

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Evaluación de la influencia de sequías en las  
características anatómicas de *Caryocar glabrum*  
(Aubl.) Pers, Satipo, Junín, 2021**

Benji Steve Ascue Miranda

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

## **ASESOR**

Mg. Janet Gaby Inga Guillen

## AGRADECIMIENTOS

Al proyecto MaderApp: “Un aplicativo móvil para el reconocimiento automático y en tiempo real de especies maderables comerciales para combatir la tala ilegal en Selva Central” Contrato N° 043-2019-FONDECYT-BM-INC.INV, por brindarme las facilidades para realizar la presente investigación.

A la universidad Continental, por la formación académica y por facilitarme el acceso al laboratorio de Anatomía de la Madera y al laboratorio de Dendrocronología, los cuales fueron esenciales en esta investigación.

A los docentes de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental, por sus enseñanzas y valiosos consejos profesionales durante mi etapa en las aulas de la universidad.

A la Ing. Janet Gaby Inga Guillen, por depositarme su confianza, brindarme su asesoría y la orientación necesaria para realizar la tesis.

A la Dra. Cassiana Alves Ferreira de la Universidad Federal de Lavras, investigadora postdoctoral del proyecto MaderApp, por su orientación para la preparación y procesamiento de muestras histológicas en laboratorio.

Al Ing. Jimmy Requena Rojas del laboratorio de Dendrocronología, por su predisposición y apoyo en la obtención de resultados para la tesis.

De forma muy especial, al Dr. Mario Tommasiello Filho de la Universidad de Sao Paulo, investigador principal del proyecto MaderApp, al Dr. Jorge Giraldo Jiménez de la Universidad Nacional de Colombia, coinvestigador del proyecto MaderApp, al Dr. Mariano Morales del Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, por su tiempo, contribuciones y valiosos aportes para realizar el estudio dendrocronológico.

Finalmente, agradezco a todas las personas por sus sugerencias, las cuáles fueron esenciales para terminar la tesis.

## **DEDICATORIA**

Al divino creador por iluminar siempre mi camino, a mis padres: Víctor y Mery, por darme la vida y la oportunidad de poder formarme profesionalmente.

A mi abuelita Hilda por ser un ejemplo de bondad, sabiduría y fortaleza, a la memoria de mi abuelita Juana, que desde el cielo es la estrella que nos cuida, también agradecer a mis hermanos: Hans y Xiomara por su apoyo incondicional e infinito amor.

A la memoria de mi mentor y amigo Ing. Jacinto Arroyo Aliaga, por inculcarme el espíritu de la investigación y la generación del conocimiento científico.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS .....	III
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	V
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
RESUMEN .....	XIII
ABSTRACT .....	XIV
INTRODUCCIÓN .....	XV
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	18
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	18
1.1.1. Planteamiento del problema .....	18
1.1.2. Formulación del problema .....	20
1.2. Objetivos.....	20
1.2.1. Objetivo general.....	20
1.2.2. Objetivos específicos .....	20
1.3. Justificación e importancia .....	21
1.4. Hipótesis y variables .....	21
1.4.1. Hipótesis general .....	21
1.4.2. Hipótesis específicas .....	22
1.5. Identificación y operacionalización de las variables.....	22
1.5.1. Identificación de variables.....	22
1.5.1.1. Variable independiente .....	22
1.5.1.2. Variable dependiente.....	22
1.5.2. Operacionalización de las variables .....	22
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	24
2.1. Antecedentes de investigación .....	24
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	24
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	26
2.2. Bases teóricas .....	30
2.2.1. Clima.....	30
2.2.2. Climatología.....	30

2.2.3. Elementos climáticos .....	30
2.2.3.1. Precipitación (pp).....	30
2.2.3.2. Temperatura (T°) .....	31
2.2.3.2.1. Temperatura máxima (T max) .....	31
2.2.3.2.2. Temperatura mínima (T min).....	31
2.2.3.2.3. Temperatura media (T med).....	31
2.2.3.3. Evapotranspiración (Evap) .....	31
2.2.4. Sequía .....	32
2.2.4.1. Evaluación de la sequía a nivel internacional .....	32
2.2.4.2. Evaluación de la sequía a nivel nacional.....	32
2.2.5. Métodos de evaluación de la sequía .....	32
2.2.6. Índice estandarizado de precipitación.....	33
2.2.7. Déficit hídrico y respuesta de las plantas.....	33
2.2.8. Anatomía de la madera.....	34
2.2.9. Planos de corte de la madera .....	35
2.2.10. Identificación anatómica de la madera .....	36
2.2.10.1. Propiedades organolépticas o sensoriales .....	37
2.2.11. Estructura macroscópica .....	39
2.2.11.1. Corteza .....	40
2.2.11.2. Albura y duramen .....	40
2.2.12. Estructura microscópica .....	40
2.2.12.1. Vasos .....	40
2.2.12.2. Porosidad .....	41
2.2.12.3. Parénquima axial.....	42
2.2.12.4. Parénquima radial .....	42
2.2.12.5. Fibras .....	43
2.2.13. Metodología para la identificación macroscópica .....	43
2.3. Dendrocronología .....	45
2.3.1. Principios de la dendrocronología.....	45
2.3.1.1. Principio de la datación cruzada o sincronización .....	45
2.3.1.2. Principio de uniformidad .....	46
2.3.1.3. Principio de los factores limitantes .....	46
2.3.1.4. Principio de la suma de los factores ambientales.....	46
2.3.1.5. Principio de amplitud ecológica .....	46

2.3.1.6. Principio de lugar de selección .....	47
2.3.1.7. Principio de replicación.....	47
2.3.2. Aplicaciones de la dendrocronología .....	47
2.3.2.1. Dendroclimatología.....	47
2.3.2.2. Dendroecología .....	47
2.4. Anillos de crecimiento .....	48
2.4.1. Factores que influyen la formación de anillos de crecimiento.....	49
2.4.2. Anillos de crecimiento en árboles de bosques tropicales .....	50
2.5. Densitometría de rayos x .....	50
2.6. Anatomía ecológica de la madera.....	51
2.7. Relación entre características anatómicas y el ambiente .....	51
2.7.1. Características cuantitativas .....	52
2.7.2. Características cualitativas .....	52
2.8. Características generales de la especie .....	52
2.8.1. Taxonomía.....	52
2.8.2. Descripción de la especie .....	52
2.8.3. Descripción botánica.....	53
2.8.4. Fenología de la especie .....	54
2.8.5. Distribución .....	54
2.8.6. Aplicaciones y usos de la madera .....	54
2.9. Definición de términos básicos .....	55
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	58
3.1. Método, tipo y nivel de investigación .....	58
3.1.1. Método general.....	58
3.1.2. Tipo de la investigación .....	58
3.1.3. Nivel de la investigación .....	59
3.2. Diseño de la investigación .....	59
3.3. Población y muestra .....	59
3.3.1. Población.....	59
3.3.2. Muestra.....	59
3.4. Descripción del área de estudio.....	59
3.4.1. Aspectos climatológicos.....	59
3.4.2. Suelos.....	62
3.4.3. Ecología.....	62

3.4.4. Flora .....	62
3.4.5. Fisiografía .....	62
3.5. Instrumentos empleados en la recolección de datos .....	62
3.5.1. Materiales y equipos .....	62
3.5.2. Obtención de muestras .....	64
3.5.3. Obtención de muestras botánicas .....	66
3.5.4. Preparación de muestras .....	66
3.6. Análisis dendrocronológico .....	67
3.6.1. Medición de anillos de crecimiento .....	67
3.6.2. Cofechado de muestras .....	68
3.7. Anillos de crecimiento por micro densitometría de rayos X .....	68
3.8. Estandarización de cronología maestra .....	70
3.9. Correlación de variables climáticas con ancho de anillos .....	70
3.10. Características anatómicas de la madera .....	71
3.10.1. Caracterización macroscópica .....	71
3.10.2. Caracterización microscópica .....	71
3.10.2.1. Preparación de láminas histológicas: .....	72
3.10.2.2. Preparación de muestras maceradas .....	73
3.10.2.3. Medición de elementos anatómicos en años de sequía .....	74
3.10.2.4. Análisis estadístico .....	75
3.11. Esquema de ejecución de la investigación .....	75
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	76
4.1. Caracterización de los anillos de crecimiento de <i>Caryocar glabrum</i> .....	76
4.2. Anillos de crecimiento por micro densitometría de rayos X .....	76
4.3. Cronología de ancho de anillos de <i>C. glabrum</i> .....	77
4.4. Estandarización de la cronología maestra .....	78
4.5. Correlación de variables climáticas con ancho de anillos .....	79
4.6. Características y elementos anatómicos en años de sequía .....	81
4.7. Prueba de hipótesis .....	82
4.7.1. Diámetro de vasos ( $\mu\text{m}$ ) .....	82
4.7.2. Frecuencia de vasos/ $\text{mm}^2$ .....	83
4.7.3. Longitud de vasos ( $\mu\text{m}$ ) .....	83
4.7.4. Longitud de fibras ( $\mu\text{m}$ ) .....	84
4.8. Discusión de los resultados .....	85

4.8.1. Caracterización de los anillos de crecimiento .....	85
4.8.2. Anillos de crecimiento y la micro densitometría de rayos X.....	85
4.8.3. Cronología de ancho de anillos de crecimiento de <i>C. glabrum</i> .....	85
4.8.4. Relación de variables climáticas con ancho de anillos de <i>C. glabrum</i> ...	86
4.8.4.1.Obtención del índice de precipitación estandarizado .....	87
4.8.5. Elementos anatómicos de <i>C. glabrum</i> y su relación con sequías.....	87
CONCLUSIONES.....	90
RECOMENDACIONES .....	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	92
ANEXOS .....	105

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.....	23
Tabla 2. Probabilidad de la ocurrencia de sequías.....	33
Tabla 3. Resultados obtenidos en el programa COFECHA. ....	77
Tabla 4. Diámetro de vasos ( $\mu\text{m}$ ) .....	82
Tabla 5. Frecuencia de vasos/ $\text{mm}^2$ .....	83
Tabla 6. Longitud de vasos ( $\mu\text{m}$ ) .....	84
Tabla 7. Longitud de fibras ( $\mu\text{m}$ ) .....	84
Tabla 8. Matriz de consistencia .....	106
Tabla 9. Datos de los árboles muestreados .....	110
Tabla 10. Datos de precipitación, periodo 1989-2020.....	110
Tabla 11. Datos de temperatura, periodo 2000-2020.....	111
Tabla 12. Valores de intercorrelación de las series cronológicas.....	112
Tabla 13. Índice de precipitación estandarizado (SPI) .....	112
Tabla 14. Correlación entre índice de ancho de anillo, precipitación y temperatura .....	115
Tabla 15. Años extremos (Percentiles 75 y 25), y sus valores altos positivos y bajos negativos en el periodo de tiempo 1989-2000 ...	116
Tabla 16. Resultados obtenidos de parámetros generales de la cronología de <i>Caryocar glabrum</i> . ....	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación de la estructura de la madera al microscopio.....	35
Figura 2. Planos de corte de la madera. ....	36
Figura 3. Esquema ilustrativo de la estructura de la madera.....	39
Figura 4. Identificación de la albura, duramen y corteza.. ....	40
Figura 5. Tipo de radio de acuerdo a la estructura celular.. ....	42
Figura 6. Determinación de la sección transversal.....	43
Figura 7. Corte con cuchilla sobre la sección transversal de una muestra.....	44
Figura 8. Identificación de madera con lupa de 10x. ....	44
Figura 9. Comparación de la sección transversal.....	45
Figura 10. Representación gráfica de los anillos de crecimiento.....	48
Figura 11. Hojas, flores y frutos de <i>Caryocar glabrum</i> .. ....	54
Figura 12. Características morfológicas de <i>Caryocar glabrum</i> .....	55
Figura 13. Temperatura anual promedio del periodo 2000-2020.. ....	60
Figura 14. Precipitación mensual promedio del periodo 1989-2020.....	61
Figura 15. Climograma de la zona de estudio del periodo 1989-2020.. ....	61
Figura 16. Vista panorámica del bosque de la CCNN Tres Unidos de Matereni. ....	65
Figura 17. Obtención de muestras.. ....	65
Figura 18. Secado y pulido de muestras.. ....	66
Figura 19. Demarcación de anillos de crecimiento.....	67
Figura 20. Digitalización, medición y sincronización de anillos de crecimiento.. ....	68
Figura 21. Proceso de obtención de los perfiles de densitometría de rayos X.. ....	69
Figura 22. Preparación de láminas histológicas.. ....	73
Figura 23. Preparación del tejido macerado.....	74
Figura 24. Esquema del trabajo de investigación.....	75
Figura 25. Delimitación de los anillos de crecimiento de <i>Caryocar glabrum</i> a 10x. ....	76
Figura 26. Perfil de densitometría de la especie <i>Caryocar glabrum</i> .....	77
Figura 27. Cronología maestra de <i>Caryocar glabrum</i> . ....	78
Figura 28. Índice de ancho de anillo y número de muestras. ....	79

Figura 29. Correlación del índice de ancho de anillos con la precipitación .....	80
Figura 30. Correlación índice de ancho de anillos con la temperatura.....	80
Figura 31. Índice de ancho de anillo vs índice de precipitación.....	81
Figura 32. Esquema de anillos seleccionados.. .....	81
Figura 33. Elementos anatómicos de <i>Caryocar glabrum</i> .....	82
Figura 34. Resolución de autorización del SERFOR.....	107
Figura 35. Constancia de identificación botánica. ....	108
Figura 36: Mapa de ubicación. ....	109
Figura 37: Mapa de distribución de especies. ....	109
Figura 38. Estandarización de la muestra H62.....	113
Figura 39. Estandarización de la muestra R273.....	113
Figura 40. Estandarización de la muestra S178.....	114
Figura 41. Estandarización de la muestra V259.....	114
Figura 42. Estandarización de la muestra Z505. ....	114
Figura 43. Diagrama de caja y bigotes del diámetro de vasos. ....	117
Figura 44. Diagrama de caja y bigotes de la frecuencia de vasos/mm <sup>2</sup> . ....	118
Figura 45. Diagrama de caja y bigotes de la longitud de vasos. ....	118
Figura 46. Diagrama de caja y bigotes de la longitud de fibras. ....	119

## RESUMEN

La selva central es una región que se caracteriza por presentar un clima cálido y húmedo con precipitaciones que alcanzan los 2000 mm al año, con una temperatura promedio de 25 °C. En los últimos 20 años, se evidencian y registran episodios de variabilidad climática y sequías.

*Caryocar glabrum* es una especie que habita los bosques tropicales, su crecimiento se da entre los 120 a 1800 m. s. n. m., se encuentra distribuida a lo largo de la cuenca amazónica. En nuestro país, se encuentra en los departamentos de Amazonas, Junín, Loreto y Pasco. La especie es aprovechada para la construcción de estructuras, debido a su alta densidad (0.65 gr/cm<sup>3</sup>) y la buena calidad de su madera.

La tesis tiene como objetivo evaluar la influencia de sequías en las características anatómicas de *Caryocar glabrum*, para lo cual se elaboró una serie cronológica de ancho de anillos del periodo 1800-2020 (220 años), con datos meteorológicos de temperatura y precipitación del SENAMHI y se generaron índices de precipitación estandarizado. Para la medición de elementos anatómicos: vasos (diámetro, longitud y frecuencia/mm<sup>2</sup>) y fibras (longitud) se identificaron anillos anchos, estrechos y de control.

El crecimiento de *Caryocar glabrum* es influenciado significativamente por la precipitación en la temporada actual de formación del anillo de crecimiento ( $r = 0.380$ ). Asimismo, se encontraron diferencias significativas en el diámetro y longitud de vasos de anillos anchos, estrechos y control ( $p < 0.05$ ). Es decir, las sequías influyen significativamente en las características anatómicas de la especie.

**Palabras clave:** *Caryocar glabrum*, dendrocronología, precipitación, temperatura, anatomía de la madera, anillos de crecimiento.

## ABSTRACT

The central forest is a region characterized by a warm and humid climate with rainfall reaching 2000 mm per year, with an average temperature of 25°C. In the last 20 years, episodes of climatic variability and droughts are evidenced and recorded.

*Caryocar glabrum* is a species that inhabits tropical forests, its growth occurs between 120 to 1800 meters, and it is distributed along the Amazon basin. In our country, it is in the departments of Amazonas, Junín, Loreto, and Pasco. The species is used for the construction of structures, due to its high density (0.65 gr/cm<sup>3</sup>) and the good quality of its wood.

The thesis aims to evaluate the influence of droughts on the anatomical characteristics of *Caryocar glabrum*, for which a ring-width chronological series of the period 1800-2020 (220 years), with the Senamhi temperature and precipitation meteorological data, standardized precipitation indices were generated. For the measurement of anatomical elements, wide, narrow, and control rings were identified and vessels (diameter, length, and frequency/mm<sup>2</sup>) and fibers (length) were measured.

The growth of *Caryocar glabrum* is significantly influenced by precipitation in the current growth ring formation season ( $r = 0.380$ ). In years of drought, significant differences were found in the diameter and length of wide, narrow, and control rings ( $p < 0.05$ ). Droughts significantly influence the anatomical characteristics of the species.

**Keywords:** *Caryocar glabrum*, dendrochronology, precipitation, temperature, wood anatomy, growth rings.

## INTRODUCCIÓN

Los bosques tropicales del Perú son considerados una de las mayores fuentes de biodiversidad y reserva de recursos naturales de incalculable valor para nuestro planeta (1), también son considerados proveedores de servicios ecosistémicos, los cuales están vinculados al agua, regulación del clima, captura y almacenamiento de carbono (2). Sin embargo, en nuestro país en los últimos años, se han registrado eventos de sequía que provocan una disminución de la disponibilidad hídrica (3).

El déficit hídrico es una situación que tiene un impacto negativo en el desarrollo y crecimiento de las plantas (4), a lo largo del tiempo el hombre ha buscado alternativas que sean efectivas para poder combatir este fenómeno (5). Frente a este problema, las plantas desarrollan mecanismos morfo fisiológicos, que les permita ahorrar agua para usarlo en periodos secos (6).

La relación entre los elementos anatómicos de la madera y la ecología es reconocida desde mucho tiempo atrás, se realizan estudios de los efectos de la precipitación, temperatura, humedad, evapotranspiración en las características anatómicas de la madera, en especial en las características cuantitativas como el diámetro, longitud y frecuencia de vasos (7). La relación con la ecología es interpretada como el resultado de las adaptaciones de las especies arbóreas a los factores ambientales externos (8), y se considera al transporte de agua como la función esencial del xilema, ya que este es el elemento que conduce el agua (9).

La dendrocronología es una de las técnicas de registro ambiental más importantes para una variedad de procesos ambientales, la misma sirve como herramienta para realizar estudios de variabilidad climática (10). La dendrocronología examina eventos a través del tiempo, estos son registrados en la estructura de anillos de crecimiento de los árboles. La dendrocronología se puede aplicar a árboles para proporcionar registros del pasado de precipitación, temperatura, entre otros. Los árboles registran cualquier factor ambiental que

afecte la formación de sus anillos y los convierte en una fuente útil de monitoreo para una variedad de eventos (11).

Las investigaciones en el campo de la dendrocronología de especies tropicales evidencian que la información de los anillos de crecimiento contiene registros muy valiosos. El crecimiento de las especies tropicales se encuentra reguladas por variables climáticas como precipitación, temperatura, evapotranspiración, entre otras.

El género *Caryocaraceae* se encuentra distribuido a lo largo de la Amazonía (12), en nuestro país se encuentra ubicado en los departamentos de Amazonas, Junín, Loreto y Pasco (12). *Caryocar glabrum* es una especie muy valorada a nivel comercial por su elevada densidad y buena resistencia. Sin embargo, no presenta estudios de potencial dendrocronológico y su respuesta a los factores ambientales externos. Incluso se desconoce qué ocurre con las características anatómicas ante eventos de sequías. Por estas razones, esta tesis estudiará la influencia de sequías en las características anatómicas de *Caryocar glabrum* en la provincia de Satipo.

La investigación se divide en cuatro capítulos: el capítulo I hace referencia al planteamiento del estudio, en el cual se desarrolla el planteamiento y formulación del problema, se menciona el objetivo general y específicos, justificación e importancia de la tesis, hipótesis general y específicas, además se analizan las variables dependiente e independiente a través de la matriz de operacionalización de variables.

El capítulo II abarca al marco teórico, antecedentes de la investigación nacionales e internacionales, bases teóricas sobre el clima, anatomía de la madera: propiedades, elementos y estructura, se presenta también a la dendrocronología, características generales de la especie *Caryocar glabrum* y la definición de términos básicos empleados en la investigación.

El capítulo III trata sobre la metodología, tipo, diseño y nivel de la investigación, se presenta un esquema de ejecución de la investigación, se

describe la población y muestra, asimismo las técnicas e instrumentos en la recolección de los datos y también se detalla el procedimiento para realizar el análisis de las muestras, procesamiento de datos climáticos y estadísticos.

En el capítulo IV, se presentan los resultados de la caracterización anatómica de la especie mediante la descripción general a nivel macroscópico y microscópico, análisis dendrocronológico de las muestras, obtención de la serie maestra, correlación del ancho de anillos con la precipitación, temperatura, y elementos anatómicos (diámetro, longitud y frecuencia de vasos, longitud de fibras, densidad), análisis estadístico de datos mediante la prueba Anova de un factor y prueba Tukey, además se realizó la discusión de resultados con base en los antecedentes de investigaciones previas.

Finalmente, se presentan las conclusiones a partir de los objetivos planteados en la tesis, se precisaron algunas recomendaciones que servirán de guía a futuras investigaciones a realizarse para profundizar el tema de investigación.

El autor.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

#### **1.1.1. Planteamiento del problema**

Los bosques tropicales tienen un rol fundamental en la conservación del clima a nivel mundial, estos contribuyen a que se lleven a cabo muchos de los servicios ecosistémicos, siendo el más destacable lograr captar gran cantidad de agua de las nubes, las cuales se precipitan por efectos de la orografía (2).

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) reconoce al cambio climático como un problema a nivel mundial, con posibles efectos irreversibles para el planeta y la sociedad (13). Según estudios del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), se estima que la muerte progresiva de los bosques ocurra en muchas regiones, debido al incremento de temperatura que se viene registrando cada año, ya que al no existir suficiente disponibilidad hídrica, la mortalidad de los árboles se incrementa (14). Además, bajo condiciones de alta temperatura y poca precipitación, se evidencia una disminución en la extensión territorial de los bosques (15).

América del Sur viene afrontando periodos de sequía intensa, la cual empezó a ser notoria en el sureste de Brasil en el año 2018. Un informe de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) basado en la extensión, duración y volumen de agua perdida, reveló el problema que atraviesa esta parte del continente: desde el año 2002, es la segunda sequía más intensa,

y a la vez, se han registrado eventos extremos de similar magnitud, los cuales se volvieron cada vez más frecuentes (16).

La variabilidad climática y la pérdida de los bosques afectan significativamente el ciclo hidrológico, reduciendo la evapotranspiración y produciendo una disminución del caudal de los ríos (17). Los bosques tropicales, para un adecuado desarrollo, requieren condiciones de temperatura media con un clima cálido y alta humedad (18). Un incremento de 2 °C en la temperatura promedio y una disminución del 10 % de la precipitación afectará de forma significativa, aproximadamente al 60 % y 70 % de los bosques tropicales (19).

La posible extinción de especies arbóreas dependerá de su adaptabilidad ante las nuevas condiciones climáticas (20). Esta adaptación responde a una relación establecida entre la estructura de la madera y los factores climáticos presentes, como el efecto de la precipitación, temperatura y humedad en las características anatómicas (vasos y fibras) (21).

Una característica de la adaptabilidad de especies arbóreas al entorno son las que presentan abundancia de parénquima. Se demostró que estos rasgos a nivel anatómico permiten que el árbol tenga un mejor flujo de agua, la cual es conducida a través de los vasos; además, es considerada una estrategia para poder conducir y mantener el flujo de agua en las épocas de sequía (22). Asimismo, los poros difusos sufren una reducción del diámetro de vasos durante los años de sequía (23). Como también las variaciones en la dimensión de las fibras, las cuales están directamente asociadas con la densidad y soporte estructural de los árboles, relacionado al almacenamiento de agua (24).

Ante estas adaptaciones de las especies, es necesario evaluar cual es la respuesta que tienen los árboles ante eventos de sequías, ya que este fenómeno está relacionado con la restricción de provisión de agua al bosque (25).

En los últimos veinte años la intensidad de las lluvias provocaron inundaciones en la selva central con periodos de sequías recurrentes (26), precisamente el 2016 ocurrió un evento de sequía (27) que afectó los bosques de Satipo. Aún se

desconocen los efectos de estos en el crecimiento de los árboles, una forma de evaluar estos cambios es mediante el estudio de las características anatómicas de la madera con énfasis en los vasos y fibras.

Se han realizado algunos estudios de la descripción macroscópica de los anillos de crecimiento de *Caryocar glabrum* (28); sin embargo, aún faltan realizar investigaciones de la influencia de sequías en las características anatómicas (vasos y fibras) (29).

### **1.1.2. Formulación del problema**

#### **a) Problema general**

- ✓ ¿Cómo influyen las sequías en las características anatómicas de *Caryocar glabrum*?

#### **b) Problemas específicos**

- ✓ ¿Cómo se encuentran delimitados los anillos de crecimiento de *Caryocar glabrum*?
- ✓ ¿Se encuentra establecida la serie dendrocronológica de los anillos de crecimiento de *Caryocar glabrum*?
- ✓ ¿Cómo influye la precipitación y temperatura en el ancho de anillos de crecimiento de *Caryocar glabrum*?
- ✓ ¿Cómo afectan las sequías a los vasos y fibras de *Caryocar glabrum*?

### **1.2. Objetivos**

#### **1.2.1. Objetivo general**

- ✓ Evaluar la influencia de sequías en las características anatómicas de *Caryocar glabrum*.

#### **1.2.2. Objetivos específicos**

- ✓ Identificar los límites de los anillos de crecimiento de *Caryocar glabrum*.
- ✓ Establecer la serie dendrocronológica de los anillos de crecimiento de *Caryocar glabrum*.
- ✓ Determinar que la precipitación y temperatura influyen en el ancho de anillos de crecimiento de *Caryocar glabrum*.

- ✓ Analizar como los vasos y fibras de *Caryocar glabrum* responden a las sequías.

### **1.3. Justificación e importancia**

Los bosques tropicales son considerados ecosistemas vulnerables por su amplia biodiversidad a la vez apreciada por la gran cantidad de especies arbóreas. Su alto grado de fragilidad ante el cambio climático asociado a sequías, requiere de medidas drásticas para lograr su preservación (2).

El Perú es un país que tiene más del 50 % de su extensión territorial cubierto por bosques, los mismos que sirven de hábitat para diversas especies; sin embargo, se encuentran amenazadas por actividades madereras extractivas no sostenibles que originan la pérdida de la cobertura boscosa (30). Según reportes de la NASA del 2016, señalan que la variabilidad climática viene afectando a los bosques, con sequías cada vez más severas (16).

Los estudios sobre las características anatómicas están basados en la estructura de la madera y sus componentes, los mismos son claves para entender la influencia de las variables climáticas precipitación, temperatura y sequías en el crecimiento de los árboles. La información a generar será fundamental para realizar investigaciones sobre como los árboles se adaptarán a las condiciones climáticas futuras (29).

Los resultados permitirían identificar si existe relación entre los eventos climáticos extremos como las sequías (26) con los elementos anatómicos de *Caryocar glabrum* en el bosque de Satipo, dicha información será de gran ayuda para proponer especies arbóreas tolerantes a estos cambios, las cuales pueden ser consideradas en futuros proyectos de reforestación en la zona.

### **1.4. Hipótesis y variables**

#### **1.4.1. Hipótesis general**

Las sequías influyen significativamente en las características anatómicas de *Caryocar glabrum*.

**H<sub>0</sub>:** Las sequías no influyen significativamente en las características anatómicas de *Caryocar glabrum*.

**H<sub>a</sub>:** Las sequías influyen significativamente en las características anatómicas de *Caryocar glabrum*.

#### **1.4.2. Hipótesis específicas**

**H<sub>1</sub>:** *Caryocar glabrum* tiene los anillos de crecimiento distintivos y bien marcados.

**H<sub>2</sub>:** *Caryocar glabrum* presenta una serie dendrocronológica estadísticamente significativa.

**H<sub>3</sub>:** La precipitación y temperatura correlacionan de forma positiva y significativa con el ancho de anillos de crecimiento de *Caryocar glabrum*.

**H<sub>4</sub>:** Los vasos y fibras de *Caryocar glabrum* presentan variaciones en sus dimensiones en años de sequía.

### **1.5. Identificación y operacionalización de las variables**

#### **1.5.1. Identificación de variables**

##### **1.5.1.1. Variable independiente**

- ✓ Precipitación total mensual (mm)
- ✓ Temperatura (°C)
- ✓ Sequía

##### **1.5.1.2. Variable dependiente**

- ✓ Vasos
- ✓ Fibras
- ✓ Anillos de crecimiento

#### **1.5.2. Operacionalización de las variables**

A continuación, se detalla la matriz de operacionalización de variables (Tabla 1), en donde figura la variable independiente y la variable dependiente, asimismo, se especifica las definiciones de cada elemento.

**Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables**

TIPO DE VARIABLES	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	TIPO DE VARIABLE
Variables intervinientes	Precipitación total mensual	Es la caída de partículas de agua líquida o sólida que se originan en una nube, atraviesan la atmósfera y se condensan en el suelo (31).	Registros históricos de precipitación	Precipitación acumulada	milímetros (mm)	Cuantitativa
	Temperatura	Magnitud física que caracteriza el movimiento aleatorio media de las moléculas en un cuerpo físico (31).	Registros históricos de temperatura	Temperatura máxima	grados centígrados (°C)	Cuantitativa
	Sequía	Periodo de condiciones meteorológicas anormales secas considerado como prolongado causante de un desbalance hidrológico (32).	Determinación del índice de sequía	Índice de precipitación estandarizada	Adimensional	Cualitativa
Variables dependientes	Vasos	Son células cuyas paredes finales (contacto entre un elemento de vaso y otro) carecen de membranas y se encuentran perforadas (33).	Medición de los vasos	Longitud de vasos	micrómetros (µm)	Cuantitativa
				Diámetro tangencial de vaso	micrómetros (µm)	Cuantitativa
				Frecuencia de vasos	número de vasos/ mm <sup>2</sup>	Cuantitativa
	Fibras	Son células alargadas y estrechas, las cuales influyen en las propiedades mecánicas de la madera (34).	Medición de las fibras	Longitud de fibras	micrómetros (µm)	Cuantitativa
Anillos de crecimiento	Son los elementos que se forman anualmente, los cuales determinan la edad de un árbol e indican la velocidad de crecimiento de los árboles, asociados a factores externos (34).	Distancia entre anillos de crecimiento	Anillos anchos y anillos estrechos	milímetros (mm)	Cuantitativa	

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de investigación

Existen diversas investigaciones en el ámbito nacional e internacional referidos a las variables climáticas y a la anatomía de la madera, las que sirvieron de base para la presente investigación y fueron citados de la siguiente manera:

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

- En el año 2011, Ramírez y Del Valle en su artículo científico: “*Paleoclima de La Guajira, Colombia*” presentan la cronología de *Capparis odoratissima* (Capparidaceae) y encontraron relaciones lineales estadísticamente significativas con las variables climáticas locales: temperatura ( $r = 0.318, p < 0.01$ ), precipitación ( $r = 0.594, p < 0.01$ ) y ENSO ( $r = 0.452, p < 0.01$ ). La alta correlación señala el alto potencial de la especie para realizar estudios dendrocronológicos en bosques tropicales (35).
  
