

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CONSERVACIÓN DE RECURSOS  
FORESTALES**



**“DENDROCLIMATOLOGÍA DE *Bursera graveolens*, *Cedrela kuelapensis*  
y *Eriotheca peruviana* DE LOS BOSQUES ESTACIONALMENTE  
SECOS DEL VALLE DEL MARAÑÓN, PERÚ”**

**Presentada por:**

**LINDA ELVIRA ZEGARRA AGÜERO**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO  
MAGISTER SCIENTIAE EN CONSERVACIÓN DE  
RECURSOS FORESTALES**

**Lima - Perú**

**2024**

# DENDROCLIMATOLOGÍA DE *Bursera graveolens*, *Cedrela kuelapensis* y *Eriotheca peruviana* DE LOS BOSQUES ESTACIONALMENTE SECOS DEL VALLE DEL MARAÑÓN, PERÚ

## INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

Dr. Manuel Chavesta

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	4%
2	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	2%
3	<a href="http://colposdigital.colpos.mx:8080">colposdigital.colpos.mx:8080</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://repositorio.unp.edu.pe">repositorio.unp.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://eprints.uanl.mx">eprints.uanl.mx</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://condesan.org">condesan.org</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Fuente de Internet	<1%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA  
ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN CONSERVACIÓN DE RECURSOS  
FORESTALES**

**“DENDROCLIMATOLOGÍA DE *Bursera graveolens*, *Cedrela kuelapensis*  
y *Eriotheca peruviana* DE LOS BOSQUES ESTACIONALMENTE  
SECOS DEL VALLE DEL MARAÑÓN, PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO  
MAGISTER SCIENTIAE**

**Presentada por:**

**LINDA ELVIRA ZEGARRA AGÜERO**

**Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:**

Ph.D. Héctor Gonzales Mora  
**PRESIDENTE**

Dr. Manuel Chavesta Custodio  
**ASESOR**

Dr. José Luis Marcelo Peña  
**CO-ASESOR**

Ph.D. Carlos Reynel Rodríguez  
**MIEMBRO**

Dr. Nicolás Ibáñez Blancas  
**MIEMBRO**

## DEDICATORIA

*Esto va para mí, porque fueron meses muy intensos, de largas noches, de frustraciones, pero también de celebraciones.*

*A mi familia y a Jean por todo el amor y apoyo diario.*

*¡Gracias!*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradezco a todas las personas que me apoyaron en el desarrollo y revisión de este trabajo de investigación; especialmente a mis amigos: el Dr. Ernesto Rodríguez (México), a la Dra. Eugenia Ferrero (Argentina), al Mg. Sc. Rolando Montenegro (Perú), al Dr. Alejandro Venegas (Chile), al Mg. Sc. Ricardo Ortega (Perú/Brasil) y a la Ing. Joali Sánchez (Perú); contribuyendo no solo con sus conocimientos sino con palabras de aliento durante meses.*

*Agradezco también a mis asesores, el Dr. Marcelo Peña por confiar en mí para realizar este proyecto, por la comprensión en los momentos más duros durante el 2022 y por su forma alegre de ver la vida; así como también agradezco al Dr. Manuel Chavesta por el apoyo, guía y paciencia a lo largo del proceso de la escrita del documento.*

*Agradezco a mis padres por las conversaciones de largo aliento, por el amor, por los consejos y la confianza depositada en mí.*

*Agradezco a Jean, por la motivación diaria, por impulsarme siempre a ser mejor y por darme calma en los momentos que más lo necesitaba.*

*Agradezco a ProCiencia por el financiamiento del proyecto y por las facilidades que me dieron en todo este tiempo.*

*Agradezco también a la dendrocronología, porque me llevó a conocer a personas increíbles de diferentes partes del mundo, a estudiar en el extranjero y a desarrollar mucha paciencia.*

*Y finalmente me agradezco a mí, por creer siempre que es posible, por continuar a pesar de los obstáculos y por lograrlo.*

## ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1. DESCRIPCIÓN DE ESPECIES .....	3
2.1.1. <i>Bursera graveolens</i> .....	3
2.1.2. <i>Cedrela kuelapensis</i> .....	3
2.1.3. <i>Eriotheca peruviana</i> .....	4
2.2. DENDROCRONOLOGÍA .....	5
2.2.1. Anillos de crecimiento y dendrocronología en especies tropicales de bosque seco.....	6
2.2.2. Dendroclimatología .....	7
2.3. SEQUÍAS Y CRECIMIENTO ARBÓREO .....	8
2.4. FENÓMENO EL NIÑO (ENOS) Y SU RELACIÓN CON LOS ÁRBOLES .....	9
2.5. CAMBIO CLIMÁTICO Y RECONSTRUCCIONES CLIMÁTICAS USANDO ÁRBOLES .....	11
2.5.1. Cambio climático y crecimiento vegetal.....	11
2.5.2. Reconstrucciones climáticas.....	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1. ZONA DE ESTUDIO .....	14
3.1.1. Localización geográfica.....	14
3.1.2. Clima.....	15
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS .....	17
3.2.1. Materiales de campo.....	17
3.2.2. Materiales de laboratorio .....	17
3.3.3. Equipos y programas usados .....	17
3.3. METODOLOGÍA .....	17
3.3.1. Caracterización de anillos de crecimiento .....	17
3.3.2. Análisis dendroclimatológicos .....	24
3.3.3. Reconstrucción climática.....	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	29
4.1. CARACTERIZACIÓN DE ANILLOS DE CRECIMIENTO .....	29

4.2. ANÁLISIS DENDROCLIMATOLÓGICO .....	33
4.3. RECONSTRUCCIÓN CLIMÁTICA .....	57
V. CONCLUSIONES .....	62
VI. RECOMENDACIONES.....	64
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65
VIII. ANEXOS .....	86

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de eventos El Niño en el Perú, periodo 1951 a 2018.....	10
Tabla 2: Localización geográfica de las tres zonas de estudio.....	14
Tabla 3: Resumen de los datos meteorológicos usados .....	25
Tabla 4: Estadísticos de la Datación Cruzada y del estandarizado .....	39
Tabla 5: Coeficientes de correlación de Pearson entre las series de IAA y variables climáticas locales.....	41
Tabla 6: Coeficiente de correlación de Pearson entre especies y variables climáticas mensuales: precipitación y temperatura promedio mensual .....	42



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Regiones Niño .....	11
Figura 2: Lugares de colección de muestras de las especies evaluadas .....	15
Figura 3: Climatogramas cercanos a las zonas de muestreo .....	16
Figura 4: (A) y (B): muestras de baguetas y discos (C) Montaje de baguetas sobre soportes (D) Lijado de muestras (E) y (F): muestras listas para análisis .....	20
Figura 5: (A) Marcación de anillos de crecimiento (B) Escaneo de muestras a 2400 DPI (C) Medición de anillos de crecimiento en programa CooRecorder 7.8.1 (D) Datos exportados al programa Microsoft Excel.....	21
Figura 6: Ejemplo de marcado de anillos de crecimiento siguiendo la dirección de los radios.....	22
Figura 7: Control de calidad de las mediciones de las baguetas en el programa CooRecorder 7.8.1.....	23
Figura 8: Variabilidad de ancho de anillos de crecimiento de <i>Bursera graveolens</i> .....	29
Figura 9: Presencia de falsos anillos en <i>Bursera graveolens</i> .....	30
Figura 10: Variabilidad de ancho de anillos de crecimiento de <i>Cedrela kuelapensis</i> .....	30
Figura 11: Variabilidad de ancho de anillos de crecimiento de <i>Eriotheca peruviana</i> .....	31
Figura 12: Intervalos de crecimiento de las 42 muestras ( <i>Bursera graveolens</i> ).....	33
Figura 13: Intervalos de crecimiento de las 35 muestras ( <i>Cedrela kuelapensis</i> ).....	34
Figura 14: Intervalos de crecimiento de las 49 muestras ( <i>Eriotheca peruviana</i> ) .....	35
Figura 15: Cronologías de árboles de <i>Bursera graveolens</i> . Línea negra: índice ARSTAN (std). Línea roja: representa el spline. Área gris: número de muestras.....	37
Figura 16: Cronologías de árboles de <i>Cedrela kuelapensis</i> . Línea negra: índice de Ancho de anillos (std). Línea roja: representa el spline. Área gris: número de muestras .....	38
Figura 17: Cronología de árboles de <i>Eriotheca peruviana</i> . Línea negra: índice ARSTAN (std). Línea roja: representa el spline. Área gris: número de muestras.....	38
Figura 18: Correlaciones entre los índices de anillos de crecimiento de <i>Bursera graveolens</i> con las variables climáticas durante 2 estaciones de crecimiento: previo (t-1) y actual (t). Las líneas horizontales representan el nivel de significancia.....	43

