de bosque seco y nuboso en Costa Rica, obteniendo como resultado que las especies de hoja caducifolia (*C. alliodora* y *T. rosea*) tuvieron vasos anchos densidad más baja, para *O. veraguensis* se detectó que tuvo mayores valores de plasticidad (área de vasos, números de vasos y diámetro), concluyendo que *O. veraguensis*, de hoja perenne muestra mayor plasticidad del xilema que las dos especies caducifolias estudiadas (27).

2.2. Bases teóricas.

2.2.1. Dendrocronología

2.2.1.1. Definición

“La palabra dendrocronología deriva del griego dendron–árbol-, crono–tiempo- y logo – estudio o tratado y denomina una disciplina científica dotada de un conjunto de principios, técnicas y métodos que permiten datar los anillos de crecimiento anuales, extraer, separar e interpretar la información que contienen de los diferentes factores bióticos y abióticos que han influido en su crecimiento” (28).

La dendrocronología es utilizada para identificar la variabilidad ambiental en los anillos de crecimiento. Debido a que muchas variables climáticas pueden afectar el crecimiento de los árboles, diferentes registros se pueden obtener de una variedad de especies de árboles distintos sitios de una región en particular (29).

2.2.1.2. Principios

A. Principio de uniformitarismo:

Este principio se puede entender como “el pasado es la clave del futuro”, las condiciones ambientales del pasado se pueden conocer a través de los registros en los anillos de crecimiento, y llevando a cabo un análisis se puede hacer predicciones a futuro, asumiendo que ciertas condiciones están asociadas a determinadas respuestas en los árboles y que son las mismas en el pasado y en el presente (28).

B. Principio de factores limitantes:

Un conjunto de factores (bióticos y/o abióticos) intervienen en el crecimiento de los árboles, comúnmente el factor que limita su crecimiento es la falta de agua y las temperaturas bajas; no obstante, las relaciones inter (entre la misma especie) y/o intraespecífica (entre las especies del bosque) pueden verse reflejadas en el ancho de los anillos por la competencia de algún recurso como agua, luz, nutrientes. Por tanto, los árboles que han crecido bajo los mismos factores limitantes, tienen características comunes en sus anillos (28).

C. Principio de datación cruzada:

Permite comparar las medidas de ancho de anillos con fenómenos anuales como datos meteorológicos, lo que hace posible determinar el año exacto de crecimiento de cada anillo. Si no hay datación anual exacta de los anillos, la cronología tendrá datación incorrecta (29). Los patrones de un árbol se pueden comparar con los de otros individuos para determinar si todos los anillos están representados en una muestra, la datación cruzada deberá coincidir con el patrón de anillos anchos y angostos entre individuos de la misma especie para poder determinar los límites de los anillos en función a su estructura anatómica (29).

D. Principio de modelo de crecimiento agregado de los árboles:

Los árboles registran un conjunto de factores que afectan su crecimiento, por eso, este modelo se utiliza principalmente para explorar la respuesta a factores limitantes específicos, lo que permitirá comprender cómo influyen en el crecimiento (29).

2.2.1.3. Datación y datación cruzada

La datación es una secuencia que se obtiene analizando y delimitando el inicio y fin de desarrollo de los anillos de crecimiento, indicando que el último anillo que se desarrolló estará cerca de la corteza. La datación generalmente se lleva a cabo con la ayuda de un estereoscopio. En la identificación de cada anillo con respecto al año de crecimiento, se van identificando anillos estrechos, anchos, falsos anillos, entre otros. Dichas mediciones permitirán constatar si existe sincronía de estos anillos individuales con el patrón de anillos característicos de todos los árboles que crecieron en un sitio particular bajo condiciones ambientales similares (28).

Para dicho proceso, se utiliza el sistema de medición Velmex, para medir el ancho de anillo con mayor precisión, el cual funciona junto con un microscopio equipado con un ocular con reglilla en forma de cruz para tomar llevar a cabo medidas exactas (29).

2.2.1.4. Correlación de muestras:

El programa COFECHA proporciona una coincidencia estadística entre las series de cada muestra y la cronología maestra que construye a partir de las mediciones que se ingresan al programa (29).

Asimismo, compara cada serie individual con la cronología maestra, desplaza 10 posiciones previas y 10 posiciones posteriores de la serie para determinar si una de esas posiciones tiene mejor correlación; dicho proceso asegura si existen o no errores en las mediciones y/o reconocimiento de anillos (28).

Al correlacionar las series, el programa COFECHA brinda datos de sensibilidad media, la cual es una medida de la variación (de 0 a 1) de ancho de anillo de un año a otro, si la sensibilidad media es de 0, significa que la especie desarrolla anillos complacientes, mientras que, si el valor es de 1, la especie es sensible y presenta anillos de distintos tamaños (29).

2.2.1.5. Estandarización

“La estandarización elimina la tendencia de crecimiento relacionadas con la edad y otras variables de largo plazo que son considerados como “ruido” al ajustar las curvas de tendencia en la serie de anillos” (29)

La técnica de estandarización más antigua es la curva exponencial negativa, que sigue un modelo determinado de crecimiento de árboles. Existen otras técnicas de estandarización que se eligen al mismo tiempo que la experimentación para encontrar mejor ajuste al patrón de datos, la técnica más conocida es el uso de spline que es una curva flexible que ayuda a remover la varianza a una frecuencia determinada (29).

2.2.1.6. Cronología: ARSTAN

ARSTAN, es uno de los principales programas para construir cronologías, utilizado para estandarizar y eliminar ruidos de cronología final (29).

Según Fritts (1976); Cook y Kairiukstis (1990), (como se citó en Villanueva, J. et al. 2004), “el programa ARSTAN estandariza las series individuales de cada árbol al eliminar la varianza por crecimiento radial y edad” (30).

El programa ARSTAN ajusta una curva a la medida de cada muestra, divide el ancho del anillo por el valor de la curva modelada, promedia el índice resultante para cada muestra para poder crear un índice para árbol, luego promedia los índices de árbol para hacer un índice a nivel cronológico (29).

En este programa se producen tres tipos de cronología:

- ✓ **Cronología residual:** Se elimina la autocorrelación (29). Preserva cambios interanuales en el crecimiento.
- ✓ **Cronología estándar:** Conserva la autocorrelación en la cronología final (29). Mantiene cambios en el crecimiento a largo plazo.
- ✓ **Cronología ARSTAN:** Se calcula eliminando la autocorrelación para añadir una autocorrelación a nivel de la población (29).
- ✓ En el programa ARSTAN se puede obtener estadísticos sobre la cronología:
- ✓ **Signal to noise ratio (SNR):** es un indicador de la fuerza que tiene la señal climática que se ve expresada en los anillos de crecimiento, ante el ruido. Este indicador no solo puede interpretarse en términos climáticos, sino también puede verse influenciada por otros factores como error en las mediciones, plagas, enfermedades, contaminación, etc (31). Estos factores aleatorios son considerados como “ruido” que perturban la expresión de la señal en la cronología (32). Entonces no se sabe que tan alto debe ser el valor de SNR para garantizar que la cronología es adecuada para realizar reconstrucciones climáticas.
- ✓ **Rbar:** es un estadístico de correlación promedio entre todas las series dada en 100 años tomadas cada 50 años (33). Se calcula considerando la correlación promedio entre todas las series a lo largo de la cronología. Sirve como medida de la intensidad de la señal común a lo largo del tiempo de la cronología y es dependiente de la profundidad de la muestra (número de series o muestras de la cronología) (29).
- ✓ **Expressed Population Signal (EPS):** es una correlación entre la cronología de la muestra y la cronología teórica de la población (33). Comúnmente utilizan el valor 0.85

como valor significativo; no obstante, si el valor del EPS es menor, se considera que la cronología está dominada por una señal individual del árbol en lugar de una señal a nivel de la población (29). Sin embargo, según Wigley, Briffa y Jones, el valor 0.85 es dado solo como guía, en el caso particular, el valor aceptable dependerá de una evaluación del investigador a la especie con la que se encuentra realizando el estudio (31).

2.2.2. Dendroclimatología

2.2.2.1. Definición

“La dendroclimatología está restringida para estudios dendrocronológicos que utilizan información climática para correlacionar con el crecimiento de anillos y datarlos para evaluar la variabilidad climática en el presente y pasado” (34).

La dendroclimatología tiene la capacidad de reconstruir el clima a través de los anillos de crecimiento, porque los árboles responden ante las variables del entorno, son vulnerables al estrés climático como los cambios de temperatura, nubosidad, lluvias, evapotranspiración, humedad del suelo, por tal motivo, los climatólogos están interesados en el clima pasado para conocer la tendencia del clima actual (29).

2.2.2.2. Aplicaciones

A. Índices climáticos:

Para describir la variación y los cambios que puede tener el sistema climático, se utilizan índices climáticos y variables particulares como presión, temperatura, radiación solar, precipitación u otros (35). Los índices climáticos más comunes en el continente americano son por ejemplo la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) y el fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés), que comprende el fenómeno de “El Niño” y “La Niña”, que se dan en el océano pacífico con fases calientes y frías.

B. Estudios de gradiente climático

En el estudio de dendrocronología asociado a clima, es preferible examinarlos en zonas de ecotono, ya que son transiciones en la vegetación, las cuales se caracterizan por ser sensibles las variaciones climáticas y a perturbaciones antrópicas, mostrando respuesta rápida en la vegetación, también en zonas de latitud alta, muestran mayor evidencia de calentamiento global que en zonas de latitud media (29).

C. Estudios de límite del bosque

Los límites de bosque son límites altitudinales donde los bosques se pueden desarrollar (36). Por tanto, se ven influenciados por oscilaciones climáticas y son útiles para reconstrucciones climáticas e indicadores de cambio climático. Asimismo, pueden mostrar condiciones de estrés a través de la formación de sus anillos anuales (29).

2.2.2.3. Métodos

Para comenzar un análisis climatológico, primero se analiza el sitio de la especie del árbol, para obtener información climática del lugar para recolectar las muestras, los árboles se eligen en aquellos sitios donde la variación climática influye drásticamente en el balance ecológico de las especies a estudiar (29).

A. Representatividad de muestras (sample depth):

Es el número de muestras que son representativas para un fenómeno que tiene como objetivo analizar, después de obtener una cronología, se relaciona su respuesta climática con el objetivo de crear una señal climática consistente, aumentando número de muestras si son necesarias o que las series de ancho de anillos se estandarice de una manera diferente (29).

B. Regresión lineal simple:

Se utiliza para desarrollar un modelo para la reconstrucción de una variable climática, siempre en cuando la señal climática en los anillos sea significativa (29).

2.2.2.4. Pruebas estadísticas

El coeficiente de correlación de Pearson y Spearman permiten medir el nivel de relación de dos variables cuantitativas, en el programa SPSS se le conoce como correlación bivariada (37). Brindan valores de correlación que van desde -1 a 1, el 0 indica que no hay relación alguna, y los valores de los extremos indican que si hay relación ya sea inversa cuando el valor es negativo o directa cuando el valor es positivo, cuando la correlación va de 0 a 0.2, significa que tiene correlación mínima; de 0.2 a 0.4, existe una correlación baja; de 0.4 a 0.6 la relación es moderada; de 0.6 a 0.8 la correlación es buena y aceptable; y cuando la correlación es consideraba es muy buena va de 0.8 a 1 (37).

La diferencia entre Pearson y Spearman es que, el coeficiente de correlación de Spearman se puede realizar para datos que no tengan distribución normal, con variables ordinales las que son agrupados en rangos, mientras que, para Pearson, se necesitan que los datos sean normales y que las variables sean cuantitativas.

Para correlaciones de la cronología (índice de ancho de anillo, RWI) con la data climática, se utiliza la correlación de Pearson (r) por tener variables cuantitativas aleatorias y ver la relación entre ellas.

2.2.2.5. Programas de computación

DPL: Dendrochronology Program Library, Es un conjunto de herramientas para análisis de datos. Sirve para llenar vacíos en los datos, mostrar los datos meteorológicos para generar una reconstrucción climática (29).

FMT: sirve para cambiar el formato del archivo y organizar los datos de ancho de anillos brindados en décadas a datos anuales en orden alfanumérico y en columnas (29).

COFECHA: es un programa que evalúa la calidad del fechado y la precisión de la medición de las series de anillos de árboles. Brinda estadísticas estándar para comparar entre sitios y especies (29).

EDRM: permite editar las medidas del ancho de anillo, muchas veces se usa para corregir o eliminar una serie identificados en COFECHA (29).

ARSTAN: se utiliza para construir las cronologías finales a nivel de rodal, cuenta con varias técnicas de estandarización para aplicarla en series individuales (29).

YUX: permite al usuario convertir un archivo con muchas cronologías a una hoja de cálculo. Por ejemplo, convertir archivos de cronología de ARSTAN (crns) de medición de ancho de anillo a un formato que Excel pueda leer (29).

2.2.3. Dendroecología

2.2.3.1. Definición

“Es un término usado para estudios dendrocronológicos que se ocupan específicamente de problemas de los entornos locales presentes y pasados” (34).

La dendroecología es una rama de la dendrocronología que utiliza anillos de los árboles para reconstruir registros ambientales, por ejemplo, es utilizada en investigación sobre registro de incendios, plagas de insectos, avalanchas, y la investigación más reciente con reconstrucciones de producción masiva de frutos (mastecology) en los árboles a partir de los anillos, así como puede utilizarse para medir la plasticidad de los vasos del xilema ante el estrés por sequía que se produce durante períodos prolongados (años) en comparación con la alta disponibilidad de agua (29).

2.2.3.2. Métodos

A. Estructura de edad

Para desarrollar esta técnica, se requiere delimitar una parcela para muestrear todos los árboles vivos y muertos para cuantificar la estructura presente del bosque y las condiciones pasadas (29).

Se recomienda registrar datos específicos de cada muestra, como la ubicación de cada árbol, la especie, el DAP (diámetro a la altura de pecho; ~1.5 m) y la identificación de la muestra de cada árbol. Con dicha información, se examina la interacción entre los árboles y la distribución de especies para evaluar patrones de vegetación (29).

B. Análisis de ancho de anillo

Se utilizan para conocer eventos de perturbación pasada, como disminución del crecimiento por la contaminación atmosférica, plaga de insectos, esfuerzo en la etapa reproductiva, entre otros (29).

C. Cicatrices de árboles

Es causada por una herida de fuego, por animales, rocas o por el hombre y queda registrado como una cicatriz en el anillo correspondiente de ese año (38).

D. Incremento de área basal

El área basal de un árbol es el área transversal medida a la altura de pecho, para hallarlo, se necesita el dato de DAP que es medido con un dendrómetro que registra el crecimiento del diámetro del árbol en un determinado periodo (39) y se aplica la siguiente fórmula a cada árbol para obtener el área basal en m².

$$g = (\pi/4) * d^2$$

g: área basal (m²)

d: diámetro (m)

2.2.3.3. Aplicaciones

A. Dinámica de fase de apertura dosel

La apertura del dosel se da debido a la mortalidad de los árboles dominantes, proporcionando recursos limitados, como mayor incidencia de luz y espacio para crecimiento para especies

juveniles, brinzales y pueden brindar la posibilidad de que los árboles del sotobosque (Figura 3) puedan desarrollarse en el dosel medio (29).



Figura 3. Niveles del bosque.

Fuente: Geography and You, 2017 (40)

B. Sucesión y productividad forestal

Es un proceso en donde después de un evento como incendios, nuevas islas volcánicas, enfermedades, y otros fenómenos naturales, se produce una perturbación, la que ocasiona cambios en la comunidad ecológica, se da en etapas hasta que los ecosistemas se van transformando en más complejos creando mayor diversidad por las diferentes interacciones (41).

C. Límite de distribución de especies (ecotono)

Zona de transición entre dos ecosistemas o comunidades adyacentes (42). Figura 4.

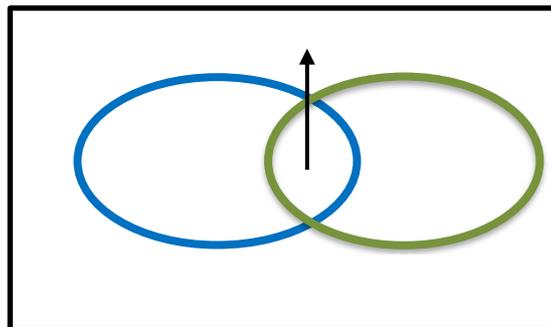


Figura 4. Ecotono.

Fuente: Elaboración propia

2.2.4. Los bosques nublados andinos

2.2.4.1. Definición

El Bosque Nublado Andino (BNA) de Perú está compuesto por ecosistemas de composición y estructura florística distintivas que convergen especies Neotropicales y Yungas. El ambiente atmosférico se caracteriza por una cubierta nubosa permanente, frecuente o estacional al nivel de la vegetación. Las nubes envolventes impulsadas por el viento influyen en la interacción atmosférica a través de la reducción de la radiación solar y el déficit de presión de vapor, neblina y la supresión general de la evapotranspiración. La precipitación neta en tales bosques se reduce significativamente a través de la intercepción directa del agua de las nubes en el dosel y el bajo uso de agua por parte de la vegetación (43).

El ambiente atmosférico de los BNA tiene neblina persistente, lo que reduce la luz solar directa y de esta manera, la evapotranspiración en estos bosques es menor. Sin embargo, con la intercepción de agua de las nubes que realizan los árboles, hace que este bosque sea importante como suministro continuo de agua como escorrentía hacia las tierras bajas (10).

El BNA también se caracteriza por tener una alta proporción de biomasa como epífitas (briofitas, líquenes, orquídeas y helechos fibrosos). Los suelos están húmedos y frecuentemente encharcados y altamente orgánicos en forma de humus y turba (43). La diversidad en términos de especies endémicas arbóreas, arbustos y epífitas puede ser relativamente alta en comparación con las especies arbóreas de la selva tropical de tierras bajas (43).

2.2.4.2. Orígenes del Bosque Nublado Andino

“Los BNA son un conjunto de bosques mixtos con dominio de árboles latifoliados (especies arbóreas de hojas planas), representativas de zonas montañosas de altitud media (600-2800 m.s.n.m aproximadamente), en condiciones con temperatura media de alrededor de 10 a 20 °C y húmedas“ (44).

Asimismo, los BNA son comúnmente densos y de altura mediana, con mucha presencia de epífitas, trepadoras y lianas. A nivel del dosel, las especies arbóreas son de flora Arcto-Terciaria (flora principalmente de tipo angiospermas con hoja ancha, tuvo lugar en las latitudes altas del hemisferio norte en el periodo del mesozoico tardío a inicios del cenozoico, hace 105 millones de años) (45); a nivel subdosel y sotobosque prevalecen especies Neotropicales y especies de flora andina (44).