- En el año 2016, Brienen et. al. en el artículo científico: “*Tree Rings in the Tropics: Insights into the Ecology and Climate Sensitivity of Tropical Trees*” señalan que, en los bosques tropicales, la formación de los anillos está influenciada principalmente por variaciones de la estacionalidad de precipitaciones. Se ha confirmado la formación de anillos anuales para más de 200 especies de árboles tropicales, además se señala que los anillos de árboles pueden ayudar a evaluar los efectos de los cambios en condiciones climáticas a las que son sometidas las especies, pues estas reducen el crecimiento del árbol en las mencionadas condiciones ambientales (36).

- En el año 2019, Rodríguez Ramírez et. al. en su artículo: “*The influence of climate on the masting behavior of Mexican beech: growth rings and xylem anatomy*” analizaron la influencia de la temperatura, precipitación y los cambios que provocaron en el ancho de anillos de crecimiento de los árboles, así como la frecuencia y el diámetro de los vasos en el este de México. Los anillos de crecimiento y las características de los vasos de la xilema permitieron inferir los eventos con información histórica durante los últimos 128 años. La precipitación estuvo muy asociada con las diferencias en el ancho de los anillos de los árboles, el estudio se basó en el uso de la investigación dendro ecológica para detectar modificaciones inducidas por el clima en la frecuencia y en el diámetro de los vasos de las especies que habitan los bosques montanos tropicales (37).
- Mahmuda en el artículo: “*Long-term wood anatomical time series of two ecologically contrasting tropical tree species reveal differential hydraulic adjustment to climatic stress*” indica que la temperatura previa al monzón influyó negativamente en el ancho del anillo ( $r = -0.424, p < 0.01$ ) e influyó positivamente en la densidad de vasos en *T. ciliata* ( $r = 0.346, p < 0.01$ ). El área media se relacionó negativamente con la temperatura del monzón del año anterior. En *L. speciosa*, las temperaturas y precipitaciones del año anterior correlacionaron con las características de los vasos y el crecimiento radial en la siguiente temporada de crecimiento. La precipitación de octubre del año actual se relacionó positivamente en ambas especies ( $r = 0.405, p < 0.01$ ). Las diferencias en los rasgos funcionales podrían haber causado la variación en las estrategias hidráulicas entre las dos especies de estudio (8).
- Tesis titulada: “*Influencia de las precipitaciones sobre el crecimiento anual de Acacia macracantha Humb. & Bonpl. ex Willd, en dos sitios de la provincia de Loja*” realizada por Chalán, Luzmila en Ecuador. En la investigación se identificaron, midieron y sincronizaron los anillos de crecimiento, la edad media de los árboles fue de 37 y 38 años, para el periodo 1975-2015 se encontró una baja correlación entre el crecimiento de *Acacia macracantha* y las precipitaciones ( $r = 0.25, p < 0.01$ ), asimismo para Malacatos durante el periodo 1964-2015 y su correlación con la precipitación ( $r = 0.18, p < 0.01$ ),

sin embargo para periodos de crecimiento cortos de 5 años, las correlaciones fueron  $r = 0.75, p < 0.01$  y  $r = 0.76, p < 0.01$ ). Con base en los resultados se observa que precipitaciones no necesariamente influyen en el crecimiento de la especie, y la convierte en una especie muy resistente a las sequías (38).

- Tesis titulada: “*Annual growth rings in dry tropical forest trees*”, desarrollada por Hayden Bonnie en Canadá, se determinó la periodicidad de la formación de anillos de crecimiento en seis especies de árboles, donde prevalece la actividad cambial en la formación de anillos de crecimiento asociadas a las intensas sequías. Los árboles muestreados varían de 14 a 26 años de edad, los anillos de crecimiento fueron anuales. Asimismo, la formación anual está determinada por los periodos de sequía en el área de estudio, se evaluó la relación entre las sequías y el crecimiento de la especie ( $r = 0.362, p < 0.01$ ), además de la formación de anillos de crecimiento falsos, se utilizaron registros climáticos a largo plazo de una estación meteorológica cercana a la zona de estudio, se evidenció la relación entre la precipitación y el índice de ancho de anillos (39).
- Tesis titulada: “*Análisis del potencial dendroclimático de Acacia macracantha Willd de bosque seco en la parroquia Zapotillo al sur de Ecuador*” realizada por Narváez al sur de Ecuador. En la investigación se evaluó el impacto de las precipitaciones en el crecimiento anual y su potencial dendroclimático a través de métodos dendrocronológicos. Para la edad media de los árboles se obtuvo un promedio de 26 a 34 años, la influencia de la precipitación fue positiva para la especie ( $r = 0.701, p < 0.05$ ), se evidenció que el crecimiento estuvo influenciado por la precipitación durante el periodo 1986-2019, debido a la alta disponibilidad hídrica, indicador de que la especie cuenta con alto potencial dendroclimático (40).

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

- En el año 2013, Beltrán y Valencia en el artículo “*Anatomía de anillos de crecimiento de 80 especies arbóreas potenciales para estudios dendrocronológicos en la selva central, Perú*” destacan en sus resultados que el 30 % de las especies presentan un buen potencial, la mayoría de las

especies están delimitadas por una banda de fibras acortada radialmente; sin embargo, también existen especies con dificultad para visualizar los anillos, las características microscópicas mostraron variación significativas en dimensión de fibras y vasos entre zonas de crecimiento como madera temprana y tardía (41).

- El artículo de Pereyra et. al. "*Potencialidad de Cedrela odorata (Meliaceae) para estudios dendrocronológicos en la selva central del Perú*" determinó el potencial de la especie para estudios dendrocronológicos, con base en el análisis de las características anatómicas. Se desarrolló una cronología de ancho de anillos y se relacionó en ancho de anillos de crecimiento con los datos de precipitación de una cronología de 47 series de 27 árboles durante el periodo 1795-2009, los anillos se encuentran delimitados por una porosidad semicircular, con bandas de parénquima marginal, el crecimiento de los árboles estuvo relacionado con las precipitaciones ( $r = 0.433$ ,  $p < 0.01$ ), estableciéndose una estrecha relación entre el periodo de lluvias y el crecimiento de la especie (42).
- En el año 2019, Portal en el artículo científico: "*Potencial dendrocronológico de la especie Tachigali vasquezii pipoly y la relación con el cambio climático, en un bosque de terraza baja en el sur oriente del Perú*" realizó la caracterización de los anillos de crecimiento mediante la dendrocronología. Se elaboró una serie máster, se emplearon nueve árboles, con 4 radios por cada muestra, para el ancho de anillos se empleó el COFECHA, y para la serie el ARSTAN. La especie en mención presentó anillos distintos a simple vista, demarcados por zonas fibrosas, la correlación presentó un valor de  $r = 0.28$ , con una sensibilidad de  $r = 0.672$  para el periodo 1977-2015 y en relación con el clima la especie presentó respuesta al fenómeno de El Niño con una correlación positiva y altamente significativa ( $r = 0.305$ ,  $p < 0.01$ ) (43).
- En el artículo científico: "*Potencial dendrocronológico de Jacaranda copaia que contiene registro ENSO en Madre de Dios, Perú*" desarrollado por Portal et. al., se construyó la cronología de los anillos de crecimiento de la especie y se analizó con los eventos más severos del fenómeno El Niño, Los resultados

mostraron que la especie presenta una correlación de ancho de anillos de  $r = 0.36$ ,  $p < 0.05$ , la edad máxima fue de 34 años, los resultados mostraron una correlación significativa y positiva ( $r = 0.433$ ,  $p < 0.05$ ) durante los meses de septiembre a diciembre, del periodo actual de crecimiento, siendo esta una clara muestra del potencial en dendrocronología de la especie en bosques tropicales, para futuros estudios dendro climáticos (44)

- En el artículo científico: “*Assessing the Hydric Deficit on Two Polylepis Species from the Peruvian Andean Mountains: Xylem Vessel Anatomic Adjusting*” elaborado por Ramírez Rodríguez et. al., se evaluó la adaptación de los elementos vasculares de dos especies de *Polylepis* (*P. rodolfo-vasquezii* y *P. tarapacana*). Se encontró que los años históricos de sequía en el Perú afectaron de forma diferencial en ambas especies de *Polylepis*, precisamente *P. rodolfo-vasquezii* mostró características anatómicas de vasos sensibles a eventos de sequía de forma significativa. Los resultados sugieren que los eventos de sequía influyen en la adaptabilidad y resiliencia de las especies de *Polylepis* a los periodos secos y también podrían restringir su permanencia como parte de un ecosistema altoandino y montañoso (45).
- En el artículo científico desarrollado por Requena-Rojas en el año 2021: “*Assessing dendrochronological potential of Escallonia myrtilloides in the high andes of Peru*” presentó valores de sensibilidad media,  $R_{bar}$  y EPS similares a los registrados para *Polylepis tarapacana*, *Polylepis pepeii* y *Polylepis rugulosa*. El análisis de la relación clima-crecimiento indicaron correlaciones positivas con la precipitación y correlaciones negativas con la temperatura en meses particulares de la temporada de crecimiento actual (octubre-abril). Estos valores significativos y sensibles a la precipitación y temperatura registradas destacan el alto valor de *E. myrtilloides* para futuros estudios sobre la influencia del clima en el crecimiento del árbol (46).
- Tesis titulada: “*Caracterización anatómica de anillos de crecimiento de especies forestales tropicales maderables con valor comercial para dendrocronología - Selva Central*”. En la investigación se realizó la caracterización de 40 especies forestales en Chanchamayo y Satipo, concluyó

que las especies con buen potencial son 11 del total planteado en el estudio, para comparar la diferencia entre los diámetros de vasos y fibras de madera temprana y tardía se realizó la prueba T de Student a las 11 especies con mayor potencial y como resultado de la investigación, 4 especies presentaron diferencia significativa en el diámetro de vasos y 5 en el diámetro de las fibras (47).

- Tesis titulada: “*Dendrocronología de Caesalpinia spinosa (Molina) Kuntze, "taya", en bosques naturales de la provincia de San Marcos y distrito de Matara*”. En el trabajo se aplicó la técnica de la dendrocronología en 10 árboles de la especie, se relacionó el ancho de anillos con la precipitación y temperatura como variables que influyen en el crecimiento tomando en consideración la edad aproximada de las muestras obtenidas. En la investigación la variable precipitación fue la que mostró mayor influencia en el crecimiento de los anillos de la especie ( $r= 0.378, p < 0.05$ ) (48).
- Tesis titulada: “*Caracterización anatómica y dendrocronológica de Guateria hyposericea, Jacaranda copaia y Pouruma minor de Junín Perú*” presentada por Zegarra. En la investigación se describió la estructura anatómica de 3 especies, siguiendo lo establecido por las normas IBAMA y el IAWA, las especies mostraron características comunes entre el grano recto, color y anillos de crecimiento marcados por zonas más oscuras, con la finalidad de poder determinar el potencial dendrocronológico de las especies. Para 17 árboles por cada especie, los anillos fueron sincronizados con programas COFECHA, ARSTAN y RESPO, donde no se evidenciaron correlaciones significativas con temperatura, sin embargo, se presentaron correlaciones significativas positivas con la precipitación ( $r= 0.403, p < 0.01$ ) (49).
- Tesis titulada: “*Caracterización anatómica de la madera y dendrocronología de Juglans neotropica Diels de áreas ribereñas de la provincia de Chachapoyas, Amazonas*”. En la investigación se evaluó la influencia de la precipitación y temperatura en la formación de anillos de crecimiento utilizando los programas CooRecorder, COFECHA y R Studio. Se encontró que la especie posee anillos marcados, a nivel macroscópico presentó una

textura media, grano recto, poros solitarios de tipo semicircular, parénquima en bandas delgadas y marginal, a nivel microscópico poros medianos, de perforación simple, fibras libriformes de pared delgada a gruesa. Finalmente, no se evidenció la influencia de la precipitación ( $r= 0.103, p < 0.01$ ) y la temperatura ( $r= -0.246, p < 0.01$ ) en la formación de los anillos de crecimiento de la especie en la zona estudiada (1).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Clima**

Son aquellas condiciones meteorológicas correspondientes a un lugar en un periodo de tiempo determinado, puede explicarse mediante análisis estadísticos de las tendencias y la variabilidad presente de elementos como la temperatura, precipitación, presión atmosférica, humedad o vientos, a escala local o global, durante determinado periodo de tiempo (32).

También es considerado como el estado de la atmósfera en periodos de tiempo determinados, el cual es regulado por un conjunto de fenómenos que caracterizan el estado atmosférico de determinado lugar (50).

### **2.2.2. Climatología**

Es la ciencia que busca describir y explicar la variabilidad y naturaleza del clima, de determinado lugar y poder comprender como es que se relaciona con las actividades antropogénicas. La climatología se basa en el estudio del clima, las variaciones y valores extremos, tanto máximos como mínimos presentes en las actividades diarias (50).

### **2.2.3. Elementos climáticos**

Los elementos climáticos son las variables que son originadas producto del intercambio de energía entre la tierra y la atmósfera en un periodo de tiempo específico (50).

#### **2.2.3.1. Precipitación (pp)**

Se denomina precipitación al agua que cae de la atmósfera en forma líquida sólida o líquida y sólida desde las nubes a la superficie terrestre. Para que las

gotas de agua que forman nubes lleguen a precipitarse, se requiere un mayor tamaño y que el aire situado debajo de estas no sea ni muy cálido ni muy seco, con las condiciones ideales para dar inicio a las lluvias (50).

### **2.2.3.2. Temperatura ( $T^{\circ}$ )**

La temperatura es la condición que determina la dirección del flujo resultante de calor entre dos cuerpos, se interpreta que el cuerpo que libera calor al otro está a una temperatura más elevada (50).

#### **2.2.3.2.1. Temperatura máxima ( $T_{max}$ )**

Es la mayor temperatura del aire en un lugar y en un día (máxima diaria), en un mes (máxima mensual) o en un año (máxima anual). En condiciones normales, el valor de la máxima diaria es obtenido en las primeras horas de la tarde, mientras que la máxima mensual es obtenida entre julio o agosto, en el hemisferio sur (51).

#### **2.2.3.2.2. Temperatura mínima ( $T_{min}$ )**

Es la menor temperatura alcanzada en un lugar en un día, mes o año determinado. En condiciones normales, las temperaturas mínimas diarias se registran al amanecer, mientras que las mínimas mensuales se obtienen entre julio o agosto en el hemisferio sur (51).

#### **2.2.3.2.3. Temperatura media ( $T_{med}$ )**

Es el promedio estadístico obtenido de las temperaturas máximas y mínimas. Con las temperaturas medias mensuales, se obtiene un gráfico de las temperaturas medias de un lugar en un año determinado (51).

### **2.2.3.3. Evapotranspiración (Evap)**

La evapotranspiración es el proceso fisiológico que se da cuando el agua del suelo, de las reservas de agua y de las plantas es introducida al aire en forma de vapor de agua. La transpiración viene a ser la evaporación del agua de la vegetación (50).

#### **2.2.4. Sequía**

Una sequía es un evento caracterizado por un prolongado periodo de tiempo seco de forma anormal, produciendo desequilibrios hidrológicos. La gravedad de este evento está determinada en función a su duración, intensidad y extensión geográfica. La intensidad hace referencia al grado de disminución de la precipitación, mientras que la duración, al periodo de tiempo que abarcan estos, considerando un mínimo de 3 meses para considerarlas establecidas (25).

La sequía es un fenómeno que ocurre en regiones secas y húmedas, en cualquier periodo del año, por lo tanto, podría considerarse como un periodo de tiempo prolongado , durante el cual los valores de precipitación se encuentra por debajo de valores normales (27 mm/mes) (27).

##### **2.2.4.1. Evaluación de la sequía a nivel internacional**

A nivel mundial, se desarrollaron sistemas de monitoreo de sequías con nivel de detalle y en tiempo real, las instituciones representativas son: el monitor de sequías de Estados Unidos (52), el centro de información de sequías de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) (53) y el sistema de monitoreo de sequías de Canadá (54).

##### **2.2.4.2. Evaluación de la sequía a nivel nacional**

A nivel nacional, la institución que se encarga de realizar el monitoreo de las sequías es el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), a través de la Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica, la cual cuenta con estudios e investigaciones realizadas (27), además cuenta con boletines mensuales, organizado en su portal web (55).

#### **2.2.5. Métodos de evaluación de la sequía**

Los métodos meteorológicos que se dedican a analizar la sequía, tienen como objetivo determinar la ocurrencia de eventos por debajo de los valores normales a través de la precipitación, los cuales son representativos de las regiones, un ejemplo de ello es el índice estandarizado de precipitación (SPI) , un método de evaluación basado en un análisis estadístico de datos meteorológicos, lo que

permite la identificación de eventos de sequía, su intensidad, duración, frecuencia y ubicación (56).

### 2.2.6. Índice estandarizado de precipitación

El índice estandarizado de precipitación (Standardized Precipitation Index) fue propuesto por Mckee et. al., 1993 (57), es un índice de probabilidad de recurrencia de eventos de sequía, que cuantifica la precipitación mensual de un lugar en diferentes periodos de tiempo (3).

El valor obtenido del índice estandarizado de precipitación se puede interpretar como el número de desviaciones estándar que la precipitación difiere del valor medio para una escala de tiempo determinada, por ese motivo, toma valores adimensionales entre -3 y +3 (Tabla 2), ese rango de desviaciones estándar incluye un 99 % de la densidad de la distribución normal de los datos de precipitación obtenidos (58).

**Tabla 2. Probabilidad de la ocurrencia de sequías**

Índices	Categoría	Número de veces en 100 años	Severidad del evento
0 a -0,99	Sequía leve	33	1 en 3 años
-1,00 a -1,49	Sequía moderada	10	1 en 10 años
1,5 a -1,99	Sequía severa	5	1 en 20 años
< -2,0	Sequía extrema	2.5	1 en 50 años

*Tomada de Organización Meteorológica Mundial, 2012, p. 11. (59)*

### 2.2.7. Déficit hídrico y respuesta de las plantas

El agua es el recurso fundamental para la vida, en las plantas constituye del 80 al 90 % de la masa de los tejidos en crecimiento. Es el solvente más abundante, el cual permite el movimiento de las moléculas dentro de las células, debido a sus propiedades polares, tiene gran influencia en la estructura de moléculas como las proteínas, polisacáridos, entre otras.

Teniendo en cuenta la importancia del agua en las plantas, se puede considerar que una disminución o exceso en la cantidad de agua, podría

considerarse como un factor causante de situaciones de déficit o estrés hídrico (60).

El estrés por déficit hídrico o sequías se produce en las plantas a consecuencia de un ambiente escaso de agua, en donde la tasa de transpiración excede a la absorción de agua. El déficit hídrico no sólo ocurre ante la poca disponibilidad de agua en el entorno, también es producto de las bajas temperaturas y baja salinidad del suelo.

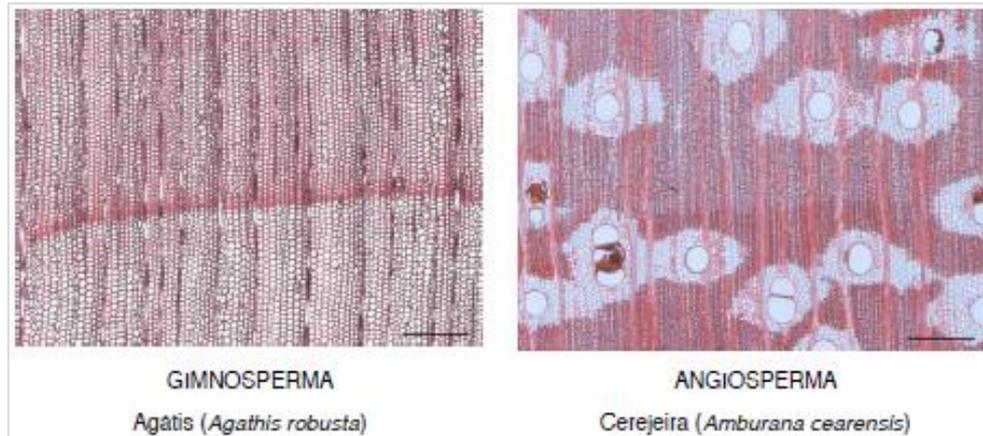
Las plantas a lo largo del tiempo han respondido al estrés hídrico de forma evolutiva con adaptaciones a nivel morfológico, anatómico y celular, lo cual les permite vivir en condiciones de constante estrés hídrico. Las plantas que se adaptan a la sequía o hacen un uso eficiente del agua, podrían tener resistencia al estrés por sequía (61).

#### **2.2.8. Anatomía de la madera**

El término anatomía es derivado de la palabra griega *anatomé*, que significa incisión o disección, teniendo como referencia el estudio de la organización de la estructura de los seres vivos. La anatomía de la madera se ocupa del estudio de los tipos de células que componen la madera, así como su organización, función y estructura que están relacionados con la actividad biológica (62). Los bosques presentan dos grandes grupos vegetales que producen madera a lo largo de su desarrollo, estas son las gimnospermas y las angiospermas (Figura 1) (62):

**a) Angiospermas o latifoliadas:** son árboles que tienen sus semillas dentro de frutos cubiertos por cáscaras, sus hojas son anchas y sus flores tienen vistosos pétalos, la mayoría de estas especies componen los bosques nativos.

**b) Gimnospermas o coníferas:** a diferencia de las angiospermas, sus frutos no tienen cáscara y con semillas expuestas, poseen estructura similar a espinos.



**Figura 1. Comparación de la estructura de la madera al microscopio**  
 Tomada de “Anatomía e identificación de madera de 90 especies comercializadas en Sao Paulo”, por Santini, Luiz et.al. 2021, p. 31. (62)

### 2.2.9. Planos de corte de la madera

La madera es un material heterogéneo, pues se compone de diferentes tipos de células y es anisotrópico, ya que presenta diferentes disposiciones de sus elementos celulares según el plano de observación (Figura 2). Esto se debe a que la organización del tejido está orientado en paralelo o perpendicular a un eje de simetría, con tres planos de referencia, entre los cuales destacan (62):

#### a) Plano transversal

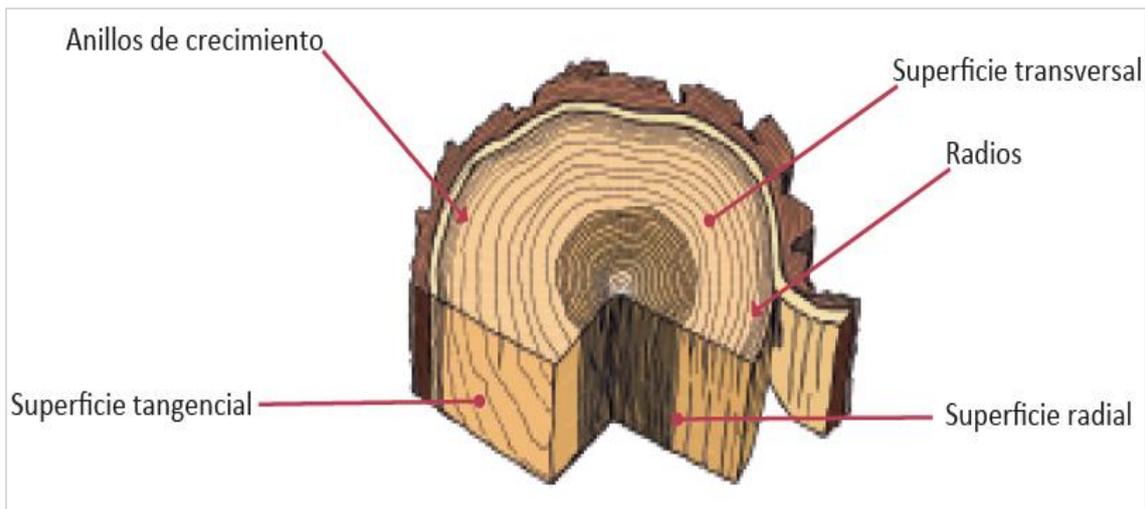
Este corte nos da una vista transversal de la pieza de madera, nos proporciona información macroscópica de la madera, como el tipo de parénquima axial y la visibilidad de los anillos de crecimiento.

#### b) Plano longitudinal tangencial

Su orientación es perpendicular a la dirección de los rayos, paralelo al eje del tallo, en este plano se puede diferenciar la estratificación de los elementos celulares.

#### c) Plano longitudinal radial

Su orientación es paralela a los radios y perpendicular hasta el límite de los anillos de crecimiento, este plano nos da información sobre la disposición y el ancho de los rayos.



**Figura 2. Planos de corte de la madera**  
*Tomada de "Guía para la identificación de 50 especies forestales del Perú", por Ugarte, José, 2017, p. 21. (63)*

### **2.2.10. Identificación anatómica de la madera**

La identificación de la madera es realizada a partir de conocimientos sobre las características generales de la madera en su estructura anatómica. Para esto, se utilizan equipos como la lupa o el microscopio óptico con la intención de realzar las características propias de cada especie.

#### **a) Identificación macroscópica**

Para la identificación macroscópica, son observadas aquellas características que requieren poco aumento para el análisis. Esta técnica es muy práctica, pues requiere instrumentos simples y puede realizarse en cualquier lugar, ya que sólo necesitamos una lupa de 10 aumentos y una cuchilla bien afilada para poder realizar el corte de la madera a ser analizada. A continuación se describe los pasos necesarios para lograr la identificación (62):

Los caracteres a continuación listados son utilizados en la identificación macroscópica y microscópica de las especies de madera, las cuales fueron basados en las normas propuestas por el Asociación Internacional de Anatomistas de la Madera (IAWA) (64).

### **2.2.10.1. Propiedades organolépticas o sensoriales**

Son aquellas que pueden ser identificadas por medio de la utilización de los órganos de los sentidos humanos (visión, gusto, tacto u olfato) sin la necesidad de un instrumento de apoyo. Las principales propiedades organolépticas analizadas para la identificación de madera son: coloración, olor, gusto, textura, brillo, densidad aparente o peso de la madera. A continuación, se detalla cada una de estas (62):

#### **a) Coloración**

En la mayoría de las especies, cuando la madera alcanza cierta madurez, la porción interna del tronco presenta una coloración más oscura que la porción externa. La porción interna recibe el nombre de duramen o núcleo y la porción externa es la albura.

Esta diferencia de coloración se da principalmente por la impregnación de sustancias orgánicas en las células que componen el núcleo. Estas sustancias muchas veces son tóxicas para los hongos e insectos y tienen la finalidad de proteger del ataque de estos.

#### **b) Olor**

El olor de la madera también es una característica con alto grado de subjetividad, ya que tiene a disminuir o desaparecer según el tiempo que el tronco fue cortado, estas sustancias por lo general se concentran en la parte del duramen, esta característica se puede clasificar como agradable; por ejemplo, *Cedrela odorata*, que se usa en perfumería o fabricación de muebles.

#### **c) Gusto**

El gusto puede ser verificado al raspar o retirar filamentos de madera para masticarlas después. Los gustos más característicos son los amargos. Es importante resaltar que esta característica deberá ser analizada para saber con certeza si la madera ha recibido algún tipo de tratamiento para poder preservar su composición normal.

#### **d) Textura**

La textura está relacionada a la dimensión, organización y porcentaje en que los elementos celulares componen la madera, los cuales se pueden dividir de la siguiente forma:

- ✓ **Textura fina:** maderas cuyos vasos o parénquima axial no son visibles a simple vista, tienen un diámetro menor a 100  $\mu\text{m}$ .
- ✓ **Textura media:** maderas cuyos vasos son visibles a la vista, sin embargo, el parénquima axial es poco contrastado, los vasos poseen un diámetro entre 100  $\mu\text{m}$  y 300  $\mu\text{m}$ .
- ✓ **Textura gruesa:** maderas cuyos vasos y radios son visibles a simple vista y el parénquima axial está bien contrastado, los vasos tienen un diámetro mayor al de 300  $\mu\text{m}$ .

#### **e) Brillo**

Es observado, con mayor facilidad, en el plano longitudinal radial, debido a su disposición horizontal de los radios, siendo característico de algunas especies como las Lauráceas.

#### **f) Grano**

El término grano está relacionado a la orientación de los elementos verticales con relación al eje longitudinal del árbol. Las variaciones ocurren debido a las diversas influencias naturales durante el proceso de crecimiento, pueden clasificarse en:

- ✓ **Grano recto:** presenta los tejidos axiales orientados en forma paralela al eje principal del tronco del árbol. Debido a eso, presenta pocos defectos y deformaciones durante la etapa de crecimiento del árbol.
- ✓ **Grano entrelazado:** los tejidos axiales están orientados en diversas direcciones, no son paralelas al tronco. La resistencia mecánica no está afectada por este tipo de grano sin presentar los problemas de deformación.
- ✓ **Grano espiralado:** los elementos celulares presentan una disposición en forma espiral a lo largo del eje del tronco.

- ✓ **Grano inclinado:** los elementos celulares están dispuestos de manera oblicua en relación con el eje del tronco. Puede afectar directamente las propiedades de las maderas, reduciendo su resistencia mecánica.
- ✓ **Grano ondulado:** Los elementos axiales del leño alternan constantemente su dirección, produciendo la formación de ondas a lo largo del eje longitudinal del árbol.

### g) Densidad aparente

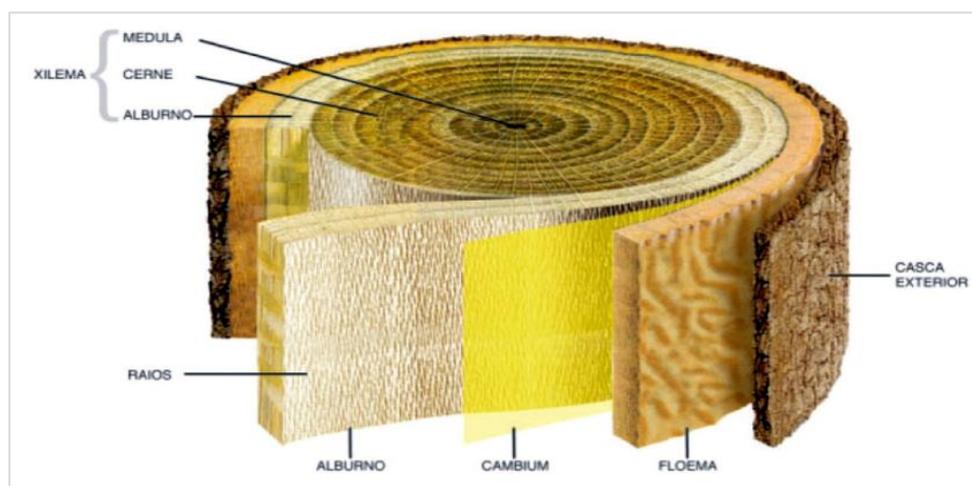
Propiedad física que puede ser medida en el laboratorio. Por lo tanto, para la identificación macroscópica de las maderas la denominación comúnmente empleada es el “peso de la madera”, en muchos trabajos prácticos de identificación.