Figura 19: Correlación de pp acumulada (Estación húmeda) con el IAA (std) de <i>Bursera graveolens</i> – Estación meteorológica de Cajabamba (1984 -2021) .....	44
Figura 20: Correlaciones entre los índices de anillos de crecimiento de <i>Cedrela kuelapensis</i> con las variables climáticas durante 2 estaciones de crecimiento: previo (t-1) y actual (t). Las líneas horizontales representan el nivel de significancia.....	45
Figura 21: Correlaciones de pp acumulada (estación húmeda) con la cronología IAA (std) de <i>Cedrela kuelapensis</i> – Estación meteorológica El Palto (2003-2018). .....	46
Figura 22: Correlaciones de pp acumulada (estación húmeda) con la cronología IAA (std) de <i>Cedrela kuelapensis</i> – Estación meteorológica San Marcos.....	46
Figura 23: Correlaciones de pp acumulada (estación húmeda) con la cronología IAA (std) de <i>Cedrela kuelapensis</i> – Colcamar (1948 – 2018) .....	47
Figura 24: Correlaciones entre los índices de anillos de crecimiento de <i>Eriotheca peruviana</i> con las variables climáticas durante 2 estaciones de crecimiento: previo (t-1) y actual (t). Las líneas horizontales representan el nivel de significancia.....	48
Figura 25: Correlaciones de pp acumulada (estación húmeda) con STD <i>Eriotheca peruviana</i> .....	49
Figura 26: Correlación entre el índice de ancho de anillo de crecimiento (IAA) de <i>Bursera graveolens</i> y el índice Costero El Niño (ICEN) promedio del periodo diciembre/enero/febrero (DEF), durante los años 1950 - 2021. ....	54
Figura 27: Correlación entre el índice de ancho de anillo de crecimiento (IAA) de <i>Cedrela kuelapensis</i> y el índice Costero El Niño (ICEN) promedio del periodo marzo/abril/mayo (MAM), durante los años 1950 – 2018.....	54
Figura 28: Correlación entre el índice de ancho de anillo de crecimiento (IAA) de <i>Eriotheca peruviana</i> y el índice Costero El Niño (ICEN) promedio del periodo de diciembre/enero/febrero (DEF), durante los años 1950-2021 .....	55
Figura 29: Comparación entre valores observados y valores reconstruidos de la precipitación acumulada de febrero-abril ( $P_{FMA}$ ) para el periodo de 1984-2021, en Cajabamba, Cajamarca.....	58
Figura 30: Precipitación reconstruida para <i>Bursera graveolens</i> de febrero a abril (1912-2021) .....	58

Figura 31: Comparación entre valores observados y valores reconstruidos de la precipitación acumulada de diciembre-febrero ( $P_{DEF}$ ) para el periodo de 2003-2018, en El Palto, Amazonas .....	59
Figura 32: Precipitación reconstruida para <i>Cedrela kuelapensis</i> de diciembre a febrero (1902-2018) .....	60

## ÍNDICE DE ANEXOS

anexo 1: Constancia de determinación botánica.....	86
anexo 2: Datos dasométricos de las tres especies colectadas .....	87
anexo 3: Datos de la estación meteorológica convencional de Cajabamba - SENAMHI.....	88
anexo 4: Datos de Colcamar - Climatic Research Unit (CRU) TS 4.04 – Precipitación (mm) .	94
anexo 5: Series individuales de ancho de anillos de crecimiento con señal común .....	106
anexo 6: Coeficientes de correlación de Pearson entre las cronologías de índices de ancho de anillos de las 3 especies estudiadas y las temperaturas de la superficie del mar de las áreas geográficas Niño 1+2 y Niño 3.4.....	107