Los BNA en América del Sur, se extienden por la cordillera de los Andes, siendo el que más especies integra de todos los tipos de bosques Andinos, en donde conectan la flora de la Amazonía baja con flora de los andes centrales y del norte (Figura 5) (46). El Amazonas es la principal

fuerza de biodiversidad de las regiones Neotropicales, y ha tenido varios intercambios de diversidad con los Andes, en el último estudio de Pérez O, Zizka A et al. (2022), describen una relación filogenética entre ellos, en donde se identificaron 194 clados (conjunto de especies con antepasado común) de plantas andinas (agrupaciones que tienen ancestros comunes), de los que, el 85% de estas especies se encuentran en el Neotrópico (46). Los antecesores de los BNA se han diversificado desde el principio del Mioceno (hace 23 Ma), con gran cantidad de epífitas vasculares (plantas que viven sobre otras plantas como: bromelias, helechos, orquídeas, entre otros) (47), con tasas de diversificación rápida, y especies como los helechos que muestran diversificación lenta (46).

2.2.4.3. Historia nomenclatural

Según Myster (2014), los bosques nublados existen en las regiones de montaña en todo el mundo, en América del Sur se encuentra la cadena de montañas más extensa del mundo, la cual es la cordillera de los Andes, en donde existen diferentes bosques de acuerdo con la altitud, en la más alta, está el bosque nublado, al que, por su ubicación en los Andes, Myster, lo nombra como “Bosque Nublado Andino”. Este bosque existe en la misma altitud que otros que se encuentran en otras partes del mundo, sin embargo, es un bosque especial porque existe en una interacción entre dos gradientes, tanto altitudinal (montaña) como latitudinal (trópico) que crea una diversidad de ecosistemas increíbles (8).

El término de BNA, es usado más recientemente, sin embargo, este tipo de bosque, ha sido mayor estudiado en años anteriores por Miranda en el año 1947, y lo denominó con el término de “Bosque Mesófilo de Montaña (BMM), en sus “Estudios sobre la vegetación de México”, en donde menciona que el BMM, se desarrolla en condiciones de humedad en el aire y en el suelo, que hace que sea un bosque rico en especies y muy denso (48), ya en 1978, Rzedowski, dedica un capítulo entero a expandir la historia y las características del BMM, mencionando que el denominador común de estos bosques es que hay frecuentes neblinas y alta humedad atmosférica, y enlistó diversos autores anteriores que se refirieron al BMM con nombres diversos como: cloud forest, selva nublada, moist montane forest, bosque nublado, entre otros (49). En el año 2014, Gual y Gonzáles, enlistaron sinónimos del BMM, 42 en español, y 30 en otro idioma, de acuerdo con

revisión e información de literatura para ayudar a agrupar toda información de este tipo de vegetación, entre los cuales el término más conocido en inglés es “Tropical Montane Cloud Forests” (TMCF) (50).

2.2.4.4. Distribución

La formación de los BNA depende principalmente del nivel de condensación de las nubes, a su vez determinada por humedad y temperatura atmosférica. A medida que aumenta la distancia del océano, el aire tiende a ser más seco, por tanto, requiere temperaturas más bajas y elevaciones más altas para alcanzar su punto de condensación, por tanto, la base de nubes y la vegetación de BNA se producirán a mayor altura y más lejos de los océanos (51).

Para reconocer los BNA a nivel global, se han utilizado mapas de características florísticas, indicadores de condiciones climáticas y edáficas, seguido de límites altitudinales, teniendo como resultado que el BNA se encuentra en las regiones de América (40.8%), África (16%) y Asia (43.2%), con área estimada de 2 14 630 km² (51).

En América, el BNA (Figura 5), se presenta en México, Guatemala, Honduras, Costa Rica, Panamá, Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú, Bolivia y una pequeña parte de Argentina.

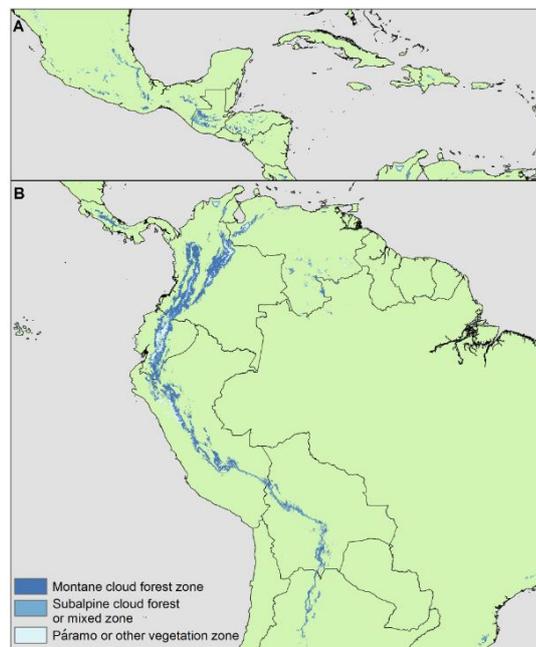


Figura 5. Bosque Nublado Andino.

Fuente: Helmer et al. (52)

2.2.4.5. Ecotonos y su relación con otros tipos de vegetación

Ecotono es una zona de transición entre dos o más comunidades o regiones ecológicas diferentes (53), esta zona puede abarcar cientos de metros. Estas áreas son en algunos casos, centros de alta riqueza de especies, diversidad genética y fenotípica, también pueden sustentar especies únicas o poco comunes en otra parte (53).

Según Ern (como se citó en Gual, M y Rendón, A, 2014), “Los pinos viven frecuentemente colindando con los BNA, porque el entorno en donde se desarrollan es similar, por ejemplo, el bosque de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl, *P. strobus* var. *chiapensis* Martínez, *P. pseudostrobus* Lindl” (44). El BNA, también se relaciona con el bosque de *Abies* y con el bosque de *Quercus* (44). (Tabla 2).

Tabla 2. Ecotonos con BNA

ECOTONOS CON BOSQUE NUBLADO ANDINO	Bosque de encino-pino
	Bosque estacional perennifolio
	Bosque caducifolio
	Bosque de galería
	Bosque de <i>Pinus</i>
	Bosque de <i>Pinus-Abies</i>
	Bosque de <i>Quercus</i>
	Matorral secundario
	Selva baja caducifolia
	Yungas
	Vegetación secundaria

Fuente: Gual, M y Rendón, A, (2014) (44)

2.2.4.6. Especies arbóreas relicto-endémicas del bosque nublado andino de Perú

En la siguiente tabla (Tabla 3) se enlistan las especies relicto-endémicas del BNA del Perú basado en el libro de Reynel y Pennington.

Tabla 3. Especie relicto-endémicas del BNA

FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMÚN
ACTINIDACEAE	<i>Saurauia spectabilis</i> Hooker	
AQUIFOLIACEAE	<i>Ilex teratopis</i> Loesener	“Vitoc-quiroy”
ARALIACEAE	<i>Oreopanax capitatus</i> (Jacquin) Decaisne & Planchon	“Maqui”, “Maquil”
BETULACEAE	<i>Alnus acuminata</i> H.B. K	“Aliso”, “Lambrán”
BRUNELLIACEAE	<i>Brunellia dulcis</i> J. F. Macbride	“Cedrilla de montaña”
CAPRIFOLIACEAE	<i>Sambucus nigra</i> subsp. peruviana (Kunth)	“Saucu”, “Layán”, “Ramrash”, “Ubilla”, “Poichuvas”
CARICACEAE	<i>Carica microcarpa</i> Jacquin subsp. microcarpa	“Papailla”, “Papaya de monte”
CHLORANTHACEAE	<i>Hedyosmum</i> <i>cuatrecazanum</i> Occhioni	“Aytacupi”, “Asarquiro”
CLUSIACEAE	<i>Clusia alata</i> Triana & Planchon	“Matapalo”, “Renaco”
CUNONIACEAE	<i>Weinmannia crassifolia</i> R. & P.	“Perejil”, “Palo perejil”
ERICACEAE	<i>Bejaria aestuans</i> L.	“Pullun rosa”
EUPHORBIACEAE	<i>Hyeronima asperifolia</i> Pax & Hoffman	“Palo perla”
JUGLANDACEAE	<i>Juglans neotropica</i> Diels	“Nogal”
LAURACEAE	<i>Aniba robusta</i> (Klotzsch & Karsten) Mez	“Roble amarillo”, “Moena amarilla”
MAGNOLIACEAE	<i>Magnolia yarumalense</i> (G. Lozano) Govaerts	“Roble”
MELASTOMATACEAE	<i>Miconia theaezans</i> Cogniaux	“Rifari”, “Yirque”
MELIACEAE	<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turczaninov	“Cedro de altura”, “Cedro de montaña”

MORACEAE	<i>Ficus crassiuscula</i> Warburg ex Standley	“Matapalo blanco”
PODOCARPACEAE	<i>Podocarpus glomeratus</i> D. Don	“Romerillo”
PROTEACEAE	<i>Lomatia hirsuta</i> (Lamarck) Diels ex J. F. Macbride	“Andaga”, “Garo”, “Raral”, “Shiapash”
ROSACEAE	<i>Hesperomeles ferruginea</i> (Persoon) Benth	“Pacra”, “Manzanito del Perú”, “Manzanito”
RUTACEAE	<i>Zanthoxylum lepidopteriphilum</i> Reynel	“Cedro espino”, “Palo chivato”
STYRACACEAE	<i>Styrax ovatus</i> (R. & P.) A. DC.	“Incienso macho”
SYMPLOCACEAE	<i>Symplocos peruviana</i> (Szyszylowicz) Brand	“Huaycate”
THEACEAE	<i>Freziera lanata</i> (R. & P.) Tulasne	“Roble”
TILIACEAE	<i>Helicarpus americanus</i> L.	“Yausaqui”, “Huampo”
ARECACEAE (=PALMAE)	<i>Ceroxylum vogelianum</i> (Engler) H. Wendl.	“Palma real”

Fuente: Realizado en base Al reporte de Reynel C, Pennington T (54)

2.2.4.7. Efecto del cambio climático en los Bosques Nublados Andinos

En los BNA, los incrementos en el índice de gases de efecto invernadero, hará que la condensación de nubes se dé a mayor altitud, el incremento de cantidad de agua evaporada (vapor) del océano cuando se condensa genera un aumento de temperatura en la atmósfera, lo que ocasionará un cambio en el régimen hidrológico en el BNA, reduciendo el ingreso de agua de la neblina y la lluvia horizontal captada por la vegetación, lo que influirá directamente en los índices de evapotranspiración de cada una de la especies que conforman los BNA, y la cual afectará directamente a la comunidad de especies epifitas características de este bosque (55).

2.2.5. *Cedrela montana* Moritz ex Turcz

2.2.5.1. Distribución y hábitat

Se encuentra en el Bosque Nublado Andino (BNA), y también como vegetación de subpáramo. En altitud de 1400 a 3100 m.s.n.m. Se encuentra en la región Amazonas, Junín, Pasco y San Martín (56).

- A. Clima:** crece a una temperatura media anual de 24 a 25.5 °C, con una precipitación de 3000 a 3500 mm, en una fisiografía abrupta y con pendientes (57).
- B. Suelo:** se desarrolla en suelos ácidos, con superficie medianamente profunda, con vegetación siempre verde (57).

2.2.5.2. Estado actual de conservación: Vulnerable, IUCN (15).

2.2.5.3. Relación del clima con el crecimiento de *C. montana*:

Según el estudio de Spannl et. al (2009), la especie *C. montana* durante los periodos secos y con alto déficit de presión de vapor (alta transpiración) presenta una disminución del diámetro de su tronco, lo que se traduce que, cuando hay mayor exposición a la luz solar tiene un efecto similar a un periodo seco en donde su tasa de crecimiento anual será menor (58).

Durante el día, el diámetro del tronco de *C. montana* se reduce porque hay mayor evapotranspiración con excepción de períodos muy húmedos. En la noche cuando dicho proceso cesa, el tronco se restaura y el diámetro aumenta (59).

Según el estudio de Bräuning et. al (2009), cuando se presentan varios días sin precipitación, el tronco de *C. montana* se encoge, aún en un clima muy húmedo como en el BNA. Durante períodos húmedos, la diferencia diaria de radio es menor (0.07 mm) comparado con periodos secos en donde el cambio radial es mayor a 0.29 mm (59). En periodo seco, las hojas de *C. montana* se caen, respuesta a la adaptación de condiciones secas, con poca precipitación y aumento en la transpiración (59).

Las condiciones secas limitan la actividad cambial lo que reduce la actividad cambial, lo que representa menor crecimiento del árbol en diámetro y en longitud (59).

2.2.5.4. Características morfológicas

- A. Hojas:** Hojas compuestas, monopinada, paripinadas, de 6 a 11 pares de folíolos, opuestos o subopuestos, elípticas con base redondeada y raquis de 18 a 40 cm (56) (Figura 6).



Figura 6. Hojas de *Cedrela montana*.

Fuente: Ortega, Darwin (2020) (60)

- B. **Flor:** Flores pentámeras, actinomorfas, unisexuales, cáliz de color blanco-verde, corola (conjunto de pétalos) blanca de 7 a 10 mm de longitud y estambres de 2 a 3.5 mm de longitud con anteras amarillas (56) (Figura 7).



Figura 7. Flor de *Cedrela montana*.

Fuente: Baresch, Nicolás (2020) (61)

- C. **Fruto:** En cápsulas leñosas péndulas, con 7 cm de largo, con cinco valvas de color marrón con centinelas claras y con parecido a una flor abierta (56) (Figura 8).



Figura 8. Fruto de *Cedrela montana*.

Fuente: Baresch, Uribe (2021) (62)

- D. Corteza:** agrietada, con presencia de tejidos muertos (ritidoma), de color marrón claro a rojizo (56).

2.2.5.5. Anatomía de la madera

- A. Estructura de la madera:** albura ligeramente más clara que el duramen, duramen de color rojizo oscuro, textura media, con brillo medio, parénquima longitudinal, anillos diferenciados por bandas claras, madera blanda (56).
- B. Vasos del xilema:**(63) Longitud promedio de elementos vasculares de 27 micras (cortos). Presencia de gomas en los vasos (56).
- C. Tipos de poros:** visible a simple vista, difusos y ovalados. Con diámetro promedio de 149 micras (medianos), con promedio de 7 poros/mm² (pocos) (56).
- D. Agrupación de poros:** poros solitarios de forma circular y agrupados de forma semicircular.
- E. Distribución de poros:** poros con disposición paralela a los anillos de crecimiento (56).
- F. Parénquima paratraqueal:** apotraqueal difuso, paratraqueal vasicéntrico. Bandas de tipo marginal con tres a cinco células de ancho. Presencia de gomas (56).
- G. Efecto del clima en el xilema:** las condiciones secas limitan la actividad cambial lo que reduce la formación de nuevas células del xilema. El crecimiento de bandas de parénquima marginal incluido los vasos, se forman al comienzo del periodo de crecimiento que coincide con periodos de aumento de precipitación (periodos húmedos) (59).

H. Anillos de crecimiento de *Cedrela montana*: La madera de *C. montana* es fina, su albura (marrón claro) y el duramen (marrón) se distinguen con facilidad. La madera temprana y tardía se diferencian fácilmente (Figura 9).

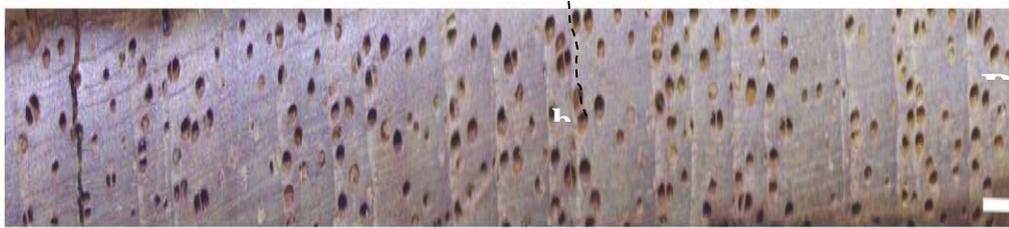


Figura 9. Muestra de madera de *Cedrela montana* a una escala de 1 mm.; A: duramen y B: albura, a: madera temprana y b: madera tardía.

Fuente: Elaboración propia.

Los anillos de *C. montana* son visibles y están delimitados por parénquima en bandas marginales, que forman una capa continua en los márgenes de un anillo de crecimiento (64) (Figura 10).

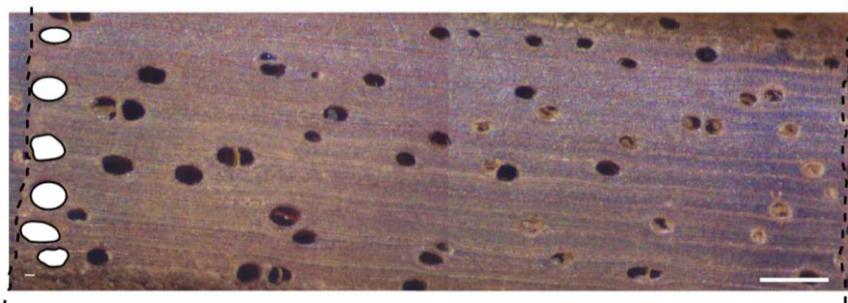


Figura 10. Anillos bien delimitados con presencia de poros paralelos a la banda marginal de parénquima de *Cedrela montana*.

Fuente: Elaboración propia.

La porosidad es circular y semicircular, se presenta de manera solitaria y agrupada con presencia paralela a los anillos (Figura 11) (63), con porosidad con diámetro similar a lo largo del anillo (porosidad difusa) (64).

Los vasos tienen presencia de tilosa que obstruyen el paso de las células del xilema (savia bruta).

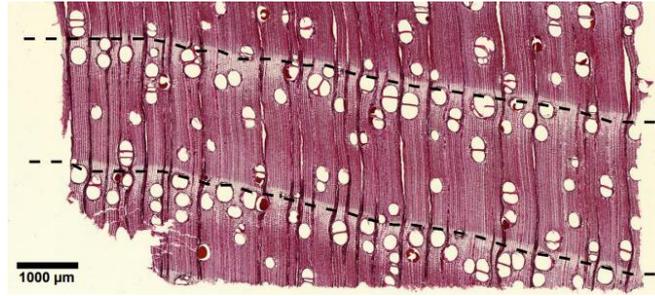


Figura 11. Anillos claramente visibles, con poros solitarios y agrupados.

Fuente: Musson (65).

I. Rasgos anatómicos de los vasos

Los elementos vasculares son importantes porque el desarrollo de las plantas terrestres erguidas depende del desarrollo de un sistema de conducción hidráulica (66).