### 2.2.11. Estructura macroscópica

Al realizar un corte transversal de un fuste o tronco, se evidencian diferentes elementos, entre las que destacan a continuación (34):

- a) **Corteza forestal:** ritidoma, corteza viva.
- b) **Madera o xilema:** albura, duramen.

El tallo o tronco desempeña diversas funciones como el crecimiento, conducción de agua, transporte, almacenamiento y conducción de sustancias nutritivas, sostén del vegetal y secreción de sustancias (Figura 3).



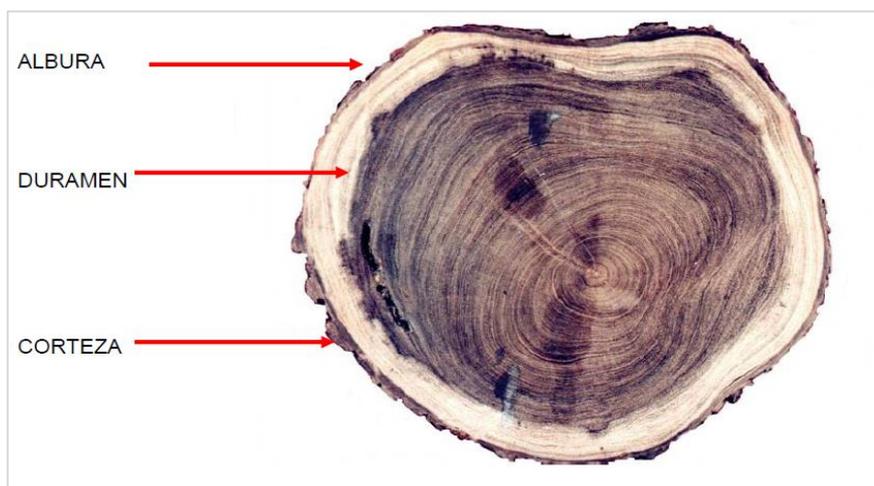
**Figura 3. Esquema ilustrativo de la estructura de la madera**  
 Tomada de “Anatomía e identificación de madera de 90 especies comercializadas en Sao Paulo”, por Santini, Luiz et.al. 2021, p. 22. (62)

### 2.2.11.1. Corteza

La corteza está constituida en su interior por floema (corteza viva) que es el conjunto de tejidos vivos encargados de la conducción de savia elaborada y exteriormente por ritidoma o corteza muerta, que es el tejido que lo cubre. La corteza protege su estructura contra la sequedad, plagas de hongos e incendios, tiene la función de almacenamiento y conduce nutrientes (34).

### 2.2.11.2. Albura y duramen

La albura conduce gran cantidad de agua y de sales desde la raíz hasta las hojas, brinda robustez al tallo y actúa de reservorio de sustancias. Mientras que el duramen son las capas internas de la madera, en el cual el almidón fue removido, es producido por el envejecimiento del árbol (Figura 4) (34).



**Figura 4. Identificación de la albura, duramen y corteza**  
Tomada de "Anatomía de madera", por Jiménez, Ana et. al. 2005, p. 43. (34)

### 2.2.12. Estructura microscópica

La estructura interna de las latifoliadas es más compleja que las coníferas. Debido a esto, tienen múltiples elementos que permiten una adecuada identificación. En su leño, se puede apreciar los siguientes elementos estructurales (34):

#### 2.2.12.1. Vasos

Son elementos característicos de las maderas latifoliadas, es el principal elemento que la diferencia de las coníferas. Según Carlquist (33), son las

responsables de conducir el flujo ascendente de sabia bruta (agua y sales minerales), desde la raíz hasta la copa de los árboles.

Su observación se realiza en el plano transversal, donde los vasos se encuentran en forma redondeada, ovalada o angular. Las características de los vasos que se analizan para identificar la madera son:

- ✓ **Visibilidad de los vasos:** esta característica está relacionada con el diámetro de los vasos.
- ✓ **Diámetro tangencial de los vasos:** las medidas empleadas para su clasificación son: pequeños (<100  $\mu\text{m}$ ), medianos (100  $\mu\text{m}$  a 200  $\mu\text{m}$ ) y grandes (>200  $\mu\text{m}$ ).
- ✓ **Frecuencia de los vasos:** las medidas empleadas para su clasificación son: muy pocos (<5/mm<sup>2</sup>), pocos (5 a 20/mm<sup>2</sup>), numerosos (20 a 40/mm<sup>2</sup>) y muy numerosos (>40/mm<sup>2</sup>).

#### 2.2.12.2. Porosidad

Esta característica está relacionada a como los vasos se encuentran distribuidos en la sección transversal. Puede ser clasificada de la siguiente forma:

- a) **Porosidad difusa:** los vasos están dispersos de forma aleatoria en el tejido vegetal.
- b) **Porosidad en el anillo:** presenta vasos de mayor diámetro dispuestos en fajas concéntricas a lo largo del tronco, siendo los de mayor diámetro aquellos que se encuentran localizados en el inicio del periodo vegetativo (leño temprano o inicial) que los de menor diámetro localizados en el final del periodo (leño tardío). A su vez se encuentra dividido en anillo poroso y anillo semi poroso.
- ✓ **Anillo poroso:** presenta transición abrupta entre las bandas de vasos con menor diámetro que el de vasos con mayor diámetro.
- ✓ **Anillo semi poroso:** presenta transición gradual entre las bandas de vasos con menor diámetro que el de vasos con mayor diámetro.

### 2.2.12.3. Parénquima axial

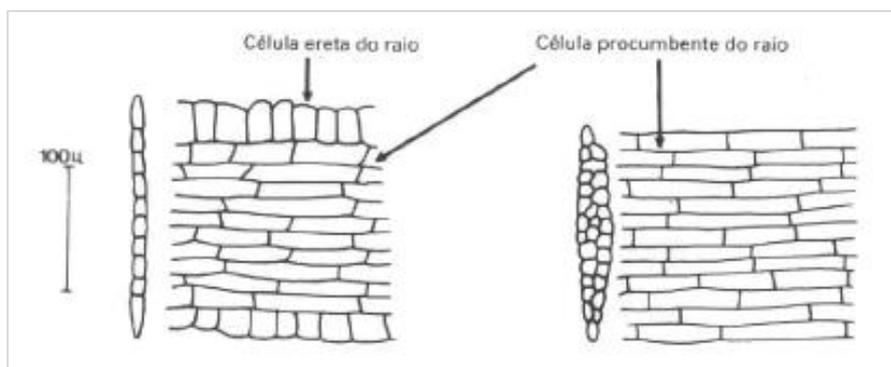
Son células rectangulares y paredes finas, su principal función es el almacenamiento de nutrientes en el leño, cuando están presentes pueden manifestarse en la estructura del leño (34). Están directamente relacionadas al metabolismo de las plantas, pues desempeña la función de almacenamiento en el leño, siendo compuesto de células cilíndricas o prismáticas a lo largo del tronco del árbol.

Sus células pueden ser distintas de otras pues poseen las paredes más finas debido a la ausencia de lignificación. Su configuración es también extremadamente variable entre las especies pues permite una clasificación basada en el diseño que forma en el leño del árbol (34).

### 2.2.12.4. Parénquima radial

Los radios están compuestos de células prolongadas que se encuentran orientadas de forma horizontal, desde la médula (centro) para la corteza (periferia) del árbol. Actúa en el metabolismo de las plantas con la función de conducción de sustancias entre la xilema y la corteza.

Presentan gran diversidad en forma, tamaño y número de células. Es por ello, que es considerada como uno de los elementos más eficaces en la diferenciación de este tipo de maderas (Figura 5) (34).



**Figura 5. Tipo de radio de acuerdo con la estructura celular. Izquierda: Uniseriado heterogéneo; Derecha: Multi seriado homogéneo**  
Tomada de “Anatomía de madera”, por Jiménez, Ana et. al. 2005, p. 44. (34)

### 2.2.12.5. Fibras

Son células alargadas y estrechas que existen sólo en latifoliadas, constituyen el mayor porcentaje del leño con función de sostenimiento. Su espesor de la pared influye en las propiedades mecánicas de la madera (34).

### 2.2.13. Metodología para la identificación macroscópica

A continuación se describe los pasos necesarios para lograr la identificación macroscópica (62):

#### a) Paso 1: Reconocimiento de la sección transversal

El primer paso es reconocer el plano transversal de la muestra que se quiere identificar, en esta sección se observan las características macroscópicas de los elementos anatómicos de la madera (Figura 6).



*Figura 6. Determinación de la sección transversal. Izquierda: Muestra de madera aserrada; Derecha: Corte transversal de la madera Tomada de “Guía para la identificación de 50 especies forestales del Perú”, por Ugarte, José, 2017, p. 12. (63)*

#### b) Paso 2: Corte de la sección transversal

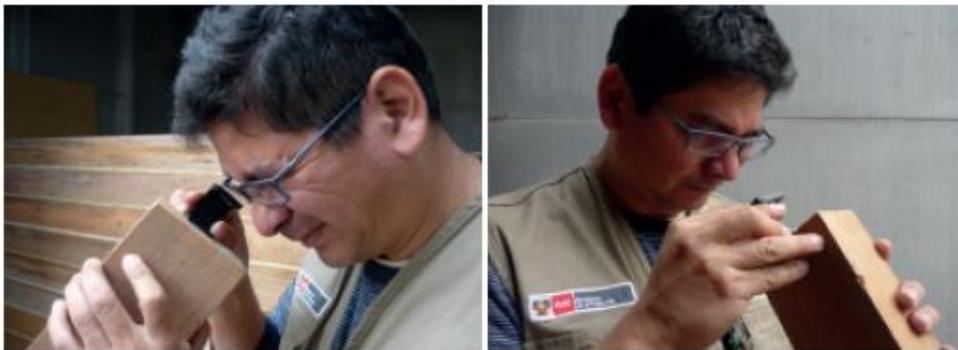
Luego de determinar el plano transversal, con la cuchilla afilada, se realiza un corte pequeño en esa superficie, de aproximadamente 1x1cm para poder observar y diferenciar las características anatómicas presentes (Figura 7).



**Figura 7. Corte con cuchilla sobre la sección transversal de una muestra**  
*Tomada de “Guía para la identificación de 50 especies forestales del Perú”, por Ugarte, José, 2017, p. 13. (63).*

### **c) Paso 3: Observación de las características en la sección transversal**

Luego de realizar el corte sobre el plano transversal de la muestra, se procede a humedecer la misma con el fin de poder contrastar los elementos para una mejor visualización. A continuación, se observa con la lupa de 10x y se describen las características observadas en la muestra (Figura 8).



**Figura 8. Identificación de madera con lupa de 10x. Izquierda: Forma correcta de observación; Derecha: Forma incorrecta de observación**  
*Tomada de “Guía para la identificación de 50 especies forestales del Perú”, por Ugarte, José, 2017, p. 13. (63).*

### **d) Paso 4: Identificación de la madera**

Una vez descritas las características macroscópicas, se realiza una identificación de los rasgos presentes de acuerdo con las fichas de identificación de maderas (Figura 9).



**Figura 9. Comparación de la sección transversal de una conífera y una latifoliada con lupa de 10x. Izquierda: Ulcumano; Derecha: Andiroba**  
**Tomada de “Guía para la identificación de 50 especies forestales del Perú”, por Ugarte, José, 2017, p. 15. (63).**

### **2.3. Dendrocronología**

El término dendrocronología deriva del griego *dendron* relacionado a los árboles y cronología relacionado a la datación del tiempo; lo cual puede ser interpretado como el estudio de los sucesos del pasado basados en el análisis o medición de los anillos de crecimiento (65).

La dendrocronología es una ciencia basada en principios, técnicas y métodos para poder interpretar la información del pasado almacenados en los anillos de crecimiento, los cuales contienen información sobre factores que influyen en el crecimiento de las especies maderables (66).

#### **2.3.1. Principios de la dendrocronología**

La dendrocronología se basa en un conjunto de principios, algunos de ellos son compartidos con otras ciencias, mientras que los restantes son aplicados en estudios dendrocronológicos específicamente (67), los principios se detallan a continuación.

##### **2.3.1.1. Principio de la datación cruzada o sincronización**

Es considerado el principio fundamental en dendrocronología, se basa en la sincronía existente en determinado conjunto de árboles con un patrón en común los cuales crecieron bajo condiciones climáticas similares durante cierto periodo de tiempo (66). Este patrón permite asignar el año correspondiente a cada anillo de manera más precisa, sin este principio no se podría realizar la datación, siendo un simple conteo de anillos (68).

### **2.3.1.2. Principio de uniformidad**

Este principio plantea que los procesos biológicos y físicos que rigen en la actualidad están relacionados con patrones de crecimiento de los árboles y han estado conectados desde el pasado. Inicialmente, Hutton en el año 1785 plantea que “el presente es la clave del futuro” (68).

La dendrocronología hace un cambio radical a dicho principio, siendo el pasado la clave del futuro, pudiéndose interpretar que conociendo las condiciones del ambiente en el pasado; estas evidenciadas en los anillos; mediante un análisis podemos hacer predicciones sobre las condiciones futuras (66).

### **2.3.1.3. Principio de los factores limitantes**

De todo el conjunto de factores que influyen en el proceso de crecimiento de los árboles, con frecuencia existe uno de ellos que limita su desarrollo (66). Cuando los anillos se analizan y presentan algún grado de sincronía, ésta se debe a algún factor que limita el proceso (69).

### **2.3.1.4. Principio de la suma de los factores ambientales**

Este principio llega a establecer que determinada serie que modela el crecimiento de los árboles puede llegar a ser descompuesta en varios factores ambientales.

Se puede expresar en términos matemáticos el ancho de anillo de un árbol ( $R$ ) en un año “ $t$ ”, mediante la expresión siguiente:

$$R_t = A_t + C_t + D1_t + D2_t + E_t$$

Esta ecuación es una función de tendencia de crecimiento relacionada con la edad ( $A$ ), condiciones del ambiente ( $C$ ), factores internos del bosque ( $D1$ ), factores externos ( $D2$ ) y la acción de factores aleatorios cualquiera ( $E$ ) (68).

### **2.3.1.5. Principio de amplitud ecológica**

Este principio determina que una especie es sensible a factores ambientales en la latitud y altitud de su hábitat característico (68). Por consecuencia, las

especies pueden llegar a crecer, reproducirse y propagarse en determinado hábitat, el cual puede ser amplio o restringido (67).

#### **2.3.1.6. Principio de lugar de selección**

En el muestreo en campo primero se debe identificar y priorizar aquellos lugares con características que produzcan series de anillos variables y sensibles a los cambios del ambiente, con el fin de poder hacer una muestra representativa para los estudios a realizar (68).

#### **2.3.1.7. Principio de replicación**

Este principio señala que se debe tomar más de una muestra por árbol y más de un árbol por cada sitio, es decir, replicar el muestreo en diferentes secciones por cada árbol, con el fin de poder reducir de forma significativa la variabilidad intra-árbol (68).

### **2.3.2. Aplicaciones de la dendrocronología**

Los anillos de crecimiento poseen información valiosa, es por ello sus diversas aplicaciones en múltiples disciplinas. Mediante el procesamiento de estos datos, permite el análisis de procesos en diversos campos como en la ecología, geomorfología, climatología, arqueología, entre otros (68).

#### **2.3.2.1. Dendroclimatología**

La dendroclimatología basa sus principios en la reconstrucción del clima a partir de los anillos de los árboles. Debido a que los árboles responden a su entorno, son sensibles a variaciones de elementos del clima como la temperatura, precipitaciones, humedad del suelo, nubosidad y vientos (11).

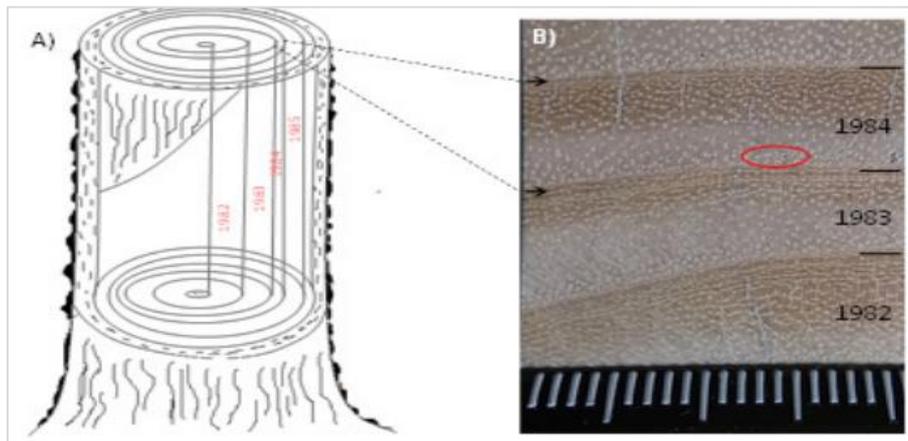
#### **2.3.2.2. Dendroecología**

La dendroecología emplea los anillos de los árboles fechados para estudiar eventos ecológicos como los incendios y sequías. Esta disciplina se desarrolló en los Estados Unidos, a partir de la década de 1960, siendo Fritts el que realizó sus primeras investigaciones (10).

## 2.4. Anillos de crecimiento

Los anillos de crecimiento determinan el crecimiento del árbol, aproximadamente al año se forma un anillo, los cuales indican la edad de una especie arbórea. Una evaluación de este elemento, Los anillos de crecimiento nos indican si el árbol tuvo un rápido crecimiento (anillos anchos), o lento (anillos estrechos), de acuerdo a las siguientes características (Figura 10) (34):

- a) Mayor espesor de anillo: crecimiento rápido, con condiciones favorables para su desarrollo.
- b) Menor espesor de anillo: crecimiento lento, con condiciones desfavorables para su desarrollo.



**Figura 10. Representación gráfica de los anillos de crecimiento. (A) Anillos formados, año tras año producto del crecimiento del árbol. (B) Estructuras anatómicas que caracterizan la xilema de un árbol en el plano transversal**  
Tomada de “Aplicaciones metodológicas para el estudio del árbol urbano”, por Giraldo, Jorge, 2015, p. 3. (70)

Los árboles poseen características propias de cada especie, los mismos que si crecen en regiones con estaciones del año muy marcadas, presentan anillos bien definidos, mientras que aquellos que crecen en lugares con condiciones de clima constante en gran parte del año, presentan anillos poco definidos (34). En muchas especies tropicales, los anillos corresponden a periodos de sequía, lluvia o caída de hojas, pudiendo ocurrir dos o más ciclos a lo largo de un año, por lo tanto, no siempre son anuales (71).

Es común encontrar en algunos troncos, anillos discontinuos o llamados también falsos anillos, que dificultan principalmente la determinación de la edad

de un árbol, pueden ser producto de causas externas al crecimiento del árbol: heladas tardías, caída de hojas, defoliación y fluctuaciones climáticas (34).

#### **2.4.1. Factores que influyen la formación de anillos de crecimiento**

##### **a) Factores ambientales**

Existen factores ambientales que tienen influencia sobre la estructura anatómica, en la actividad cambial, proceso de expansión y crecimiento celular, así como en la formación de elementos secundarios. El resultado de este proceso son anillos con número variable de células y con paredes celulares de múltiple grosor (48).

##### **b) Precipitación**

En regiones con altas precipitaciones el ancho de los anillos varía mínimamente, mientras que en regiones con precipitación mínima, la formación de anillos es variable, siendo sencilla la identificación de años indicadores de estas variaciones (48).

##### **c) Luz solar**

El crecimiento responde a la disponibilidad de luz solar, el árbol que crece bajo una cobertura densa recibe poca luz del sol, incidiendo en la reducción drástica en el ancho de anillo de crecimiento, mientras que aquellos con disponibilidad de luz presentan anillos más anchos (72).

##### **d) Viento**

La dirección y fuerza del viento generan cierta inclinación en la copa del árbol, y produce la formación de una médula de tipo excéntrica en la sección transversal. Los vientos moderados forman médula excéntrica y madera de compresión, mientras que los vientos fuertes impiden el desarrollo del individuo, formando una médula extremadamente excéntrica (72).

##### **e) Composición genética**

El crecimiento de un árbol está influenciado por la composición genética que presenta. La estructura de la madera y el ancho de anillos pueden ser variables

debido a factores genéticos, ya que el árbol podría mantener las características propias de la especie (48).

#### **2.4.2. Anillos de crecimiento en árboles de bosques tropicales**

En los bosques tropicales existe una estrecha relación entre la anualidad de los anillos de crecimiento de árboles tropicales y el factor genético, el cual tiene importante influencia en la formación de los anillos, sin embargo, también existen factores ambientales que influyen en el ancho, porosidad y densidad de los anillos (73).

La formación de los anillos de crecimiento se basa en la estacionalidad o condiciones ambientales, las mismas que producen un crecimiento en capas continuas (74), siendo el resultado de la periodicidad en el tipo de vasos, parénquima, fibra y en la forma que está relacionada al tamaño del lumen y engrosamiento de la pared celular de elementos leñosos (33).

El crecimiento de los árboles en zonas tropicales se encuentra relacionado a la presencia de un periodo de sequía asociada a una ausencia o escasez de precipitaciones (75). En años de mayor precipitación, los anillos de crecimiento tienden a ser más anchos. En años de menor precipitación, los anillos son estrechos (76). Sin embargo, resulta difícil poder identificar los anillos de crecimiento en especies tropicales, debido a la anatomía de la madera propia de cada especie (77).

#### **2.5. Densitometría de rayos x**

Los rayos X se definen como la radiación electromagnética con una longitud de onda entre  $10^{-3}$  nanómetros y 10 nanómetros. En espectrometría, es más común referirse a la radiación como fotones en lugar de longitudes de onda, el tipo de interacciones que ocurren entre los átomos y las moléculas en la materia y la radiación electromagnética depende de la energía del fotón (78).

En la densitometría de rayos X, las densidades se miden irradiando una muestra con radiación x y detectando la cantidad de radiación que se transmite

a través de la muestra. La transmisión de la radiación depende de la cantidad de radiación atenuada en la muestra (78).

La densitometría de rayos X es una técnica empleada para poder respaldar la delimitación de los anillos de crecimiento realizada con el estereoscopio, principalmente nos ayuda a corroborar la información obtenida en el trabajo de gabinete, para poder tener la certeza de poder realizar un correcto fechado y delimitado de los anillos de crecimiento en determinadas especies (79).

## **2.6. Anatomía ecológica de la madera**

El estudio de la anatomía ecológica inició en la década de 1970 y se reconoce a Carlquist como el padre de esta ciencia (33). En 1975, el mencionado autor halló correlaciones positivas y significativas entre las características de la anatomía de la madera y la ecología, formulando relaciones que replantean la variedad de vegetales como resultado de evolucionar de forma adaptativa (21).

La anatomía ecológica basa sus principios en las relaciones que existe entre los factores ambientales y las características anatómicas, las cuales se pueden considerar como mecanismos de adaptación ante la variabilidad climática (80).

Las condiciones ambientales influyen directamente en la estructura de la madera, se podrían encontrar algunas especies que muestran una alta sensibilidad debido a los constantes cambios en los elementos del clima (21).

## **2.7. Relación entre características anatómicas y el ambiente**

La relación entre las características anatómicas de la madera y los factores ambientales fue reconocida desde el siglo pasado. Se han realizado diversos estudios con enfoque en el análisis del efecto de algunos factores ambientales como la temperatura, precipitación, humedad, altitud y distribución geográfica sobre aquellas características anatómicas como el diámetro de los poros, frecuencia de los vasos, longitud de fibras, etcétera (21).

Los factores ambientales mencionados, fueron estudiados por muchos años como fuentes determinantes en la formación del leño, Baas, 1982 (81), analizó

las variables que componen la estructura de las plantas tolerantes a la sequía, muchos de estos estudios se llevaron a cabo en zonas de elevado estrés hídrico o en áreas muy frías. Existen características cuantitativas y otras cualitativas, a continuación, se detallan cada una de ellas:

### **2.7.1. Características cuantitativas**

En diversos estudios se hace referencia a este tipo de características de los vasos como: la frecuencia de poros por mm<sup>2</sup>, diámetro de poros, número de barras por platina de perforación que se presentan en ellos (80).

### **2.7.2. Características cualitativas**

Las características cualitativas hacen referencias a aquellos rasgos que hacen distinguibles a cada tipo de especie, entre las más resaltantes tenemos al tipo de vasos, tipo de traqueidas, tipo de fibras, tipo de parénquima, entre otros (21).

## **2.8. Características generales de la especie**

### **2.8.1. Taxonomía**

Descripción taxonómica según Vásquez *et.al.*,2018 (12):

Reino	:	Plantae
Filio	:	Tracheophyta
Clase	:	Magnoliopsida
Orden	:	Malpighiales
Familia	:	Caryocaraceae
Género	:	Caryocar
Nombre científico	:	<i>Caryocar glabrum</i> (Aubl.) Pers.
Nombre común	:	Almendro, almendro colorado, kurúp

### **2.8.2. Descripción de la especie**

Caryocaraceae es una familia botánica compuesta por 25 especies, divididas en dos géneros: *Caryocar* y *Anthodiscus*. Las plantas del género *Caryocar* fueron estudiadas por la buena calidad de la madera, su dureza, resistencia a la humedad y al ataque de insectos (82).

El género *Caryocar* presenta 16 especies, además del aprovechamiento de la madera, los frutos se usan para extraer aceite, el que es empleado en el uso doméstico.

También es usada con fines medicinales, para el tratamiento de enfermedades respiratorias, además sus frutos son muy nutritivos, pues están compuestos de fibras, proteínas, carbohidratos y minerales (83).

La especie *Caryocar glabrum* es un árbol que puede alcanzar los 50 metros de altura, posee un tronco recto de tipo cilíndrico. La corteza externa es áspera y fisurada de color marrón oscuro, de hojas compuestas y formadas alternadamente, presenta flores de tipo bisexual de color amarillo. Su fruto es similar a la forma que presenta un globo, de aproximadamente 6 cm de diámetro y es de color marrón a amarillo claro (84).

### **2.8.3. Descripción botánica**

- a) Hojas: de tipo asimétrico, sub iguales en tamaño, de estrechamente elíptico a ovado elíptico, ápice redondeado, base obtusa a redondeada (85).
- b) Flores: racimos corimbosos, pedúnculos teretes, glabros dispersos, frecuentemente lenticelados de 2 a 6 cm de largo (Figura 11).
- c) Fruto: de 5 a 6 cm de diámetro, globosos, cáliz persistente, pericarpo glabro crustáceo (82),(86).
- d) Corteza: externa fisurada, color grisáceo claro a oscuro, que se desprende en pequeñas placas rectangulares, la corteza interna es compacta, de color marrón a rojizo (Figura 11) (87).



**Figura 11. Hojas, flores y frutos de *Caryocar glabrum*.**  
**Tomada de “Guía ilustrada flora cañón de río Porce”, por Herbario de la Universidad de Antioquia. 2016, p. 61. (88)**

#### **2.8.4. Fenología de la especie**

La floración de la especie ocurre entre los meses de octubre a diciembre. Los frutos se desarrollan rápidamente después de la floración, alcanzando su maduración entre los meses de diciembre a abril (89).

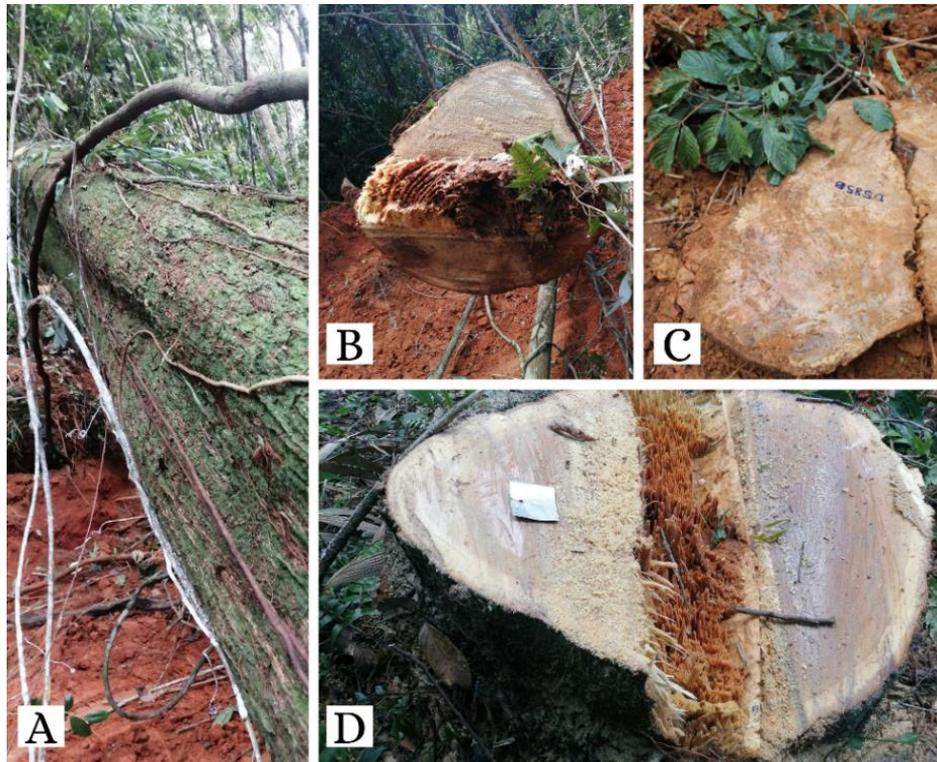
#### **2.8.5. Distribución**

La distribución se encuentra concentrada en bosques de terraza alta, bosques de colina baja, alta y de montañas; en altitudes de 120 a 1800 m s. n. m. (87). Se encuentra distribuida en la cuenca amazónica, abarcando territorio de Bolivia, Brasil, Colombia, Venezuela, Guyana y Perú. En Perú se ubica principalmente en los departamentos de Amazonas, Junín, Loreto y Pasco (12).

#### **2.8.6. Aplicaciones y usos de la madera**

En la especie *Caryocar glabrum*, la semilla del fruto es comestible, presenta gran cantidad de aceite, el fruto es muy consumido por la fauna silvestre, la madera es utilizada en la fabricación de carrocerías, construcciones navales, durmientes y postes (84). La madera es utilizada en ebanistería, construcción de

viviendas, construcción de botes y construcción naval en general (Figura 12) (63), (87).



**Figura 12. Características morfológicas de *Caryocar glabrum*, (A) Vista longitudinal del tronco, (B) Vista transversal del tronco, (C) Muestra botánica y rodaja de madera, D) Base del tronco**

## 2.9. Definición de términos básicos

- **Albura.** Es aquella parte viva del leño del árbol, presenta células vivas y materiales de reserva para el árbol.
- **Anillo de crecimiento.** Se presenta en la madera y en la corteza, es la zona clara que se diferencia del xilema, secundario o floema correspondiente a un año, puede ser reconocible en la sección transversal.
- **Cambium.** Es la capa de células en proceso activo de división, que se encuentra entre la xilema y el floema secundario, tejidos a los que da formación.
- **Corteza.** Es el término común que se emplea para referirse a los tejidos que se encuentran fuera del cilindro xilemático.