## RESUMEN

En el contexto de cambio climático actual, se han observado periodos de sequía y precipitación cada vez más frecuentes y marcados en la región tropical. En el norte de Perú ocurre uno de los eventos más significativos de la variabilidad interanual climática: El Niño. Desafortunadamente, Perú posee escasa información instrumental climática, que lleva a la búsqueda de archivos proxys, que permitan reconstruir el clima del pasado. En esta región se encuentran los bosques estacionalmente secos (BES) del Marañón, uno de los biomas más amenazados, de donde se colectó muestras de árboles por el método destructivo y no destructivo para caracterizar los anillos de crecimiento de las especies *Bursera graveolens*, *Cedrela kuelapensis* y *Eriotheca peruviana*, con el objetivo de identificar si su crecimiento se asocia a procesos climáticos locales y globales; además de reconstruir el clima del pasado. Se aplicaron técnicas dendroclimatológicas usando información climática instrumental y modelada. Los resultados revelan que *B. graveolens* alcanzó edades de 110 años, *C. kuelapensis* 117 y *E. peruviana* 173 años e intercorrelaciones medias de 0.403; 0.422 y 0.38 respectivamente. Se comprobó que el crecimiento de las especies está influenciado por la estacionalidad de la precipitación, y el fenómeno El Niño (ICEN).

**Palabras clave:** dendrocronología, sensibilidad climática, anillos de crecimiento, ENSO, sequía

## ABSTRACT

In the current context of climate change, periods of drought and increased precipitation have been observed more frequently and prominently in tropical regions. In northern Peru, one of the most significant events in climatic interannual variability occurs: El Niño. Unfortunately, Peru lacks sufficient instrumental climate information, leading to the exploration of proxy archives for reconstructing past climates. The seasonally dry forests (SDF) of the Marañón region, one of the most threatened biomes, serve as a crucial area where tree samples from *Bursera graveolens*, *Cedrela kuelapensis*, and *Eriotheca peruviana* were collected using both destructive and non-destructive methods. The objective was to characterize the growth rings of these species to identify their associations with local and global climate processes and to reconstruct past climates. Dendroclimatological techniques were applied using both instrumental and modeled climate data. The results reveal that *B. graveolens* reached ages of 110 years, *C. kuelapensis* 117 years, and *E. peruviana* 173 years, with mean intercorrelations of 0.403, 0.422, and 0.38, respectively. It was confirmed that the growth of these species is influenced by precipitation seasonality and the El Niño phenomenon (ENSO).

**Keywords:** dendrochronology, climate sensitivity, growth rings, ENSO, drought

## I. INTRODUCCIÓN

Los bosques del Perú ocupan poco más del 60% del territorio nacional y se encuentran entre las áreas más notables de biodiversidad (SERFOR, 2021) y endemismo del planeta; resaltando los bosques montanos nublados, los bosques altoandinos, bosque húmedo pre-montano y los bosques secos (MINAM, 2014). Los bosques estacionalmente secos (BES), representan el 42 por ciento de todos los bosques tropicales del mundo (Chávez, 2018) y constituyen un conjunto de ecosistemas que incluyen a los bosques costeros, interandinos (valles del Marañón-Mantaro y del Pampas) y orientales (Linares-Palomino *et al.* 2022)

Los bosques estacionalmente secos del valle del Marañón, han sido reconocidos como uno de los ecosistemas más ricos en diversidad y endemismos comparados con otros tipos de bosques secos en el Perú (Marcelo-Peña *et al.* 2016; Särkinen *et al.* 2011, Linares *et al.* 2011). Sus características geográficas permiten dar soporte a una alta riqueza de especies endémicas de flora leñosa; sin embargo, es uno de los ecosistemas tropicales más amenazados (Blackie *et al.* 2014), y actualmente quedan menos del 10% de su distribución original (Banda *et al.* 2016). Actualmente en los BES se ha acelerado el consumo de sus recursos naturales, sumado a variaciones climáticas con mayor intensidad en los últimos años, ha provocado una fuerte presión en las poblaciones de especies forestales de alto valor ecológico y comercial a nivel local (Pucha *et al.* 2020). Además, son bosques que guardan una historia propia ya que existieron desde el Pleistoceno, lo que hace que se considere un laboratorio natural para estudios de flora en un contexto de cambio climático (Mejía 2021)

Otra característica resaltante de este tipo de bosque es su vegetación, que responde a las condiciones edafoclimáticas que prevalecen en él. Gonzáles *et al.* (2020) afirman que la época seca puede durar entre 6 a 8 meses, reduciendo la época de verdor y florecimiento a un corto tiempo. Esta característica hace que las especies que crecen en estos bosques, sean aptas para el desarrollo de trabajos de investigación dendroclimatológicos, que a la fecha son escasos en la zona; siendo la dendrocronología la ciencia que posibilita la detección y

análisis de los anillos de crecimiento del leño de los árboles (Venegas 2013) y su relación con el clima.