- **Diámetro:** es un parámetro importante porque afecta directamente a la conductividad hidráulica (67). De acuerdo a la fórmula de Hagen-Poiseuille, el radio del vaso conductor a la cuarta potencia, es directamente proporcional al caudal (68). Entonces, la disminución del diámetro de los vasos ocasiona déficit hídrico.
- **Densidad de vasos:** La densidad de vasos V_D , se refiere al número de vasos por mm^2 , cuanto más numerosos sean los vasos por mm^2 , menor será la probabilidad de que la planta sea perjudicada por embolias de aire formadas bajo estrés hídrico evitando la conducción hidráulica (69).
- **Índice de Vulnerabilidad:** El índice de vulnerabilidad es un indicador de resistencia que tiene la planta ante la cavitación por heladas o sequía (69).
- Según Carlquist, para datos de VI menores a uno indica xeromorfia que quiere decir que hay mayor cantidad de vasos lo que le hace más seguro bajo condiciones de estrés hídrico, mientras que para datos mayores a tres indica mesomorfia de aquellos vasos con menor cantidad de vasos y más grandes en cuanto a su diámetro del poro (69).
- Las características anatómicas de los vasos cambian de acuerdo al hábitat y a las condiciones climáticas del medio donde se desarrollan.

En la siguiente tabla (Tabla 4) se muestra una correlación entre hábitat y su influencia en los vasos:

Tabla 4. Correlación entre hábitat y su influencia en los vasos

Hábitat xérico	Temperaturas frías o hábitat montano	Hábitat tropical o mésico
Disminución en la longitud del vaso	Disminución en la longitud del vaso	Aumento en el diámetro del vaso
Disminución en el diámetro del vaso	Disminución en el diámetro del vaso	Disminución en el número de vasos
Dos clases distintas de diámetro de poro	Aumenta el número de vasos	
Aumenta el grosor de la pared del vaso		
Aumenta el número de vasos		

Fuente: Basado en Dickison (70)

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Anillos de crecimiento:

En zonas con clima templado, normalmente los anillos crecen anualmente, a mayor espesor del anillo indica que el crecimiento fue rápido y creció en condiciones favorables; por el contrario, si el grosor es menor, el crecimiento fue lento y en condiciones desfavorables o un evento fenológico (floración y/o defoliación) (Figura 12).

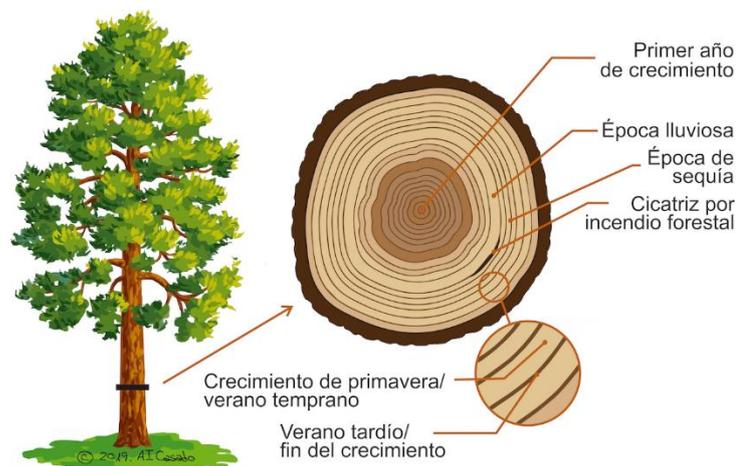


Figura 12. Anillos de crecimiento y factores limitantes externos.

Fuente: Casado, Isabel (71).

2.3.2. Corteza:

Está constituida por floema (corteza viva), que son tejidos encargados de la conducción de savia elaborada y por ritidoma o córtex (corteza muerta) que es el tejido que reviste al tronco. La corteza protege al vegetal de deshidratación, ataque de plagas o fuego, también tiene la función de almacenar y conducir los nutrientes (17).

2.3.3. Albura y duramen

La madera del árbol tiene dos zonas características, la albura y el duramen.

La albura es la parte más expuesta del leño, se encuentra debajo de la corteza. La albura conduce agua y sales en solución, de la raíz a las hojas, siendo reservorio de sustancias (17).

El duramen tiene función de sostén, se encuentra entre la albura y la médula. Mientras que va perdiendo su actividad vital adquiere una coloración más oscura que la albura, debido a que el duramen es un tejido pobre de sustancias nutritivas y el tejido es más compacto, lo cual lo hace más resistente de ataques de hongos o insectos (17). (Figura 13).



Figura 13. Albura y duramen.

Fuente: Hernández, Alejandra (72)

2.3.4. Leño temprano:

Hace referencia al inicio de crecimiento del árbol, cuyas células que son producidas en este periodo se caracterizan por tener lumen (cavidad) grande, sus paredes son más delgadas y tienen coloración clara (17).

2.3.5. Leño tardío:

Final del periodo de crecimiento en donde el número de células disminuye, con paredes más gruesas y lumen más pequeño (17).

2.3.6. Xilema:

Es un tejido leñoso que está formado por vasos, fibras y parénquima, en donde no se encuentran paredes entre ellas, ya que están formados por células muertas, en donde hay circulación de savia bruta (73), que es un fluido que es una mezcla de agua y sales minerales, que se transportan en una sola dirección, desde las raíces hacia las hojas de la planta.

2.3.7. Cambio vascular:

El crecimiento de un árbol empieza cuando el cambium se divide y las células producidas de diferencian produciendo nuevo floema y xilema (29).

2.3.8. Poros:

En un corte transversal, los vasos son llamados poros (17).

2.3.9. Vasos de xilema:

Son importantes para la conducción de agua en los vegetales. Los anchos de los vasos van desde 20 a incluso más de 400 μm (29).

Son células de xilema que tienen estructura hueca porque cuando el árbol llega a la madurez la membrana se disuelve (14).

El diámetro de los vasos cambia de la médula hacia la corteza, debido a que debe acomodarse a mayores volúmenes de agua a medida que la planta va desarrollándose, comúnmente se espera que a medida que el diámetro de los vasos aumenta la densidad (número de vasos) disminuye, sin embargo, esto puede no ocurrir (14). El diámetro ancho del vaso ayuda a mayor eficiencia de conducción, sin embargo, los vasos estrechos tienen menos probabilidad de desarrollar embolias que los vasos anchos, siendo los vasos estrechos más capaces de recuperarse después de una embolia (14).

Carlquist explica que, en condiciones áridas o secas, existen elevadas agrupaciones de vasos, con evidencia de que a pesar de que la misma especie se desarrolle en dos ambientes diferentes, se espera que el hábitat más seco la agrupación de vasos será mayor. En condiciones tanto secas

como heladas, los vasos son vulnerables a embolias de aire y pueden propagarse de unas a otras (14).

Los árboles de bosques que son tropicales y húmedos, presentan un número bajo de vasos por mm², 100 vasos ya se considera que son numerosos, para número de vasos mayores a 500 son muy inusuales, sin embargo, han sido encontrados en especies de hábitats muy secos o fríos (14).

2.3.10. Potencial de evapotranspiración:

Lleva a cabo dos procesos:

- **Evaporación:** proceso que se da desde la superficie (agua, suelo y vegetación), en donde el agua pasa de estado líquido a vapor (74)
- **Transpiración:** proceso en donde las plantas pierden agua hacia la atmósfera, toman agua por sus raíces para su crecimiento y el restante lo transpiran (74).

En estos procesos influyen factores meteorológicos y también factores por parte de la vegetación.

2.3.11. PDSI (Palmer Drought Southern Index):

Desarrollado en 1960 para poder identificar sequías principalmente que afectan a la agricultura (75).

Es un índice para evaluar el déficit de humedad integral (sequía), por lo que utiliza datos de evapotranspiración potencial, precipitación mensual y el total de agua útil del suelo (19), lo que se traduciría en la capacidad de retención de agua de los suelos por lo que se tiene en cuenta la humedad almacenada en el suelo y también la pérdida de humedad debido a la temperatura (75).

Es un índice que tiene rangos desde -10 como seco a +10 que simboliza humedad (76).

Este índice es importante para determinar la sequía a largo plazo, para tal, utiliza la temperatura del aire superficial, datos de precipitación y los efectos de la evapotranspiración para saber las consecuencias del calentamiento global (76).

2.3.12. ENSO (El Niño Southern Oscillation):

Comprende los eventos de “El Niño” y “La Niña”, en donde existen oscilaciones en la temperatura superficial del mar, y asociados a esta variación, se presentan cambios en la presión atmosférica y debido a esto, este fenómeno es conocido como Oscilación del Sur. “El Niño”, es

el evento caliente y La Niña es el evento frío del ENSO, estos eventos pueden darse cada dos a siete años y pueden durar entre un año o año y medio (20).

En El Niño ocurre menor presión de corrientes tanto atmosféricas como oceánicas, entonces la zona cálida se dirige hacia las costas de Perú y Ecuador ocasionando inundaciones, mientras en La Niña, sucede lo contrario, las corrientes se intensifican ocasionando sequías en Perú y Ecuador (20).

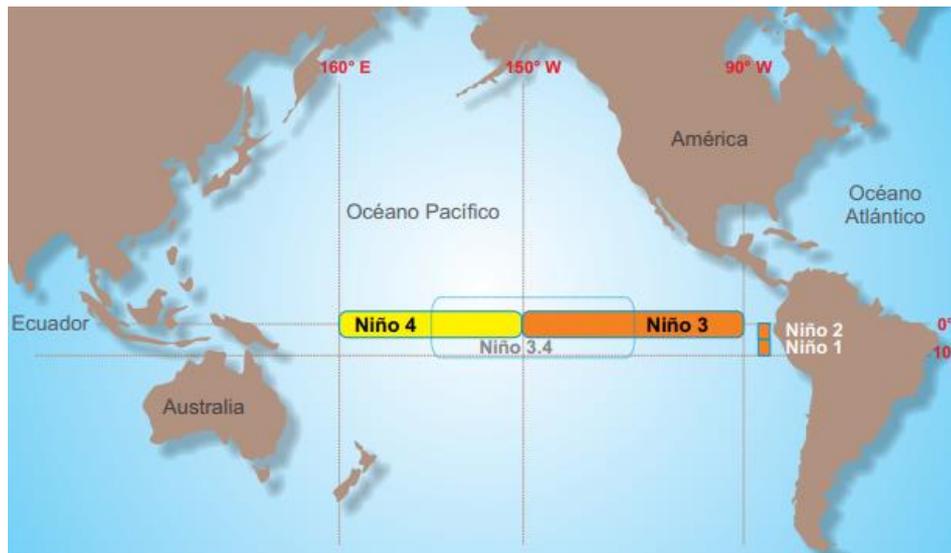


Figura 14. El Niño Southern Oscillation.

Fuente: SENAHMI (77)

El Océano Pacífico se sectoriza en cuatro cuadrantes, El Niño 1+2, corresponde al Pacífico Oriental, afectando las costas peruanas por su cercanía. Sin embargo, el impacto de las anomalías en el océano pacífico y también a nivel atmosférico no solo impacta a los trópicos, sino que se expande a nivel mundial por teleconexiones (77), como se puede observar en la Figura 15. Por tanto, en este estudio es deseable usar el Niño 3.4 (Océano Pacífico central) para abarcar mayores rasgos.

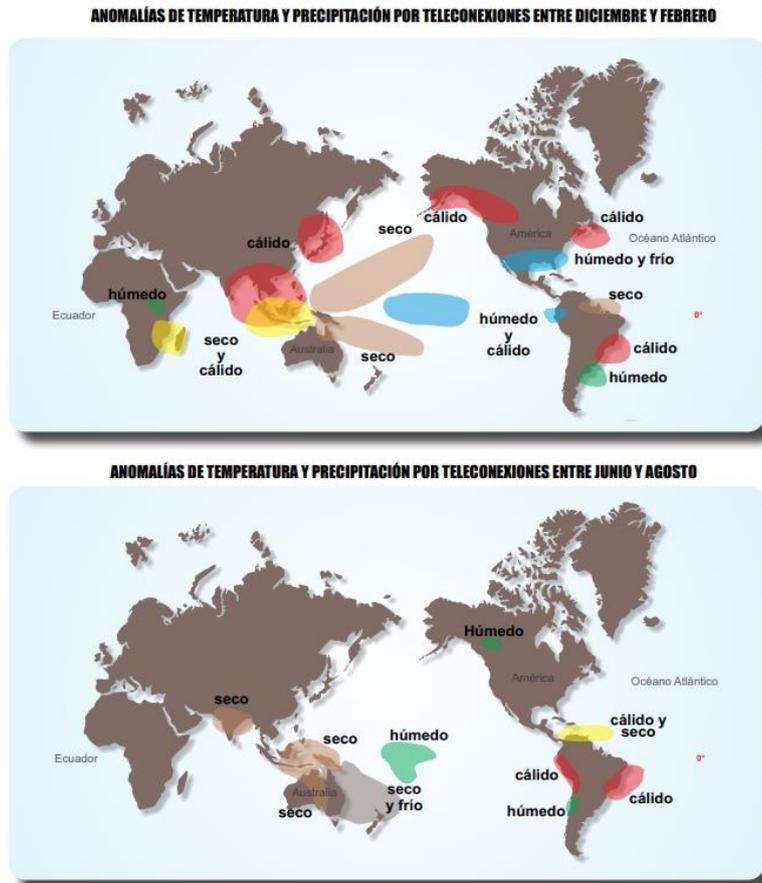


Figura 15. Anomalías de temperatura y precipitación por teleconexiones por El Niño

2.3.13. Tilosis o tñide:

Se forma debido a la falta de presión del agua en los vasos, y se forman comúnmente en vasos sanos que se llenan de aire (14).

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Método, y alcance de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

A. Método general o teórico de la investigación

Se aplicará el método deductivo, porque a través de estudios previos y partiendo de la base de la dendrocronología (29), se conoce que cuando existen eventos extremos de clima, limitan el crecimiento anual de los anillos, de esta manera, se aplicará el estudio dendrocronológico en *C. montana* una especie vulnerable, del BNA, lo que permitirá evaluar la adaptación anatómica de la madera de *C. montana* ante eventos de sequía específicos en un BNA de Ucayali, Perú.

B. Método específico de la investigación

El método aplicado es el inferencial, porque integra la inducción y deducción, relacionando una ley con hechos particulares (29), en otras palabras, se utilizan conceptos y ciencias generales para aplicarlas al estudio particular. También se efectuará la observación directa, por ser el método usado para la investigación científica, debido a que se observa como tal los fenómenos naturales para su estudio.

3.1.2. Alcances de la investigación

A. Tipo de investigación

El tipo de investigación es básica porque busca explicar fenómenos naturales y tiene como objetivo investigar la adaptación de anatomía de la madera de *C. montana* ante eventos de sequía, por lo tanto, se utilizarán conceptos y conocimientos previos sobre dendrocronología, dendroecología y anatomía de la madera para determinar la relación que existe entre el clima y el índice de ancho de anillo de la especie.

B. Nivel de investigación

Descriptivo, porque se da a conocer la cronología de *Cedrela montana* y sus estadísticas obtenidas.

Explicativo, porque se explica la adaptación de la especie ante eventos de sequía.

Correlacional, porque relaciona los dos tipos de variables, la variable dependiente (Índice de ancho de anillo (RWI) y los rasgos anatómicos de los vasos de *Cedrela montana* con la variable independiente (Potencial de evapotranspiración (PET), Palmer Drought Southern Index (PDSI), El Niño Southern Oscillation (ENSO), Eventos de sequía (moderado, severo y extremo) y eventos de no sequía).

3.2. Diseño de la investigación

3.2.1. Tipo de diseño de investigación

La investigación es no experimental descriptivo porque el estudio y análisis se realizó en las muestras de anillos de crecimiento extraídas de la especie *C. montana* de un BNA del departamento Ucayali, Perú, las cuales fueron analizadas en el Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad Continental.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

El Bosque Nublado Andino (BNA) de la comunidad nativa Shaani (5367.38493397 ha), distrito de Raymondi, provincia de Atalaya, región de Ucayali. (599742.1 E, 8804327 N; 1 336 m.s.n.m).

3.3.2. Muestra

La muestra está conformada por 16 árboles de *C. montana*, los que fueron seleccionados con base en la disponibilidad de muestreo, longevidad, alejados de fuentes de agua y buen estado sanitario.

3.4. Área de estudio:

3.4.1. Localización:

El área de estudio es la comunidad nativa Shaani, está ubicado en el distrito de Raymondi, provincia de Atalaya y región de Ucayali. Se encuentra a una altitud de 1075 m.s.n.m, con coordenadas UTM: 18L 5997428804327.

La comunidad Shaani se encuentra entre dos fuentes de agua, la quebrada Shaanini y el Río Chitani, el Río Chitani divide las comunidades nativas de Shaani con Materiato (Figura 16).

Al lado Sur se encuentra con la carretera La Marginal de la Selva Sur, que une el departamento de Junín con Cusco y Madre de Dios.

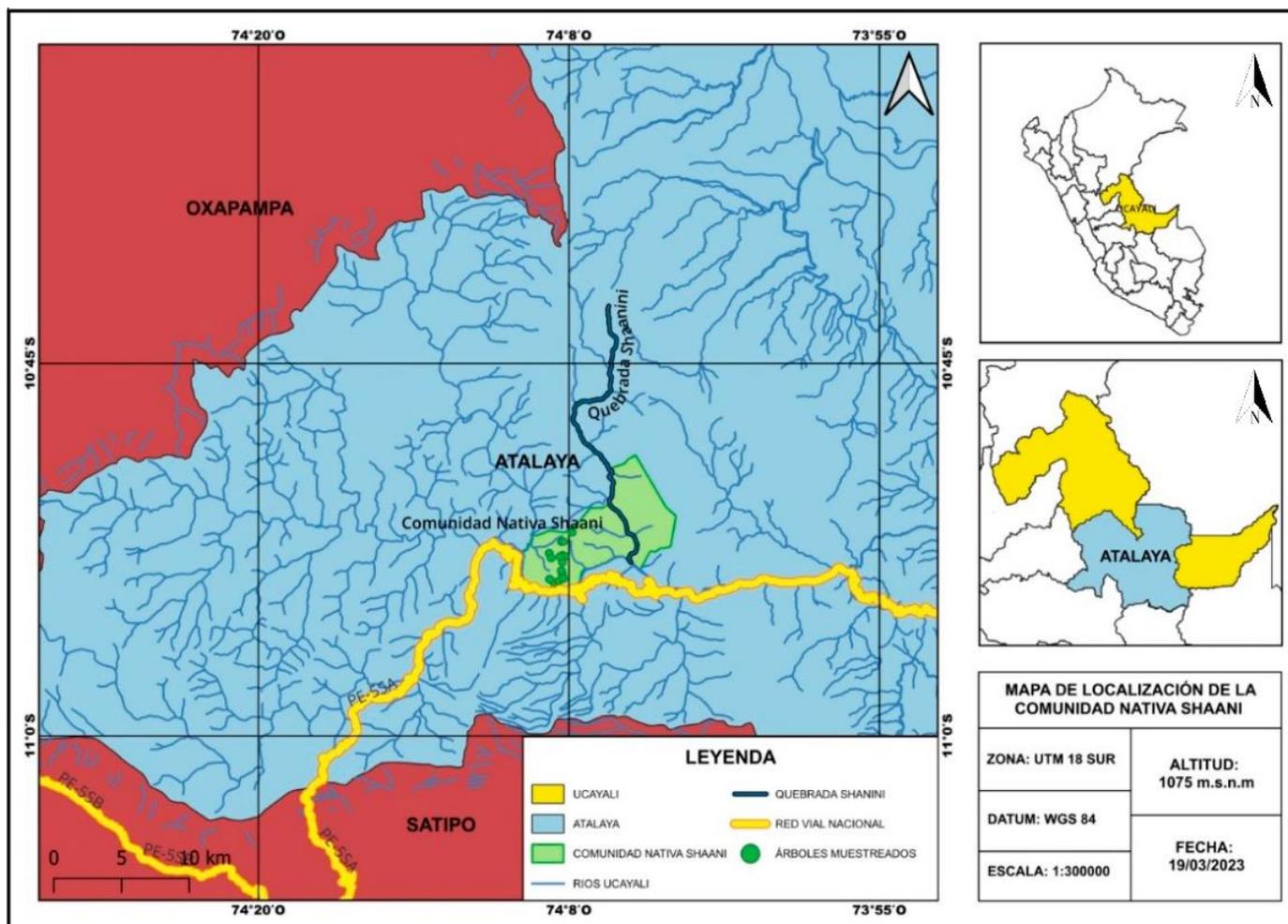


Figura 16. Mapa de localización de la comunidad nativa Shaani

3.4.2. Clima:

Debido a que no hay una estación meteorológica cercana al lugar de estudio, se tomaron datos de la página CHELSA (78) <https://chelsa-climate.org/>, en las siguientes Figuras 17, se muestra la evapotranspiración promedio de los años 1981 al 2010 y en la Figura 18 se muestra un climodiagrama de temperatura máxima, mínima y precipitación.