- **Crecimiento.** Es referido al incremento en diámetro, altura, volumen y desarrollo de estructuras celulares de los árboles en determinado periodo de tiempo.
- **Cronología maestra.** Cronología obtenida como resultado de la combinación de series de un conjunto de muestras en una región determinada.
- **Déficit hídrico.** Situación en la que el recurso hídrico no es suficiente para satisfacer determinadas necesidades.
- **Dendrocronología.** Es la ciencia que se encarga del estudio de los anillos de crecimiento basada en patrones para comprender fenómenos del pasado.
- **Densidad.** Propiedad física que es considerada magnitud escalar y establece la relación entre la cantidad de masa en determinado volumen de una sustancia u objeto.
- **Duramen.** Es la porción del cilindro central, formada por las capas internas del leño, en el árbol en crecimiento esta porción no presenta células vivas, y generalmente es de color más oscuro que la albura.
- **Descripción macroscópica.** Es el resultado de la observación de la estructura de la madera a simple vista y con ayuda de un lente de 10 aumentos, apoyados con las características organolépticas.
- **Escasez hídrica.** Fenómeno natural en que una zona posee menor agua a lo habitual producida por causas naturales o antropogénicas.
- **Elemento vascular.** Es uno de los componentes celulares de un vaso.
- **Fechado.** Es determinar el año de formación de un anillo empleando técnicas gráficas y una escala temporal para su construcción.
- **Fibra.** En anatomía de la madera, hace referencia al término empleado para referirse a células largas y delgadas en el leño o de la corteza interna, que no sea vaso o parénquima.

- **Floema.** Es el tejido más importante que poseen las plantas de tipo vasculares el cual tiene la función de conducción de alimentos.
- **Grosor de un anillo.** Es referido al espesor del anillo, corresponde a la medida del ancho medido en el radio de la muestra.
- **Índice de precipitación estandarizado (SPI).** Es un índice de la precipitación histórica en el cual se identifica periodos de déficit y exceso de precipitación en determinado periodo de tiempo.
- **Médula.** Es la parte central de los tallos, formada en su mayoría por tejido parenquimatoso blanco.
- **Parénquima.** Es el tejido formado por células agrupadas de manera isométrica y presentan puntuaciones simples.
- **Parénquima apotraqueal.** Es el parénquima axial que normalmente es independiente de los vasos o poros.
- **Parénquima paratraqueal.** Es el parénquima axial relacionado a los vasos.
- **Sequía.** Situación en la que prevalece el déficit hídrico el cual provoca daños en los cultivos y limita la producción de los suelos.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Método, tipo y nivel de investigación**

##### **3.1.1. Método general**

El método empleado en la investigación fue el inductivo-deductivo (90). Es de tipo inductivo pues en la etapa inicial se detectó el patrón de crecimiento en los árboles de *Caryocar glabrum*, para poder relacionar la influencia de las sequías en las características anatómicas de la especie en el bosque de Satipo, Junín.

Es de tipo deductivo porque se consideró a las ideas planteadas como el inicio de la realización de inferencias para poder llegar a conclusiones aplicadas a casos particulares (91). Para el presente estudio, se consideró premisa mayor a la variabilidad climática como factor que influye de forma directa en el desarrollo de ecosistemas, mientras que la premisa menor fueron los elementos anatómicos de los árboles están determinados en función a las sequías, por lo tanto, se llegó a la conclusión de que los elementos anatómicos de *Caryocar glabrum* se encuentran influenciados por las sequías (90).

##### **3.1.2. Tipo de la investigación**

El tipo de investigación es básica, pues se amplían conocimientos en el campo de la dendrocronología, se aborda de forma especial la influencia de las condiciones ambientales presentes como las sequías y su influencia en los elementos anatómicos de *Caryocar glabrum* en el bosque de Satipo. A partir de

los procedimientos realizados, el presente trabajo serviría de base a futuras investigaciones para poder profundizar el tema (91).

### **3.1.3. Nivel de la investigación**

El nivel de investigación es descriptivo-correlacional (91), pues se estableció la relación entre el índice de ancho de anillo de crecimiento y las variables climáticas (precipitación, temperatura e índice de sequía). Por otra parte, se pudo relacionar las sequías y su influencia en las características anatómicas de *Caryocar glabrum* mediante pruebas estadísticas previamente establecidas (92).

### **3.2. Diseño de la investigación**

El diseño es no experimental (91), no se manipularon las variables de estudio, se recolectó información climática de estaciones cercanas al área de estudio. Se midieron vasos, fibras y ancho de anillos de crecimiento para describir la influencia de sequías en las características anatómicas de *Caryocar glabrum*.

### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población**

La población está conformada por 78 árboles de *Caryocar glabrum* de los bosques de la comunidad nativa Tres Unidos de Matereni (6562.547 hectáreas), del distrito de Pangoa, provincia de Satipo, departamento de Junín.

#### **3.3.2. Muestra**

La muestra es de tipo no probabilística y está conformada por 5 árboles de *Caryocar glabrum*, distribuidos en diferentes partes del bosque, los mismos que fueron elegidos con base al diámetro, estado sanitario, posición en el dosel y ausencia de plagas y/o hongos.

### **3.4. Descripción del área de estudio**

#### **3.4.1. Aspectos climatológicos**

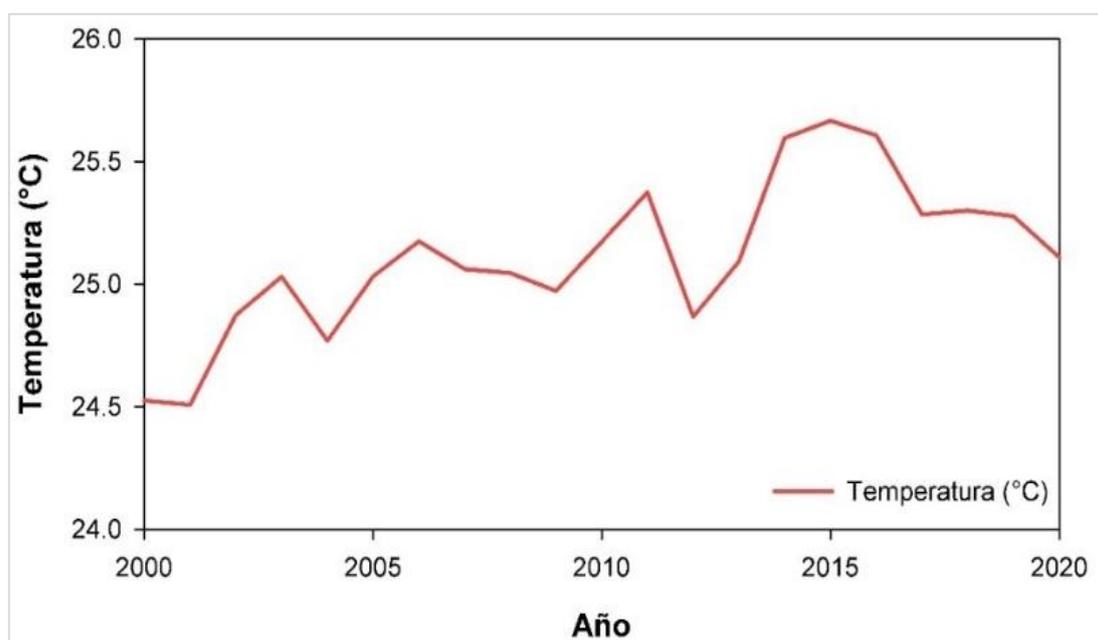
##### **a) Clima**

La provincia de Satipo se caracteriza por un clima semi cálido húmedo alrededor de los 2200 m s. n. m., con temperaturas máximas de 25 °C a 29 °C y

con mínimas de 16 °C. En los distritos de Satipo y Pangoa el clima es húmedo y semi cálido respectivamente (93).

### b) Temperatura

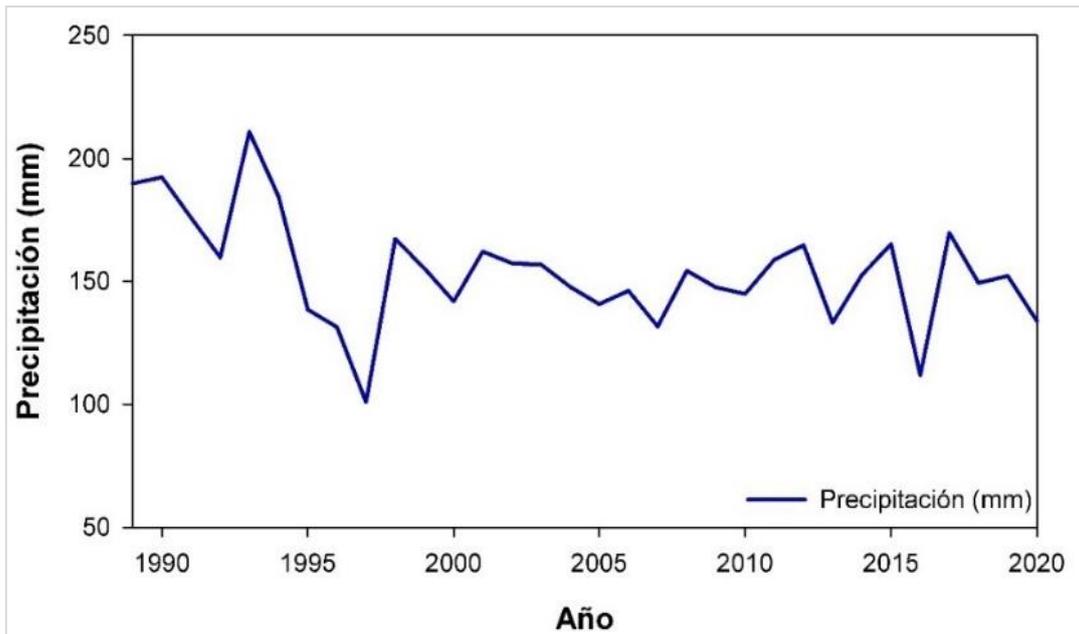
La temperatura media anual mínima de la provincia es de 24.3 °C, mientras que la temperatura media anual máxima es de 25.6 °C, en los distritos de Satipo y Pangoa la temperatura varía entre 22 °C y 25 °C (Figura 13) (93).



**Figura 13. Temperatura anual promedio del periodo 2000-2020**  
Tomada de “Descarga de datos históricos”, por Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. 2019, (94)

### c) Precipitación

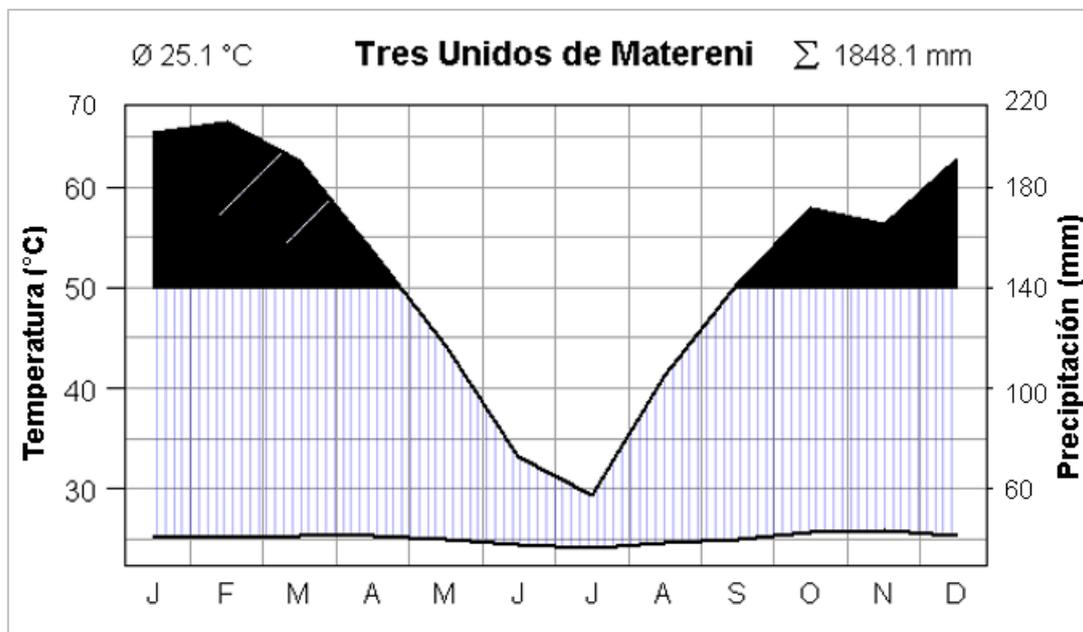
El promedio mensual de precipitación para la provincia de Satipo es de 143 mm, con lluvias durante todo el año con presencia de vientos esporádicos con velocidades de 5 a 7 km/h. Las lluvias en la provincia disminuyen de mayo a septiembre (Figura 14) (93).



**Figura 14. Precipitación mensual promedio del periodo 1989-2020.**  
 Tomada de “Descarga de datos históricos”, por Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. 2019, (94)

**d) Clima diagrama**

Se elaboró un clima diagrama con los promedios mensuales de precipitación y de temperatura, del periodo 1989-2020 (Figura 15), provenientes de la estación Satipo, los datos fueron proporcionados por el SENAMHI (94).



**Figura 15. Climograma de la zona de estudio del periodo 1989-2020.**  
 Tomada de “Descarga de datos históricos”, por Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. 2019, (94)

### **3.4.2. Suelos**

Los suelos de la provincia poseen características propias de la selva alta y baja, con poca materia orgánica y pH bajo (suelos ácidos), además existe material de acarreo disponible en las riberas de los ríos (93).

### **3.4.3. Ecología**

De acuerdo con la clasificación de las zonas de vida propuestas por Holdridge en 1978, la provincia de Satipo se encuentra dentro de la zona de vida del Bosque Húmedo Premontano Tropical (bh-PT) (93).

### **3.4.4. Flora**

La provincia de Satipo cuenta con un importante potencial forestal, el mismo que posee alto valor económico y comercial, entre las especies nativas y exóticas maderables, las que más destacan son: caoba, cedro, moena, nogal, tornillo, congona, ishpingo, roble, copaiba, entre otros. Por cada hectárea de bosque existen un aproximado de 100 árboles, los cuales se encuentran divididos de acuerdo al uso en cinco categorías: Maderables, medicinales, alimenticias, artesanales y usos diversos (93).

### **3.4.5. Fisiografía**

La fisiografía presente en la provincia, se destaca por la presencia de colinas de profundas laderas, algunas partes del territorio son empinadas, con una pendiente media, todo ello es propio de la geografía que caracteriza a la selva alta (93).

## **3.5. Instrumentos empleados en la recolección de datos**

### **3.5.1. Materiales y equipos**

#### **a) Materiales de campo**

- ✓ Marcador permanente
- ✓ Libreta de campo
- ✓ Tablero para apuntes
- ✓ Plumón indeleble delgado
- ✓ Cinta adhesiva
- ✓ GPS Garmin

- ✓ Flexómetro
- ✓ Motosierra STHILL
- ✓ Combustible (gasolina y aceite de 2 tiempos)
- ✓ Cámara fotográfica Canon
- ✓ Casco de seguridad y chaleco
- ✓ Tapones auditivos y lentes de protección
- ✓ Zapatos de seguridad
- ✓ Botas de jebe

**b) Materiales de laboratorio**

- ✓ Vasos de precipitación y placas Petri
- ✓ Láminas porta y cubre objetos
- ✓ Agua destilada
- ✓ Alcohol
- ✓ Pinzas, bisturí y pinceles
- ✓ Etiquetas adhesivas
- ✓ Frascos de vidrio
- ✓ Reactivos (safranina, peróxido de hidrógeno, ácido acético)
- ✓ Glicerina
- ✓ Lijas de diverso grano (40,60,80,100, 120, 180, 220, 240, 280, 320, 400, 600).
- ✓ Cola sintética

**c) Equipos de laboratorio**

- ✓ Micrótopo Leica modelo SM2010R
- ✓ Microscopio con cámara incluida Leica modelo DM750
- ✓ Estereoscopio Leica
- ✓ Escáner Epson V550 con 2400 PPP de resolución
- ✓ Lijadora orbital Makita
- ✓ Compresor de aire de 2,5 HP
- ✓ Horno de secado
- ✓ Cuchillas descartables para micrótopo
- ✓ Bomba de vacío
- ✓ Lupa de 10x

#### **d) Programas utilizados**

- ✓ Microsoft Excel
- ✓ ArcGIS 10.7
- ✓ Image Pro
- ✓ Arstan
- ✓ Cofecha
- ✓ Coo Recorder 7.8
- ✓ C Dendro 7.8

#### **3.5.2. Obtención de muestras**

Las muestras de madera fueron obtenidas en el bosque de la CCNN Tres Unidos de Matereni, distrito de Pangoa, provincia de Satipo (Figura 16). Conformado por un área boscosa de aproximadamente 6562.547 ha, con coordenadas UTM 583548E, 8704010N, a una altitud entre 1200 -1400 m s. n. m., el área cuenta con permiso de aprovechamiento forestal otorgado por la ATFFFS – Selva Central (Administración Técnica Forestal de Fauna y Flora Silvestre).

La autorización de ingreso a bosque fue otorgada por la Dirección General de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal y de Fauna Silvestre, mediante la autorización con código N°AUT-IFL-2021-038 (Anexo 2).

Se seleccionaron 5 árboles de *Caryocar glabrum*, de fuste recto, sin signos de pudrición u hongos, sin rastro de enfermedades o plagas (95) y se eligieron árboles con diámetro desde 50 cm hasta 60 cm (96).



**Figura 16. Vista panorámica del bosque de la CCNN Tres Unidos de Matereni, Pangoa, Satipo**

La recolección de muestras de madera se realizó en el patio de trozas, se identificaron los árboles de acuerdo con el código asignado en el inventario del aserradero: árbol 1 (H62), árbol 2 (R273), árbol 3 (S178), árbol 4 (V259) y árbol 5 (Z505). Se obtuvieron secciones transversales de la base del tronco (discos o tortas) empleando una motosierra, los cuales tuvieron un espesor aproximado de 6 cm (Figura 17).



**Figura 17. Obtención de muestras. (A) Obtención de sección transversal o rodaja, (B) Traslado rodaja, (C) Codificación de muestra.**

### 3.5.3. Obtención de muestras botánicas

Para la identificación botánica de la especie *Caryocar glabrum* se recolectaron las hojas de la parte alta del árbol, aprovechando el tumbado de los árboles. Luego, se realizó el prensado de cada muestra empleando papel Kraft, cinta adhesiva y una solución de  $\frac{3}{4}$  partes de alcohol al 70 % por una parte de agua. Las muestras fueron enviadas al herbario Selva Central Oxapampa-HOXA, en la ciudad de Oxapampa para su identificación e indexación. (Anexo 3).

### 3.5.4. Preparación de muestras

Las secciones transversales fueron trasladadas al laboratorio de Anatomía de la Madera de la universidad Continental, se acondicionó un ambiente protegido de la luz solar directa y lluvia, evitando el contacto directo con el suelo para evitar la proliferación de hongos, y el secado sea a temperatura ambiente. (Figura 18).



**Figura 18. Secado y pulido de muestras. (A) Secado de muestras, (B) Rodaja pulida, (C) Uso de implementos de seguridad para realizar el pulido**

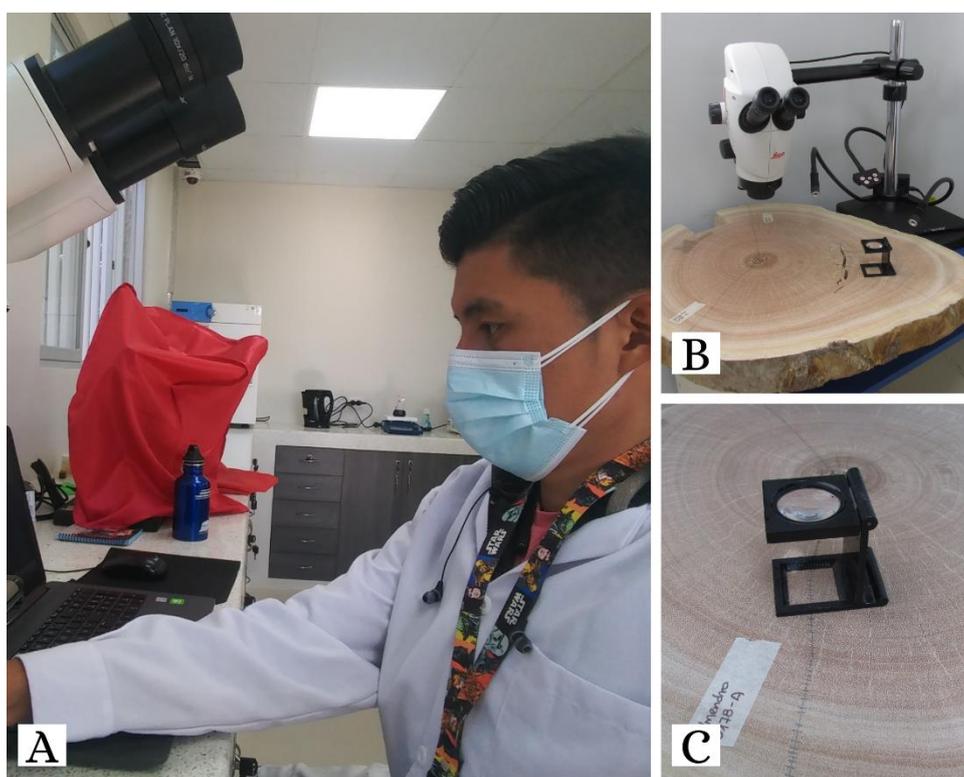
Las secciones transversales fueron lijadas y pulidas con el fin de poder resaltar los anillos de crecimiento. Para este propósito, se empleó una lijadora orbital, usando lijas de granos: 40, 60, 80, 120, 180, 220, 280, 320, 400 y 600 grano/pulgada<sup>2</sup>.

En cada cambio de lija se realizó la limpieza previa de la superficie usando una compresora de aire, aplicando aire comprimido, con el fin de evitar la obstrucción de poros por polvo y preparar la superficie para emplear una lija de grano cada vez más fino.

### 3.6. Análisis dendrocronológico

#### 3.6.1. Medición de anillos de crecimiento

Los anillos fueron identificados y demarcados en cada muestra, posteriormente se construyó el skeleton plot (esquema gráfico de representación de anillos), para diferenciar anillos de crecimiento estrechos y anchos. Para lograr una amplia visualización de los anillos de crecimiento se utilizó un estereoscopio Leica S9i (Figura 19).



**Figura 19. Demarcación de anillos de crecimiento. (A) Delimitación de anillos de crecimiento, (B) Estereoscopio acoplado a una rodaja, (C) Lupa de 10x**

Luego, se procedió a escanear las muestras en un escáner Epson V550 a 2400 píxeles por pulgada de resolución (Figura 20). Se realizó la medición del ancho de los anillos de crecimiento, empleando el software Coorecorder 7.8, colocando la imagen escaneada en el programa y asignando un patrón de puntos, desde la corteza hasta la médula de la muestra.



**Figura 20. Digitalización, medición y sincronización de anillos de crecimiento. (A) Escáner para digitalizar muestras, (B) Medición de anillos en Coorecorder**

### 3.6.2. Cofechado de muestras

En cada sección transversal se marcaron de dos a tres radios (a, b y c), desde la médula hasta la corteza. Es decir, del árbol H62 se obtuvieron 2 radios, este árbol tiene las series (H62A y H62B).

En cada una de las series, los anillos de crecimiento se fecharon asignando a cada anillo un año calendario, comenzando desde el más reciente y cercano a la corteza, generalmente en formación, cuya fecha corresponde al año en que se tomó la muestra, hasta el más antiguo que rodea la médula.

Una vez fechados todas las series se realiza el cofechado o datación cruzada, la cual consiste en establecer coincidencias en el ancho de los anillos entre radios del mismo árbol y entre distintos árboles, utilizando la interfaz gráfica del programa COFECHA (97), este software verifica las mediciones de ancho de anillos y permite la sincronización de todas las series de las muestras.

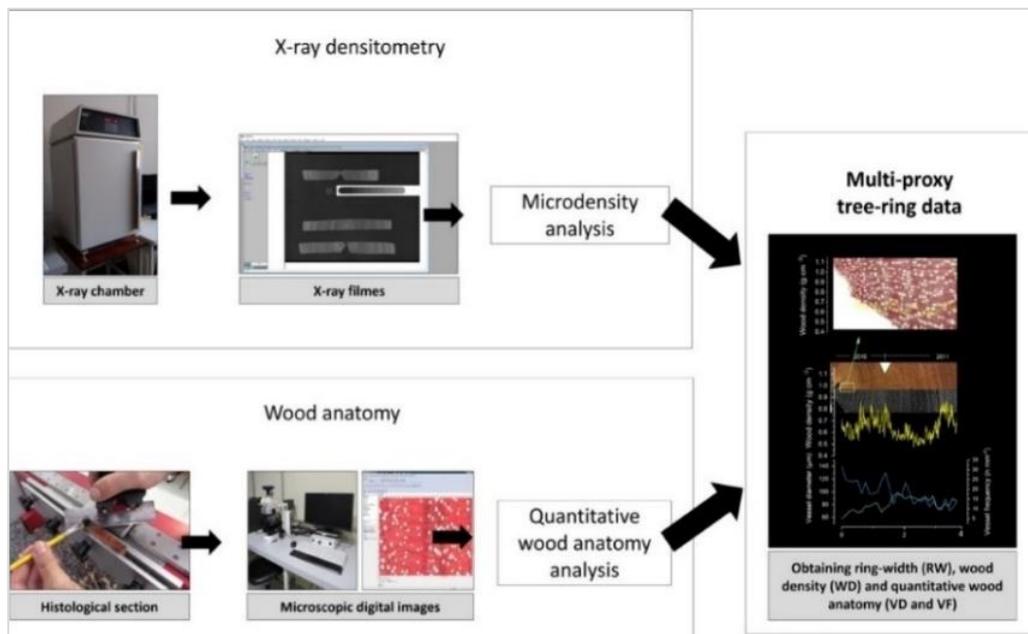
### 3.7. Anillos de crecimiento por micro densitometría de rayos X

Para comprobar la delimitación de anillos de crecimiento de *Caryocar glabrum*, se enviaron dos radios por cada árbol con un espesor de 2 x 2 cm, al laboratorio de la Universidad de Sao Paulo, Piracicaba, Brasil (98).

Una vez recibidas las muestras, se procedió a fijarlas a soportes de madera con el fin de poder obtener una imagen clara de una sección transversal uniforme y sin curvaturas. Para estudiar la densidad de un espécimen de madera, es importante que no existan rajaduras y la muestra se encuentre en buen estado de conservación, y así obtener una imagen clara de todos los anillos de crecimiento.

El registro de las variaciones de densidad se realiza con un micro densitómetro de rayos x modelo Faxitron MX20-DC12 (99), proporcionando una imagen de alta resolución, permitiendo aumentar la ampliación del ancho del anillo y también la escala de densidad (100). Las imágenes digitales de las muestras de sección transversal se analizaron con el WINDENDRO Density 2017, obteniendo el perfil de densidad a un intervalo de 15  $\mu\text{m}$  (101).

Los perfiles de densidad fueron construidos por cada muestra, los valores obtenidos fueron organizados en tablas, los cuales permiten establecer la densidad aparente de la especie, característica importante para la industria maderera (Figura 21).



**Figura 21. Proceso de obtención de los perfiles de densimetría de rayos X**  
 Tomada de "Exploring wood anatomy, density and chemistry profiles to understand the tree-ring formation in Amazonian tree species", por Quintilhan, Manolo. 2022, p. 4

### **3.8. Estandarización de cronología maestra**

Mediante la estandarización de las series se obtuvo la cronología estándar y residual, utilizando el programa ARSTAN (102), ajustando las mediciones obtenidas del ancho de anillos de crecimiento de todas las series a una función de regresión lineal para eliminar la tendencia climática y factores externos (1).

Se evaluó la calidad de la cronología con base en parámetros estadísticos establecidos como Sensibilidad Media (SM), analiza variaciones en el ancho de anillos respecto al año siguiente. La correlación media entre series ( $\bar{r}$ ), detalla el índice de correlación de las series. Y la Señal expresada de la población (EPS) representa la variabilidad de la cronología, con un rango de valores de 0 a 1 (103).

### **3.9. Correlación de variables climáticas con ancho de anillos**

Los datos meteorológicos de precipitación total mensual (mm) y temperatura promedio mensual (°C) se obtuvieron de la estación de Satipo del SENAMHI (11°14'1"S, 74°42'1"O a 660 m s. n. m.) (94), es la estación más cercana al área de estudio. Se elaboró un climograma para el área de estudio, el cual comprende un periodo desde 1989 hasta 2020 (31 años) (Anexo 6 y 7).

Empleando el método de coeficientes de correlación Pearson, se determinó la relación entre la cronología estándar (102) y las variables climáticas (precipitación y temperatura) para el periodo 1989-2020 (31 años) para analizar su influencia en la formación de anillos de crecimiento y establecer el grado de respuesta en el crecimiento de la especie (1) (10).

Para determinar el índice de precipitación, se calculó la media y la desviación estándar de los datos de la estación meteorológica. Posteriormente, para la variable precipitación del periodo 1989-2020 (31 años), se calculó el índice Z-Score dividiendo la diferencia de la precipitación acumulada y el promedio de precipitación mensual, entre la desviación estándar del total de datos (90), para lo cual se empleó la siguiente ecuación (104):

$$\text{Índice de precipitación estandarizado} = \left( \frac{X_i - \mu}{\sigma} \right)$$

Donde:  $X_i$ : Precipitación acumulada mensual  
 $\mu$ : Promedio de la precipitación acumulada mensual  
 $\sigma$ : Desviación estándar

El índice de precipitación estandarizado (SPI) indica cuántas desviaciones estándar de un valor se encuentran por encima o debajo del promedio, se generó este índice para la variable precipitación correspondiente al periodo 1989-2020 (31 años).

Este índice es muy importante para tener uniformidad en las unidades y valores obtenidos, asimismo, permite comparar estos valores con la tabla de intervalos propuestos por el índice de precipitación estandarizado (SPI), para poder identificar los eventos de sequía registrados en el periodo de tiempo del estudio realizado con los datos de precipitación disponibles (31 años) (90).

### **3.10. Características anatómicas de la madera**

El estudio de la anatomía de *Caryocar glabrum* se realizó de acuerdo a la norma del Instituto Brasileño de Medio Ambiente (IBAMA, 2002) (105), del Centro de Innovación Tecnológica de la Madera (CITE Madera, 2008) (106) y de la Asociación Internacional de Anatomía de la Madera (IAWA, 1989) (64).

#### **3.10.1. Caracterización macroscópica**

La evaluación de las características macroscópicas se realizó empleando una lupa de 10x, siendo las más resaltantes: color, grano, textura, brillo, veteado, poros, parénquima y radios (1).