Los anillos de crecimiento son usados para relacionar el crecimiento de las especies de árboles de los BES con patrones atmosféricos a gran escala (Mendivelso *et al.* (2016) y para comprender la variación climática en el tiempo, ya que los registros instrumentales son limitados en términos históricos (Palacios y Zapata, 2022). Siendo su análisis el punto de partida para múltiples investigaciones de reconstrucción ambiental histórica (Fuchs *et al.*, 2019) con énfasis en la precipitación, especialmente porque la mayoría de investigaciones se hicieron sobre la reconstrucción de la temperatura (Le Quesne *et al.* 2014; Mann *et al.* 1998), especialmente por su aumento en los último 50 años (Abellán, 2021).

Así mismo, existe un aumento en la frecuencia de sequías, las cuales reducen el vigor de los árboles (FAO, 2020), orientando a diversos investigadores a estudiarlas e identificarlas a través de series dendrocronológicas (Cerano *et al.* 2013; Villanueva *et al.* 2021; Osorio *et al.* 2020); más aún, porque guardan relación con el fenómeno de El Niño, fenómeno natural que genera grandes pérdidas económicas y el menos previsible (Hao y Singh, 2015).

En este contexto, mediante el análisis de los anillos de crecimiento de *Bursera graveolens*, *Cedrela kuelapensis* y *Eriotheca peruviana* del valle de Marañón, se busca generar información dendroclimatológica para explicar cómo el crecimiento de los árboles se relaciona con las variables climáticas locales (temperatura y precipitación media) y globales (Fenómeno El Niño). Así mismo, reconstruir la variable climática que se correlacione más con el crecimiento buscando periodos extremos de sequía y humedad a lo largo de las cronologías. Más aún, porque los modelos climáticos globales (Matskovsky *et al.* 2021) proyectan un aumento en el número de eventos extremos durante el siglo XXI, lo que podría traer consecuencias perjudiciales para la economía de los países afectados como para los ecosistemas forestales.



## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. DESCRIPCIÓN DE ESPECIES

#### 2.1.1. *Bursera graveolens*

##### a) Descripción dendrológica

Nombre común: Palo Santo.

Morfología: Árbol de hasta 4-8 m de altura y 20-40 cm de diámetro, de altura irregular, corteza externa lisa gris-blanquecina, al corte se puede ver resina transparente y cuando se oxida tiene un color marrón claro, la corteza interna es de color crema naranja y se oxida a un color marrón oscuro. Ramas terminales de sección circular, lenticeladas. Hojas compuestas, imparipinnadas, con 3-4 pares de foliolos, el ápice caudado acuminado, base asimétricamente obtusa, borde dentado, nerviación eucamptódroma, Inflorescencias en panículas axilares, flores unisexuales (planta dioica), sépalos 4-6, pétalos 4-5 libres. Flores masculinas con 8-10 estambres, flores femeninas con estigma de 2-3 lóbulos; fruto dehiscente tipo drupa (Marcelo-Peña 2017)

##### b) Descripción anatómica

Según Acevedo y Kikata (1994) la especie *Bursera graveolens* tiene porosidad semicircular, presenta anillos de crecimiento delimitados por tejido fibroso. Rosero (2011) señala que la madera de esta especie se caracteriza por presentar leño inicial y leño tardío claramente diferenciados, permitiendo la demarcación de los anillos de crecimiento.

#### 2.1.2. *Cedrela kuelapensis*

##### a) Descripción dendrológica

Nombre común: Cedro.

Morfología: Árbol de 10 m de altura y 30-50 cm de diámetro. Corteza externa de color marrón pálido, lenticelada, corteza interna de color rosa-rojizo, con un olor característico. Rama terminal de sección circular, lenticelada. Hojas compuestas, pinnadas, ovados o ampliamente lanceolados, ápice muy acuminado, base asimétrica, borde completo, nervación eucamptódroma. Las hojas suelen ser de color verde pálido. Inflorescencia en panículas, terminales, multiflores. Flores unisex (monoica), en forma de copa o cónicas, dentadas irregulares, con 5 pétalos oblongos o elípticos. Frutos tipo cápsula, péndulos, ampliamente elipsoidales, con ápice redondeado y base aguda, lenticelas, semillas aladas. Ramas y hojas con un característico olor a ajo (Marcelo-Peña 2017).