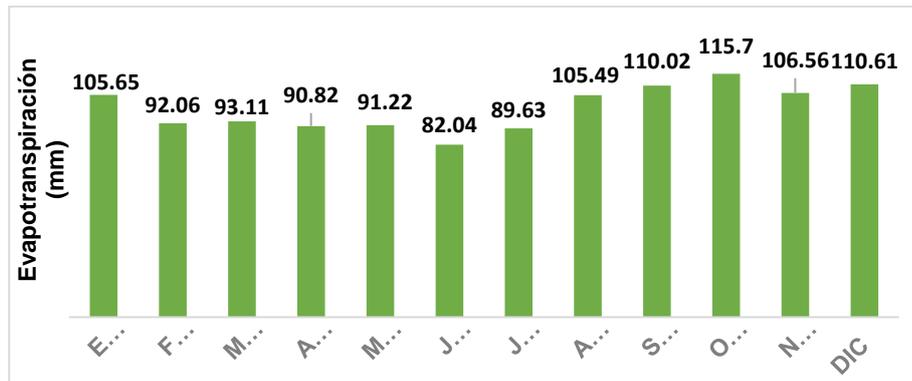


Figura 17. Evapotranspiración promedio mensual de Shaani.

Fuente: Elaboración propia.

En el mes de junio ocurre menor evapotranspiración mientras que en el mes de octubre y diciembre fueron los meses con mayor índice de evapotranspiración.

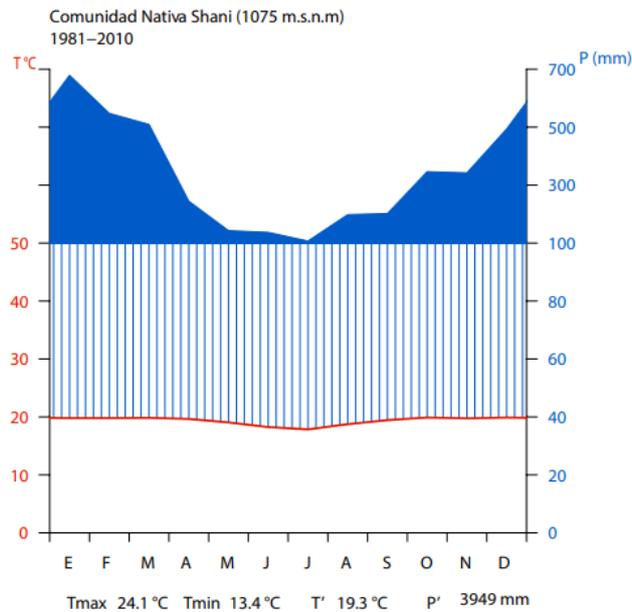


Figura 18. Climograma de Walter Lieth, T= Temperatura promedio, P= Precipitación promedio anual.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 18 se observa el mes de enero con mayor humedad seguido de marzo. De enero a diciembre se conserva la humedad, sin embargo, julio presenta menor precipitación, y el mes con mayor temperatura es octubre coincidiendo con un mayor índice de evapotranspiración.

3.4.3. Composición florística y estructura de la vegetación:

Conforme al informe de la Universidad Nacional Agraria La Molina, 2006, el BNA presenta tres estratos diferenciados: 1) A mayor altura (≥ 25 m) se encuentran los árboles de género *Clusia*, *Brunellia*, *Cedrela*, *Laplacea*, *Cecropia*, *Ladenbergia*, *Siparuna*, *Cinchona*, *Magnolia*, *Podocarpus*, *Ocotea* y *Weinmannia* (79). 2) En el dosel medio (4m) se encuentra constituido por helechos arbóreos del género *Cyathea* *Dicksonia* *Symplocos* y bambú de tipo *Chusquea* (79) y 3) Epífitas como orquídeas, musgos, helechos, líquenes y bromelias (79).

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnica de recolección de datos



Figura 19. Procedimiento que se realizó en este trabajo

A. Índice de ancho de anillo (RWI) durante eventos de sequía y no sequía

Para obtener RWI primero se tiene que construir la cronología de *C. montana*, para esto se muestrearon 16 árboles de *C. montana* de diferentes diámetros (≥ 40 cm), dos muestras por árbol (muestras del laboratorio de Dendrocronología de la Universidad Continental). Las muestras se tomaron con un barreno tipo Pressler de 5 mm (Häglof®) con extractor,

a 1.5 m de altura de pecho para evitar tomar muestras de algunos troncos distorsionados, inmediatamente después, se introdujeron tarugos de madera (previamente esterilizados con alcohol/agua oxigenada 50/50) en el agujero que dejó la toma de muestra para evitar posibles infecciones causadas por virus, hongos, bacterias o el ataque de insectos (29).

Las muestras recolectadas se colocan en sorbetes etiquetados con un código de identificación, posteriormente transportados hasta el laboratorio de dendrocronología de la Universidad Continental, para dejarlos secar a temperatura ambiente recomendado solo para climas secos (29), posterior a cinco días, las muestras fueron montadas con una vista del corte transversal hacia arriba en una regleta de madera con una ranura semicircular de 5mm (rotulada para cada muestra), estas muestras fueron montadas con goma sintética blanca soluble en agua, (29) para poder asegurarlas a la regleta se utilizó cinta masking tape de 24 mm de ancho para que la muestra no pueda moverse y dejar secar por 48 hrs. Después de que el pegamento haya secado, las muestras fueron lijadas con una máquina lijadora (Makita®) con lijas sucesivas de grano grueso (120, 220, 320 y 360 granos por cm²) a lijas de grano fino (400 y 600 granos por cm²) y el lijado manual con lijas de grano extrafino (800,1200,2000 y 2500 granos por cm²), hasta que la superficie final del corte transversal pueda verse claramente en un estereoscopio con objetivo de 10x. teniendo la muestra bien lijada, se usó una sopladora de aire (NORSTAN®) para eliminar el polvo resultante del lijado y la tilosa que tapaba los poros. En esta etapa, las muestras ya estaban listas para empezar con el fechado visual, con ayuda de un estereoscopio (Amscope®), tomando en cuenta la convención de Schulman de 1956 para el hemisferio Sur, donde especifica que, para el fechado del último anillo, se considera el año en donde empezó a formarse (80), por tanto, el 2008 se consideró como el último año de crecimiento de anillo. Una vez fechada la muestra, como indicador, en la reglilla de madera se marcó un punto cada diez años contados a partir del último anillo, cada 50 años se marcaron 2 puntos alineados verticalmente, cada cien años, se marcaron 3 puntos verticales, como lo indica Speer en el 2010 (29), después de delimitar los anillos de cada año, se utilizó un sistema de medición Velmex, INC. (Model VRO-1B) con una precisión de 0.001 mm, que funciona junto con el software Measure J2X (ProjectJ2X), y con el estereoscopio que sirve como guía visual porque tiene una retícula en forma de cruz en uno de sus oculares para poder hacer las delimitaciones correctas del tamaño del ancho de anillo en mm, estas mediciones fueron realizadas por Sánchez-Ferrer J (no publicado). A continuación, se realizó la verificación del fechado con el programa COFECHA (81), en las que fueron ingresadas 24 de las 32 series.

Finalmente, para la construcción de la cronología, se utilizó el programa Rstudio.Ink v.4.2 (R Core Team) con los paquetes de “dplR v1.7.2”, que es una biblioteca de

programas de dendrocronología para realizar análisis de anillos de árboles como el de estandarización (82), eliminando la tendencia de crecimiento por la edad (29) y también el paquete “ggplot2 v3.3.5” que es un sistema que crea gráficos (83), con estos paquetes instalados y el programa Rstudio se estandarizaron 24 series de anillos ingresados. Se utilizó el modelo exponencial negativo porque los valores de ancho de anillos transformados en índices, no tienen tendencia lineal, y su valor medio es uno, como lo explica Fritts en 1976 (84). El tipo de cronología utilizada fue la residual, y las series de ancho de anillo se estandarizaron aplicando un spline suavizado de 30 años como se observa en la Figura 20.

De acuerdo a Jiménez et al. en el año 2018 delimita los años con eventos históricos de sequía en América del Sur, donde se divide en tres categorías con anomalías térmicas extremas. En este estudio se le designará como años secos (AS), los que fueron evaluados según valores de temperatura de aire. Para años con rango moderado considera los años 1988 y 2004, para años con rango severo, considera los años 2005, 2015 y 2016, para años con rango extremo, considera los años 1982,1983,1990,1994,1997, 1998 y 2010 (85).

Entonces, para determinar si hay diferencia o no en el RWI durante años secos y no secos se utilizaron los datos de índice de ancho de anillo obtenidos anteriormente en la construcción de la cronología, seleccionando los datos de RWI para años secos y para años no secos se consideró dos años antes y dos después de los años secos, posteriormente los datos obtenidos se evaluaron con el programa SigmaPlot 14, en donde primero se realizó un test de análisis de varianza de un factor (ANOVA), para datos con distribución normal se utilizó la prueba Brown Forsythe para la homogeneización de varianzas; para datos que no tengan distribución normal se utilizó la prueba no paramétrica Kruskal Wallis, y posteriormente para todos los datos en general se aplicó la prueba *post-hoc* Tukey.

B. Relación entre el potencial de evaporación (PET), El Niño Southern Oscillation (ENSO) y Palmer Drought Severity Index (PDSI) con el Índice de Ancho de anillo (RWI)

Para evaluar esta correlación, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson evaluado con el programa Rstudio, utilizando los datos de cronología residual (para observar cambios interanuales en el crecimiento) de 1980 a 2008 debido a que dentro de esos años se evaluó el efecto de la sequía en el ancho de anillos y en los caracteres anatómicos de los vasos de la especie, esta cronología se correlacionó con los datos de (PET; mm/mes), PDSI y con datos de ENSO, que particularmente se eligió usar Niño 3.4 index (Figura 15).

Todos los datos se extrajeron de acuerdo al punto de latitud y longitud de la comunidad nativa Shaani de donde se sacaron las muestras de la *C. montana*; Los datos de PET se obtuvieron de CHELSA (78) en formato TIF y se extrajeron de acuerdo con las coordenadas en el programa Rstudio 4.2 (<https://www.rstudio.com/>) con el uso de un Script específico. Los datos de PDSI y ENSO, se descargaron de Climate Explorer (<https://climexp.knmi.nl/>).

C. Rasgos anatómicos de los vasos de xilema (diámetro, densidad e índice de vulnerabilidad) durante eventos específicos de sequía (moderado, severo y extremo) y no sequía

Para determinar la diferencia de los rasgos anatómicos (diámetro, densidad e índice de vulnerabilidad) durante los años históricos de sequía (AS), se seleccionaron seis muestras de manera aleatoria de las 32 recolectadas y se reconocieron los AS en cada una de ellas, también dos años antes y después, que fueron considerados como años no secos (ANS), asimismo, se obtuvieron imágenes digitales de estos años seleccionados en las seis muestras, así como dos años anteriores y dos años posteriores a cada evento. La digitalización se llevó a cabo con una cámara de 10 MP (AmScope®) ensamblado en el estereoscopio conectado a la computadora con el programa AmScope (x64, 4.7.14189.20190316), el tamaño de fotografía fue de 6.9 mm de ancho x 4.050 mm de largo aproximadamente, y con una reglilla de medición de 0.15 mm (Figura 19). En el caso de que el anillo fuera muy ancho, se capturaron más de una foto, las cuales fueron luego unidas con el programa Adobe Illustrator CC (www.adobe.com).

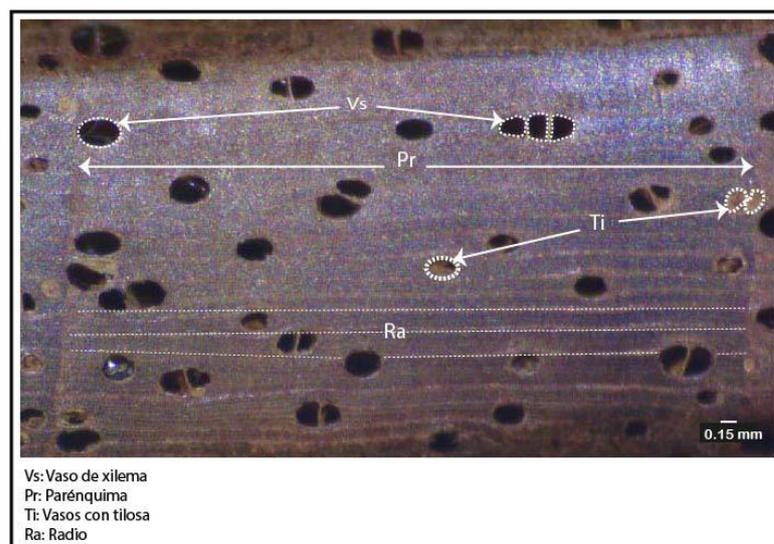


Figura 20. Captura de un anillo de crecimiento de *Cedrela montana*, conformado por Pr: parénquima, Vs: vasos de xilema que a veces está cubierto por Ti: tilosa, Ra: radios que son bandas perpendiculares a las Pr.

D. Medición de los caracteres anatómicos de los vasos:

Finalizando la digitalización de los anillos de crecimiento en AS y ANS, se realizaron las mediciones manualmente de los rasgos de los vasos (diámetro, densidad e índice de vulnerabilidad) con el programa ImageJ (Java,1.52p) y los datos obtenidos sirvieron para hallar el diámetro (D, μm), densidad de los vasos (V_D , mm^{-2}) e índice de vulnerabilidad (VI, 1-3).

1) Para hallar el diámetro (D), se usó la siguiente fórmula:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

En donde A: área de la superficie del conducto.

En donde D: diámetro del círculo que tiene la misma área de la superficie medida.

Para obtener los valores del V_D , se cuantificó el número medio de vasos existentes en un área delimitada entre 1 a 1.5 mm^2 dependiendo del tamaño de ancho del anillo, como los vasos no son de diámetro pequeño, se delimitó un área mayor a 1 mm^2 como lo recomienda IAWA Committee (64).

2) Para hallar VI, se hace uso de los datos D y V_D , en la siguiente fórmula:

$$VI = \frac{D}{V_D}$$

Los datos obtenidos se evaluaron con el programa SigmaPlot 14, en donde primero se realizó un test de análisis de varianza de un factor (ANOVA) para determinar si hay diferencia significativa entre las medias de dos variables (año seco y año no seco), para datos con distribución normal se utilizó la prueba Brown Forsythe (para decidir si es que existe igualdad de medianas) para la homogeneización de varianzas; para datos que no tengan distribución normal se utilizó la prueba no paramétrica Kruskal Wallis, y posteriormente para todos los datos en general se aplicó la prueba *post-hoc* Tukey, el cual es utilizado para un número elevado de datos como es en el presente estudio, el cual sirvió para identificar diferencias estadísticamente significativas entre los caracteres anatómicos de los vasos durante el evento de sequía y no sequía.

Con base en los datos obtenidos de rasgos anatómicos de los vasos, se seleccionan de acuerdo al año considerado como moderado, severo y extremo uno en cada fila, posteriormente con el programa SigmaPlot 14 se realiza un test de análisis de varianza y posteriormente una prueba *post-hoc* Tukey, y finalmente se obtiene el diagrama de caja correspondiente.

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

- Barreno de Pressler de 5 mm (Häglof[®]) con extractor
- 50 sorbetes
- Tarugos de madera
- Martillo de goma
- Rotulador (Shurtape[®])
- Maquina lijadora: Makita[®] (modelo BO3710)
- Estereoscopio de alcance de 10x: AmScope[®]
- Velmex, INC. (Model VRO-1B)
- Cámara de 10 MP (AmScope[®])
- Programas utilizados: Measure J2X (ProjectJ2X), COFECHA, ARSTAN, SigmaPlot, AmScope, Adobe Illustrator e ImageJ.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Diferencia del índice de ancho de anillo (RWI) durante eventos de sequía y no sequía:

El desarrollo de la cronología de *Cedrela montana* fue importante para datar correctamente el anillo correspondiente a cada año, brindando datos estadísticos que validan que la intercorrelación entre muestras es aceptable, también para comprobar si la sensibilidad media de las muestras fue apropiada para realizar el estudio, y de esta manera con toda confiabilidad se seleccionaron los anillos de los años de interés para continuar con la investigación.

En total, 24 de 32 muestras fueron crosdatadas, en un periodo de 29 de años, de 1980 al 2008, debido a que son años de interés de la investigación para años históricos de sequía para esto se utilizó los datos de Sánchez Ferrer, J (datos no publicados). El ancho de anillos varía desde 0.292 mm a 21.121 mm para *C. montana*. La cronología de *C. montana* obtuvo una intercorrelación de 0.484 (COFECHA), que fueron calibrados en segmentos de 30 años sucesivos tomados cada 15 años, esta calibración se realizó de acuerdo a la serie maestra de 29 años, en otras palabras, el programa COFECHA analizó datos de 1980 a 2009, y el siguiente segmento fue de 1995 a 2008 (81). La sensibilidad media resultó 0.378, que se considera como suficientemente sensible para una reconstrucción climática (29), en otras palabras, la especie desarrolla anillos de diversos tamaños de acuerdo a la influencia del clima.