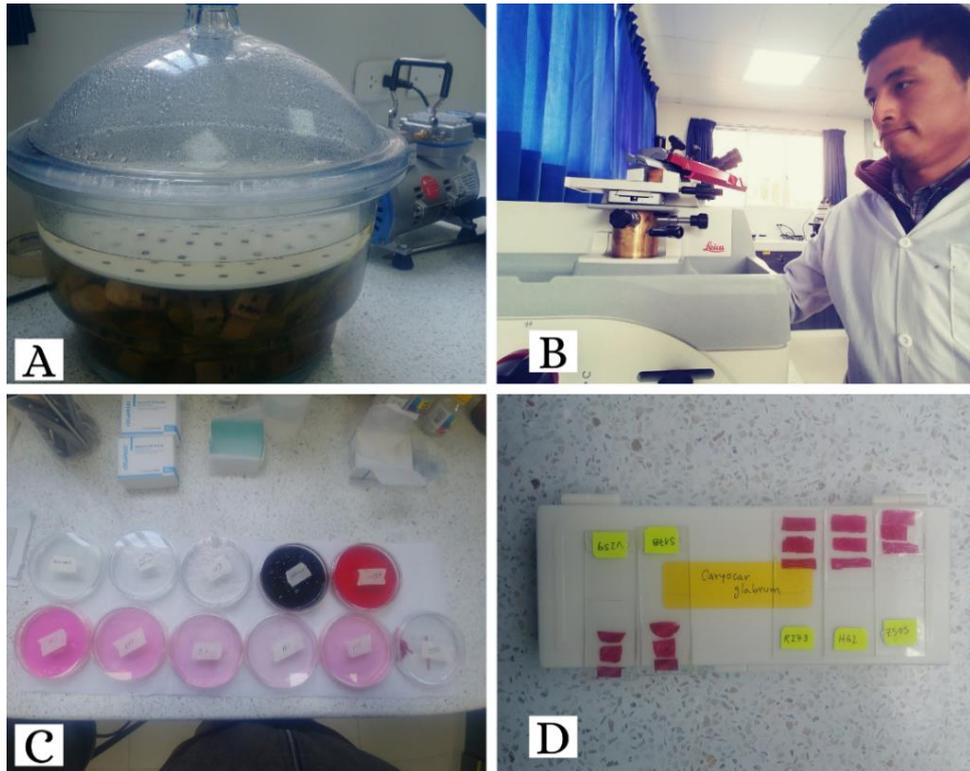
#### **3.10.2. Caracterización microscópica**

Para realizar la caracterización microscópica de *Caryocar glabrum*, se empleó técnicas de microscopía que comprenden la preparación de láminas histológicas y de tejido macerado, de acuerdo al siguiente procedimiento (1):

### 3.10.2.1. Preparación de láminas histológicas:

Se prepararon cubos de 2 cm x 2 cm x 2 cm, orientados en los planos de corte transversal, radial y tangencial, por cada radio se obtuvo 3 muestras, en los 3 planos de corte.

- ✓ **Ablandamiento de cubos:** los cubos fueron sumergidos en agua, dentro de una bomba de vacío, por un tiempo aproximado de dos semanas, para ablandar las fibras de la madera y proceder al corte de las láminas.
- ✓ **Corte de láminas:** se obtuvieron cortes de las tres secciones de corte: transversal, radial y tangencial, obteniéndose láminas de 20 a 25  $\mu\text{m}$  de espesor, las cuales fueron colocadas en placas Petri en una solución de alcohol al 30 %. Los cortes se obtuvieron con un micrótomo de deslizamiento.
- ✓ **Deshidratación:** se realizó de forma secuencial empleando placas Petri dejando las láminas en cada placa por 5 minutos, según la siguiente secuencia: hipoclorito de sodio al 5 %, agua destilada y alcohol al 20 %.
- ✓ **Coloración:** las láminas fueron coloreadas con safranina al 1 %, hasta obtener un color uniforme, de acuerdo con la secuencia siguiente: alcohol al 50 %, 70 % y 100 % dejando reposar de 5 a 10 minutos, se pasó a fijar el color en la placa siguiente con una solución de alcohol y acetato en proporción 3:1, luego en proporción 1:1 y en proporción 1:3, finalmente se trasladó la lámina a la placa que contiene acetato para pasar al montaje.
- ✓ **Montaje:** el montaje de las láminas fue permanente, empleándose porta y cubre objetos. Antes de colocar el cubreobjetos, se añadió dos gotas de barniz vitral. En cada portaobjeto se colocó 3 láminas, correspondientes a las secciones de corte transversal, radial y tangencial (Figura 22).

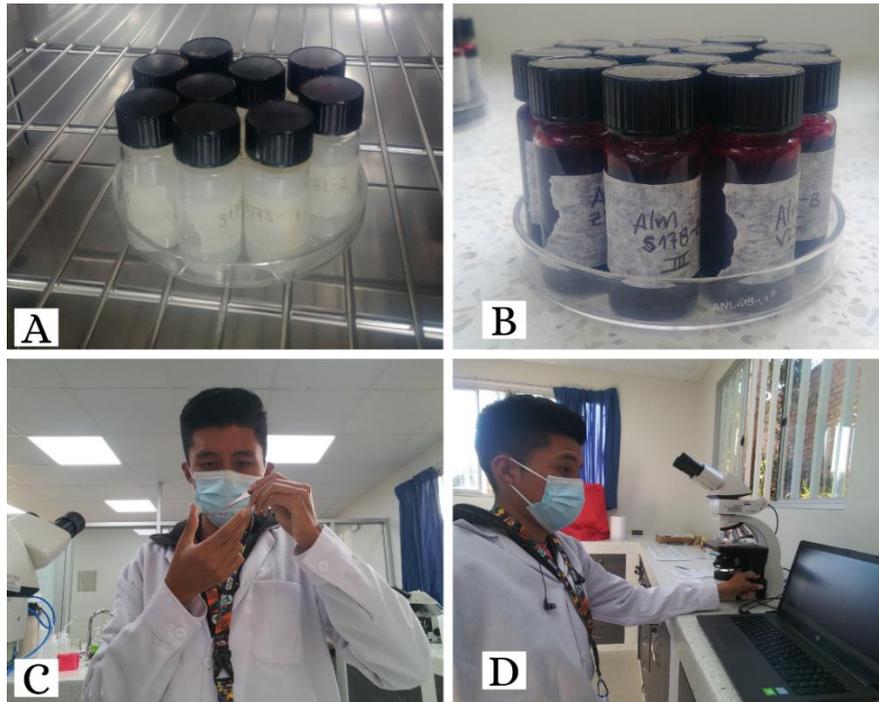


**Figura 22. Preparación de láminas histológicas. (A) Ablandamiento en la bomba de vacío, (B) Corte de láminas en micrótopo, (C) Secuencia de coloración, (D) Montaje de láminas**

### 3.10.2.2. Preparación de muestras maceradas

Para realizar la medición de elementos anatómicos (vasos y fibras) se requiere preparar material macerado para lo cual se sigue en el siguiente procedimiento (Figura 23):

- ✓ **Maceración:** de cada cubo se sacaron astillas, de tamaño pequeño, siguiendo la orientación de las fibras de la madera. Cada muestra fue colocada en frascos pequeños, se agregó una solución de peróxido de hidrógeno y ácido acético en una proporción 1:1 (Franklin 1945), hasta cubrir las astillas por completo. Los frascos fueron colocados en una estufa, por espacio de 48 horas a una temperatura constante de 60 °C.
- ✓ **Lavado, coloración y montaje:** para eliminar el exceso de la solución añadida, se lavó varias veces con agua corriente. Posteriormente, se enjuagó con agua destilada y se agregó aproximadamente 5 ml de safranina al 1 %. Para realizar el montaje, con una pinza se tomó una porción pequeña del macerado, se colocó en un portaobjetos, extendiendo la muestra. Antes de colocar el cubreobjetos, se añadió una gota de glicerina y agua destilada en proporción de 1:1.



**Figura 23. Preparación del tejido macerado. (A) Maceración de las muestras, (B) Coloración de las muestras, (C) Montaje de muestras, (D) Medición de elementos anatómicos**

### 3.10.2.3. Medición de elementos anatómicos en años de sequía

Para seleccionar los anillos de crecimiento para los cortes, se utilizó el método del percentil, el cual indica, una vez ordenados los índices de ancho de anillos y los índices de precipitación de menor a mayor, el valor de la variable por debajo del cual se encuentra en un grupo de observaciones.

De acuerdo con el siguiente orden: los valores por debajo del percentil 25 corresponden a anillos estrechos, y valores por encima del percentil 75 corresponden a anillos anchos, y valores dentro del rango corresponden a anillos control, para un periodo desde 1900 hasta 2020 (120 años).

Luego de identificar los anillos característicos en las muestras, se procedió a extraer 3 cubos de 2 cm x 2 cm x 2cm de cada radio, en el siguiente orden:

- ✓ 1 cubo con anillos anchos correspondiente a años de abundante precipitación (2002, 2007, 2009).
- ✓ 1 cubo con anillos estrechos correspondiente a años de sequía (1999, 2013, 2016).
- ✓ 1 cubo con anillos diferentes a anchos o estrechos para ser considerados como control (1998, 2006, 2010).

Se realizaron 30 mediciones por cada muestra, conforme a lo establecido por IAWA (64), correspondiente a la longitud, frecuencia, diámetro tangencial de vasos y longitud de fibras. Para realizar las mediciones se empleó el *software* Image Pro, en un microscopio Leica DM1000 LED, adaptado a una cámara Leica ICC50 W.

### 3.10.2.4. Análisis estadístico

Con base en las mediciones obtenidas del diámetro, longitud y frecuencia de vasos y longitud de fibras, se organizaron los datos en Excel, y se realizó un análisis de Varianza Anova de un factor para la comparación de medias obtenidas. También se utilizó la Prueba de Tukey, con el fin de identificar las diferencias entre los grupos de análisis, con un nivel de confianza del 95 %. Para la presentación de los resultados estadísticos se construyó un diagrama de caja y bigotes en Sigma Plot por cada parámetro con base en las medias obtenidas.

### 3.11. Esquema de ejecución de la investigación

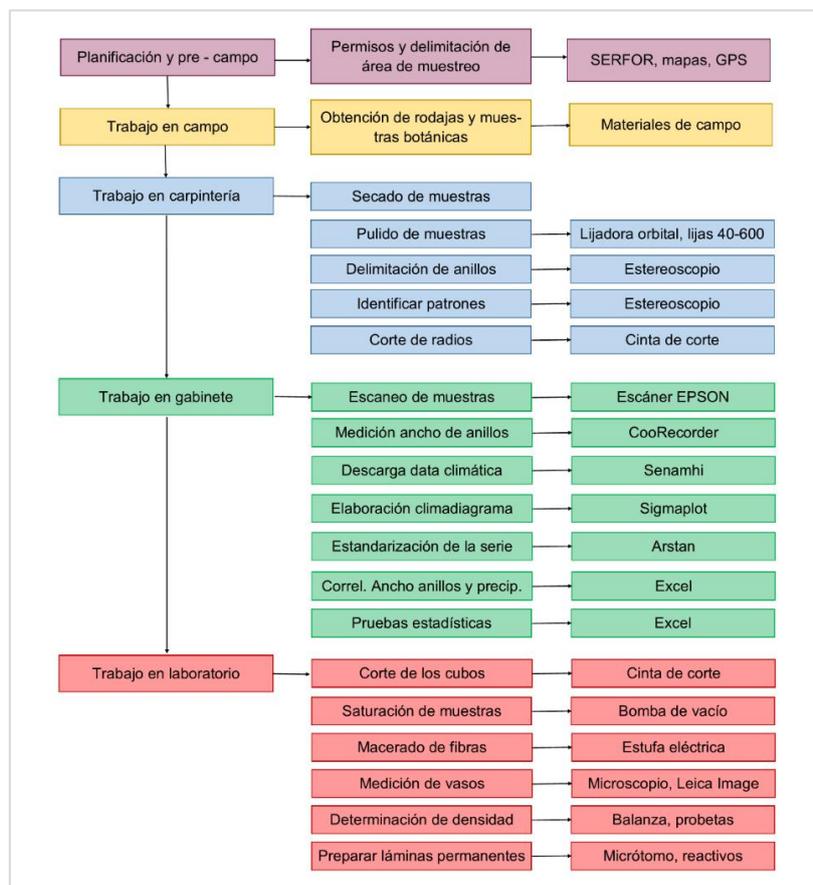


Figura 24. Esquema del trabajo de investigación

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Caracterización de los anillos de crecimiento de *Caryocar glabrum*

En *Caryocar glabrum*, los anillos de crecimiento son distintos a simple vista, de forma regular, se encuentran delimitados por una banda de fibras acortadas de forma radial, los anillos de esta especie presentan porosidad semicircular, el tamaño y la distribución de los poros son uniformes (Figura 25).



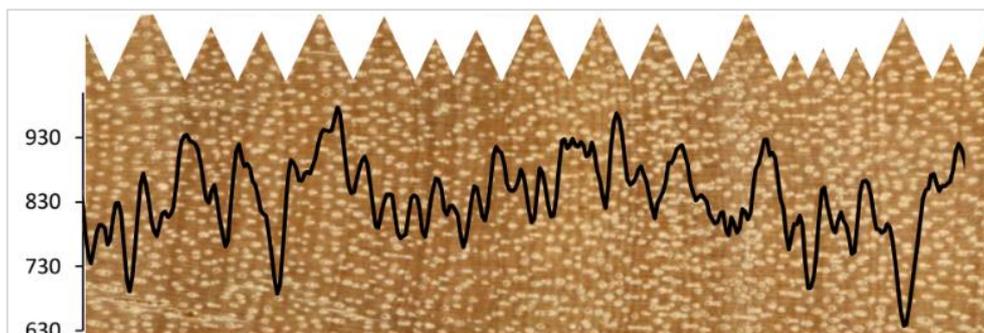
**Figura 25. Delimitación de los anillos de crecimiento de *Caryocar glabrum* a 10x**

#### 4.2. Anillos de crecimiento por micro densitometría de rayos X

Para evaluar la distinción y nitidez de los límites de anillos de crecimiento, se utilizó la micro densitometría de rayos X, técnica que permite mejorar la caracterización anatómica y la identificación de los límites de los anillos de crecimiento de *Caryocar glabrum*.

Los anillos de crecimiento de *Caryocar glabrum* se caracterizaron por un progresivo incremento de los valores de densidad de la madera entre la

transición de la madera temprana y tardía, seguido de una disminución de la densidad al comienzo del siguiente anillo (Figura 29).



**Figura 26. Perfil de densitometría de la especie *Caryocar glabrum***

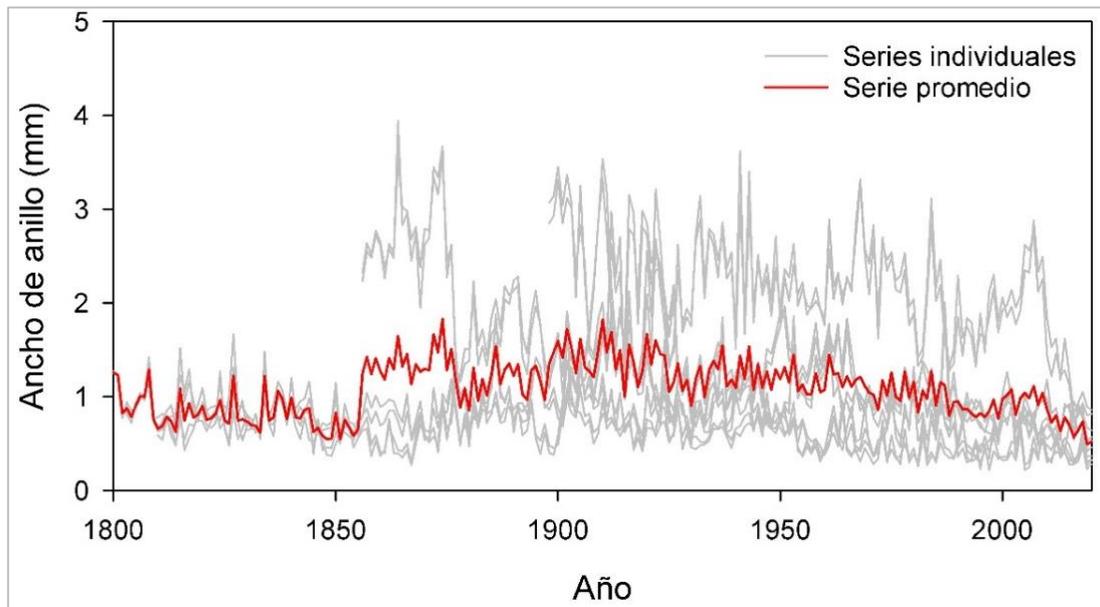
### 4.3. Cronología de ancho de anillos de *C. glabrum*

Con base en las mediciones de ancho de anillos de crecimiento de cada serie, se obtuvo una cronología maestra (serie promedio de todas las mediciones), para un periodo de 220 años (1800-2020) (Figura 28).

**Tabla 3. Resultados obtenidos en el programa COFECHA.**

Características	<i>Caryocar glabrum</i>
Número de árboles	5
Número de series	10
Número de anillos	1678
Longitud de la cronología maestra	1800 - 2020 (220 años)
Promedio del ancho de anillo	1.08 cm
Correlación entre series	0.451
Sensibilidad media	0.22

La correlación de las series con la cronología maestra fue alta y estadísticamente significativa ( $r = 0.451$ ) (Anexo 8), superior al valor crítico establecido por COFECHA ( $r = 0.3281$ ;  $p < 0.01$ ).

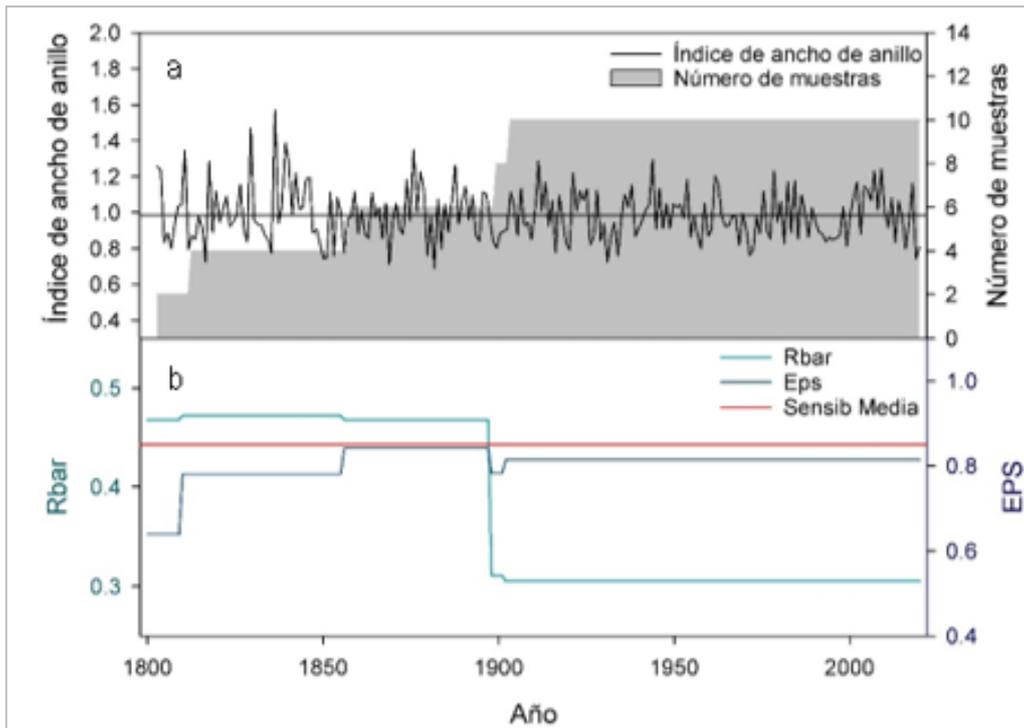


**Figura 27. Cronología maestra de *Caryocar glabrum***

#### **4.4. Estandarización de la cronología maestra**

Se estandarizaron las series en el programa Arstan, obteniendo la cronología estándar para el periodo 1800 – 2020 (220 años), se excluyó el ruido y señales externas al crecimiento del árbol, se empleó un estandarizado con un spline cúbico de 60 años (Anexo 10).

Se contó con un periodo común en todas las series, el cual inició en el año 1900, a su vez coincidió con la cantidad de muestras empleadas en la cronología, siendo este un indicador de mayor robustez de la cronología maestra (Figura 30).



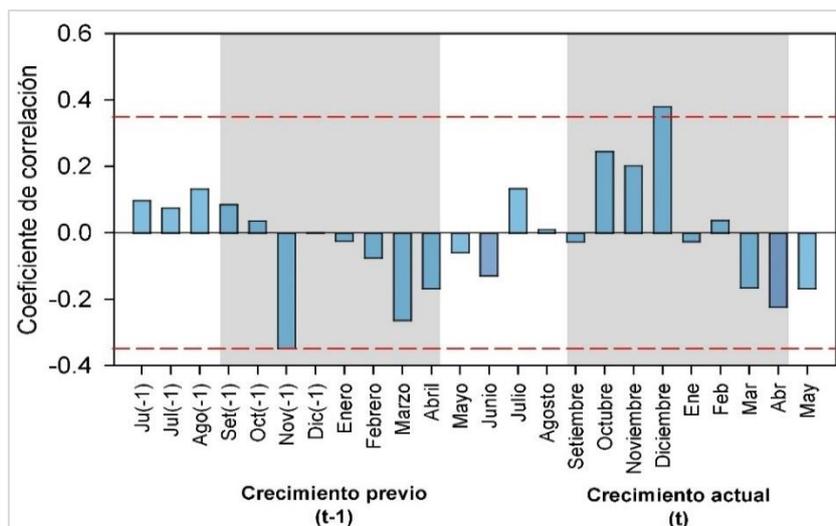
**Figura 28. Índice de ancho de anillo y número de muestras (a) Cronología de ancho de anillos y número de muestras empleadas en el área de estudio, (b) Valores estadísticos (Rbar, EPS y SM) obtenidos en la estandarización**

Los valores estadísticos obtenidos ( $Rbar = 0.305$ ) muestra la correlación de las series, ( $EPS = 0.841$ ) el nivel de confianza obtenido y la sensibilidad media o respuesta ante el entorno ( $SM = 0.22$ ), estos tres estadísticos son indicadores de la calidad de la cronología (Anexo 8), como respuesta a la señal común que poseen las muestras de la cronología (Figura 28).

#### 4.5. Correlación de variables climáticas con ancho de anillos

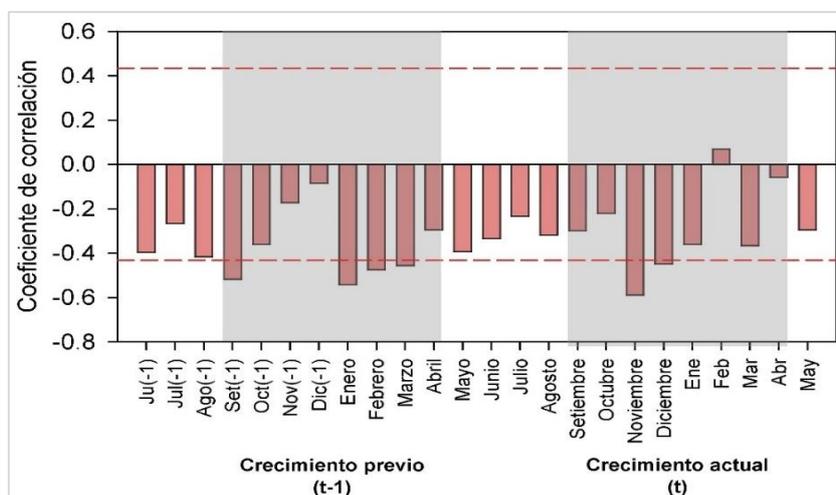
Se realizó la función de correlación de Pearson, entre la cronología estándar (índice de ancho de anillos) del periodo 1989-2000 (220 años) para la precipitación y temperatura.

La precipitación tuvo una influencia significativa ( $r = 0.38$ ,  $p < 0.05$ ) durante diciembre de la temporada de crecimiento actual (t), es decir indican un mayor crecimiento de la especie durante los meses de octubre a noviembre, periodo representado por las barras azules (Figura 29).



**Figura 29. Correlación del índice de ancho de anillos con la precipitación total mensual (mm), valores significativos representados por barras azules que superan las líneas discontinuas.**

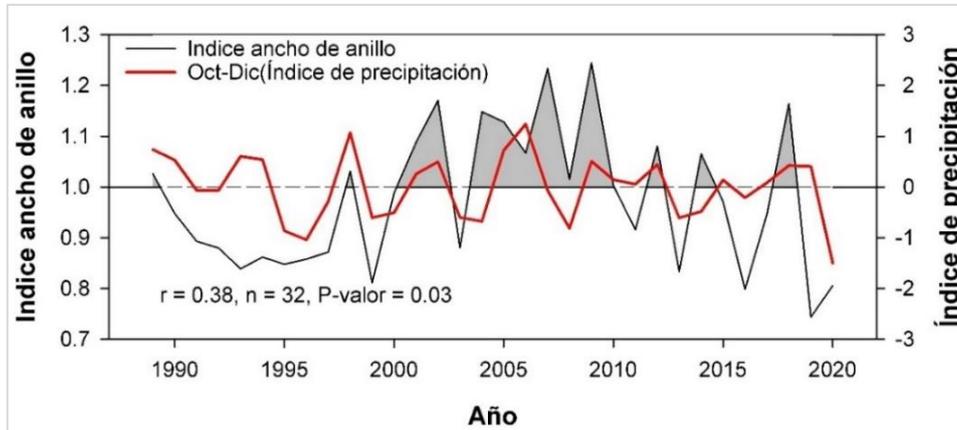
La temperatura estuvo influenciada de forma negativa por la variación de septiembre a marzo ( $r = -0.587$ ,  $p < 0.05$ ) en la etapa de crecimiento previo (t-1) y de noviembre a diciembre en la etapa de crecimiento actual (t) representado por las barras de color rojo (Figura 30).



**Figura 30. Correlación índice de ancho de anillos con la temperatura, valores significativos representados por barras rojas que superan las líneas discontinuas**

Para la identificación de años de sequía, se obtuvo el índice de precipitación estandarizado (oct - dic) para el periodo 1989-2020 (31 años) (Anexo 9). La correlación de los índices de precipitación estandarizado con el índice de ancho de anillos fue alta y significativa ( $r = 0.38$ ,  $p < 0.05$ ) (Figura 31). Los años de sequía identificados fueron el 2019, 2016, 2013, 1999, 1996 y 1993.

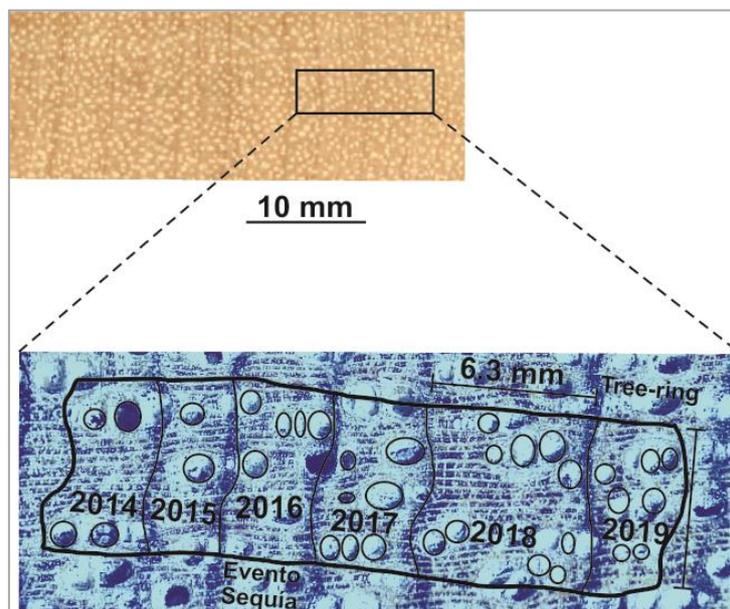
Con base en el percentil 25, se identificaron anillos estrechos correspondiente a eventos de sequía, y en el percentil 75 para anillos anchos correspondientes a una mayor precipitación. (56).



**Figura 31. Índice de ancho de anillo vs índice de precipitación**

#### 4.6. Características y elementos anatómicos en años de sequía

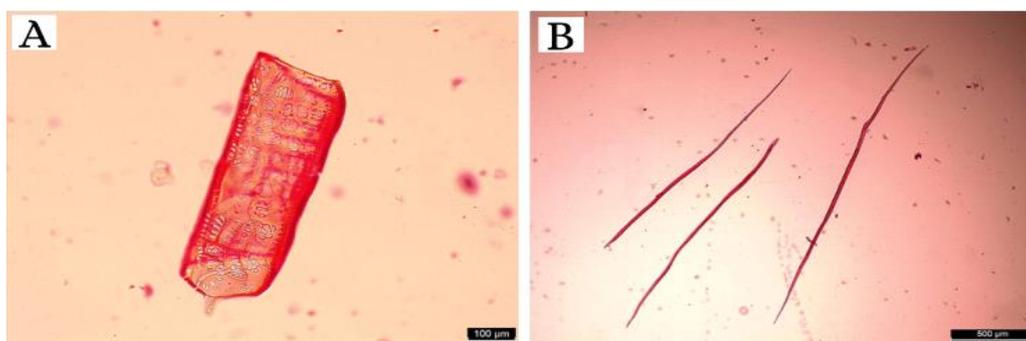
De acuerdo con los valores obtenidos en la tabla de percentiles (Anexo 12), se determinaron las secciones de corte con base en la siguiente distribución: anillo ancho (1998), anillo control (2007) y anillo estrecho (2016) (Figura 32).



**Figura 32. Esquema de anillos seleccionados**

Tomada y adaptada de "The influence of climate on the masting behavior of Mexican beech: growth rings and xylem anatomy", por Rodríguez-Ramírez et. al. 2019, p. 26 (37)

Para determinar la relación entre las características anatómicas de vasos (diámetro, longitud y frecuencia) y fibras (longitud) (Figura 33), y las sequías, se utilizó la prueba estadística de Anova de un factor, y la prueba Tukey con un nivel de confianza del 95 %.



**Figura 33. Elementos anatómicos de *Caryocar glabrum*. (A) Vaso con un aumento de 40x; (B) Fibras con un aumento de 100x**

#### 4.7. Prueba de hipótesis

##### 4.7.1. Diámetro de vasos ( $\mu\text{m}$ )

Los valores del diámetro de vasos del anillo ancho (1998), se encontraron entre los 100.048  $\mu\text{m}$  a 269.765  $\mu\text{m}$  con una media de 153.472  $\mu\text{m}$ , los diámetros del anillo control (2007), se encontraron entre los 93.079  $\mu\text{m}$  a 214.004  $\mu\text{m}$  con una media de 148.463  $\mu\text{m}$ , mientras que los diámetros del anillo estrecho (2016) se encontraron entre los 93.023  $\mu\text{m}$  a 193.378  $\mu\text{m}$  con una media de 138.231  $\mu\text{m}$  (Tabla 4).