#### **b) Descripción anatómica**

En condición seca al aire la albura es de color amarillo y el duramen marrón rojizo oscuro, 5 YR 3/4; siendo la albura ligeramente más clara que el duramen, que se oscurece con la exposición a la luz y aire. Olor ausente y sin sabor. Brillo, medio. Grano, recto. Textura, fina a media. Vetado, en arcos superpuestos causado por los anillos de crecimiento y parénquima longitudinal. Anillos de crecimiento, diferenciados por bandas claras (MINAM 2017). Madera con porosidad semi circular, vasos solitarios y múltiples radiales (Marcelo-Peña 2017).

### **2.1.3. Eriotheca peruviana**

#### **c) Descripción dendrológica**

Nombre común: Pati.

Morfología: Árbol deciduo, hojas digitadas, foliolos 5, 10.5 x 4.5 cm, serrulados, ápices desde agudos hasta brevemente acuminados e inconspicuamente mucronados; flores mayores a 2.5 cm de largo dispuestas en panículas laxas, estambres 75-80; cápsula obovoide. (Rodríguez *et al.* 2015).

#### **d) Descripción anatómica**

La especie aún no cuenta con información detallada sobre la anatomía de su madera; sin embargo, se podría tomar en cuenta la descripción anatómica de una especie con la que comparte hábitat (*Eriotheca discolor*). Esta última presenta anillos de crecimiento distintos a simple vista, delimitados por bandas de fibras de pared más gruesa intercaladas con líneas de

parénquima. Parénquima axial visible bajo lente de 10x, difuso en agregados. Radios visibles a simple vista, delgados y numerosos; espaciados irregularmente. Vasos visibles a simple vista; mayormente solitarios; muy espaciados (Marcelo-Peña 2017).

## **2.2. DENDROCRONOLOGÍA**

Según Coulthard y Smith (2013) la dendrocronología es la ciencia que se ocupa de la datación y el estudio de los anillos de crecimiento en los árboles y arbustos leñosos; proporcionando una sólida herramienta para datación de eventos. Se centra en el estudio de los anillos de crecimiento y su relación con la edad de los árboles, incluyendo la aplicación de la información registrada en su estructura para estudios ambientales y de historia (Tomazello *et al.* 2001). Puede aplicarse a diferentes campos como la ecología, climatología, geomorfología, actividad solar y cambio climático (Giraldo, 2011).

La dendrocronología aprovecha parámetros mensurables de la estructura de anillos, como por ejemplo el ancho de anillos de crecimiento, determinando el año exacto de su formación (codatado), para deducir condiciones medioambientales del pasado, tales como incendios, plagas, procesos geomorfológicos, variabilidad climática y la perturbación antrópica (Franco y Vásquez 2017). Sin embargo, se debe tener en cuenta que las poblaciones de árboles a utilizar deben provenir del mismo lugar geográfico además de haber crecido bajo condiciones ambientales similares; para que, de esta manera, se pueda obtener un patrón o señal de crecimiento común entre ellos. Es por ello, que la selección del sitio implica conocer o intuir los factores limitantes del crecimiento, que a menudo representan la señal de interés Giraldo (2011).

Uno de los programas más usados para realizar el codatado ('crossdating') es el software COFECHA. Este programa facilita el control de calidad de las series de ancho de anillos, realizando una sincronización con la serie maestra y mostrando los posibles errores de medición (Holmes 1983). Además, genera una serie maestra con información relevante como el periodo de la cronología formada, el número total de anillos contados, un estadístico importante llamado sensibilidad media (SM) que indica la diferencia relativa entre el espesor de un anillo y el siguiente; por tanto, representa la variación promedio que existe año a año en la cronología (Fritts 1976). Esto indicará si se trata de anillos sensibles o complacientes ya que es uno de los parámetros más importantes al evaluar el potencial dendrocronológico de especies arbóreas (Gutiérrez y Ricker 2019), siendo sensibles los anillos con valores mayores

a 0.3 y complacientes los anillos menores a 0.3; es decir, que crecieron bajo condiciones climáticas constantes o regulares a lo largo del tiempo.