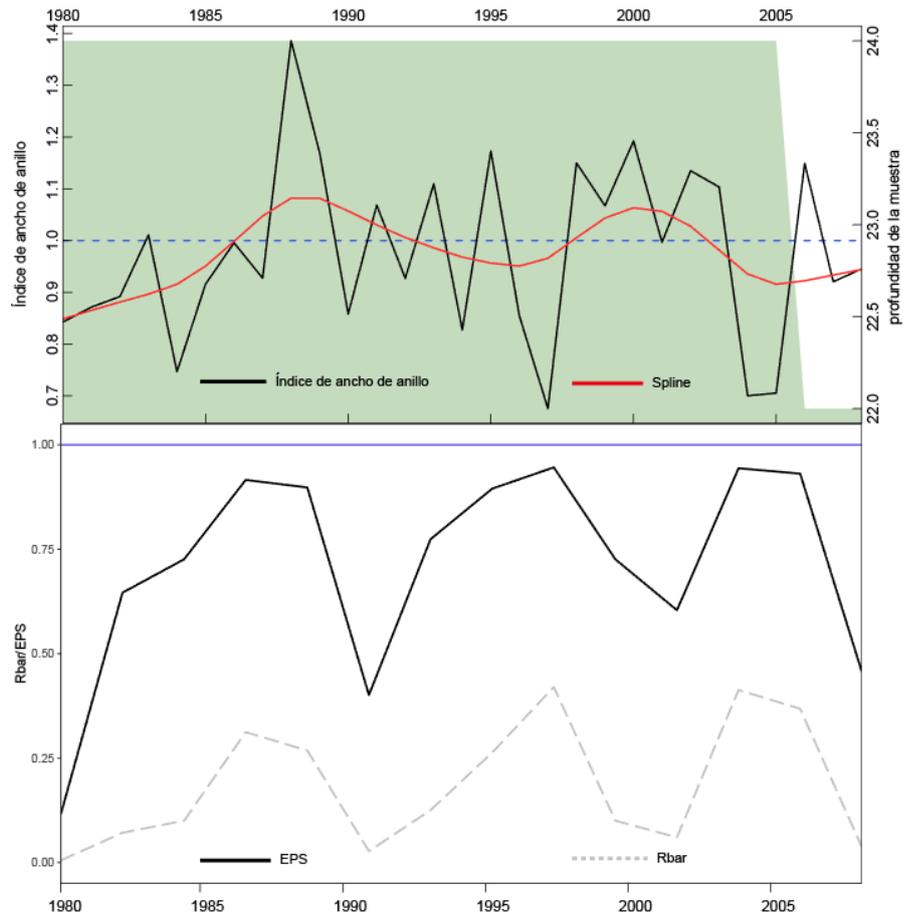


Figura 21. Cronología residual de *Cedrela montana*.

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5, se presentan las estadísticas descriptivas de la cronología.

Tabla 5. Obtenidos de ^C: COFECHA, ^R: Rstudio

Estadísticas	Resultado
Árboles muestreados	16
Número de muestras (series)	32
Número de series ^C crodatadas (datación cruzada)	24
Serie Maestra 1980 – 2008 ^C	29 años
Total de anillos crodatados ^C	690
Intercorrelación de series ^C	0.468
Sensibilidad media ^C	0.378

Signal to noise ratio (SNR) ^R	6.42
Rbar ^R	0.184
EPS ^R	0.713

Las estadísticas obtenidas por el paquete dplr fueron, la relación de señal/ ruido denominado como SNR de 6.42 que quiere decir que hay mayor presencia de señal climática que de ruido, Rbar de 0.184 que sirve como medida promedio de la señal común de las muestras a lo largo del tiempo de la cronología y EPS de 0.713, que estaría debajo de 0.85 que es lo propuesto por Wigley en 1984 (31) (Tabla 6).

Para los resultados de la relación entre el índice de ancho de anillo (RWI) y años secos y no secos no se encontraron diferencias significativas. En promedio, el índice de anillo para años secos fue de 0.92 y para años no secos de 1.03, con RWI máximo de 1.39 para años secos y 1.19 para años no secos, asimismo, con RWI mínimo de 0.61 para años secos y de 0.77 para años no secos (Figura 21).

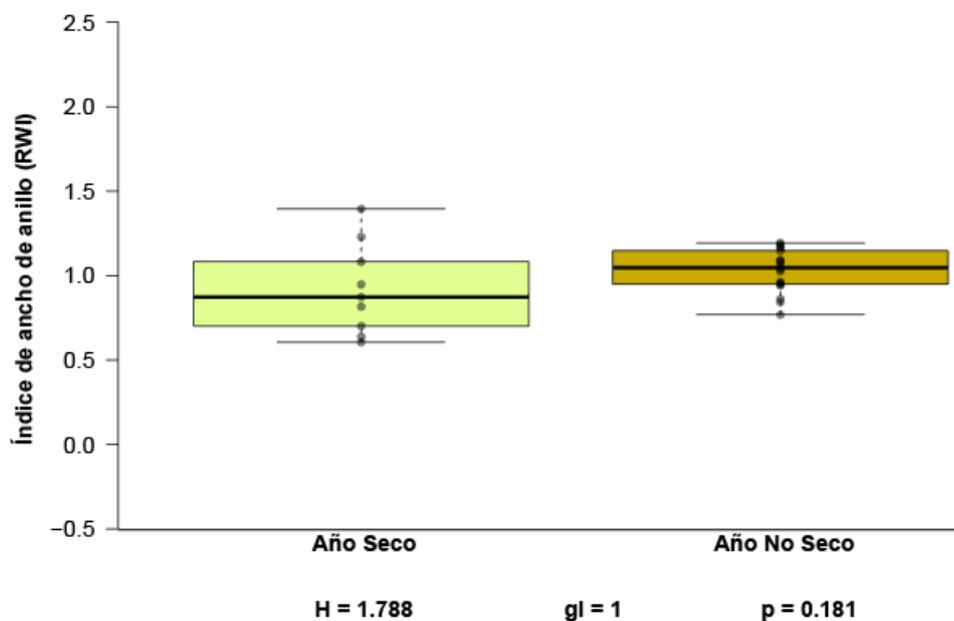


Figura 22. Índice de ancho de anillo en años secos y no secos.

4.1.2. Relación entre el potencial de evapotranspiración (PET), El Niño Southern Oscillation (ENSO) y Palmer Drought Severity Index (PDSI) con el Índice de ancho de anillo de *Cedrela montana*.

A través de la correlación de Pearson (r), se encontró significancia ($p = 0.05$) en la relación de RWI de la cronología residual de *C. montana* con la data mensual de PDSI, ENSO (Niño 3.4

índice) y PET. Las correlaciones se calcularon desde junio anterior hasta septiembre actual (Figura 22).

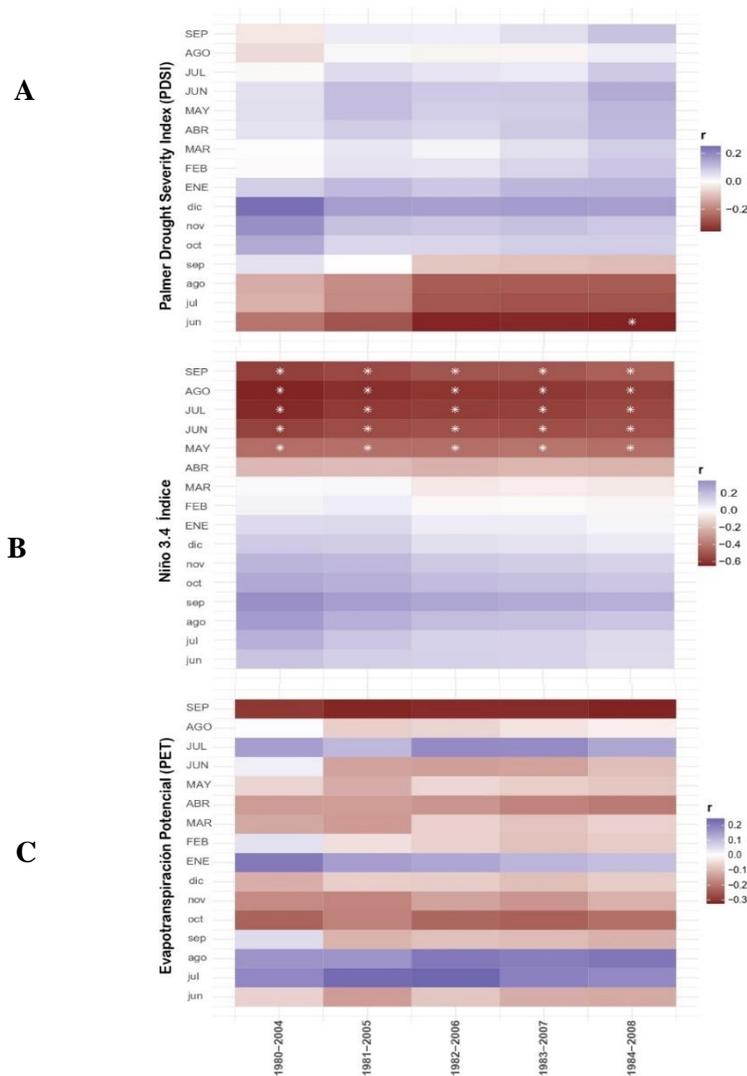


Figura 23. Correlación de Pearson (r) del índice de ancho de anillo (RWI) con PET, PDSI y El Niño (ENSO). Las abreviaturas de los meses en minúscula corresponden al año anterior (inicio de formación de los anillos) y las abreviaturas en mayúscula corresponden al año actual.

Para la relación de RWI con ENSO (Niño 3.4), se obtuvieron solo correlaciones negativas para julio y agosto del año actual, la mayor correlación negativa es de $r = -0.6$.

En cuanto a la relación de RWI con PDSI, solo se encontró correlación significativa negativa ($r = -0.4$) en el mes de junio anterior entre los años 1984 al 2008.

Para PET, no se encontró ninguna relación que resulte significativa con RWI de *C. montana*.

4.1.3. Características presentes en los rasgos anatómicos de los vasos de xilema (diámetro, densidad e índice de vulnerabilidad) durante eventos específicos de sequía y no sequía en *Cedrela montana*.

Durante eventos de sequía y no sequía:

El promedio de número de vasos que contenía cada anillo, para años secos fue de 38.78 y para años no secos fue de 48.11. En la Figura 23, se observa la variación en los caracteres anatómicos de los vasos para años secos y no secos.

En el diámetro de los vasos entre años secos y no secos, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los valores; no obstante, se observa que, para años secos, el diámetro del vaso es en promedio de 202.36 μm , mientras para años no secos el promedio fue de 196.46 μm . Ambos diámetros presentan outliers (datos atípicos), mientras que para años secos el diámetro se expande hasta 463.87 μm , para años no secos fue menor aprox. de 389.25 μm (Figura 23A; Tabla 7).

Para densidad, en años secos, los valores van de 2.21 a 7.39 μm y en años no secos de 2.22 a 5.79 μm , teniendo un solo dato atípico 6.98 μm . En promedio, para años secos la densidad fue de 4.43 μm y para años no secos 3.91 μm (Figura 23B; Tabla 7).

Para Índice de vulnerabilidad, en años secos el promedio fue menor que para años no secos, sin embargo, los datos para año seco se expandieron de 8.9 hasta 210.23 μm mientras que para año no secos de 11.03 a 141.71 μm (Figura 23C; Tabla 7).

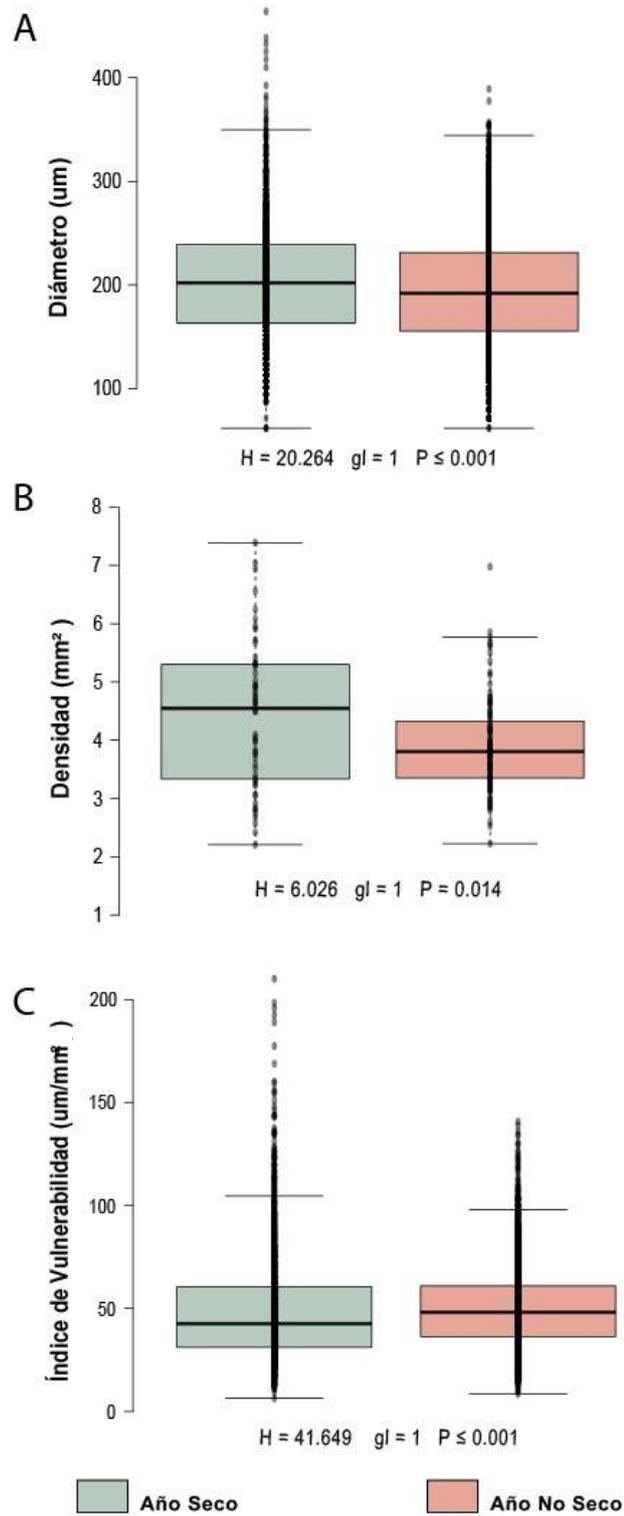


Figura 24. Rasgos anatómicos de los vasos de *Cedrela montana* en años secos y no secos. El test de normalidad que se usó fue el de Kruskal-Wallis, posteriormente la prueba post-hoc Tukey

La siguiente Tabla 6 presenta los valores estadísticos de los diagramas de cajas para años secos y años no secos:

Tabla 6. Valores estadísticos de los caracteres de los vasos de *Cedrela montana* para años secos y años no secos

Rasgos anatómicos de los vasos	Estadísticas	Año seco	Año no seco
<i>Diámetro (μm)</i>	Número de datos	1950	3917
	Promedio	202.36	196.46
	Valor máx	463.87	389.25
	Valor mín	61.80	61.80
	Bigote superior	349.62	344.11
	3er cuartil	239.37	231.25
	Mediana	201.85	192.16
	1er cuartil	163.52	155.54
	Bigote inferior	61.80	61.80
<i>Densidad (mm^2)</i>	Número de datos	54	102
	Promedio	4.43	3.91
	Valor máx	7.39	6.98
	Valor mín	2.21	2.22
	Bigote superior	7.39	5.79
	3er cuartil	5.3	4.33
	Mediana	4.55	3.81
	1er cuartil	3.33	3.36
	Bigote inferior	2.21	2.22
<i>Índice de Vulnerabilidad</i>	Número de datos	1950	3917
	Promedio	51.36	52.51
	Valor máx	210.23	141.71
	Valor mín	8.90	11.03

	Bigote superior	105.92	99.44
	3er cuartil	62.54	62.91
	Mediana	44.64	50.2
	1er cuartil	33.38	38.45
	Bigote inferior	8.9	11.03

Durante eventos de sequía (moderado, severo y extremo)

Se analizó la respuesta de las características de los vasos de *C. montana* para las tres categorías de años secos (moderado, severo y extremo) (Figura 24). En el diámetro de los vasos no se detectaron diferencias entre las distintas categorías de eventos de sequía, durante los eventos moderados, los valores fueron de 100.93 a 463.87 μm ; durante eventos severos los valores fueron de 94.41 a 349.62 μm ; y en los eventos extremos el valor del diámetro de los vasos fue de 61.80 a 409.96 μm (Figura 24A, Tabla 8).

En densidad, para años moderados se encontraron de 2.21 a 6.08 vasos por mm^2 , mientras que, para años severos, fue de 2.57 a 6.25 vasos por mm^2 , en cambio para años extremos, el valor se extendió de 2.42 a 7.39 vasos por mm^2 (Figura 24B; Tabla 8).

En índice de vulnerabilidad, para años moderados, los valores fueron de 16.59 a 210.23, que fue el mayor valor para este carácter, mientras que para años severos el rango fue menor, los valores fueron de 15.12 a 135.88 y en años con sequía extremo, los valores fueron 8.9 a 169.45 (Figura 24C, Tabla 8).

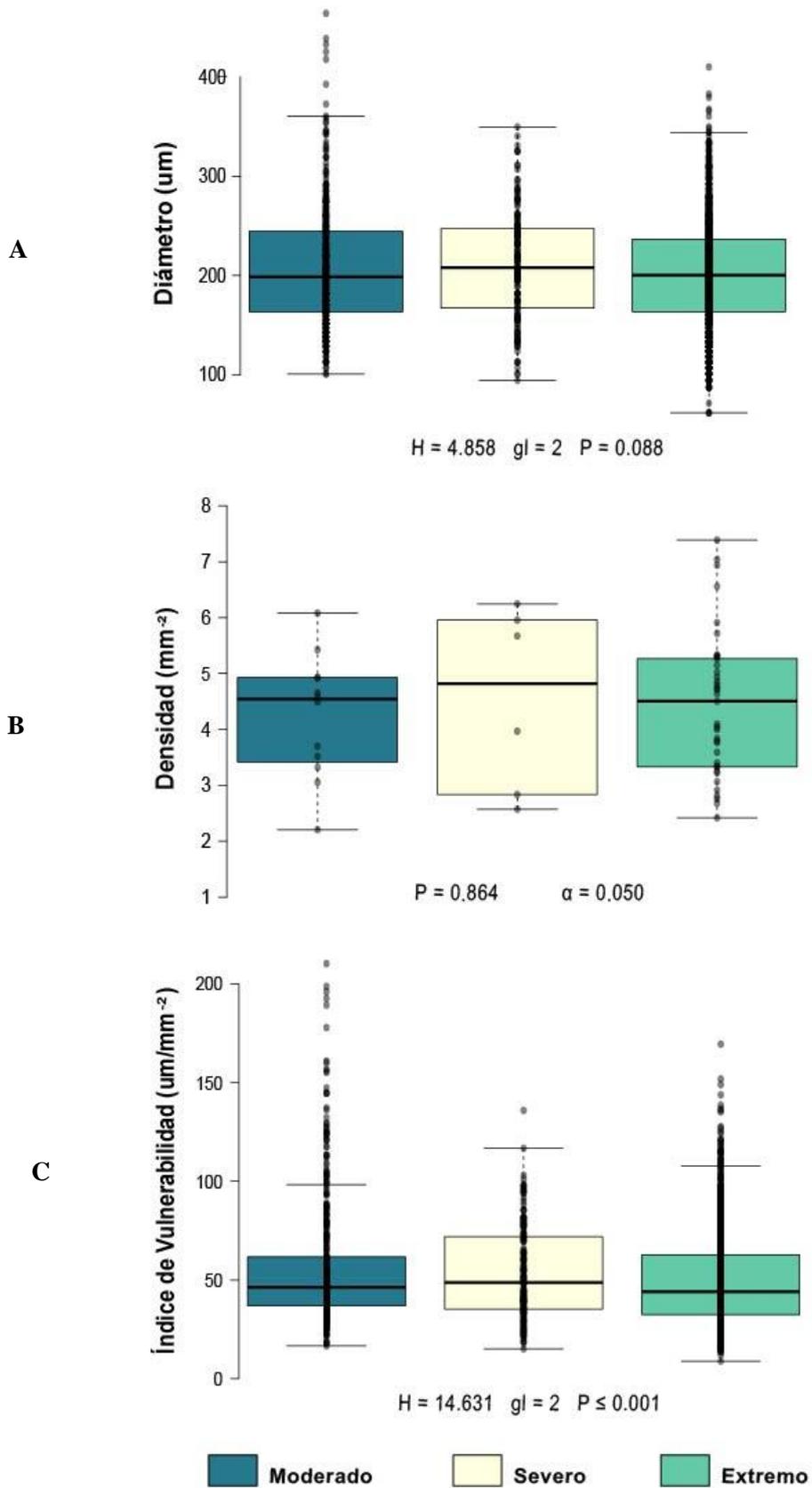


Figura 25. Rasgos anatómicos de los vasos de *Cedrela montana* en años secos. Se usaron dos tipos de test estadístico, el de Kruskal-Wallis y Brown Forsythe, posteriormente la prueba post-hoc Tukey.