**Tabla 4. Diámetro de vasos ( $\mu\text{m}$ )**

Tipo	V <sub>Máximo</sub>	V <sub>Mínimo</sub>	$\bar{x}$	D <sub>Estándar</sub>	C <sub>Variación</sub>
Anillo ancho (1998)	269.795	100.048	153.472	34.566	22.523
Anillo control (2007)	214.004	93.079	148.463	24.115	16.243
Anillo estrecho (2016)	193.378	93.023	138.231	22.809	16.501

Con la prueba Anova de un factor, se obtuvo un valor  $p = 0.000462$ , este valor es menor al nivel de significancia ( $p < 0.05$ ). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis

nula, y se acepta la hipótesis alterna que indica la existencia de diferencias entre el diámetro de los vasos entre los anillos.

Para saber con mayor detalle qué anillos presentan diferencias en el diámetro de vasos se aplicó la prueba Tukey y se determinó que existen diferencias significativas entre el diámetro de vasos de anillos ancho y estrecho ( $p = 0.0035$ ) y anillos control y estrecho ( $p = 0.02$ ) (Anexo 14).

#### 4.7.2. Frecuencia de vasos/mm<sup>2</sup>

Los valores de la frecuencia de vasos del anillo ancho (1998), se encontraron entre 4 a 15 vasos por mm<sup>2</sup> con una media de 7.98 vasos por mm<sup>2</sup>, los valores del anillo control (2007) se encontraron de 5 a 12 vasos por mm<sup>2</sup> con una media de 8.15 vasos por mm<sup>2</sup>, mientras que los valores del anillo estrecho (2016) se encontraron de 5 a 13 vasos por mm<sup>2</sup>, con una media de 7.95 vasos por mm<sup>2</sup> (Tabla 5).

**Tabla 5. Frecuencia de vasos/mm<sup>2</sup>**

Tipo	V <sub>Máximo</sub>	V <sub>Mínimo</sub>	$\bar{x}$	D <sub>Estándar</sub>	C <sub>Variación</sub>
Anillo ancho (1998)	15	4	7.975	2.247	28.180
Anillo control (2007)	12	5	8.150	1.833	22.496
Anillo estrecho (2016)	13	5	7.950	1.782	22.420

Con la prueba Anova de un factor, se obtuvo un valor  $p = 0.884$ , este valor es mayor al nivel de significancia ( $p > 0.05$ ) (Anexo 14), se acepta la hipótesis nula: no existen diferencias en la frecuencia de vasos por mm<sup>2</sup> en los anillos. Se rechazó la hipótesis alterna, no fue necesario realizar la prueba Tukey.

#### 4.7.3. Longitud de vasos (μm)

Los valores de la longitud de vasos del anillo ancho (1998) se encontraron entre los 393.092 μm a 988.498 μm con una media de 6.19.464 μm, los valores del anillo control (2007) se encontraron entre los 308.911 μm a 995.346 μm con una media de 596.547 μm, mientras que los valores del anillo estrecho (2016) se encontraron entre los 349.265 μm a 852.862 μm con una media de 576.458 μm (Tabla 6).

**Tabla 6. Longitud de vasos ( $\mu\text{m}$ )**

Tipo	V <sub>Máximo</sub>	V <sub>Mínimo</sub>	$\bar{x}$	D <sub>Estándar</sub>	C <sub>Variación</sub>
Anillo ancho (1998)	988.498	393.092	619.464	118.722	19.165
Anillo control (2007)	995.346	308.911	596.547	119.410	20.017
Anillo estrecho (2016)	852.862	349.265	576.458	93.743	16.262

Con la prueba Anova de un factor, se obtuvo un valor  $p = 0.0039$ , siendo este valor inferior al nivel de significancia ( $p < 0.05$ ), se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis alterna que señala la existencia de diferencias entre la longitud de los vasos en los anillos, realizando la prueba Tukey (Anexo 14).

Para saber con mayor detalle qué anillos presentan diferencias en la longitud de vasos se aplicó la prueba Tukey y se determinó que existen diferencias significativas entre la longitud de vasos de anillos ancho y estrecho ( $p = 0.002$ )

#### 4.7.4. Longitud de fibras ( $\mu\text{m}$ )

Los valores de la longitud de fibras del anillo ancho (1998) se encontraron entre los 522.727  $\mu\text{m}$  a 1653.265  $\mu\text{m}$  con una media de 974.546  $\mu\text{m}$ , los valores del anillo control (2007) se encontraron entre los 503.810  $\mu\text{m}$  a 1494.158  $\mu\text{m}$ , con una media de 846.012  $\mu\text{m}$ ; mientras que los valores del anillo estrecho (2016) se encontraron entre los 503.131  $\mu\text{m}$  a 1246.424  $\mu\text{m}$  con una media de 713.433  $\mu\text{m}$  (Tabla 7).

**Tabla 7. Longitud de fibras ( $\mu\text{m}$ )**

Tipo	V <sub>Máximo</sub>	V <sub>Mínimo</sub>	$\bar{x}$	D <sub>Estándar</sub>	C <sub>Variación</sub>
Anillo ancho (1998)	1653.265	522.727	974.546	208.268	21.371
Anillo control (2007)	1494.158	503.810	956.776	177.915	18.595
Anillo estrecho (2016)	1246.424	500.131	846.012	139.110	16.443

Con la prueba Anova de un factor, se obtuvo un valor  $p = 0.0027$ , siendo este valor inferior al nivel de significancia ( $p < 0.05$ ), se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis alterna, existe diferencias en la longitud de las fibras de los anillos.

Para saber con mayor detalle qué anillos presentan diferencias en la longitud de fibras se aplicó la prueba Tukey y se determinó que existe diferencias significativas entre la longitud de fibras de los anillos ancho y estrecho ( $\rho=0.002$ ) y anillos control y estrecho ( $\rho=0.003$ ) (Anexo 14).

## **4.8. Discusión de los resultados**

### **4.8.1. Caracterización de los anillos de crecimiento**

La delimitación de los anillos de crecimiento por zonas fibrosas es una característica propia de especies tropicales, lo cual facilita su identificación, de acuerdo con Ugarte, 2017 (63), Beltrán y Valencia, 2013 (41), Detienne, 1988 (111) y Santini, 2013 (110). La porosidad semicircular, distribución y tamaño de los poros coinciden con Acevedo y Kikata, 1994 (107) y Nisgoski, 1998 (109).

### **4.8.2. Anillos de crecimiento y la micro densitometría de rayos X**

Existen múltiples estudios que realizan la construcción de perfiles de densitometría de rayos x, Hayden, 2008 (39), Santos, 2017 (98), Quintilhan, 2021 (79), Ortega, 2022 (101), Polge, 2021 (100), Pagotto, 2021 (99), entre otros.

Estos autores coinciden en que la densitometría de rayos x es una técnica para comprobar la delimitación de los anillos de crecimiento, especialmente en aquellas especies donde no es tan distinguible la marcación de los anillos.

### **4.8.3. Cronología de ancho de anillos de crecimiento de *C. glabrum***

El resultado obtenido de intercorrelación de la serie de ancho de anillos, ( $r = 0.451$ ) es positivo y significativo, este valor coincide con otros estudios dendrocronológicos. Beltrán, 2013 (41) reporta una correlación de 0.378, Giraldo, 2011 (112) reporta una correlación de 0.402 y Egües, 2021 (1) un valor de 0.433. Estos valores en la correlación son indicadores de una señal común en el crecimiento de los árboles tropicales.

Los valores estadísticos de  $Rbar = 0.305$  y  $SM = 0.22$  obtenidos de la cronología estándar indican que la calidad de la cronología es confiable y robusta, a la vez puede ser comparada con cronologías desarrolladas en bosques tropicales por Narváez, 2017 (40), Polanco, 2008 (80), Pereyra, 2014

(42), entre otros. Los resultados son similares a los obtenidos por estos autores, es un indicador de que los árboles de la zona de estudio tienen una respuesta similar a bosques con condiciones climáticas favorables.

Además, los valores obtenidos evidencian una señal común de crecimiento que posee *Caryocar glabrum*, estos son similares a los reportados por Portal, 2020 con una  $SM = 0.29$  (44) y Egües, 2021 con una  $SM = 0.26$  (1).

El valor obtenido del  $EPS = 0.841$ , indica que la cronología es idónea. Cuando este valor es más cercano a 1, la cronología obtenida es más significativa. Asimismo, indica que la cantidad de muestras empleadas expresan una representatividad de los árboles de *Caryocar glabrum* para la zona de estudio.

#### **4.8.4. Relación de variables climáticas con ancho de anillos de *C. glabrum***

Se realizó la correlación de variables climáticas de precipitación y temperatura con el ancho de anillos de crecimiento para entender la respuesta del crecimiento de *Caryocar glabrum* en función de los factores climáticos del lugar de estudio. Diversos estudios destacan la importancia de estas correlaciones Zegarra, 2018 (29), Egües, 2021 (1), Rodríguez, 2022 (45)

La correlación de la variable de precipitación con el ancho de anillos de crecimiento es positiva y significativa ( $r = 0.38$ ), este valor indica una fuerte relación entre la precipitación y su respuesta en el crecimiento de *Caryocar glabrum*, cuando empiezan los meses de precipitación, se activa el cambium vascular dando inicio al crecimiento. Es decir, la formación de anillos de crecimiento en *Caryocar glabrum* está influenciada por la precipitación.

En el periodo de respuesta del crecimiento de *Caryocar glabrum*, el mayor índice de ancho de anillos o respuesta se da en los meses de octubre a diciembre del año actual (t), correspondiente al 2020, lo cual coincide con el estudio de Chávez, 2014 (48) y Portal, 2019 (44), estas investigaciones hacen énfasis en la respuesta del crecimiento y su relación con la precipitación, la cual se da en los meses del año actual de la etapa de crecimiento de la especie. La relación entre

el crecimiento y la precipitación destaca durante un periodo de tiempo y nivel de intensidad.

La correlación de la variable la temperatura con el ancho de anillos de crecimiento es negativa y significativa ( $r = -0.587$ ), este valor indica que la temperatura y otros factores externos influyen en el crecimiento de la especie, como los nutrientes del suelo, luz, viento, entre otros.

Otro factor externo es la retención de agua por parte del suelo y la humedad, durante meses lluviosos (enero-marzo), los cuales podrían actuar como reserva en el lugar de estudio, y ante la ausencia de lluvias, la humedad presente es empleada para el posterior crecimiento de los árboles en la zona de estudio, de acuerdo con Brienen y Zuidema, 2016 (36);y Zegarra, 2018 (49).

#### **4.8.4.1. Obtención del índice de precipitación estandarizado**

Se obtuvo el índice de precipitación estandarizado (SPI) de los meses con mayor respuesta al crecimiento de la especie (octubre a diciembre del año actual) con el propósito de comparar este valor con el índice de ancho de anillos, mediante el cálculo de percentiles 75 y 25 del periodo 1989-2020 y los años de sequía identificados fueron el 2019, 2016, 2013, 1999, 1996 y 1993. Del conjunto de años identificados, se trabajó sólo con el año 2016, por registrarse lluvias por debajo de la normal, cuya escasez se acentuó en febrero de ese año de acuerdo con datos del Senamhi (27).

Polanco, 2008 (80), Senamhi, 2018 (27) y Crispín, 2021 (90), señalan la importancia de realizar el cálculo del índice de precipitación, para determinar secciones específicas de donde extraer muestras en los anillos de crecimiento para realizar mediciones de elementos y establecer relaciones de los eventos climáticos extremos como sequías y evaluar los cambios en los elementos anatómicos (vasos y fibras).

#### **4.8.5. Elementos anatómicos de *C. glabrum* y su relación con sequías**

La disponibilidad de una cronología maestra de 1801 – 2020 (220 años), permite un estudio de la respuesta de los eventos de sequía a escala anual,

apoyados en el análisis de los anillos característicos; asimismo, las características anatómicas de las especies como: vasos y fibras responden a la relación que presentan con los fenómenos climáticos que ocurren en su entorno (33), esta relación se puede determinar en la medición de elementos anatómicos en años de sequía (115).

Se ha demostrado a través de la correlación de la cronología estándar y la precipitación, que en los meses de menor precipitación (abril a junio) no se activa el cambium vascular hasta el inicio del periodo de lluvias. En eventos de sequía, el crecimiento se reduce y se expresa en anillos de crecimiento estrechos (45).

Las sequías han producido cambios en las características anatómicas de *Caryocar glabrum*, el diámetro y longitud de vasos disminuyen en años de sequía, al igual que la longitud de fibras. Estos cambios deben evaluarse en periodos de tiempo cortos y prolongados de sequía que afectan a la especie, de esta forma se conocería la adaptabilidad de la especie ante futuros eventos extremos (79).

De acuerdo con Polanco, 2008 (80), los vasos modifican su diámetro para conducir de forma más eficiente el agua cuando su disponibilidad es limitada. La especie *Caryocar glabrum* presenta vasos de diámetro medianos (130  $\mu\text{m}$  – 160  $\mu\text{m}$ ). La modificación de los vasos puede ser cíclica y depende de la genética de la especie, y su grado de respuesta ante la variabilidad de las condiciones externas según Manvailer, 2020 (24).

La frecuencia de vasos es otro indicador de la adaptación de la especie, el cual no solo está relacionado a eventos de sequía, también puede estar influenciado por la altitud, relieve y humedad presente en el bosque (57). En *Caryocar glabrum* no se encontraron diferencias para los árboles muestreados ( $p < 0.05$ ). Otros estudios, reportan un incremento en el diámetro de vasos y una disminución en la frecuencia de estos para optimizar el transporte hídrico (116). Asimismo, se reportan una disminución en el diámetro de vasos y un incremento en la frecuencia de vasos, para compensar la disponibilidad hídrica (117).

*Caryocar glabrum* presenta vasos de longitud medianos (500  $\mu\text{m}$  – 600  $\mu\text{m}$ ) y existen diferencias significativas entre los vasos de anillos anchos, estrechos y de control ( $p < 0.05$ ), estas diferencias pueden deberse a la influencia de factores ecológicos y a la edad del árbol (33). A mayor edad del árbol, la longitud de los vasos tiende a ser mayor, el tejido xilemático se encuentra más desarrollado, en comparación con árboles más jóvenes, donde la longitud de vasos tiende a ser menor (116). Los árboles de *Caryocar glabrum* presentan edades de 119 a 221 años, lo cual podría explicar la presencia de vasos medianos.

Las fibras actúan como mecanismo de soporte, proporcionan estabilidad al árbol, cuanto más alargadas sean, las propiedades de resistencia son mejores. *Caryocar glabrum* presenta fibras grandes (800  $\mu\text{m}$  – 900  $\mu\text{m}$ ) y existen diferencias significativas entre la longitud de fibras de anillos anchos, estrechos y control ( $p < 0.05$ ). Se observa la reducción en la longitud de fibras, este es un indicador de adaptación de la especie a las condiciones del entorno como la humedad, relieve, entre otros. (33).

Estas modificaciones en las características cuantitativas de los elementos anatómicos: diámetro, frecuencia y longitud de vasos y fibras, evidencian que la disponibilidad hídrica y la eficiencia de conducción de agua a través del tejido xilemático serán claves en la adaptabilidad de las especies a los fenómenos climáticos futuros (21) (45). *Caryocar glabrum* es una especie que se adapta a periodos de sequía mediante los cambios en el diámetro y longitud de vasos y longitud de fibras. Estos resultados indican que la especie tiene una alta capacidad de resiliencia ante eventos extremos que pudiesen acontecer.

## CONCLUSIONES

1. Las sequías influyen significativamente en las características anatómicas de *Caryocar glabrum* (diámetro, longitud de vasos y longitud de fibras,  $p < 0.05$ ), en comparación con la frecuencia de los vasos/mm<sup>2</sup>, donde no se encontraron diferencias significativas.
2. Los anillos de *Caryocar glabrum* se encuentran delimitados por bandas acortadas, poseen forma regular y son distintos a simple vista, los cambios de densidad en la madera permitieron corroborar la correcta delimitación de los anillos de crecimiento de la especie.
3. Se estableció la serie dendrocronológica para *Caryocar glabrum*, la cual presenta un nivel de correlación positiva y significativa entre las muestras empleadas ( $r = 0.451$ ,  $p < 0.05$ ) el cual abarcó el periodo de 220 años (1800-2020).
4. La precipitación tiene una influencia significativa positiva en la de formación de los anillos de crecimiento de *Caryocar glabrum* ( $r = 0.380$ ,  $p < 0.05$ ) destacándose en los meses de octubre a diciembre del año actual (t) del crecimiento de la especie, mientras que la temperatura tuvo una influencia significativa negativa ( $r = -0.587$ ,  $p < 0.05$ ) durante los meses de enero a marzo del año previo (t-1).
5. Los eventos de sequía generan cambios en las características anatómicas de *Caryocar glabrum*. Los vasos presentan diferencias significativas en el diámetro y longitud ( $p < 0.05$ ). Asimismo, las fibras presentan diferencias significativas en la longitud ( $p < 0.05$ ), en años que corresponden a eventos de sequía.

## RECOMENDACIONES

1. Debido a la correlación positiva y significativa de la especie, se sugiere elaborar cronologías con un mayor número de muestras y mayor amplitud en rango de tiempo para profundizar en estudios dendrocronológicos con especies tropicales.
2. La selva central cuenta con una gran diversidad de especies arbóreas tropicales, algunas aún no han sido estudiadas, se sugiere realizar estudios con nuevas especies, para incrementar los estudios en delimitación de anillos de crecimiento y correlaciones con variables climáticas.
3. Para realizar el fechado de las muestras, es recomendable trabajar con base en un patrón de anillos clave que coincida entre los radios de una muestra, el mismo debe replicarse en todas las muestras, para evitar errores al momento de realizar el fechado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. EGÜES, A.A. *Caracterización anatómica de la madera y dendrocronología de Juglans neotropica Diels de áreas ribereñas de la provincia de Chachapoyas, Amazonas* [en línea]. 2021. [Fecha de consulta: 3 de febrero del 2022]. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3271>.
2. CUESTA, F., PERALVO, M. y VALAREZO, N. *Los bosques montanos de los Andes tropicales* [en línea]. 2009. ISBN 978-9942-9966-0-2. [Fecha de consulta: 3 de febrero del 2022]. Disponible en: [http://www.bosquesandinos.org/wp-content/uploads/2020/10/B\\_montanos.pdf](http://www.bosquesandinos.org/wp-content/uploads/2020/10/B_montanos.pdf).
3. VEGA, F. Análisis del riesgo de sequías en el sur del Perú. En: [en línea]. Lima: 2016. [Fecha de consulta: 14 de febrero del 2022]. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/hidro2016-0005.pdf>.
4. SANTOS, R. y CARLESSO, R. Deficit and Morphologic and Physiologic Behavior of the Plants. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [en línea]. 1998, 2 (3) p. 287-294. ISSN 1415-4366. Disponible en: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43661998000300287&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v2n3/1415-4366-rbeaa-02-03-0287.pdf](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43661998000300287&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v2n3/1415-4366-rbeaa-02-03-0287.pdf).
5. JEREMIE, L., WERY, J. y SINCLAIR, T. Model of Leaf Area Expansion in Field Pea Subjected to Soil Water Deficits. *Agronomy Journal - AGRON J.* 1996, 88. DOI 10.2134/agronj1996.00021962008800030018x.
6. MCCREE, K.J. y FERNANDEZ, C.J. Simulation Model for Studying Physiological Water Stress Responses of Whole Plants. *Crop Science.* 1989, 29(2). DOI <https://doi.org/10.2135/cropsci1989.0011183X002900020025x>. Disponible en: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci1989.0011183X002900020025x>.
7. LINDORF, H. Eco-Anatomical Wood Features of Species from a Very Dry Tropical Forest. En: *IAWA Journal.* 1994, 15, 61-376. DOI 10.1163/22941932-90001370.
8. ISLAM, M., RAHMAN, M. y BRÄUNING, A. Long-term wood anatomical time series of two ecologically contrasting tropical tree species reveal differential hydraulic adjustment to climatic stress. *Agricultural and Forest Meteorology*

- [en línea]. November 2018, 265, 412-423. ISSN 0168-1923. DOI 10.1016/j.agrformet.2018.11.037. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.11.037>.
9. ZHANG, S.-Y., BAAS, P. y ZANDEE, M. Wood Structure of the Rosaceae in Relation to Ecology, Habit and Phenology. En: *IAWA Journal*. 2014, 13 (3), 307-349. ISSN 0928-1541. DOI 10.1163/22941932-90001284.
  10. FRITTS, H.C. Chapter 1 - Dendrochronology and Dendroclimatology. En: H.C. FRITTS, ed., *Tree Rings and Climate* [en línea]. Academic Press, 1976, 1-54. ISBN 978-0-12-268450-0. DOI <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-268450-0.50006-9>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780122684500500069>.
  11. SPEER, J. *Fundamentals of Tree Ring Research*. 2010. ISBN B00GA42F40.
  12. VÁSQUEZ, R. et al. *Catálogo de los Árboles del Perú*. 2018. ISBN 2412-2297.
  13. NACIONES UNIDAS. Convención Marco sobre el Cambio Climático. [en línea]. 2015. Disponible en: [Fecha de consulta: 24 de febrero del 2022]. <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/l09s.pdf>
  14. IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. En: *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [en línea]. 2014. [Fecha de consulta: 24 de febrero del 2022]. ISBN 9781139177245. Disponible en: [https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf).
  15. Araiza-Olivares, G.A. Efectos del cambio climático en la distribución del bosque de oyamel. En: *Revista Geográfica de América Central* [en línea]. 2020, vol. 2, no. 65, p. 281-300. ISSN 1011-484X. DOI 10.15359/rgac.65-2.11. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rge/n65/2215-2563-rge-65-263.pdf>.
  16. NASA. Para la NASA, Sudamérica atraviesa una sequía extrema y es la segunda más importante desde 2002 | Agrofy News. En: [en línea]. [Fecha de consulta: 8 junio 2021]. Disponible en: <https://news.agrofy.com.ar/noticia/190358/nasa-sudamerica-atraviesa-sequia-extrema-y-es-segunda-mas-importante-2002>.

17. SUN, G. et al. Regional annual water yield from forest lands and its response to potential deforestation across the southeastern United States. *Journal of Hydrology* [en línea]. 2005, 308 (1-4), 258-268. ISSN 00221694. DOI 10.1016/j.jhydrol.2004.11.021. Disponible en: [https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja\\_sun010.pdf](https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja_sun010.pdf).
18. GÓMEZ, S. Destrucción de bosques nativos y deforestación ilegal: El caso Argentino (1998-2016). *Native Forests' Destruction and Illegal Logging: the Argentinean Case During the 1998-2016 Period*. [en línea]. 2018, 64 (64), 154-180. ISSN 02131781. Disponible en: <http://10.0.23.130/geografia/2018/349551%0Ahttp://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=134707369&lang=es&site=ehost-live>.
19. GARCÍA-HERRERA, G. et al. Future Scenarios of Temperature and Rain Precipitation Under the Effect of a Climatic Change in the Agricultural Region of the Plains, Durango. En: *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 2010, IX, (2). ISSN 1027-152X.
20. GARCÍA, R., BUGMANN, H. y MORIN, X. Climate change-driven extinctions of tree species affect forest functioning more than random extinctions. *Diversity and Distributions* [en línea]. 2018, 24 (7), 906-918. ISSN 14724642. DOI 10.1111/ddi.12744. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/ddi.12744>.
21. LEÓN, W. Anatomía ecológica del xilema secundario de un bosque seco tropical de Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica* [en línea]. 2005, 28, 13. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0084-59062005000200006](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0084-59062005000200006).
22. Silva da Costa, W. et al. Intraspecific variation in functional wood anatomy of tropical trees caused by effects of forest edge. En: *Forest Ecology and Management*. Elsevier B.V., 2020, vol. 473, p. 118305. ISSN 03781127. DOI 10.1016/j.foreco.2020.118305.
23. ZIMMERMANN, J. et al. 60-year record of stem xylem anatomy and related hydraulic modification under increased summer drought in ring- and diffuse-porous temperate broad-leaved tree species. *Trees* [en línea]. 2021, 35 (3), 919-937. ISSN 0931-1890. DOI 10.1007/s00468-021-02090-2. Disponible en: <https://link.springer.com/10.1007/s00468-021-02090-2>.

24. MANVAILER, V. y SCREMIN-DIAS, E. Drought adaptation in populations of *Inga vera* subsp. *affinis* (DC.) T.D.Penn. that are exposed to extensive seasonal flooding. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* [en línea]. Elsevier GmbH, 2020, 271, February, p. 151678. ISSN 03672530. DOI 10.1016/j.flora.2020.151678. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151678>.
25. CAMILLONI, I. et al. Inundaciones y sequías. *Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países iberoamericanos - Informe RIOCCADAPT* [en línea]. 2020, p. 391-417. Disponible en: [http://rioccadapt.com/wp-content/uploads/2020/07/10\\_Cap\\_10\\_CambioClimatico.pdf](http://rioccadapt.com/wp-content/uploads/2020/07/10_Cap_10_CambioClimatico.pdf).
26. SENAMHI. Informe Técnico: Análisis del periodo de lluvias 2019-2020 a nivel nacional. [en línea]. 2020. [Fecha de consulta: 5 de febrero del 2022]. Disponible en: [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1325635/INFORME-LLUVIAS-2019-2020\\_FINAL-29-09-2020v2.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1325635/INFORME-LLUVIAS-2019-2020_FINAL-29-09-2020v2.pdf).
27. SENAMHI.. Caracterización espacio temporal de la sequía en los departamentos altoandinos del Perú (1981-2018). En: [en línea]. 2019 ISBN 9788490225370.. [Fecha de consulta: 5 de febrero del 2022]. Disponible en: <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/233>.
28. REQUENA, E.y TAQUIRE, A. Anatomía del leño y caracterización de los anillos de crecimiento en individuos de *Polylepis tarapacana* en el Altiplano-Tacna-Perú. En: *Quebracho*. 2019, 27, 66-75.
29. ZEGARRA, L. Caracterización anatómica y dendrocronológica de *Guatteria hyposericea*, *Jacaranda copaia* y *Pourouma minor* de Junín Perú. Tesis (Título de Ingeniero Forestal). Lima:Universidad Agraria La Molina, 2018, 89 pp.
30. MINISTERIO DEL AMBIENTE. Monitoreo de la pérdida de bosques húmedos amazónicos en el año 2019. En: [en línea]. 2020. [Fecha de consulta: 13 de febrero del 2022] Disponible en: <http://www.bosques.gob.pe/archivo/Apuntes-del-bosque-3.pdf>.
31. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Glosario Meteorológico. En: *Subdirección de Meteorología* [en línea]. 2019, 311. [Fecha de consulta: 3 de abril del 2022] Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Anexo+10.+Glosario+meteorológico.pdf/6a90e554-6607-43cf-8845-9eb34eb0af8e>.

32. ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL *Guía de prácticas climatológicas* [en línea]. 2018. ISBN 9789263301000. [Fecha de consulta: 17 de marzo del 2022] Disponible en: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10027](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10027).
33. CARLQUIST, S. *Comparative Wood Anatomy - Systematic, Ecological, and Evolutionary Aspects of Dicotyledon Wood* [en línea]. 1. Springer Berlin Heidelberg, 1988. ISBN 978-3-662-21714-6. DOI <https://doi.org/10.1007/978-3-662-21714-6>. [Fecha de consulta: 4 junio 2021]. Disponible en: <https://www.springer.com/gp/book/9783662217146>.
34. GIMENEZ, A., MOGLIA, J. y GEREZ, R. *Anatomía de madera* [en línea]. 2005. ISBN 9789871676088. [Fecha de consulta: 4 junio 2021]. Disponible en: <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/sd-1-anatomia-de-madera.pdf>.
35. RAMÍREZ, J. y DEL VALLE J. Paleoclima de La Guajira, Colombia; según los anillos de crecimiento de *Capparis odoratissima* (Capparidaceae). September, 2011, 59, 1389-1405.
36. BRIENEN, R., SCHÖNGART, J. y ZUIDEMA, A. Tree Rings in the Tropics: Insights into the Ecology and Climate Sensitivity of Tropical Trees. *Springer International Publishing Switzerland*. 2016, 439-461. DOI 10.1007/978-3-319-27422-5\_20.
37. RODRÍGUEZ, E., TERRAZAS, T. y LUNA, I. The influence of climate on the masting behavior of Mexican beech: growth rings and xylem anatomy. En: *Trees - Structure and Function* [en línea]. Springer Berlin Heidelberg, 2019, 33 (1), p. 23-35. ISSN 09311890. DOI 10.1007/s00468-018-1755-3. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00468-018-1755-3>.
38. CHALÁN, M. *Influencia de las precipitaciones sobre el crecimiento anual de *Acacia macracantha* Humb. & Bonpl. ex Willd, en dos sitios de la provincia de Loja* [en línea]. 2019. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22775/1/MiryamLuzmilaChalánLozano.pdf>.
39. HAYDEN, B. *Annual growth rings in dry tropical forest tree*. 2008. ISBN 9780494457054.

40. NARVÁEZ, L. Análisis del potencial dendroclimático de *Acacia macracantha* Willd de bosque seco en la parroquia Zapotillo al sur de Ecuador. Tesis (Título de Ingeniero Forestal). Loja - Ecuador: Universidad Nacional de Loja, 2020, 98 pp.
41. BELTRÁN, L. y VALENCIA, G. Anatomía de anillos de crecimiento de 80 especies arbóreas potenciales para estudios dendrocronológicos en la selva central, Perú. *Revista de Biología Tropical*. 2013, 61 (3), 1025-1037. ISSN 00347744. DOI 10.15517/rbt.v61i3.11778.
42. JESÚS, M. et al. Potencialidad de *Cedrela odorata* (Meliaceae) para estudios dendrocronológicos en la selva central del Perú. June, 2014, 62, 783-793.
43. PORTAL, A. Potencial dendrocronológico de la especie *Tachigali vasquezii* pipoly y la relación con el cambio climático, en un bosque de terraza baja en el sur oriente del Perú. Tesis (Título de Ingeniero Forestal y Mediambiental). Madre de Dios: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, 2019.
44. PORTAL, A. et al. Potencial dendrocronológico de *Jacaranda copaia* que contiene registro ENSO en Madre de Dios, Perú. *Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais* [en línea]. 2020, 8(4), 572-578. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,uid,shib&db=lbh&AN=20203396413&site=ehost-live&scope=site%0Ahttps://www.cabdirect.org/cabdirect/showpdf.aspx?PAN=http://www.cabi.org/cabdirect/showpdf.aspx?PAN=20203396413%0Ahttps://periodicos>.
45. RODRÍGUEZ Ramírez, C. et al. Assessing the Hydric Deficit on Two *Polylepis* Species from the Peruvian Andean Mountains: Xylem Vessel Anatomic Adjusting. *Forests*. 2022, 13. DOI 10.3390/f13050633.
46. REQUENA, E., et. al.. Assessing dendrochronological potential of *Escallonia myrtilloides* in the high andes of Peru. 2021, 77, (2), 41-52.
47. BELTRAN, L. Caracterización anatómica de anillos de crecimiento de especies forestales tropicales maderables con valor comercial para dendrocronología - Selva Central. Tesis (Título de Ingeniero Forestal y Mediambiental). Huancayo: UNCP, 2011, 83 pp.
48. CHÁVEZ, J. Dendrocronología de *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze, «taya», en bosques naturales de la provincia de San Marcos y distrito de Matara. Tesis (Maestría en Ciencias). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2014, 70 pp.