Luego del codatado se deben estandarizar las series. En este proceso, los programas que se decidan usar (ARSTAN o R-studio) proporcionan dos series de ancho de anillos convertidas a índices: estándar (STD) y Residual (RES). La serie estándar de índice de ancho de anillo (IAA) donde cada serie que compone la muestra es promediada estadísticamente y la residual deriva de los valores residuales provenientes del modelo de auto-regresión, eliminando la auto-correlación entre anillos (Pompa *et al.* 2014; Llançabure 2011).

### **2.2.1. Anillos de crecimiento y dendrocronología en especies tropicales de bosque seco**

Si bien es cierto, la dendrocronología se origina en zonas templadas, desde hace algunas décadas han sido empleadas especies de árboles tropicales para reconstruir las condiciones medioambientales pasadas de un sitio debido a la formación anillos anuales (Boninsegna *et al.* 2009). En muchas zonas del planeta con un clima marcado, el crecimiento vegetativo se ve influenciado por la marcada estacionalidad, alternando condiciones favorables y desfavorables para el crecimiento, afectando la actividad cambial (Venegas 2013). Esto se refleja en el tronco del árbol al realizar un corte transversal, observándose como círculos concéntricos, llamados anillos de crecimiento.

La presencia de los anillos de crecimiento es un requisito importante para considerar a una especie tropical como potencial para estudios dendrocronológicos, ya que a través de ellos se podrá realizar el análisis de datación cruzada ('crossdating') y la asignación de un año exacto de formación a cada anillo. Cabe señalar que ellos son el resultado del crecimiento de los árboles, el cual está determinado por la actividad del cámbium vascular durante un período específico de años. Es por eso que cuando se corta transversalmente el tronco de un árbol y se miden los anchos de estos anillos, se podrá observar anillos muy anchos o muy delgados; interpretando esto como un período de tiempo de buenas y malas condiciones de crecimiento, respectivamente.

Lo que sucede en estos bosques es que la sequía puede inducir la parada del crecimiento radial (reducción de actividad cambial después del inicio de la época seca), lo que anatómicamente se manifiesta como una o varias filas de células con menor lumen y paredes más engrosadas en la sección transversal, dando lugar a la formación de líneas más o menos

concéntricas en la madera que constituyen los límites de los anillos de crecimiento (Mendivelso *et al.* 2016). Esta estación seca marcada es la que podría justificar la presencia de diversas especies de árboles con anillos anuales de crecimiento.

La disponibilidad de agua es uno de los factores más importantes que determinan el crecimiento y la productividad de estos bosques (Toledo *et al.* 2011). Además, la variabilidad del crecimiento de los árboles tropicales responde principalmente a la variación climática de la estación seca y esta respuesta se amplifica en las regiones que son más secas, más cálidas y experimentan una variación climática interanual más fuerte. Zuidema *et al.* (2022)

Marcelo-Peña (2017) encontró en los BES del Valle del Marañón individuos de *Cedrela kuelapensis* de 25-41 años con diámetros de 13-39 cm y tasas de crecimiento promedio de 4.3 mm/año. Raffelsbauer (2020) para *Eriotheca ruizii* encontró diferencias en la distribución de los vasos, que indican los límites de sus anillos de crecimiento; y recomienda estudiar a esta especie mediante rodajas enteras de diferentes árboles. También Ruiz (2020) aplicó métodos dendrocronológicos, y encontró para la misma especie edades de hasta 110 años con tasas de crecimiento diamétrico promedio de 5,58 mm/año.

### **2.2.2. Dendroclimatología**

La dendroclimatología es la ciencia de reconstruir el clima del pasado mediante el uso de los anillos de crecimiento de los árboles (Kumar *et al.* 2015). La información generada por esta ciencia, posibilita determinar cómo fue el clima en el pasado y estimar como será en el futuro (Póvoa y Muñoz 2012). Esto debido a que las plantas, se consideran como aparatos meteorológicos registradores, sensibles a diversos elementos del clima (Granados y Sarabia 2013). Son especialmente los anillos de los árboles de especies sensibles al clima los que conservan información acerca de los patrones cíclicos de crecimiento y de las relaciones con el clima, proporcionando información útil para propósitos de modelación y predicción a través de análisis de correlación (Návar & Lizárraga-Mendiola 2013).