Tabla 7. Valores estadísticos de los diagramas de cajas para categorías de años secos

Rasgos anatómicos de los vasos	Estadísticas	Moderado	Severo	Extremo
<i>Diámetro (μm)</i>	Número de datos	425	165	1396
	Promedio	206.89	210.23	200.52
	Valor máx	463.87	349.62	409.96
	Valor min	100.93	94.41	61.80
	Bigote superior	360.37	349.62	344.11
	3er cuartil	244.63	247.22	236.69
	Mediana	198.67	208.06	200.26
	1er cuartil	163.52	167.37	163.52
	Bigote inferior	100.93	94.41	61.8
<i>Densidad (mm^{-2})</i>	Número de datos	12	6	37
	Promedio	4.24	4.54	4.45
	Valor máx	6.08	6.25	7.39
	Valor min	2.21	2.57	2.42
	Bigote superior	6.08	6.25	7.39
	3er cuartil	4.93	5.96	5.26
	Mediana	4.54	4.82	4.5
	1er cuartil	3.42	2.83	3.33
	Bigote inferior	2.21	2.57	2.42
<i>Índice de Vulnerabilidad</i>	Número de datos	425	165	1396
	Promedio	57.20	53.57	49.71
	Valor máx	210.23	135.88	169.45
	Valor min	16.59	15.12	8.90
	Bigote superior	98.37	116.73	107.67

	3er cuartil	61.78	71.94	62.71
	Mediana	46.27	48.75	44.07
	1er cuartil	36.91	35.22	32.48
	Bigote inferior	16.59	15.12	8.9

4.2. Discusión de resultados

Realizar estudios dendroecológicos con especies del Bosque Nublado Andino (BNA) es complicado debido a la dificultad de acceso a los sitios y pendientes pronunciadas, albergan muchas orquídeas, epífitas, helechos y árboles, siendo considerados como hotspots (puntos) del género *Cedrela* debido a su alta riqueza (10 especies) y cuatro endémicas para Perú (*C. kuelapensis* T.D. Penn. & Daza, *C. molinensis* T.D. Penn. & Reynel, *C. longipetiolulata* Harms y *C. weberbaueri* Harms) que se distribuyen en este tipo de vegetación, por lo que en este trabajo se evaluó mediante técnicas dendrocronológicas la adaptación de la madera de *C. montana* ante eventos de sequía específicos, esta especie es considerada como vulnerable por la pérdida de su hábitat y la extracción maderera, la cual en este estudio se llevó a cabo en una comunidad nativa Shaani de la región de Ucayali, Perú. Asimismo, se relaciona PET, los índices de ENSO y PDSI con el índice de ancho de anillo. Por otra parte, con apoyo de técnicas dendroecológicas y de anatomía de la madera, se evaluaron los eventos puntuales de sequía (moderado, severo y extremo; Jimenez et. al (85) en la anatomía de los vasos de xilema (diámetro, densidad e índice de vulnerabilidad), los cuales son considerados por varios autores como von Arx, 2013 (86) y Scholz et al., 2014 (67), que son esenciales para evaluar el efecto de variaciones climáticas específicas como altas precipitaciones y/o sequías (67, 86).

Algunos estudios dendrocronológicos de *Cedrela* reportan un amplio espectro de edades entre especies; sin embargo no consideran en algunos casos todos los estadísticos pertinentes como son EPS, Rbar, Signal-to-noise-ratio (SNR) que permitan comparar con los datos obtenidos de *C. montana* de Perú de esta investigación donde se obtuvo un registro de 29 años (1980-2008), con intercorrelación 0.468, con valores de EPS = 0.713, Rbar = 0.184 y SNR = 6.42; por ejemplo Marcon et al. ,2019 (87) en Brasil, registraron para *C. fissilis* Vell., 124 años en su cronología maestra (1891-2014), con una intercorrelación baja de 0.31, Sensibilidad media = 0.535 y EPS > 0.75; por otra parte Layme-Huaman et al., 2018 (88) en Perú reportan para *C. nebulosa* T.D. Penn. & Daza, 133 años en su cronología maestra (1883-2015), con valores de EPS= 0.91, Rbar = 0.43, e intercorrelación de 0.47; en Brasil Lisi et al., 2020 (89), registraron 10 sitios donde se distribuía *C. odorata* L. con 108 años (1902-2010), con valor de EPS=0.97 e intercorrelación de 0.696; Paredes et al., 2016 (90) en Bolivia, registraron para *C. angustifolia* Sessé & Moc. ex

DC., en su cronología maestra 76 años (1936-2011), con valores de R_{bar} de 0.374; Bräuning et al., 2009 (59) en Ecuador, registra para *C. montana* 167 años (1840-2007), con valores de intercorrelación de 0.23, $EPS > 0.85$ y de $R_{bar} = 0.30$; y finalmente Villalba, et al., 2006 (91) para Argentina describen para *C. lilloi* C. DC., 204 años (1796-1999) con intercorrelación de 0.375, con valores de $EPS = 0.70$ y $R_{bar} = 0.414$. Sin embargo, en su mayoría no registran los valores de SNR que nos permiten identificar la señal climática entre distintas especies del género *Cedrela*, asimismo, los valores de intercorrelación oscilan entre 0.23 a 0.696, mientras que en el presente estudio se obtuvo 0.468, que se encontraría en el rango medio en comparación con los otros estudios para *Cedrela*, para EPS se registraron valores mayores a 0.70, sin embargo, la mayoría de los estudios presentaron mayor EPS y R_{bar} que este estudio. Dichas comparaciones nos permiten concluir que en general el género *Cedrela* presentan edades > 100 años, como por ejemplo el estudio de Pereyra et. al, 2014 (92) que encontraron en la selva central del Perú para *C. odorata* 215 años, lo que hace posible evaluar eventos climáticos y ecológicos en los anillos de crecimiento. No obstante, hay algunas especies de *Cedrela* de las que no se han realizado estudios dendrocronológicos y se desconocen las edades en que las especies pueden llegar, lo que permitirá evaluar el efecto climático, tal es el caso de *C. ngobe* Köcke, T.D. Penn. & Muellner en Panamá que fue estudiado en el 2015 (93), *C. dugesii* S. Watson de México, estudiado por Pérez en 1993 (94), *C. molinensis*, *C. longipetiolulata* y *C. weberbaueri* estudiados por Pennington y Muellner 2010 (95) en Perú.

Particularmente, los BNA suelen estar inmersos con neblina y lloviznas frecuentes a lo largo del año, y representan importantes ecosistemas en procesos de evapotranspiración. Los episodios de precipitaciones abundantes que ocurren en los BNA se intercalan con periodos secos más largos, en donde ocurre un aumento de la evapotranspiración. Por lo que en la correlación realizada con el índice de ancho de anillo de *C. montana* y el PET y el PDSI, solo hubo influencia durante el mes de junio anterior al crecimiento (Figura 22A y C), no se detectaron correlaciones significativas, posiblemente a la inmersión de la neblina que afecta en gran medida al equilibrio hidráulico en este tipo de ecosistema, el cual es influenciado por la disminución de la evapotranspiración como por el aumento de las precipitaciones asociadas a la niebla que se acumula en la superficie del dosel (96).

Tanto las tasas de evapotranspiración son considerablemente menores en el BNA que en otros tipos de ecosistemas de montaña de altitudes menores (10). Sin embargo, eventos puntuales climáticos como El Niño 3.4 (El Niño y La Niña), influyó negativamente en el índice de ancho de anillo de *Cedrela montana*, ya que durante la fase fría (La Niña) ocurren eventos considerables de sequía; y en la fase cálida (El Niño) se llevan a cabo altos periodos de precipitación (97), influyendo en el clima a nivel mundial. Los resultados indican que, en los meses de mayo a

septiembre del año actual de crecimiento, la influencia de este evento fue negativamente considerable en el índice de ancho de anillo de la especie (Figura 22B), debido a que como se observa en la Figura 15, durante los meses de junio a agosto, Perú se ve influenciado por el evento El Niño, el que ocasiona periodos cálidos (77).

Nuestros resultados dendroecológicos y anatómicos de los caracteres de la xilema destacan la importancia en la adaptación de *Cedrela montana* en las variaciones climáticas en un BNA del Perú. En este estudio, los cambios anatómicos en las dimensiones de los caracteres de los vasos del xilema (diámetro, densidad e índice de vulnerabilidad) reflejaron una plasticidad anatómica en arquitecturas hidráulicas influidas principalmente por eventos puntuales de sequía (1982, 1983, 1988, 1990, 1994, 1997, 1998, 2004 y 2005). Particularmente el diámetro de los vasos se vio influenciado por la conductividad hidráulica, que durante los eventos de sequía los valores oscilaron fue de 202.36 μm , mientras que durante los eventos de no sequía fue de 196.46 μm , lo que nos indica que al ser *C. montana* una especie característica de ambientes de alta humedad, las diferencias detectadas fueron mínimas, lo que puede deberse a la capacidad de la especie de ajustar el equilibrio hídrico y las características anatómicas de la madera y formar parte de la estrategia de resiliencia a las condiciones de sequía del sitio en donde habita (98). En cuanto a los valores identificados de densidad de los vasos durante periodos secos fue de 4.43 mm^{-2} , mientras que durante los periodos de no sequía los valores fueron menores con 3.91 mm^{-2} , dichos resultados corresponden a que la especie se adapta a las condiciones secas, ya que según los resultados en periodos secos hay mayor número de vasos lo que aumenta la seguridad hidráulica; asimismo, la plasticidad observada en la densidad y en el diámetro de los vasos de *C. montana* corresponde con los valores obtenidos en especies de ambientes méxicos como *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC., *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken, *Ocotea veraguensis* (Meisn.) Mez. (27), *Fagus mexicana* Martínez (99), *Magnolia schiedeana*, *M. vovidesii* (26) y en *Cedrela kuelapensis* (24), en donde se detectaron plasticidades anatómicas en los parámetros de los vasos al déficit hídrico. Finalmente, los valores obtenidos del índice de vulnerabilidad durante los periodos de años secos (51.36) y no secos (52.51) describen que los valores > 1 corresponden a que la especie se desarrolla en ambientes méxicos como lo fue corresponde con otras especies adaptadas a ambientes similares como es el caso de *Polylepis rodolfovaquezii* L. Valenz. & Villalba en donde Rodríguez-Ramírez et al (100) describen que presenta una alta vulnerabilidad a los efectos del estrés hídrico; lo cual implica que *C. montana* ($\text{VI} > 8$) muestra limitaciones fenológicas en su crecimiento durante largos períodos de sequía.

Nuestros resultados confirman que la compensación de la arquitectura de los rasgos de los vasos en *C. montana* puede proporcionar una gama más amplia de información de la respuesta climática, que nos permitirá interpretar mejor la capacidad de adaptación a la sequía de especies

del BNA. Asimismo, existe una clara necesidad de explicar cómo las especies arbóreas de montaña ajustan su arquitectura hidráulica para conseguir un crecimiento óptimo relacionados a un estrés hídrico (101). Una integración entre la dendroecología y la anatomía de la madera puede ayudar evaluar el efecto de la adaptación climática-local de las especies arbóreas de los BNA y en áreas particulares de distribución donde podría ser más vulnerable al estrés por sequía, y evaluar su resiliencia ante eventos puntuales influenciados directa o indirectamente por el cambio climático o actividades antrópicas.

CONCLUSIONES

- El índice de ancho de anillo (RWI) durante eventos de sequía es menor a los de no sequía, *C. montana* presenta anillos estrechos ante poca disponibilidad de agua a consecuencia de la sequía, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre el RWI durante años de sequía y no sequía
- Se encontraron correlaciones significativas negativas entre ENSO (El Niño3.4) y el índice de ancho de anillos de *C. montana*, es decir, es sensible a las variaciones climáticas que afectan a distintas zonas de América del Sur, del mismo modo, se encontró correlación negativa para PDSI, y por el contrario para la relación entre PET con RWI no se encontró ninguna correlación significativa, posiblemente por las condiciones microambientales características del hábitat de la especie y que le permiten mitigar ciertos eventos climáticos.
- No se encontraron diferencias significativas en las características de los rasgos anatómicos de los vasos de xilema de *C. montana* (diámetro, densidad e índice de vulnerabilidad) durante eventos de sequía y no sequía, pero se encontró que en años secos los vasos de *C. montana* tuvieron mayor diámetro y número de vasos a comparación de los años no secos, debido a que la especie se tuvo que adaptar para tener mayor eficiencia y seguridad hidráulica, ya que a mayor número de vasos mayor será la seguridad de que la especie pueda sobrevivir bajo condiciones de estrés hídrico, además, el valor de índice de vulnerabilidad demuestra que la especie presenta mesomorfia, un rasgo característico de esto es el aumento de diámetro en los vasos. No obstante, durante los tres rangos de intensidad de sequía (moderado, severo y extremo) no se encontró diferencias significativas en los rasgos anatómicos de los vasos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda siempre rotular las muestras de manera adecuada para evitar confusiones a la hora de trabajo en gabinete, además de tomar todas las anotaciones necesarias en el trabajo de campo.
- Se recomienda que al usar el microscopio se calibre y que esa calibración se mantenga para que conjuntamente con la cámara acoplada se pueda capturar la imagen de la muestra a la misma escala.
- Se recomienda continuar con el estudio usando otras características de los rasgos anatómicos de los vasos de xilema en *C. montana* para encontrar alguna relación significativa con los eventos de sequía y de esta forma tener mayor envergadura en la investigación.
- Se recomienda que al hacer estudios relacionados con clima, se tenga en cuenta que haya estaciones meteorológicas cercanas para obtener datos meteorológicos más certeros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COSTER, Charles. Zur anatomie und physiologie der zuwachszone und jahresringbildung in den tropen. Nederland. 1927.
2. LAYME-HUAMAN, E. T., FERRERO, M. E., PALACIOS-LAZARO, K. S. y REQUENA-ROJAS, E. J. *Cedrela nebulosa*: A novel species for dendroclimatological studies in the montane tropics of South America. *Dendrochronologia*. 1 Agosto 2018. Vol. 50, p. 105–112. DOI 10.1016/j.dendro.2018.06.004.
3. AMOROSO, M. M. y SUÁREZ, M. L. The application of tree-ring analysis to ecological questions: A brief review of Dendroecology in Spanish America. *Ecosistemas*. 2015. Vol. 24, no. 2, p. 1–6. DOI 10.7818/ECOS.2015.24-2.01.
4. CALOCA, Silvia. Hablemos del Cambio Climático: Los anillos de crecimiento de los árboles son indicadores climáticos. Online. 7 Noviembre 2009. [Accesado 14 Febrero 2022]. Disponible en: <http://serdioclima.blogspot.com/2008/11/los-anillos-de-crecimiento-de-los.html>
5. QUESADA ROMÁN, Adolfo, BALLESTEROS CÁNOVAS, Juan Antonio, ST. GEORGE, Scott y STOFFEL, Markus. Tropical and subtropical dendrochronology: Approaches, applications, and prospects. 1 Noviembre 2022. *Elsevier B.V.*
6. COMISIÓN MULTISECORTIAL TEMPORAL, MINAM. Estrategia Nacional sobre Bosques y Cambio Climático Documento Preliminar. 2015.
7. MINAM. Mapa Nacional de Cobertura Vegetal. 2015.
8. MYSTER, Randall W. The Andean Cloud Forest 2021. ISBN 9783030573447.
9. MINAM PERÚ. Perú Reino de bosques. Online. Primera Ed. Pool Editores SAC, 2014. [Accesado 14 Febrero 2022]. ISBN 978-612-4174-17. Disponible en: http://www.bosques.gob.pe/archivo/1455ad_perureinodebosques.pdf
10. BRUIJNZEEL, L. A. Hydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees? In: *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Septiembre 2004. p.185–228. DOI 10.1016/j.agee.2004.01.015.
11. GUADALUPE, Noe., SEIJAS, Nelson y DÍAZ, Hugo. ESTRATEGIA REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO DE UCAYALI. Online. Primera edición. Pucallpa, 2020. [Accesado 23 Febrero 2022]. Disponible en: <https://dar.org.pe/wp-content/uploads/2021/03/Estrategia-Cambio-Climatico-Ucayali.pdf>

12. USAID PERÚ, GOBIERNO REGIONAL DE UCAYALI y UNODC. *Vulnerabilidad y Riesgo en la Región Ucayali*. 2012.
13. SCHWEINGRUBER, Fritz Hans. *Tree Rings*. Springer Netherlands, 1988
14. EWERS, Frank W. y CARLQUIST, Sherwin. *Comparative Wood Anatomy: Systematic, Ecological, and Evolutionary Aspects of Dicotyledon Wood*. 1990. ISBN 9783642074387.
15. HILLS, R y IUCN. *Cedrela montana*, The IUCN Red List of Threatened Species. Online. 2021. DOI10.2305/IUCN.UK.2021. Citation: Hills, R. 2021. *Cedrela montana*. The IUCN Red List of Threatened Species 2021: e.T171987166A171989709.
16. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). *Bosques y Cambio Climático Documento de trabajo 14* Online. 2016. Disponible en: www.fao.org/publications
17. GIMENEZ, Ana, MOGLIA, Juana, HERNANDEZ, Patricia Y GEREZ, Roxana. *Anatomía de madera*. 2005. ISBN 978-987-1676-08-8.
18. FAO. *Evapotranspiración del cultivo*. Online. [Accesado 1 Mayo 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.pdf>
19. CENTRO DE RELEVAMIENTO Y EVALUACIÓN DE RECURSOS AGRÍCOLAS Y NATURALES. Índice de Palmer – Palmer Drought Severity Index (PDSI). Online. 2018. [Accesado 1 Junio 2022]. Disponible en: <https://www.crean.unc.edu.ar/pdsi-2018-10/>
20. INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO. El Niño, la Niña y la oscilación del sur. Online. 11 Mayo 2016. [Accesado 1 Junio 2022]. Disponible en: <https://www.gob.mx/inecc/prensa/el-nino-la-nina-y-la-oscilacion-del-sur-57602>
21. NACIONES UNIDAS. *Convención Internacional de lucha contra la desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular en África*. 1994.
22. AYLAS HUAMAN, Fabiola. *Determinación de la relación del crecimiento de especies arbóreas con la estación climática del valle del Mantaro*. Online. 2018. [Accesado 12 Febrero 2022]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/4999/1/IV_FIN_107_TE_Aylas_Huaman_2018.pdf
23. PALACIOS, Elva. “Relación entre la distribución intra-anual de los vasos xilemáticos en la madera de *Prosopis sp.* (Algarrobo) y la variabilidad climática durante un año de evento

El Niño. Online. Lima: Universidad Peruana Cayetano Heredia, 2017. [Accesado 16 Febrero 2022]. Disponible en:

https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12866/1521/Relacion_PalaciosMcCubb_in_Elva.pdf?sequence=1&isAllowed=y

24. MARCELO-PEÑA, José Luis, SANTINI, Luiz y TOMAZELLO FILHO, Mario. *Wood anatomy and growth rate of seasonally dry tropical forest trees in the Marañón River Valley, northern Peru*. 1 Junio 2019. Elsevier.