49. ZEGARRA, L.E. *Caracterización anatómica y dendrocronológica de Guateria hyposericea, Jacaranda copaia y Pouruma minor de Junín Perú*. 2018.
50. ACUÑA, D. y ROBLES Sánchez, D. Manual de meteorología y gestión de la información climática. *Instituto de Montaña*. 2015.
51. STRAHLER, A.. *Physical geography, New York: Wiley (1951; 1960; 1969; 1975)* [en línea]. 2010. DOI 10.1177/0309133309360627. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0309133309360627>.
52. SIMERAI, D. W.R.C.C. U.S. Drought Monitor. En: [en línea]. 2022. [Fecha de consulta: 3 mayo 2022]. Disponible en: <https://droughtmonitor.unl.edu/>.
53. SERVICE, N.W. Climate Prediction Center. En: [en línea]. [consulta: 1 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/Drought/>.
54. Canadian Drought Monitor. En: [en línea]. [Fecha de consulta: 5 mayo 2022]. Disponible en: <https://agriculture.canada.ca/en/agriculture-and-environment/drought-watch-and-agroclimate/canadian-drought-monitor>.
55. SENAMHI. Indicadores de sequías - Perú. En: [en línea]. [Fecha de consulta: 5 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=sequias>.
56. ETESA. Índice Estandarizado de Precipitación - Hidrometeorología. [en línea]. [consulta: 5 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.hidromet.com.pa/es/indice-estandarizado-precipitacion>.
57. MCKEE, T.B., DOESKEN, N.J. y KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. En: [en línea]. January. 1993, 17-22. [Fecha de consulta: 5 mayo 2022] Disponible en: [https://www.droughtmanagement.info/literature/AMS\\_Relationship\\_Drought\\_Frequency\\_Duration\\_Time\\_Scales\\_1993.pdf](https://www.droughtmanagement.info/literature/AMS_Relationship_Drought_Frequency_Duration_Time_Scales_1993.pdf).
58. SSISA. Índices de Sequía - Sistema de Información sobre Sequías para el sur de Sudamérica. En: [en línea]. [Fecha de consulta: 5 mayo 2022]. Disponible en: <https://sissa.crc-sas.org/monitoreo/indices-de-sequia/>.
59. ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. *Índice normalizado de precipitación - Guía del usuario* [en línea]. Ginebra: 2012. ISBN 978-92-63-31090-3. [Fecha de consulta: 5 mayo 2022]. Disponible en: [https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO\\_standardized\\_precipitation\\_index\\_user\\_guide\\_es\\_2012.pdf](https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_es_2012.pdf).
60. BRAY, E.A. Plant Response to Water-deficit Stress. *eLS*. 2001, 27, 2, 179-191. DOI 10.1038/npg.els.0001298.

61. NILSEN, E., ORCUTT, D. y HALE, M. *The physiology of plants under stress. Abiotic factors / Erik T. Nilsen, David M. Orcutt*. New York: Wiley, 1996. ISBN 0471031526.
62. SANTINI, L., BORGES, S. y TOMMASIELLO, M. *Anatomía e identificación de madera de 90 especies tropicales comercializadas en Sao Paulo*. Paraná, Brasil: 2021. ISBN 978-65-5706-697-3. DOI 10.22533/at.ed.973210801.
63. UGARTE, J. y MORI, I. *Guía para la identificación de la madera de 50 especies forestales del Perú*. Lima: 2017.
64. BAAS, P. et al. IAWA List of microscopic features for softwood identification. En: *IAWA Journal*. 2004. DOI 10.1163/22941932-90000349.
65. TENZIN, K. y DUKPA, D. *Dendrochronological Manual*. 2017. ISBN 9789993674306.
66. GUTIÉRREZ, E. La dendrocronología: métodos y aplicaciones. En: [en línea]. 2009, 309-322. ISBN 978-84-393-8082-5. [Fecha de consulta: 5 mayo 2022]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/286242799\\_La\\_dendrocronologia\\_metodos\\_y\\_aplicaciones](https://www.researchgate.net/publication/286242799_La_dendrocronologia_metodos_y_aplicaciones).
67. GRISSINO, H. Dendrochronology. En: [en línea]. [Fecha de consulta: 27 octubre 2021]. Disponible en: <http://www.sonic.net/bristlecone/dendro.html>.
68. RODRÍGUEZ, R. y FERNÁNDEZ, R. *Dendrocronología básica*. Piura: Imprenta Santa Lucía, 2009.
69. STOKES, M. y SMILEY, T. *An Introduction to Tree-ring Dating* [en línea]. University of Arizona Press, 1996. ISBN 9780816516803. [Fecha de consulta: 18 diciembre 2021]. Disponible en: <https://books.google.td/books?id=THEVAQAAIAAJ>.
70. GIRALDO, J. Aplicaciones Metodológicas para el estudio del árbol urbano. En: *Manual de Silvicultura Urbana*. 2015, p. 231-241.
71. MARCELO-PEÑA, J.L. et al. Characterizing growth rings in the trees of Perú: A wood anatomical overview for potential applications in dendroecological-related fields. *Dendrochronologia*. 2020, 62. ISSN 16120051. DOI 10.1016/j.dendro.2020.125728.
72. MELO, J. victor. *Dendrocronología de la especie Pinus radiata de plantaciones de la granja Porcon Cajamarca* [en línea]. 2010. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1170/T003831.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

73. RIVERA, C. *Potencial dendrocronológico de árboles de la Amazonia colombiana* [en línea]. 2013. [Fecha de consulta: 14 octubre 2021]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/9561/>.
74. ZÚÑIGA, C. *Aplicación de la dendrocronología para evaluar la influencia de la precipitación y la temperatura en el crecimiento de Tectona grandis L.f. procedente del Fundo Génova- Junín* [en línea]. 2012. [Fecha de consulta: 18 enero 2022]. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/404>.
75. SCHÖNGART, J. et al. Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. En: *Journal of Tropical Ecology* [en línea]. Cambridge University Press, 2002,18(4), 581–597. DOI 10.1017/S0266467402002389. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/S0266467402002389>.
76. THÁI. La Madera: Anillos de Crecimiento. En: [en línea]. [consulta: 27 octubre 2021]. Disponible en: <https://quimicasthai.wordpress.com/2010/03/16/la-madera-anillos-de-crecimiento/>.
77. MENDIVELSO, H., CAMARERO, J. y GUTIÉRREZ, E. Dendrocronología en bosques neotropicales secos: métodos, avances y aplicaciones. En: *Ecosistemas* [en línea]. 2016, 25 (2), 66-75. DOI 10.7818/ECOS.2016.25-2.08. [Fecha de consulta: 19 noviembre 2021]. Disponible en: <https://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1194>.
78. LINDEBERG, J. *X-ray Based Tree Ring Analyses* [en línea]. 2004. ISBN 9157665338. [Fecha de consulta: 7 diciembre 2021]. Disponible en: <https://pub.epsilon.slu.se/462/1/silvestria299.pdf>.
79. QUINTILHAN, M.T. et al. Growth-ring boundaries of tropical tree species: Aiding delimitation by long histological sections and wood density profiles. En: *Dendrochronologia* [en línea]. 2021, vol. 69, p. 125878. ISSN 1125-7865. DOI <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125878>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1125786521000746>.
80. POLANCO, C. y PULIDO, D. Análisis ecoanatómico, evolutivo y comparativo de la madera de 40 especies de dos asociaciones del Bosque Altoandino Colombiano. En: *Colombia Forestal* [en línea]. 2008, 12, 183-203. [Fecha de consulta: 14 octubre 2021]. Disponible en: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/3042>.

81. BAAS, P., WERKER, E. y FAHN, A. Some Ecological Trends in Vessel Characters. En: *IAWA Journal* [en línea]. Leiden, The Netherlands: Brill, 1983, 4 (2-3), 41-159. DOI <https://doi.org/10.1163/22941932-90000407>. [Fecha de consulta: 16 noviembre 2021]. Disponible en: [https://brill.com/view/journals/iawa/4/2-3/article-p141\\_9.xml](https://brill.com/view/journals/iawa/4/2-3/article-p141_9.xml).
82. PRANCE, G. y SILVA, M. Monograph of Caryocaraceae. *Flora Neotropica*. 1973, 12, 1-75.
83. ASCARI, J., TAKAHASHI, J.A. y BOAVENTURA, M. The phytochemistry and biological aspects of Caryocaraceae family. En: *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*. 2013, 15 (2), 293-308. DOI 10.1590/s1516-05722013000200019.
84. VÁSQUEZ, A. Evaluación de las características anatómicas de la madera de tres especies forestales y su variación en los niveles longitudinales del fuste, proveniente de la cuenca del río Utuquinía – provincia Coronel Portillo - región Ucayali. Tesis (Título de Ingeniero Forestal). Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali, 2018, 126 pp.
85. UNIVERSIDAD EIA. Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá. En: [en línea]. 2018. [Fecha de consulta: 21 octubre 2021]. Disponible en: <https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/>.
86. DELPRETE, P. et al. Florula de las Reservas Biologicas de Iquitos, Peru. *Brittonia*. 1999, 51, 113. DOI 10.2307/2666566.
87. OSINFOR. Fichas de identificación de especies forestales maderables de la Concesión Forestal Industrial Maderera Zapote (IMAZA)", como producto del curso taller: "V Curso Taller Fortalecimiento de Capacidades a Supervisores Forestales en aplicación de criterios té. En: [en línea]. 2018, p. 58. [Fecha de consulta: 21 octubre 2021]. Disponible en: <https://www.osinfor.gob.pe/publicaciones/page/2/>.
88. HERBARIO UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. Guia ilustrada Flora cañón de río Porce - Antioquia. En: [en línea]. [Fecha de consulta: 5 mayo 2022]. Disponible en: [https://issuu.com/herbariohua/docs/guia\\_ilustrada\\_canon\\_de\\_rio\\_porce\\_a/60](https://issuu.com/herbariohua/docs/guia_ilustrada_canon_de_rio_porce_a/60).
89. FREITAS DA SILVA, M. Estudios sobre Caryocaraceae: Una contribución para el conocimiento de la morfología foliar de *Caryocar Glabrum* (Aubl.) Pers. en la Amazonía. 1968.

90. CRISPIN, D. *Influencia de la variabilidad climática en el crecimiento radial de POLYLEPIS TARAPACANA PHILL. En Chiluyo - Tacna*. Tesis (Título de Ingeniero Forestal). Huancayo: Universidad Continental, 2021, 106 pp.
91. CEGARRA, J. *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. 2006. ISBN 84-7978-624-8.
92. HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. *Metodología de la investigación*. 6° Edición. Mc Graw Hill, 2014. ISBN 9781456223960.
93. SATIPO, M.P. Plan de desarrollo concertado provincial 2008-2021. En: . 2009.
94. HIDROLOGÍA, S.N. de M. e. Descarga de datos Meteorológicos a nivel nacional. En: [en línea]. [Fecha de consulta: 4 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>.
95. MACDICKEN, K. Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. January 1997.
96. SEGURA, M. y ANDRADE, H. ¿ Cómo construir modelos alométricos de volumen , biomasa o carbono de especies leñosas perennes ? En: . 2008, p. 89-96.
97. GRISSINO, H. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research*. 2000, 57.
98. DE ANDRADE, E. et al. Análise dos anéis de crescimento de Euxylophora paraensis por meio da microdensitometria de raios-x. *Ciencia Rural*. 2017, 47 (4). ISSN 16784596. DOI 10.1590/0103-8478cr20150895.
99. PAGOTTO, M. et al. Evaluation of X-ray densitometry to identify tree-ring boundaries of two deciduous species from semi-arid forests in Brazil. En: *Dendrochronologia* [en línea]. Elsevier GmbH., 2017, 42, 94-103. ISSN 16120051. DOI 10.1016/j.dendro.2017.01.007. [Fecha de consulta: 7 marzo 2022] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dendro.2017.01.007>.
100. POLGE, H. The Use of X-Ray Densitometric Methods in Dendrochronology. En: *Tree-Ring Bulletin* [en línea]. 2017, p. 11. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10150/259942>.
101. ORTEGA, D. et al. Exploring wood anatomy, density and chemistry profiles to understand the tree-ring formation in Amazonian tree species. En: *Dendrochronologia*. 2022, 71, January 2021. ISSN 16120051. DOI 10.1016/j.dendro.2021.125915.

102. COOK, E. y L., H.R. Arstan. *Program*. 1986, 16, 1-9.
103. MORALES, L. Distribución, diversidad y plan de conservación de los bosques de polylepis en la Región de Tacna. Tesis (Doctor en Ciencias Ambientales). Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, 2017, 246 pp.
104. JONES, P. et al. High-resolution palaeoclimatic records for the last millennium: interpretation, integration and comparison with General Circulation Model control-run temperatures. *The Holocene* [en línea]. 1998, 8, (4), 455-471. DOI 10.1191/095968398667194956. [Fecha de consulta: 7 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1191/095968398667194956>.
105. CORADIN, V. *Estrutura Anatômica da Madeira e Princípios para a sua Identificação* [en línea]. 2002. ISBN 85-7300-138-0. [Fecha de consulta: 12 febrero 2022]. Disponible en: <https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/publicacoes-tecnicas-do-lpf/72-normas-de-procedimentos-em-estudos-de-anatomia-de-madeira-i-angiospermae-ii-gimnospermae>.
106. MAGUIÑA, E. Identificación organoléptica y macroscópica de maderas comerciales. En: [en línea]. 2008. [Fecha de consulta: 7 marzo 2022] Disponible en: [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/571598/02.\\_Identificacion.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/571598/02._Identificacion.pdf).
107. MALLQUE, M. y KIKATA, Y. *Atlas de Maderas Del Peru* [en línea]. National Agrarian University la Molina-Peru, 1994. [Fecha de consulta: 2 marzo 2022] Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=POtEAAAAYAAJ>.
108. RUFFINATTO, F. y CRIVELLARO, A. *Atlas of Macroscopic Wood Identification*. 2019. ISBN: 9783030235659.
109. NISGOSKI, S., MUIZ, G. y KLOCK, U. Diferenciação anatômica da madeira de 4 espécies do gênero *Caryocar*. *Ciência E Natura*. 1998, 20(20), 85–100.
110. SANTINI, L. *Descrição macroscópica e microscópica da madeira aplicada na identificação das principais espécies comercializadas no Estado de São Paulo - Programas “São Paulo Amigo da Amazônia” e “Cadmadeira”*. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. DOI:10.11606/D.11.2013.tde-11092013-151731.
111. DETIENNE, P. et al. Rythmes de croissance de quelques essences de Guyane française. *Bois et Forêts des Tropiques*. 1988, 217. ISSN 1777-5760.

112. GIRALDO, J. Dendrocronología en el trópico: aplicaciones actuales y potenciales. *Colombia Forestal*. 2011, 14, (1), 97-111.
113. MINISTERIO DEL AMBIENTE - ECUADOR. Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales – Ecuador. Quito. En: [en línea]. Quito: 2014. ISBN 9788490225370. [Fecha de consulta: 12 marzo 2022] Disponible en: <https://www.fao.org/3/i4407s/i4407s.pdf>.
114. CRIVELLARO, A., WIEDENHOEFT, A. y RUFFINATTO, F. Review of macroscopic features for hardwood and softwood identification and a proposal for a new character list. *IAWA Journal*. 2015, 36 (2), 208-241. ISSN 22941932. DOI 10.1163/22941932-00000096.
115. PEÑA, J., SANTINI, L. y TOMAZELLO, M. Wood anatomy and growth rate of seasonally dry tropical forest trees in the Marañón River Valley, northern Peru. En: *Dendrochronologia* [en línea]. Elsevier, 2019, 55, April 2018, 135-145. ISSN 16120051. DOI 10.1016/j.dendro.2019.04.008. [Fecha de consulta: 12 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2019.04.008>.
116. DUNES, S. et al. Comparative Evaluation of Vessel Elements in *Salicaceae* (Salicaceae) Endemic To the Tabasco. *Methods*. 2001, 88 (4), 583-587.
117. AGUILAR, A. et al. Anatomia comparada do lenho de *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) em fisionomias de cerrado e cerrado. *Rodriguésia*. 2010, 61 (4), 603-613.

## **ANEXOS**

## Anexo 1

### Matriz de consistencia

**Tabla 8. Matriz de consistencia**

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES INTERVINIENTES	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Cómo influyen las sequías en las características anatómicas de <i>Caryocar glabrum</i> ?	Evaluar la influencia de sequías en las características anatómicas de <i>Caryocar glabrum</i> .	Las sequías influyen significativamente en las características anatómicas de <i>Caryocar glabrum</i> .	Precipitación total mensual (mm)	Precipitación acumulada	<b>Método de Investigación</b> Inductivo-deductivo  <b>Tipo de Investigación</b> Básica  <b>Nivel de Investigación</b> Descriptivo-correlacional  <b>Diseño de la investigación</b> No experimental  <b>Población</b> La población está conformada por 78 árboles de <i>Caryocar glabrum</i> de los bosques de la comunidad nativa Tres Unidos de Matereni (6562.547 hectáreas), del distrito de Pangoa, provincia de Satipo, departamento de Junín.  <b>Muestra</b> La muestra es de tipo no probabilística y está conformada por 5 árboles de <i>Caryocar glabrum</i> , distribuidos en diferentes partes del bosque, los mismos que fueron elegidos con base al diámetro, estado sanitario, posición en el dosel y ausencia de plagas y/o hongos.
			Temperatura (°C)	Temperatura máxima	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES DEPENDIENTES	INDICADORES	
¿Cómo se encuentran delimitados los anillos de crecimiento de <i>Caryocar glabrum</i> ?	Identificar los límites de los anillos de crecimiento de <i>Caryocar glabrum</i> .	H1: <i>Caryocar glabrum</i> tiene los anillos de crecimiento distintivos y bien marcados. H2: <i>Caryocar glabrum</i> presenta una serie dendrocronológica estadísticamente significativa.	Sequía	Índice de precipitación estandarizado	
¿Se encuentra establecida la serie dendrocronológica de los anillos de crecimiento de <i>Caryocar glabrum</i> ?	Establecer la serie dendrocronológica de los anillos de crecimiento de <i>Caryocar glabrum</i> .	H3: La precipitación y temperatura correlacionan de forma positiva y significativa con el ancho de anillos de crecimiento de <i>Caryocar glabrum</i> .	Vasos	Longitud, diámetro y frecuencia de vasos	
¿Cómo influye la precipitación y temperatura en el ancho de anillos de crecimiento de <i>Caryocar glabrum</i> ?	Determinar que la precipitación y temperatura influyen en el ancho de anillos de crecimiento de <i>Caryocar glabrum</i> .	H4: Los vasos y fibras de <i>Caryocar glabrum</i> presentan variaciones en sus dimensiones en años de sequía.	Fibras	Longitud de fibras	
¿Cómo afectan las sequías a los vasos y fibras de <i>Caryocar glabrum</i> ?	Analizar como los vasos y fibras de <i>Caryocar glabrum</i> responden a las sequías.		Anillos de crecimiento	Anillos anchos y anillos estrechos	

## Anexo 2

### Resolución de autorización de investigación del SERFOR

 <b>PERÚ</b> Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego	 <small>Firmado digitalmente por CERDAN QUILIANO Miriam Mercedes FAU 20562838027 soft Cargo: Directora General Motivo: Soy el autor del documento Fecha: 06.07.2021 21:25:05 -05:00</small>
"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres" "Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"	
Magdalena Del Mar, 06 de Julio del 2021	
<b>CARTA N° D000768-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS</b>	
Señora <b>JANET GABY INGA GUILLEN</b> Investigadora Carretera Central N° 1339 – Concepción jingag@continental.edu.pe <u>Junín.-</u>	
Asunto	: Remito RDG N° D000358-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS
Referencia	: Solicitud S/N (01/06/2021)
Es grato dirigirme a usted, con relación al documento de la referencia, mediante el cual solicitó la autorización con fines de investigación científica de flora silvestre como parte del proyecto de investigación titulado: "MaderApp: Un aplicativo móvil para el reconocimiento automático y en tiempo real de especies maderables comerciales para combatir la tala ilegal en Selva Central".	
Al respecto y de acuerdo a lo solicitado, remito para su conocimiento y fines, la Resolución de Dirección General N° D000358-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS (05/07/2021), mediante la cual se resuelve otorgar a su favor la autorización con fines de investigación científica de flora silvestre, fuera de Áreas Naturales Protegidas, correspondiéndole el Código de Autorización N° <b>AUT-IFL-2021-038</b> , como parte del proyecto de investigación titulado "MaderApp: Un aplicativo móvil para el reconocimiento automático y en tiempo real de especies maderables comerciales para combatir la tala ilegal en Selva Central", a desarrollarse en el caserío Pampa Azángaro y el anexo Unión Pampa Hermosa del distrito Perené, localidad La Romilda del distrito Chanchamayo y el centro poblado Nueva Esperanza del distrito Pichanaki de la provincia Chanchamayo, departamento de Junín, en los puntos de evaluación indicados en el Cuadro N° 01 del ANEXO 1 de la presente resolución; cuya vigencia se contabilizará desde el día siguiente hábil de su notificación.	
Sin otro particular, expreso mis cordiales saludos.	
Atentamente,	
<b>Documento firmado digitalmente</b>	
<b>Miriam Mercedes Cerdán Quiliano</b> Directora General Dirección General de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal y de Fauna Silvestre Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre - SERFOR	
Exp. N° 2021-20647	
Av. Javier Prado Oeste N° 2442 Urb. Oarrantia, Magdalena del Mar – Lima 17 T. (511) 225-9005 www.serfor.gob.pe	
	
<small>Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: Url: <a href="https://sgd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/">https://sgd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/</a> Clave: FFSU150</small>	

**Figura 34. Resolución de autorización del SERFOR**

## Anexo 3

### Constancia de identificación botánica

# HOXA

Herbario Selva Central  
Oxapampa

## CONSTANCIA N° 002\_2022

Conste por el presente documento que la Sra. **JANET GABY INGA GUILLEN**

Ha depositado en el **Herbario Selva Central Oxapampa - HOXA**, de la estación biológica del Jardín Botánico de Missouri, 01 duplicado de sus colecciones botánicas del Proyecto titulado: *"MaderApp: Un aplicativo móvil para el reconocimiento automático y en tiempo real de especies maderables comerciales para combatir la tala ilegal en Selva Central"*, las mismas que se indican en la tabla adjunta.

Cabe indicar que el **HOXA**, es una Institución Científica Nacional Depositaria de Material Biológico con Código de Autorización N°AUT-ICND-2016-012.

La colección entregada al HOXA se rige bajo las siguientes autorizaciones:

- ✓ RESOLUCIÓN DIRECTORAL N°D000005-2022-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS-DGSPF
- ✓ AUTORIZACIÓN N° AUT-IFL-2021-038

Se expide la presente constancia a solicitud de la interesada para los fines que considere conveniente.

Oxapampa 31 de marzo 2022

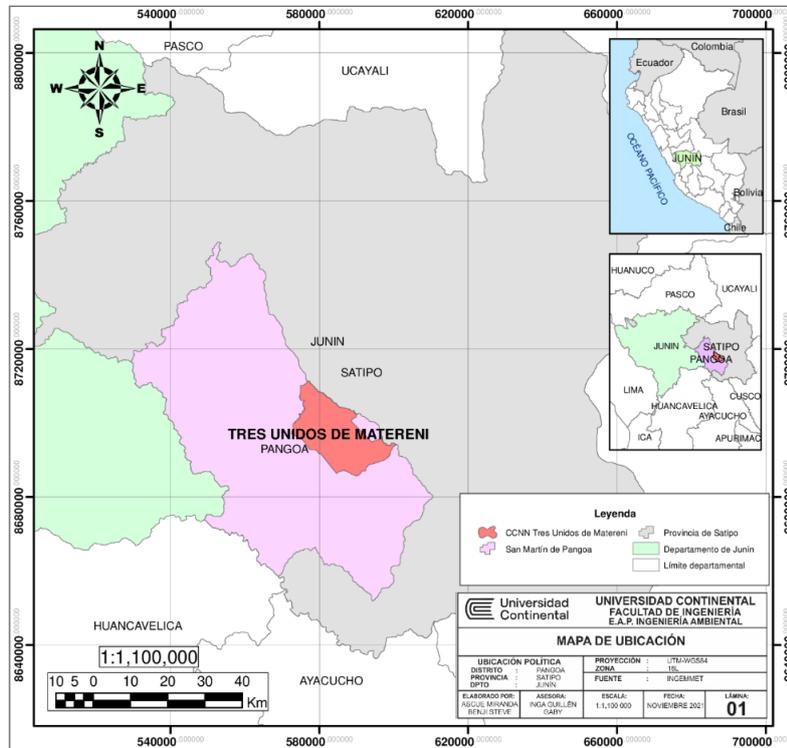


Blga. Rocío Del P. Rojas Gonzáles  
CURADOR  
Herbario Selva Central Oxapampa  
HOXA

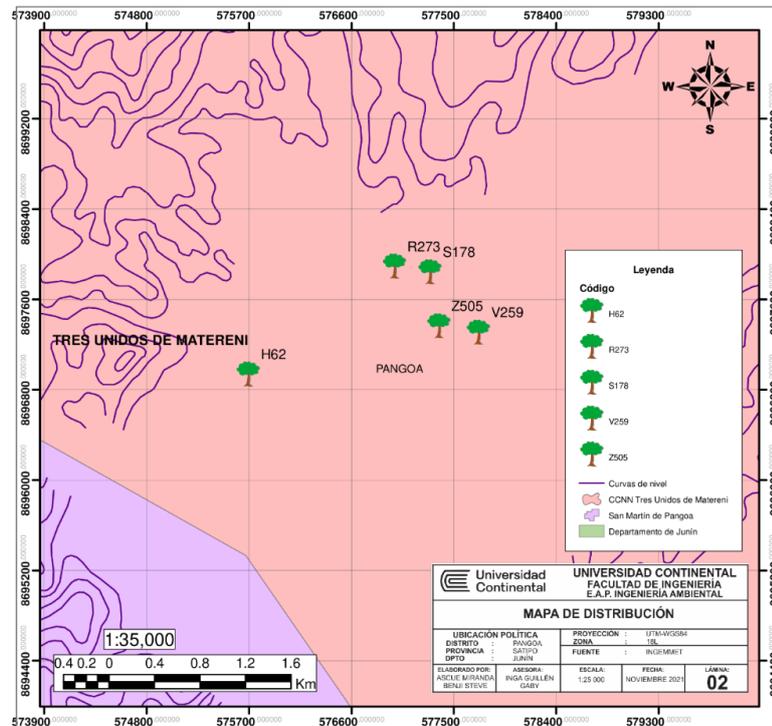
**Figura 35. Constancia de identificación botánica**

## Anexo 4

### Mapas de ubicación y distribución



**Figura 36: Mapa de ubicación**



**Figura 37: Mapa de distribución de especies**

## Anexo 5

### Datos de los árboles muestreados

Tabla 9. Datos de los árboles muestreados

N°	Código	DAP (cm)	Altura (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Coordenadas	
					ESTE	NORTE
1	H62	130	14	12.079	575690	8696943
2	R273	91	12	5.073	576976	8697898
3	S178	66	17	3.780	577287	8697849
4	V259	63	10	2.026	577712	8697313
5	Z505	89	12	4.852	577364	8697371

## Anexo 6

### Datos de precipitación para la provincia de Satipo, periodo 1989-2020

Tabla 10. Datos de precipitación, periodo 1989-2020.