25. MARCON, Amanda Koche, LONGHI-SANTOS, Tomaz, GALVÃO, Franklin, MARTINS, Kelly Geronazzo, BOTOSSO, Paulo Cesar y BLUM, Christopher Thomas. Climatic response of *Cedrela fissilis* radial growth in the ombrophilous mixed forest, Parana, Brazil. *Floresta e Ambiente*. 2019. Vol. 26, no. 3. DOI 10.1590/2179-8087.036118.

26. RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, Ernesto Chanes, VÁZQUEZ-GARCÍA, José Antonio, GARCÍA-GONZÁLEZ, Ignacio, ALCÁNTARA-AYALA, Othón y LUNA-VEGA, Isolda. Drought effects on the plasticity in vessel traits of two endemic Magnolia species in the tropical montane cloud forests of eastern Mexico. *Journal of Plant Ecology*. 25 Mayo 2020. Vol. 13, no. 3, p. 331–340. DOI 10.1093/jpe/rtaa019.

27. SCHOLZ, Alexander, STEIN, Anke, CHOAT, Brendan and JANSEN, Steven. How drought and deciduousness shape xylem plasticity in three Costa Rican woody plant species. *IAWA Journal*. 6 Diciembre 2014. Vol. 35, no. 4, p. 337–355. DOI 10.1163/22941932-00000070.

28. GUTIERREZ, Emilia. La dendrocronología: métodos y aplicaciones. *Arqueologia náutica mediterránea*. Online. Monografies del CASC. Generalitat de Catalunya, 2009. p. 309–322. [Accesado 12 Febrero 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/286242799_La_dendrocronologia_metodos_y_aplicaciones

29. SPEER, James H. *Fundamentals of Tree-Ring Research*. 2009.

30. VILLANUEVA, José, PAREDES, Julián, STAHL, David, THERRELL, Matthew, CLEVELAND, Malcolm y SANCHEZ, Ignacio. *Elementos básicos de la dendrocronología y sus aplicaciones en México*. SAGARPA, 2004. ISBN 9688005746.

31. WIGLEY, T, BRIFFA, K y JONES, P. On the Average Value of Correlated Time Series, with Applications in Dendroclimatology and Hydrometeorology. *Climatic Research Unit of East Anglia*. 1984.

32. FRITTS, H. C. y SWETNAM, T. W. Dendroecology: A Tool for Evaluating Variations in Past and Present Forest Environments. *Advances in Ecological Research*. 1 Enero 1989. Vol. 19, no. C, p. 111–188. DOI 10.1016/S0065-2504(08)60158-0.
33. COOK, E R, BUCKLEY, B M y PETERSON, Arrigo M J. Warm-season temperatures since 1600 BC reconstructed from Tasmanian tree rings and their relationship to large-scale sea surface temperature anomalies. *Climate Dynamics*. 2000.
34. FRITTS, Harold C. Dendroclimatology and dendroecology. *Quaternary Research*. 1971. Vol. 1, no. 4, p. 419–449. DOI 10.1016/0033-5894(71)90057-3.
35. JIMÉNEZ, María. *INDICADORES CLIMATICOS. Una manera para identificar la variabilidad climática a escala global* Online. 2015. [Accesado 29 Marzo 2022]. Disponible en: <https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/BOLETINES/hidroclimatico/INDICES-CLIMATICOS.pdf>
36. DÍAZ, Alberto. Límites de los bosques. Online. October 2019. [Accesado 27 Marzo 2022]. Disponible en: <https://biogeografia.net/geobotanica5a.html>
37. DÍAZ, Ignacio, GARCÍA, Carolina, LEÓN, Magdalena, RUIZ, Felipe y TORRES, Francisca. Guía de Asociación entre variables (Pearson y Spearman en SPSS). Abril 2014.
38. LLORENTE, Carolina, GUTIÉRREZ, Emilia, ANDREU, Laia, CAMARERO, Jesús, PLANELLS, Octavi, BATLLORI, Enric, DORADO, Isabel y MUNTAN, Elena. La historia que nos explican los árboles. *Biol. on-line*. 2012. Vol. 1, no. 2.
39. ROMAHN, Carlos y RAMÍREZ, Hugo. Dendrometría. Online. 2010. [Accesado 16 Marzo 2022]. Disponible en: <http://dicifo.chapingo.mx/pdf/publicaciones/dendrometria.pdf>
40. GEOGRAPHY AND YOU. Canopy Layers in Abundant Arboreal Forest Habitats. Online. 2017. [Accesado 16 Marzo 2022]. Disponible en: <https://geographyandyou.com/canopy-layers-forest-habitats/>
41. GARCÍA, Ariadna. Sucesión ecológica: definición, etapas y ejemplos. Online. 2018. [Accesado 16 Marzo 2022]. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/sucesion-ecologica-definicion-etapas-y-ejemplos-1451.html>
42. RAE and FECYT. Ecotono. Online. [Accesado 12 Abril 2022]. Disponible en: <https://enclavedeciencia.rae.es/ecotono>

43. HAMILTON, Lawrence, JUVIK, James y SCATENA, F. *Tropical Montane Cloud Forests - Google Libros*. Online. 1995. [Accesado 28 Febrero 2022]. ISBN 13:978-1-4612-7564-0.
44. GUAL, M y RENDÓN, A. *Bosques Mesófilos de Montana de México: diversidad, ecología y manejo*. Primera edición. 2014. ISBN 9786078328079.
45. OREOMUNNEA. La flora Arctoterciaria. Online. 2015. [Accesado 21 Marzo 2022]. Disponible en: <https://smokecurtain.wordpress.com/2015/02/25/la-flora-arctoterciaria/>
46. PÉREZ-ESCOBAR, Oscar Alejandro, ZIZKA, Alexander, BERMÚDEZ, Mauricio A., MESEGUER, Andrea S., CONDAMINE, Fabien L., HOORN, Carina, HOOGHMSTRA, Henry, PU, Yuanshu, BOGARÍN, Diego, BOSCHMAN, Lydian M., PENNINGTON, R. Toby, ANTONELLI, Alexandre y CHOMICKI, Guillaume. The Andes through time: evolution and distribution of Andean floras. *Trends in Plant Science*. 2022. Vol. 27, no. 4, p. 364–378. DOI 10.1016/j.tplants.2021.09.010.
47. KRÖMER, Thorsten, GARCÍA, José y TOLEDO, Tarin. Epífitas vasculares como bioindicadoras de la calidad forestal: impacto antrópico sobre su diversidad y composición. Online. 2014. [Accesado 23 Marzo 2022]. Disponible en: https://www.uv.mx/personal/tkromer/files/2020/04/Kr%C3%B6mer-et-al.-2014_Bioindicadores-Cap-29.pdf
48. MIRANDA, Faustino. Estudios sobre la vegetación de México v. rasgos de la vegetación en la cuenca del río de las balsas. Online. 1947. [Accesado 28 Febrero 2022]. Disponible en: <https://docplayer.es/80737435-Estudios-sobre-la-vegetacion-de-mexico-v-rasgos-de-la-vegetacion-en-la-cuenca-del-rio-de-las-balsas.html>
49. RZEDOWSKY, Jerzy. Vegetacion de México. Online. 1978. [Accesado 28 Febrero 2022]. Disponible en: https://www.academia.edu/9142430/VEGETACION_DE_MEXICO_Jerzy_Rzedowski
50. GUAL, Martha y GONZÁLES, Francisco. Los Bosques Mesófilos de Montaña en México. Online. 2014. [Accesado 1 Marzo 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/317239180_Los_Bosques_Mesofilos_de_Montana_en_Mexico
51. BRUIJNZEEL, L A, SCATENA, F N y HAMILTON, L S. *Tropical Montane Cloud Forest*. Online. 2011. ISBN 9780521760355. Disponible en: www.cambridge.org

52. HELMER, E, GERSON, E, BAGGETT, L Scott, BIRD, Benjamin J, RUZYCKI, Thomas y VOGGESSER, Shannon M. Neotropical cloud forests and páramo to contract and dry from declines in cloud immersion and frost. Online. 2019. DOI 10.1371/journal.pone.0213155.
53. KARK, S. Effects of Ecotones on Biodiversity. *Reference Module in Life Sciences*. Elsevier, 2017.
54. REYNEL, C, PENNINGTON, T. D, PENNINGTON, R. T, MARCELO, J y DAZA, A. *Arboles útiles del Ande peruano una guía de identificación, ecología y propagación de las especies de la Sierra y los Bosques Montanos en el Perú*. 2006.
55. CUESTA, Francisco., PERALVO, Manuel y VALAREZO, Natalia. *Los bosques montanos de los Andes tropicales. Una evaluación regional de su estado de conservación y de su vulnerabilidad a efectos del cambio climático*. Programa Regional ECOBONA-Intercooperation, 2009. ISBN 9789942996602.
56. SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE (SERFOR). Estado situacional del género *Cedrela* en el Perú. 2020.
57. LIBRARY. Ficha técnica de la especie *Cedrela Montana*. Online. [Accesado 12 Abril 2022]. Disponible en: <https://library.co/article/ficha-t%C3%A9cnica-de-la-especie-cedrela-montana.zp0xxj0q>
58. SPANNL, Susanne, GÜNTER, Sven, THORSTEN, Peters, VOLLAND, F y BRÄUNING, A. *Which factors control tree growth in a tropical mountain forest? The case of Cedrela montana in Southern Ecuador* Online. 2012. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/260892574>
59. BRÄUNING, Achim, VOLLAND-VOIGT, Franziska, BURCHARDT, Iris, GANZHI, Oswaldo, NAUSS, Thomas y PETERS, Thorsten. Climatic control of radial growth of *Cedrela montana* in a humid mountain rainforest in southern Ecuador. *Erdkunde*. 2009. Vol. 63, no. 4, p. 337–345. DOI 10.3112/erdkunde.2009.04.04.
60. ORTEGA, Darwin. La vida en espiral desde (*Cedrela montana*). Online. 2020. [Accesado 30 Marzo 2022]. Disponible en: <https://twitter.com/Darwinorte/status/1259240908085702656/photo/1>
61. BARESCH, Nicolás. *Cedrela Montana. NaturaLista Colombia*. Online. 2020. [Accesado 30 Marzo 2022]. Disponible en: <https://colombia.inaturalist.org/photos/71451954>

62. BARESCHE, Nicolás. Cedro (*Cedrela montana*). *NaturaLista Colombia*. Online. 2021. [Accesado 30 Marzo 2022]. Disponible en: <https://colombia.inaturalist.org/photos/118458954>
63. ARMIJOS, Andrés, VEINTIMILLA, Juan y QUEZADA, Ney. Anatomía de la madera de *Cedrela montana* Moritz ex Turcz. Online. 2017. DOI 10.13140/RG.2.2.22515.94242.
64. ANGYALOSSY, Verónica, PERES, Joao, RAUBER, Vera, BAAS, Pieter, CARLQUIST, Sherwin, DÉTIENNE, Pierre, GASSON, Peter, GROSSER, Dietger, ILIC, Jugo, KURODA, Keiko, MILLER, Regis, OGATA, Ken, RICHTER, Hans, WELLE, Ben y WHEELER, Elisabeth. *IAWA List of microscopic features for hardwood identification*. 1989.
65. MUSSON, Alicia. *Cedrela montana* Moritz ex Turcz. | Plants of the World Online | Kew Science. Online. 2016. [Accesado 25 Mayo 2022]. Disponible en: <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:577770-1>
66. TYREE, Melvin y ZIMMERMANN, Martin. *Xylem Structure and the Ascent of Sap*. 2da edición. Springer series in wood science, 2002.
67. SCHOLZ, Alexander, KLEPSCH, Matthias, KARIMI, Zohreh y JANSEN, Steven. How to quantify conduits in wood? *Frontiers in Plant Science*. 2013. Vol. 4, no. MAR, p. 1–11. DOI 10.3389/fpls.2013.00056.
68. GIORDANO, R., SALLEO, A., SALLEO, S. y WANDERLINGH, F. Flow in xylem vessels and Poiseuille's law. *Canadian Journal of Botany*. 1 Febrero 1978. Vol. 56, no. 3, p. 333–338. DOI 10.1139/B78-039.
69. CARLQUIST, S. Ecological factors in wood evolution: a floristic approach. *American Journal of Botany*. 1977. Vol. 64, no. 7, p. 887–896. <https://www.jstor.org/stable/2442382>.
70. DICKISON, William C. Steps Toward the Natural System of the Dicotyledons. *Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany*. Online. 1989. Vol. 12, no. 3, p. 555–566. Available from: <https://scholarship.claremont.edu/aliso> Available at: <https://scholarship.claremont.edu/aliso/vol12/iss3/10>
71. CASADO, Ana. Dendrocronología: contando anillos | Geología desde Ávila. Online. 2019. [Accesado 20 Febrero 2022]. Disponible en: <https://geolodiaavila.com/2019/12/17/dendrocronologia-contando-anillos/>

72. HERNÁNDEZ, Alejandra. ALBURA Y DURAMEN. Online. 2021. [Accesado 20 Febrero 2022]. Disponible en: <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/la-ciencia-en-pocas-palabras/232-numero-26/415-albura-y-duramen.html>
73. ACOSTA, Belén. Qué es el XILEMA y su función. Online. 5 Febrero 2021. [Accesado 17 Abril 2022]. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/que-es-el-xilema-y-su-funcion-2707.html>
74. JAVIER, F, SAN, Sánchez and GEOLOGÍA, Román. *Evapotranspiración Real y Potencial* Online. Disponible en: <http://hidrologia.usal.esPág.>
75. INTEGRATED DROUGHT MANAGEMENT PROGRAMME. Palmer Drought Severity Index (PDSI). Online. [Accesado 24 Agosto 2022]. Disponible en: <https://www.droughtmanagement.info/palmer-drought-severity-index-pdsi/>
76. DAI, Aiguo and NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH STAFF (EDS). Palmer Drought Severity Index (PDSI). Online. 2019. [Accesado 24 Agosto 2022]. Disponible en: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/palmer-drought-severity-index-pdsi>
77. SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ- SENAMHI. *El fenómeno EL NIÑO en el Perú*. 2014.
78. KARGER, D., CONRAD, O., BÖHNER, J., KAWOHL, T., KREFT, H., SORIA-AUZA, R., ZIMMERMANN, N., LINDER, H. y KESSLER, M. Chelsea Clima - Descargas. Online. [Accesado 25 Mayo 2022]. Disponible en: <https://chelsea-climate.org/downloads/>
79. CENTRO DE DATOS PARA LA CONSERVACIÓN-UNALM y THE NATURE CONSERVANCY. *Planificación para la Conservación Ecoregional de las yungas peruanas: conservando la diversidad natural de la selva alta del Perú*. 2006.
80. SCHULMAN, E. *Dendroclimatic changes in semiarid America*. Online. University of Arizona Press, Tucson, 1956. Disponible en: <http://books.google.com>
81. GRISSINO -MAYER, Henri D. *Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA*. 2001.
82. BUNN, A., KORPELA, M., BIONDI, F., CAMPELO, F., MÉRIAN, P., QEANDAN, F., ZANG, C., BURAS, A., CECILE, J., MUDELSEE, M., SCHULZ, M., STEFAN, K., DAVID, F.

Y RONALD, V. *dplR: Dendrochronology Program Library in R*. Online. 2021. [Accesado 11 Mayo 2022]. Disponible en: <https://cran.r-project.org/web/packages/dplR/index.html>

83. WICKHAM, H., WINSTON, C., HENRY, L., LIN PEDERSEN, T., TAKAHASHI, K., WILKE, C., WOO, K., YUTANI, H., DUNNINGTON, D. y R STUDIO. *ggplot2 based on The Grammar of Graphics*. Online. [Accesado 11 May 2022]. Disponible en: <https://ggplot2.tidyverse.org/>

84. FRITTS, H. *Tree Rings and Climate*. 1976. ISBN 012268450-8.

85. JIMENEZ, Juan C., BARICHIVICH, Jonathan, MATTAR, Cristian, TAKAHASHI, Ken, SANTAMARÍA-ARTIGAS, Andrés, SOBRINO, José A. y MALHI, Yadvinder. Spatio-temporal patterns of thermal anomalies and drought over tropical forests driven by recent extreme climatic anomalies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2018. Vol. 373, no. 1760. DOI 10.1098/rstb.2017.0300.

86. VON ARX, Georg, KUEFFER, Christoph y FONTI, Patrick. Quantifying plasticity in vessel grouping - Added value from the image analysis tool ROXAS. *IAWA Journal*. 2013. Vol. 34, no. 4, p. 433–445. DOI 10.1163/22941932-00000035.

87. MARCON, Amanda Koche, LONGHI-SANTOS, Tomaz, GALVÃO, Franklin, MARTINS, Kelly Geronazzo, BOTOSSO, Paulo Cesar y BLUM, Christopher Thomas. Climatic response of *Cedrela fissilis* radial growth in the ombrophilous mixed forest, Parana, Brazil. *Floresta e Ambiente*. 2019. Vol. 26, no. 3. DOI 10.1590/2179-8087.036118.