Estación	Satipo			Código	000571							
Tipo	Convencional			Latitud	11° 13' 41"							
Departamento	Junín			Longitud	74° 37' 3"							
Provincia	Satipo			Altitud	660 m.s.n.m.							
Distrito	Satipo											
Variable: Precipitación (mm)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1989	313.1	295.2	221.6	194.5	104.0	129.4	28.2	115.8	163.4	281.1	187.2	244.6
1990	229.7	414.4	289.4	152.8	104.3	134.8	83.6	90.2	127.4	290.5	178.3	213.0
1991	406.7	296.4	335.4	271.4	51.0	69.4	16.0	8.8	100.0	163.2	189.4	202.6
1992	239.8	318.4	243.8	130.4	94.8	83.6	70.6	102.4	82.1	142.0	193.6	214.6
1993	299.7	248.3	377.9	260.6	155.8	120.6	99.6	132.6	155.8	233.4	195.9	249.8
1994	284.2	295.9	379.5	221.0	128.6	12.4	29.4	49.0	156.4	213.6	234.4	209.6
1995	195.0	204.6	388.8	97.6	78.2	55.4	50.2	54.2	107.4	150.8	137.7	142.2
1996	234.4	265.0	283.1	169.8	132.7	49.9	67.3	157.6	17.8	59.3	50.4	88.3
1997	131.4	86.0	52.9	24.5	49.9	30.7	53.0	137.2	128.5	134.9	174.4	207.0
1998	231.7	297.7	210.2	137.4	27.2	47.3	6.1	81.4	183.7	358.9	184.6	240.7
1999	292.3	397.2	246.5	107.8	69.6	21.3	22.6	64.3	167.9	134.7	123.2	215.4
2000	244.2	212.3	278.1	101.1	108.9	49.3	40.5	111.4	89.0	100.2	206.4	160.3
2001	252.0	253.3	305.5	121.2	50.6	14.7	90.8	74.0	158.0	179.2	120.9	325.0
2002	160.1	295.9	191.0	82.4	105.4	5.1	129.2	116.7	135.4	224.2	159.4	283.0
2003	298.0	133.5	327.1	70.4	82.4	176.8	94.1	91.0	150.6	93.3	169.9	193.5
2004	286.3	308.5	140.5	87.6	96.8	39.5	140.5	139.4	68.8	176.2	148.9	139.2
2005	117.5	185.0	248.7	182.4	22.4	22.4	71.0	81.5	61.2	218.7	197.5	279.6
2006	236.9	180.5	84.8	85.9	41.9	117.4	27.0	77.1	101.0	329.6	208.7	263.1
2007	193.7	131.3	210.4	69.5	89.9	67.5	72.4	97.1	73.1	175.6	99.0	299.7
2008	304.7	349.4	162.5	246.1	88.2	33.1	76.1	55.3	81.9	191.0	100.7	162.8
2009	264.7	251.5	175.5	84.3	127.1	58.9	32.2	25.6	97.1	186.7	200.2	266.0
2010	315.7	282.6	175.2	80.3	49.9	112.4	50.1	52.2	31.3	129.8	158.0	301.5
2011	235.7	309.0	63.6	228.7	156.7	39.0	100.2	74.6	98.7	239.3	143.4	216.9
2012	244.3	457.2	265.1	169.4	74.3	46.8	21.3	29.6	41.3	111.1	198.5	317.7
2013	145.1	334.6	226.1	39.7	26.7	114.1	17.7	150.3	65.6	150.4	112.5	214.9
2014	339.4	220.6	251.2	122.8	95.0	63.8	92.7	37.3	128.5	87.3	149.6	242.0
2015	309.6	260.7	249.7	140.6	140.2	31.6	33.0	83.2	156.4	152.5	246.9	177.1
2016	95.4	275.3	145.4	49.1	5.8	40.0	44.4	79.0	58.8	156.9	94.1	297.1
2017	294.5	177.8	212.5	171.0	198.0	102.5	14.9	89.8	183.9	185.9	149.8	256.9
2018	315.8	247.1	117.9	96.2	59.8	91.9	58.0	107.8	65.6	169.1	223.8	238.6
2019	318.8	226.8	231.4	90.2	100.2	36.4	138.7	6.5	43.9	180.3	208.5	244.7
2020	268.1	265.1	153.8	234.9	107.2	100.3	7.9	69.9	66.7	96.4	43.1	192.4

## Anexo 7

### Datos de temperatura para la provincia de Satipo, periodo 2000-2020

**Tabla 11. Datos de temperatura, periodo 2000-2020**

Estación	Satipo				Código	000571						
Tipo	Convencional				Latitud	11° 13' 41"						
Departamento	Junín				Longitud	74° 37' 3"						
Provincia	Satipo				Altitud	660 m.s.n.m.						
Distrito	Satipo											
Variable: Temperatura (°C)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	29.6	29.5	29.5	30.3	30.6	30.2	30.3	31.5	31.0	31.2	32.0	30.2
2001	29.1	29.0	29.6	31.1	30.4	30.7	30.8	32.0	31.4	32.6	31.4	31.7
2002	31.2	29.7	30.1	31.2	30.8	30.7	30.0	31.2	31.0	31.3	30.3	29.7
2003	30.3	29.9	30.2	30.7	30.7	30.9	30.0	30.1	31.2	31.9	31.9	30.0
2004	31.1	29.7	30.6	31.1	29.3	29.6	29.7	30.0	30.4	31.1	31.0	30.6
2005	30.6	30.9	30.1	30.9	31.1	31.3	31.7	31.0	31.5	31.9	32.0	30.5
2006	30.4	30.5	31.2	31.0	31.0	31.0	31.8	32.2	31.9	31.5	30.9	30.7
2007	30.4	30.3	30.0	31.5	30.7	31.3	30.8	31.1	31.9	31.7	31.6	30.4
2008	29.5	30.5	31.3	31.6	30.8	30.2	31.4	31.6	32.4	31.8	32.1	30.6
2009	29.5	29.5	30.8	30.8	30.9	30.1	30.4	32.2	33.0	33.2	32.1	29.8
2010	30.6	31.2	30.9	32.4	32.7	32.2	31.1	33.1	34.2	35.1	34.6	31.9
2011	31.1	29.5	32.6	32.7	31.2	32.5	33.4	32.1	34.5	34.7	35.5	33.6
2012	31.5	30.6	32.7	32.7	31.8	32.1	34.2	33.9	34.4	34.1	31.9	30.3
2013	32.1	33.1	31.2	33.3	31.6	30.8	31.4	31.7	33.5	32.2	32.5	31.3
2014	30.2	30.6	31.5	32.1	31.2	31.7	31.0	32.5	32.6	33.0	33.0	31.3
2015	31.4	30.8	31.3	31.1	30.8	31.3	31.8	33.5	33.3	33.3	32.4	31.8
2016	33.3	31.9	31.9	32.5	33.4	31.4	33.2	33.8	33.3	33.3	34.4	32.5
2017	32.0	30.9	31.1	31.4	31.6	30.7	31.0	32.6	32.4	33.3	32.3	31.6
2018	30.9	31.2	31.2	31.7	31.9	30.5	32.0	31.6	33.9	32.8	32.1	31.4
2019	31.3	31.0	31.7	31.5	31.3	32.0	30.8	32.1	33.1	32.2	32.8	31.1
2020	32.0	30.8	32.4	31.2	31.2	31.0	31.8	32.9	32.9	33.2	34.5	30.9

## Anexo 8

### Inter correlación de series cronológicas de la especie *Caryocar glabrum*

Tabla 12. Valores de intercorrelación de las series cronológicas.

Sec.	Serie	Intervalo	Valor de intercorrelación							
			1800 1849	1825 1874	1850 1899	1875 1924	1900 1974	1925 1974	1950 1999	1975 2024
1	H62A	1800-2020	0.50	0.45	0.39	0.38	0.45	0.44	0.49	0.63
2	H62B	1800-2020	0.56	0.62	0.51	0.36	0.45	0.51	0.46	0.57
3	R273B	1810-2020	0.45	0.51	0.45	0.52	0.51	0.46	0.45	0.41
4	R273C	1810-2020	0.43	0.49	0.41	0.48	0.45	0.46	0.46	0.47
5	S178B	1898-2020				0.39	0.39	0.33	0.34	0.41
6	S178C	1898-2020				0.45	0.46	0.40	0.35	0.43
7	V259A	1856-2020			0.39	0.38	0.43	0.38	0.38	0.51
8	V259C	1856-2020			0.38	0.39	0.42	0.41	0.41	0.52
9	Z505A	1902-2020					0.60	0.62	0.48	0.36
10	Z505B	1902-2020					0.49	0.45	0.47	0.41
<b>Correlación promedio</b>			0.48	0.52	0.42	0.42	0.46	0.45	0.43	0.47

## Anexo 9

### Índice de precipitación estandarizado

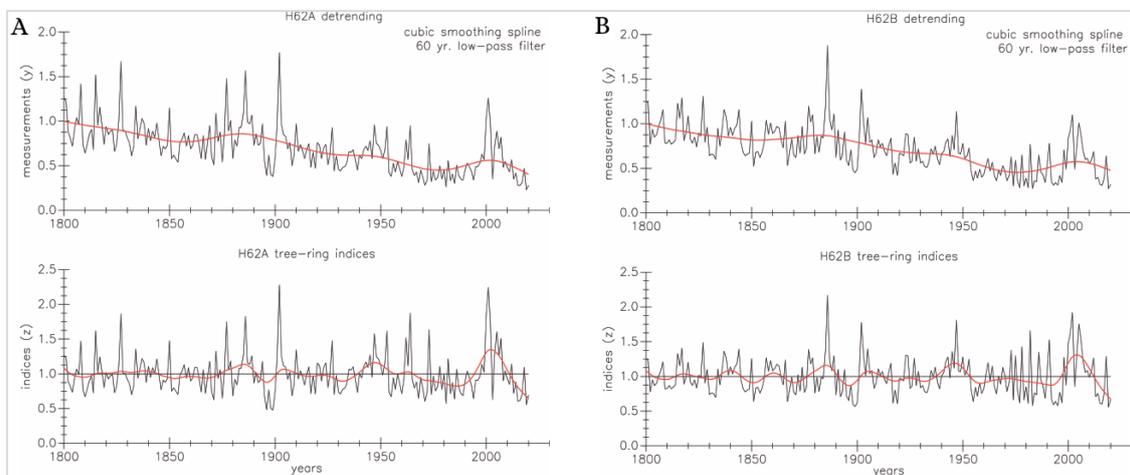
Tabla 13. Índice de precipitación estandarizado (SPI)

Variable: Índice de precipitación (mm)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1989	0.854	0.361	-0.094	0.865	0.362	1.493	-0.804	0.852	1.253	1.492	0.424	0.299
1990	-0.346	1.841	0.644	0.250	0.368	1.620	0.655	0.196	0.485	1.627	0.233	-0.274
1991	2.200	0.377	1.145	2.000	-0.853	0.083	-1.125	-1.894	-0.098	-0.214	0.471	-0.462
1992	-0.201	0.650	0.148	-0.080	0.150	0.417	0.313	0.508	-0.480	-0.521	0.561	-0.245
1993	0.660	-0.220	1.607	1.841	1.548	1.287	1.076	1.284	1.091	0.801	0.611	0.392
1994	0.437	0.370	1.625	1.257	0.925	-1.257	-0.772	-0.862	1.104	0.515	1.438	-0.335
1995	-0.845	-0.763	1.726	-0.564	-0.230	-0.246	-0.224	-0.729	0.060	-0.393	-0.640	-1.556
1996	0.050	0.447	1.897	0.875	1.019	-0.620	0.226	1.925	-1.849	-1.721	1.138	-2.536
1997	-1.761	-2.235	-1.929	-1.643	-0.878	-0.827	-0.151	1.402	0.509	-0.623	0.149	-0.382
1998	-0.318	0.393	-0.218	0.023	-1.399	-0.437	-1.386	-0.030	1.685	2.616	0.368	0.228
1999	0.554	1.628	0.177	-0.414	-0.427	-1.048	-0.951	-0.469	1.349	-0.626	-0.951	-0.231
2000	-0.138	-0.667	0.521	-0.513	0.474	-0.390	-0.480	0.740	-0.332	-1.125	0.836	-1.228
2001	-0.026	-0.158	0.819	-0.216	-0.862	-1.203	0.845	-0.220	1.138	0.017	-1.000	1.755
2002	-1.348	0.370	-0.427	-0.789	0.393	-1.429	1.856	0.876	0.656	0.668	-0.173	0.994
2003	0.636	-1.646	1.054	-0.966	-0.134	2.608	0.931	0.216	0.980	-1.225	0.052	-0.627
2004	0.468	0.526	-0.976	-0.712	0.196	-0.620	2.153	1.458	-0.763	-0.026	-0.398	-1.611
2005	-1.961	-1.006	0.201	0.687	-1.509	-1.022	0.323	-0.028	-0.925	0.589	0.645	0.933
2006	-0.244	-1.062	-1.582	-0.737	-1.063	1.211	-0.835	-0.141	-0.077	2.193	0.886	0.633
2007	-0.865	-1.674	-0.216	-0.979	0.038	0.038	0.359	0.372	-0.671	-0.035	-1.471	1.297
2008	0.732	1.034	-0.737	1.627	-0.001	-0.770	0.456	-0.700	-0.485	0.188	-1.434	-1.184
2009	0.157	-0.181	-0.595	-0.760	0.891	-0.163	-0.698	-1.462	-0.160	0.126	0.704	0.686
2010	0.891	0.205	-0.599	-0.820	-0.878	1.094	-0.227	-0.780	-1.561	-0.697	-0.203	1.330

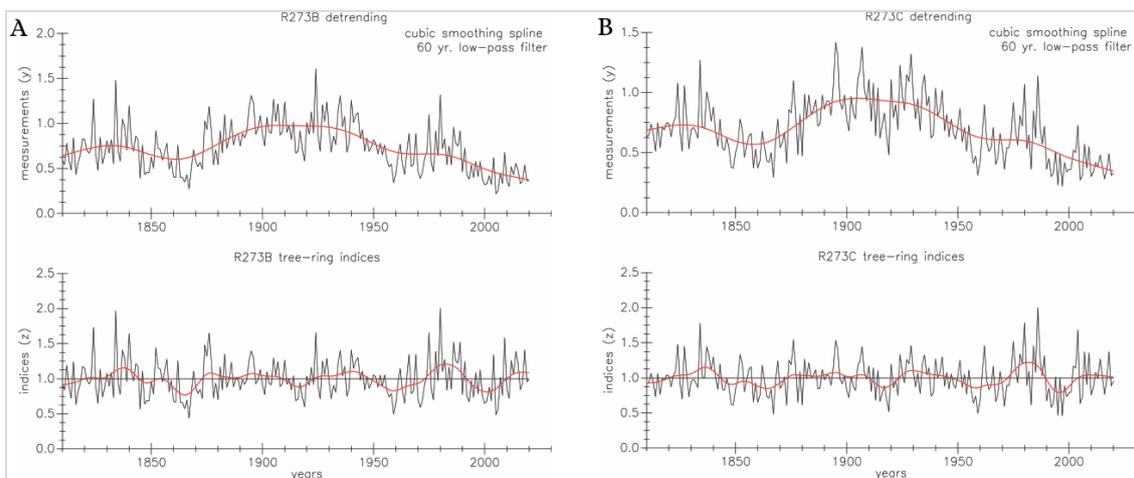
<b>2011</b>	-0.260	0.533	-1.813	1.370	1.569	-0.632	1.092	-0.205	-0.126	0.887	-0.517	-0.203
<b>2012</b>	-0.137	2.373	0.380	0.495	-0.319	-0.448	-0.985	-1.360	-1.348	-0.968	0.667	1.624
<b>2013</b>	-1.564	0.851	-0.045	-1.419	-1.410	1.134	-1.080	1.738	-0.831	-0.399	-1.181	-0.239
<b>2014</b>	1.232	-0.564	0.228	-0.192	0.155	-0.049	0.895	-1.162	0.509	-1.312	-0.384	0.252
<b>2015</b>	0.803	-0.067	0.212	0.070	1.191	-0.806	-0.677	0.016	1.104	-0.369	1.706	-0.924
<b>2016</b>	-2.279	0.115	-0.923	-1.280	-1.889	-0.608	-0.377	-0.093	-0.976	-0.305	-1.576	1.250
<b>2017</b>	0.586	-1.096	-0.193	0.519	2.515	0.861	-1.154	0.185	1.689	0.114	-0.380	0.522
<b>2018</b>	0.892	-0.235	-1.222	-0.585	-0.652	0.612	-0.019	0.647	-0.831	-0.129	1.210	0.190
<b>2019</b>	0.935	-0.487	0.013	-0.673	0.274	-0.693	2.106	-1.953	-1.293	0.033	0.881	0.301
<b>2020</b>	0.206	-0.012	-0.831	1.462	0.435	0.809	-1.338	-0.326	-0.807	-1.180	-2.672	-0.647

## Anexo 10

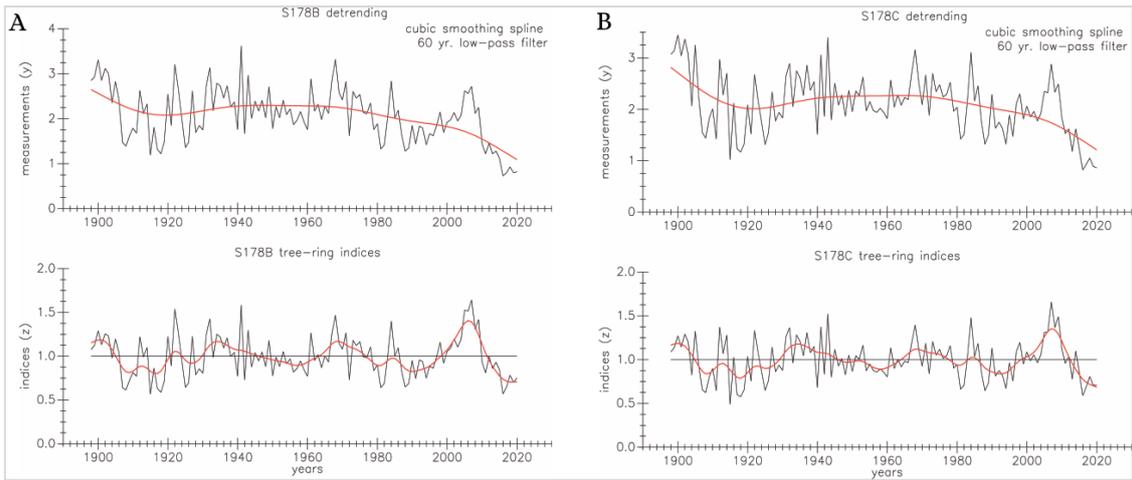
### Estandarización de las series



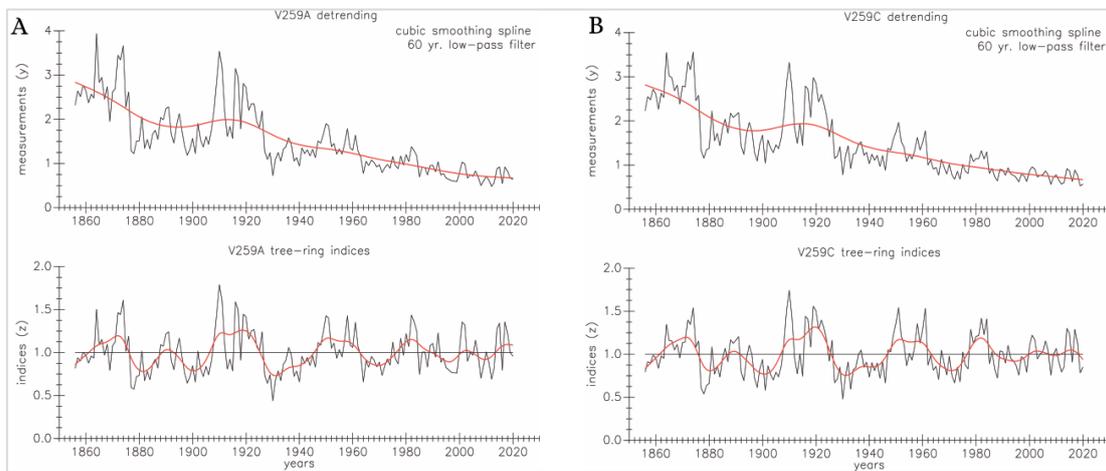
**Figura 38. Estandarización de la muestra H62**



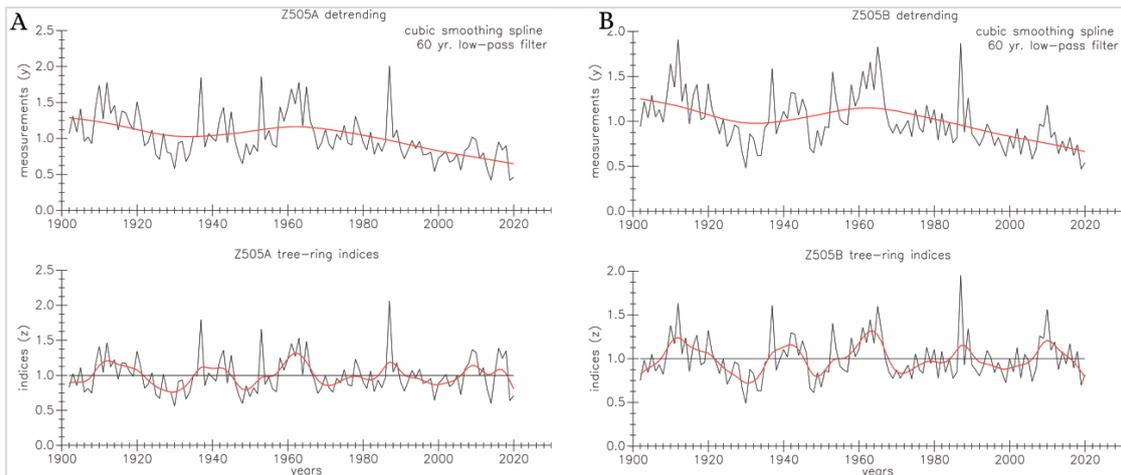
**Figura 39. Estandarización de la muestra R273**



**Figura 40. Estandarización de la muestra S178**



**Figura 41. Estandarización de la muestra V259**



**Figura 42. Estandarización de la muestra Z505**

## Anexo 11

### Correlación con variables climáticas

**Tabla 14. Correlación entre índice de ancho de anillo, precipitación y temperatura**

Especie		<i>Caryocar glabrum</i>	
Variable climática		Precipitación (pp)	Temperatura (T°)
Meses		Coeficiente de correlación Pearson	
<b>Año previo (t-1)</b>	<b>Septiembre</b>	0.086	-0.515
	<b>Octubre</b>	0.036	-0.359
	<b>Noviembre</b>	-0.346	-0.171
	<b>Diciembre</b>	0.002	-0.084
	<b>Enero</b>	-0.023	-0.539
	<b>Febrero</b>	-0.075	-0.473
	<b>Marzo</b>	-0.262	-0.454
	<b>Abril</b>	-0.166	-0.293
	<b>Mayo</b>	-0.058	-0.391
	<b>Junio</b>	-0.128	-0.333
	<b>Julio</b>	0.134	-0.232
	<b>Agosto</b>	0.011	-0.316
<b>Año actual (t)</b>	<b>Sep</b>	-0.026	-0.298
	<b>Oct</b>	0.245	-0.219
	<b>Nov</b>	0.202	-0.587 (*)
	<b>Dic</b>	0.380 (*)	-0.447 (*)
	<b>Ene</b>	-0.025	-0.358
	<b>Feb</b>	0.038	0.071
	<b>Mar</b>	-0.165	-0.364
	<b>Abr</b>	-0.222	-0.057

(\*) Valores estadísticamente significativos.

## Anexo 12

### Valores extremos en precipitación (Percentil 75 y 25)

Tabla 15. Años extremos (Percentiles 75 y 25), y sus valores altos positivos y bajos negativos en el periodo de tiempo 1989-2000

Percentil 75					Percentil 25				
	AÑO	Crono Estándar	AÑO	Índice Precipitación		AÑO	Crono Estándar	AÑO	Índice Precipitación
1	1923	1.068	2012	1.08	1	1930	0.726	2019	0.744
2	2012	1.08	2001	1.088	2	2019	0.744	2016	0.799
3	2001	1.088	2005	1.128	3	1933	0.761	2020	0.806
4	1916	1.097	2004	1.148	4	1971	0.762	1999	0.812
5	1986	1.097	2018	1.164	5	1915	0.778	2013	0.834
6	1935	1.1	2002	1.17	6	1919	0.792	1993	0.839
7	1902	1.113	2007	1.233	7	1972	0.793	1995	0.848
8	1975	1.12	2009	1.244	8	2016	0.799	1996	0.858
9	1922	1.121			9	1957	0.801	1994	0.862
10	1927	1.122			10	2020	0.806		
11	2005	1.128			11	1999	0.812		
12	1924	1.131			12	1968	0.818		
13	1945	1.134			13	1925	0.821		
14	1905	1.135			14	1981	0.828		
15	2004	1.148			15	1918	0.834		
16	1937	1.153			16	2013	0.834		
17	1962	1.153			17	1993	0.839		
18	2018	1.164			18	1928	0.843		
19	2002	1.17			19	1995	0.848		
20	1912	1.171			20	1908	0.85		
21	1982	1.171			21	1977	0.854		
22	1984	1.176			22	1985	0.855		
23	1953	1.183			23	1996	0.858		
24	1961	1.205			24	1988	0.862		
25	1920	1.22			25	1994	0.862		
26	1978	1.232			26	1954	0.864		
27	2007	1.233			27	1956	0.867		
28	2009	1.244			28	1938	0.868		
29	1910	1.288			29	1959	0.869		
30	1943	1.295			30	1926	0.87		

## Anexo 13

### Parámetros generales de la cronología estándar de *Caryocar glabrum*

Tabla 16. Resultados obtenidos de parámetros generales de la cronología de *Caryocar glabrum*.

Parámetro	Resultado obtenido
N° de series	10 radios
N° de árboles	5 árboles
Rango	1800-2020
Periodo de EPS > 0.85	1900-2020
SM promedio	0.82
EPS promedio	0.841
Rbar promedio	0.305

(\*) Valores obtenidos en ARSTAN.

## Anexo 14

### Comprobación de la hipótesis

#### Análisis del diámetro de vasos

##### a) Diagrama de caja y bigotes

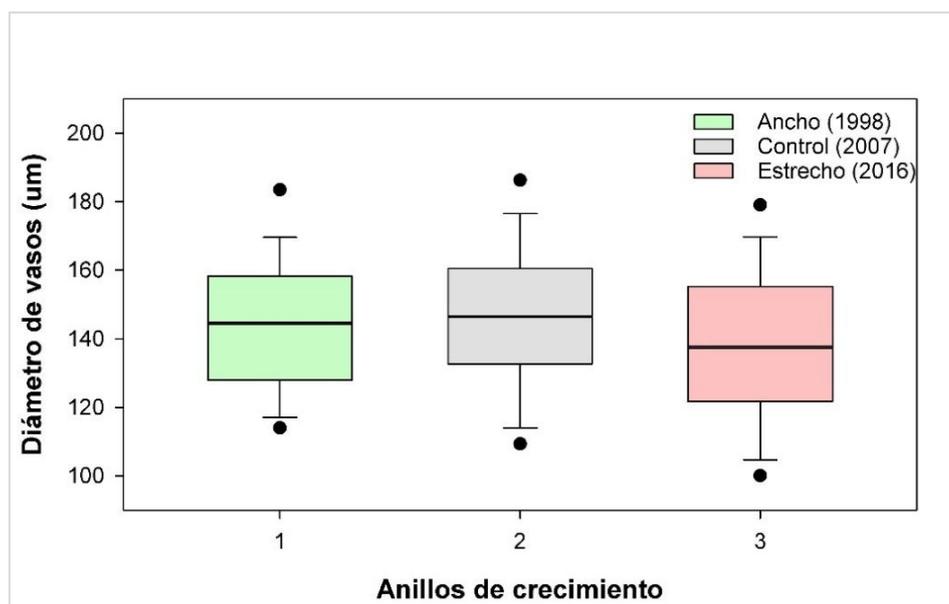


Figura 43. Diagrama de caja y bigotes del diámetro de vasos.

##### b) Prueba Anova de un factor ( $\alpha = 0.05$ )

Fuentes	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	$\rho$ valor
Entre grupos	12068.75	2	6034.377	7.882544	0.000462
Dentro de grupos	227364.4	297	765.5368		
Total	239433.2	299	800.7799		

##### c) Prueba Tukey

Grupo 1	Grupo 2	Media	StdError	V <sub>Superior</sub>	V <sub>Inferior</sub>	$\rho$ valor
Ancho	Control	5.009	2.766	-4.207	14.225	0.407481
Ancho	Estrecho	15.240	2.766	6.0246	24.457	0.000356
Control	Estrecho	10.231	2.766	1.0154	19.447	0.025349

## Análisis de la frecuencia de vasos/mm<sup>2</sup>

### a) Diagrama de caja y bigotes

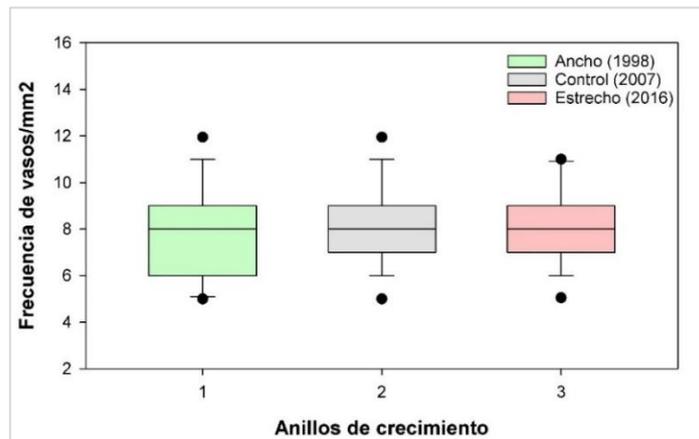


Figura 44. Diagrama de caja y bigotes de la frecuencia de vasos/mm<sup>2</sup>

### b) Prueba Anova de un factor ( $\alpha = 0.05$ )

Fuentes	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	$\rho$ valor
Entre grupos	0.95	2	0.475	0.12296	0.88441285
Dentro de grupos	451.975	117	3.863		
Total	452.925	119	3.806		

## Análisis de la longitud de vasos ( $\mu\text{m}$ )

### a) Diagrama de caja y bigotes

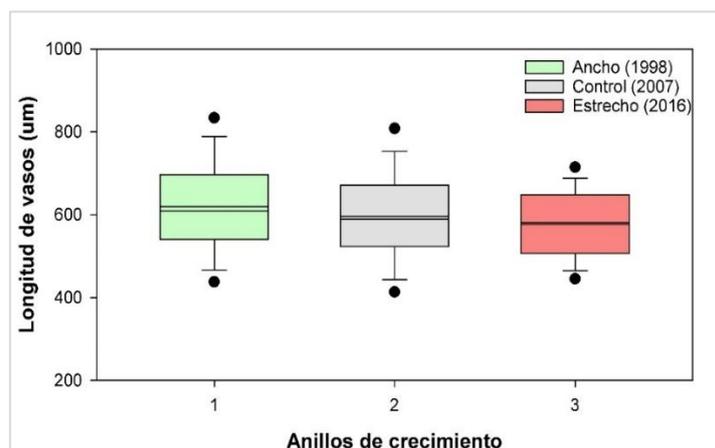


Figura 45. Diagrama de caja y bigotes de la longitud de vasos.

**b) Prueba Anova de un factor ( $\alpha = 0.05$ )**

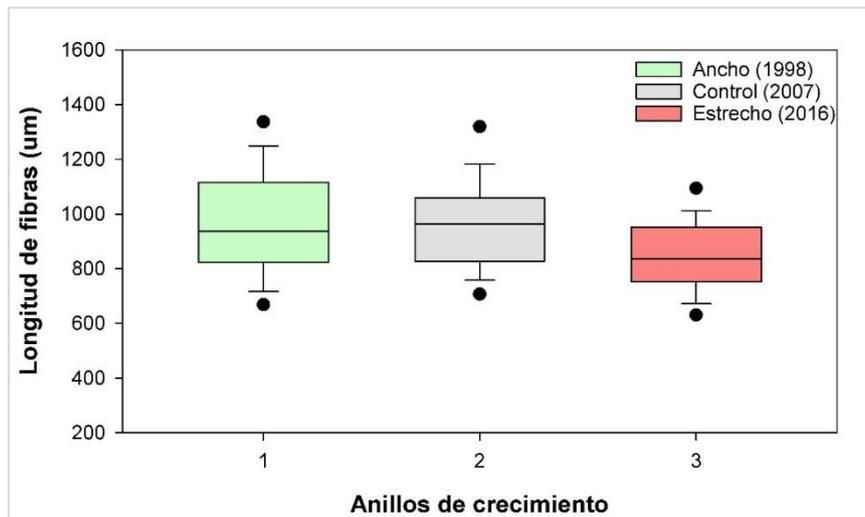
Fuentes	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	$\rho$ valor
Entre grupos	138915.1	2	69457.55	5.610255	0.003923
Dentro de grupos	5534066	447	12380.46		
Total	5672982	449	12634.7		

**c) Prueba Tukey**

Grupo 1	Grupo 2	Media	StdError	V <sub>Superior</sub>	V <sub>Inferior</sub>	$\rho$ valor
Ancho	Control	22.916	9.084	-7.293	53.126	0.176218
Ancho	Estrecho	43.006	9.084	12.796	73.216	0.002544
Control	Estrecho	20.089	9.084	-10.120	50.299	0.262586

**Análisis de la longitud de fibras ( $\mu\text{m}$ )**

**a) Diagrama de caja y bigotes**



**Figura 46. Diagrama de caja y bigotes de la longitud de fibras.**

**b) Prueba Anova de un factor ( $\alpha = 0.05$ )**

Fuentes	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	$\rho$ valor
Entre grupos	1455265	2	727632.4	23.12862	0.000276
Dentro de grupos	14062738	447	31460.26		
Total	15518002	449	34561.25		

**c) Prueba Tukey**

Grupo 1	Grupo 2	Media	StdError	V <sub>Superior</sub>	V <sub>Inferior</sub>	$\rho$ valor
Ancho	Control	17.770	14.482	30.387	65.927	0.661
Ancho	Estrecho	128.530	14.482	80.376	176.691	0.00246
Control	Estrecho	110.763	14.482	62.606	158.921	0.00311