88. LAYME-HUAMAN, E. T., FERRERO, M. E., PALACIOS-LAZARO, K. S. y REQUENA-ROJAS, E. J. *Cedrela nebulosa*: A novel species for dendroclimatological studies in the montane tropics of South America. *Dendrochronologia*. 1 Agosto 2018. Vol. 50, p. 105–112. DOI 10.1016/j.dendro.2018.06.004.

89. LISI, Claudio Sergio, PAGOTTO, Mariana Alves, ANHOLETTO, Claudio Roberto, NOGUEIRA, Francisco Carvalho, SANTOS, Helberson Lima, COSTA, Clayane Matos, MENEZES, Ítallo Romany Nunes, ROIG JUÑET, Fidel Alejandro y TOMMASIELLO FILHO, Mario. Dendroecological Studies with *Cedrela odorata* L., Northeastern Brazil. *Latin American Dendroecology*. Springer International Publishing, 2020. p. 37–59.

90. PAREDES-VILLANUEVA, Kathelyn, LÓPEZ, Lidio y NAVARRO CERRILLO, Rafael María. Regional chronologies of *Cedrela fissilis* and *Cedrela angustifolia* in three forest types and their relation to climate. *Trees - Structure and Function*. 1 Octubre 2016. Vol. 30, no. 5, p. 1581–1593. DOI 10.1007/s00468-016-1391-8. r

91. VILLALBA, R, DELGADO, S, DE MEMBIELA, M y MENDOZA, D. *Ecología y producción de cedro (género Cedrela) en las Yungas australes*. 2006. ISBN 978-987-23533-0-8.
92. PEREYRA ESPINOZA, Manuel, INGA GUILLÉN, Gaby, SANTOS MORALES, Mariano y RODRÍGUEZ ARISMÉNDIZ, Rodolfo. Potencialidad de *Cedrela odorata* (Meliaceae) para estudios dendrocronológicos en la selva central del Perú. Online. Junio 2014. [Accesado 5 Enero 2023]. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442014000100031
93. KÖCKE, A. v., MUELLNER-RIEHL, A. N., CÁCERES, O. y PENNINGTON, T. D. *Cedrela Ngobe* (Meliaceae), a New Species From Panama and Costa Rica. *Edinburgh Journal of Botany*. 2015. Vol. 72, no. 2, p. 225–233. DOI 10.1017/S0960428615000098.
94. PEREZ, Carmen. Anatomía de la madera de ocho especies con importancia en las artesanías del estado de Michoacán. *Acta Botánica Mexicana*. September 1993. P. 103–136.
95. PENNINGTON, Terence D., MUELLNER-RIEHL, Alexandra N. y WISE, R. *Monograph of Cedrela (Meliaceae)*. 1st. dh books., 2010. ISBN 0953813479.
96. HU, Jia y RIVEROS-IREGUI, Diego A. Life in the clouds: are tropical montane cloud forests responding to changes in climate? *Oecologia*. 2016. Vol. 180, no. 4, p. 1061–1073. DOI 10.1007/s00442-015-3533-x.
97. VILLANUEVA DÍAZ, José, CERANO PAREDES, Julián, FULÉ, Peter Z, CORTÉS MONTAÑO, Citlali, VÁZQUEZ SELEM, Lorenzo, YOCOM, Larissa L y ARIEL RUIZ-CORRAL, José. Cuatro siglos de variabilidad hidroclimática en el noroeste de Chihuahua, México, reconstruida con anillos de árboles. 2015. DOI 10.14350/rig.44485.
98. SCHUME, Helmut, JOST, Georg and HAGER, Herbert. Soil water depletion and recharge patterns in mixed and pure forest stands of European beech and Norway spruce. *Journal of Hydrology*. 20 Abril 2004. Vol. 289, no. 1–4, p. 258–274. DOI 10.1016/j.jhydrol.2003.11.036.
99. RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, Ernesto Chanes, TERRAZAS, Teresa y LUNA-VEGA, Isolda. The influence of climate on the masting behavior of Mexican beech: growth rings and xylem anatomy. *Trees - Structure and Function*. 13 Febrero 2019. Vol. 33, no. 1, p. 23–35. DOI 10.1007/s00468-018-1755-3.
100. RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, Ernesto Chanes., CRISPÍN-DELACRUZ, Doris B., TICSE-OTAROLA, Ginette and REQUENA-ROJAS, Edilson J. Assessing the Hydric Deficit on Two

Polylepis Species from the Peruvian Andean Mountains: Xylem Vessel Anatomic Adjusting. *Forests*. Online. 19 Abril 2022. Vol. 13, no. 5, p. 633. DOI 10.3390/f13050633.

101. PINHO, Bruno X., TABARELLI, Marcelo, TER BRAAK, Cajo J.F., WRIGHT, S. Joseph, ARROYO-RODRÍGUEZ, Víctor, BENCHIMOL, Maíra, ENGELBRECHT, Bettina M.J., PIERCE, Simon, HIETZ, Peter, SANTOS, Bráulio A., PERES, Carlos A., MÜLLER, Sandra C., WRIGHT, Ian J., BONGERS, Frans, LOHBECK, Madelon, NIINEMETS, Ülo, SLOT, Martijn, JANSEN, Steven, JAMELLI, Davi, DE LIMA, Renato A.F., SWENSON, Nathan, CONDIT, Richard, BARLOW, Jos, SLIK, Ferry, HERNÁNDEZ-RUEDAS, Manuel A., MENDES, Gabriel, MARTÍNEZ-RAMOS, Miguel, PITMAN, Nigel, KRAFT, Nathan, GARWOOD, Nancy, GUEVARA ANDINO, Juan Ernesto, FARIA, Deborah, CHACÓN-MADRIGAL, Eduardo, MARIANO-NETO, Eduardo, JÚNIOR, Valdecir, KATTGE, Jens y MELO, Felipe P.L. Functional biogeography of Neotropical moist forests: Trait–climate relationships and assembly patterns of tree communities. *Global Ecology and Biogeography*. 1 Julio 2021. Vol. 30, no. 7, p. 1430–1446. DOI 10.1111/geb.13309.

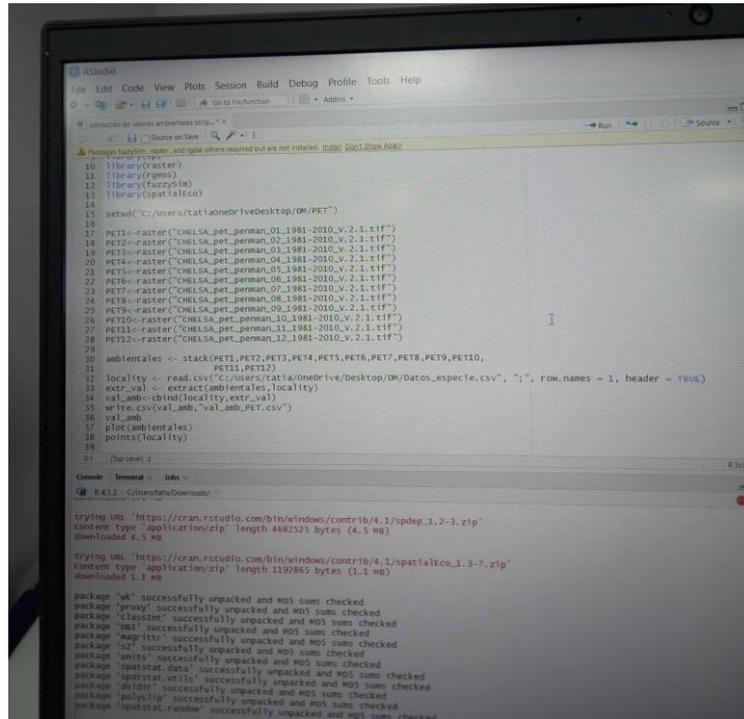
ANEXOS

ANEXO 01: Matriz de Consistencia

PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN Y MUESTRA
<p>Problema general:</p> <p>¿Cómo influyen los eventos específicos de sequía y no sequía en el ancho de anillos y en los rasgos anatómicos de los vasos de xilema de <i>Cedrela montana</i> en un Bosque Nublado Andino de la comunidad nativa de Shaani?</p> <p>Problemas específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué diferencia presenta el índice de ancho de anillos (RWI) durante eventos de sequía y no sequía? 	<p>Objetivo General:</p> <p>Determinar la influencia de los eventos de sequía y no sequía en el ancho de anillos y en los rasgos anatómicos de los vasos de xilema de <i>Cedrela montana</i> en un Bosque Nublado Andino, de la comunidad nativa de Shaani, Ucayali, Perú.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conocer la diferencia que presenta el índice de ancho de anillo (RWI) durante eventos de sequía y no sequía. 	<p>Hipótesis General:</p> <p>Los eventos específicos de sequía y no sequía influyen en el ancho de anillos y en los rasgos anatómicos de los vasos de xilema de <i>Cedrela montana</i> en un Bosque Nublado Andino de la comunidad nativa de Shaani..</p> <p>Hipótesis Específicas:</p> <p>El índice de ancho de anillo (RWI) para años secos es menor que para años no secos.</p> <p>Existe una relación negativa entre el potencial de evapotranspiración (PET), El Niño Southern Oscillation (ENSO) y Palmer</p>	<p>Variable independiente:</p> <p>Potencial de evapotranspiración (PET)</p> <p>Palmer Drought Southern Index (PDSI)</p> <p>El Niño Southern Oscillation (ENSO).</p> <p>Eventos de sequía (moderado, severo y extremo).</p> <p>Eventos de no sequía</p>	<p>Tipo de Investigación:</p> <p>El tipo de investigación es básica porque busca explicar fenómenos naturales y tiene como objetivo investigar la adaptación de anatomía de la madera de <i>C. montana</i> ante eventos de sequía, por lo tanto, se utilizarán conceptos y conocimientos previos sobre dendrocronología, dendroecología y anatomía de la madera para determinar la relación que existe</p>	<p>Población:</p> <p>El bosque nublado andino (BNA) de la comunidad nativa Shaani (5367.38493397 ha), distrito de Raymondí, provincia de Atalaya, región de Ucayali. (599742.1 E, 8804327 N; 1 336 msnm).</p> <p>Muestra:</p> <p>La muestra está conformada por 16 árboles de <i>C. montana</i>, los que fueron seleccionados con base en la disponibilidad de</p>

<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué relación existe entre el potencial de evapotranspiración (PET), El Niño Southern Oscillation (ENSO) y Palmer Drought Severity Index (PDSI) con el índice de ancho de anillos (RWI) de <i>Cedrela montana</i>? • ¿Qué características presentan los rasgos anatómicos de los vasos de xilema (diámetro, densidad e índice de vulnerabilidad) durante eventos específicos de sequía (moderado, severo y extremo) y no sequía en <i>Cedrela montana</i>? 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar la relación entre el potencial de evapotranspiración (PET), El Niño Southern Oscillation (ENSO) y Palmer Drought Severity Index (PDSI) con el índice de anillos (RWI) de <i>Cedrela montana</i>. • Evaluar las características que presentan los rasgos anatómicos de los vasos de xilema (diámetro, densidad e índice de vulnerabilidad) durante eventos específicos de sequía (moderado, severo y extremo) y no sequía en <i>Cedrela montana</i>. 	<p>Drought Severity Index (PDSI) con el índice de ancho de anillo (RWI).</p> <p>Los rasgos anatómicos de los vasos de xilema (diámetro, densidad e índice de vulnerabilidad) presentan características diferentes durante eventos específicos de sequía (moderado, severo y extremo) y no sequía en <i>Cedrela montana</i>.</p>	<p>Variables dependientes:</p> <p>Índice de ancho de anillo (RWI) de <i>Cedrela montana</i>.</p> <p>Rasgos anatómicos de los vasos (diámetro, densidad e índice de vulnerabilidad).</p>	<p>entre el clima y el índice de ancho de anillo de la especie.</p> <p>Diseño de Investigación:</p> <p>La investigación es no experimental descriptivo</p>	<p>muestreo, longevidad, alejados de fuentes de agua y buen estado sanitario</p>
---	---	---	--	---	--

ANEXO 02: Extracción de datos de evapotranspiración con el programa Rstudio



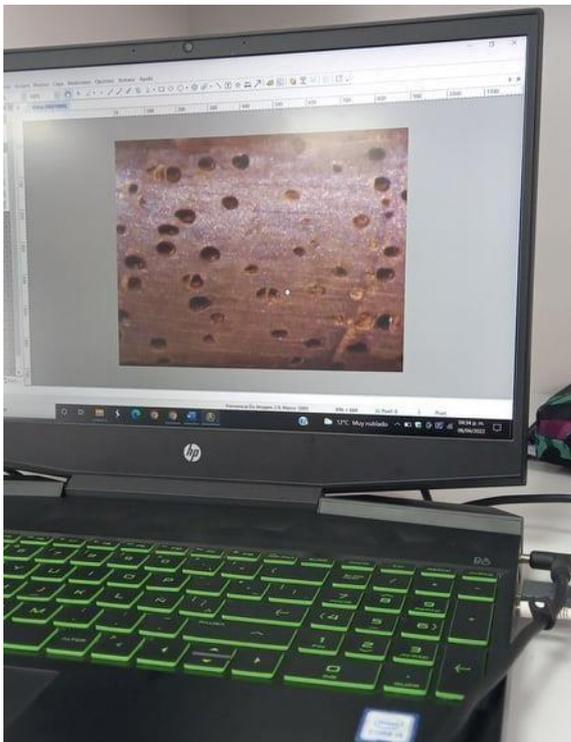
```
10 library(raster)
11 library(rgeos)
12 library(fuzzylog)
13 library(spatialEco)
14
15 setwd("c:/users/rati/OneDrive/Desktop/DM/PET")
16
17 PET1<-raster("CHELSA_pet_perman_01_1981-2010_v.2.1.tif")
18 PET2<-raster("CHELSA_pet_perman_02_1981-2010_v.2.1.tif")
19 PET3<-raster("CHELSA_pet_perman_03_1981-2010_v.2.1.tif")
20 PET4<-raster("CHELSA_pet_perman_04_1981-2010_v.2.1.tif")
21 PET5<-raster("CHELSA_pet_perman_05_1981-2010_v.2.1.tif")
22 PET6<-raster("CHELSA_pet_perman_06_1981-2010_v.2.1.tif")
23 PET7<-raster("CHELSA_pet_perman_07_1981-2010_v.2.1.tif")
24 PET8<-raster("CHELSA_pet_perman_08_1981-2010_v.2.1.tif")
25 PET9<-raster("CHELSA_pet_perman_09_1981-2010_v.2.1.tif")
26 PET10<-raster("CHELSA_pet_perman_10_1981-2010_v.2.1.tif")
27 PET11<-raster("CHELSA_pet_perman_11_1981-2010_v.2.1.tif")
28 PET12<-raster("CHELSA_pet_perman_12_1981-2010_v.2.1.tif")
29
30 ambientales <- stack(PET1,PET2,PET3,PET4,PET5,PET6,PET7,PET8,PET9,PET10,
31                      PET11,PET12)
32 locality <- read.csv("c:/users/rati/OneDrive/Desktop/DM/datos_especie.csv", ", ", row.names = 1, header = TRUE)
33 extr_val <- extract(ambientales,locality)
34 val_amb<-cbind(locality,extr_val)
35 write.csv(val_amb,"val_amb_PET.csv")
36 val_amb
37 plot(ambientales)
38 points(locality)
39
40 # Instalaci
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
```

ANEXO 03: Digitalización de los vasos de *C. montana*

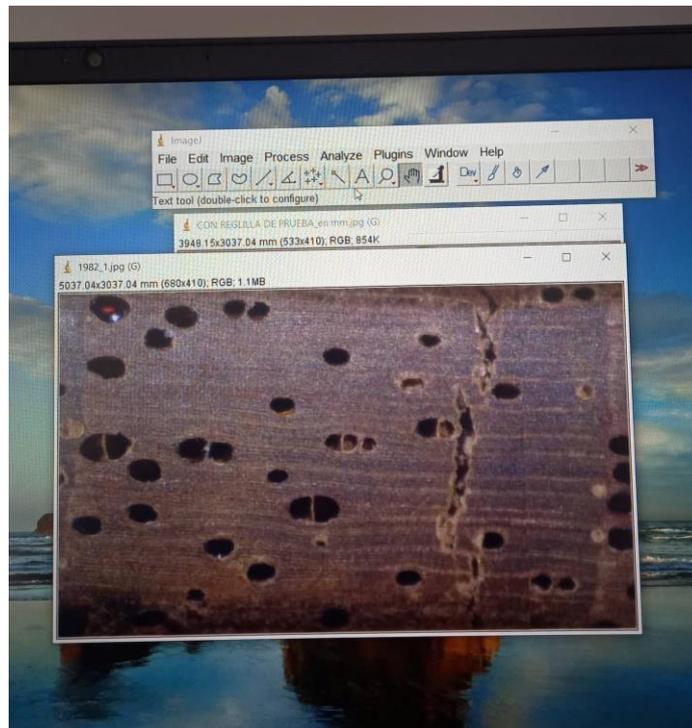
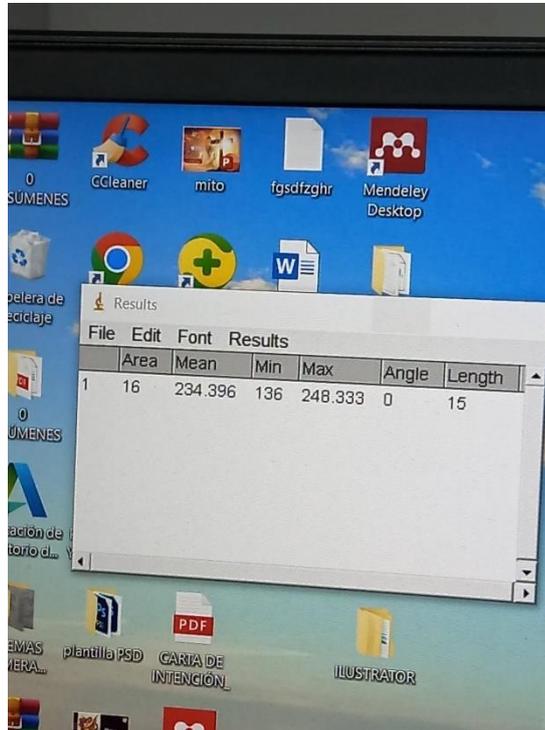
A. Uso de estereoscopio con una cámara de 10 MP.



B. Uso del programa AmScope para obtención de imágenes digitales.



ANEXO 04: Medición de rasgos anatómicos de los vasos de *Cedrela montana* con el programa ImageJ.



ANEXO 05: Uso del programa SigmaPlot para análisis estadístico de la relación de los rasgos anatómicos de *Cedrela montana* en Años Secos y No Secos.