En la actualidad están aumentando las investigaciones basadas en estas ciencias; en Sudamérica países como Brasil, Argentina y Chile; resaltan en la generación de esta información. Los estudios entre los árboles y el clima se están basando principalmente en el

análisis de la variabilidad climática a gran escala mediante el uso de índices climáticos para con ello analizar cuál es la influencia de los diferentes patrones climáticos globales. Así, Venegas-González *et al.* (2015) exploraron la relación entre el crecimiento de los árboles de dos especies tropicales (*Pinus caribaea* y *Tectona grandis*) y la variabilidad climática local y a gran escala en el sureste de Brasil o como Crispin (2021) que exploró la influencia de la variabilidad climática en el crecimiento de *Polylepis tarapacana*.

Portal *et al.* (2023), presentan una revisión histórica de los estudios dendrocronológicos realizados en el país. Algunos de estos estudios se hicieron en los bosques secos del norte, con especies como *Bursera graveolens*, *Loxopterygium huasango* y *Capparis scabrida*; encontrando edades para la primera especie árboles de 27 a 59 años y tasas de crecimiento diamétrico promedio entre 4 y 5.1 mm/año (Rosero, 2011); *Caesalpinia spinosa* (Roncal 2014); *Prosopis pallida* (Ancajima 2017); *Schizolobium parahyba* (Malatesta 2018) y un número cada vez más creciente para bosques amazónicos. Sin embargo, no existen estudios dendroclimatológicos en el Bosque estacionalmente Seco del Marañón, menos aún de las especies *Cedrela kuelapensis* ni *Eriotheca peruviana*, relacionados a la variabilidad climática global como el Fenómeno El Niño; así como con reconstrucciones del clima.

### **2.3. SEQUÍAS Y CRECIMIENTO ARBÓREO**

Tallaksen y Lanen (2004), definen la sequía como la ocurrencia de disponibilidad de agua por debajo del promedio natural de manera sostenida y a escala regional. Por otro lado, la Organización Meteorológica Mundial (WMO 1986), define la sequía como un “periodo sostenido y prolongado con deficiencia de precipitación”. También, para SENAMHI (2016) las sequías están generalmente asociadas con un periodo continuo de precipitaciones escasas, baja humedad del suelo o disponibilidad de agua, en relación a los niveles normales en una determinada localidad.

Según SENAMHI (2019), las definiciones de sequía varían, y dependerá de la variable utilizada, por tanto, la sequía puede ser clasificada en: meteorológica, hidrológica, agrícola y subterránea (Wilhite y Glantz 1985). Además, se cuantifica habitualmente mediante los índices de sequía, que son indicadores directo que se basan en información climática (Vicente *et al.* 2012).

Este concepto cobra mayor importancia debido a que los eventos de sequía extrema han aumentado en frecuencia durante el siglo XX provocados por el cambio global (Venegas-González *et al.* 2022) y uno de los efectos potenciales es el aumento de la mortalidad de los árboles y la disminución de los bosques debido al clima (Allen *et al.* 2015; McDowell y Allen 2015; Pasho *et al.* 2011). Por otro lado, se han relacionado cambios a gran escala en la composición y la estructura de los bosques por reducción progresiva de la disponibilidad hídrica (Carnicer *et al.* 2011).

#### **2.4. FENÓMENO EL NIÑO (ENOS) Y SU RELACIÓN CON LOS ÁRBOLES**

Se denomina “El Niño” al fenómeno océano-atmosférico que surge por el incremento de la Temperatura Superficial del agua del Mar (TSM) en el litoral de la costa oeste de Sudamérica con ocurrencia de lluvias intensas (SENAMHI 2014). El Fenómeno de “El Niño” constituye el más importante ciclo climático que contribuye a la variabilidad climática anual (Hijar *et al.* 2016) siendo crucial para el Perú, entenderlo y predecirlo; siendo los anillos de crecimiento de los árboles los que proporcionan datos de resolución anual que facilitan el análisis de muchos procesos ecológicos o condiciones climáticas pasadas (Amoroso y Suárez 2015).

Además, resulta importante relacionarlo con el crecimiento de los árboles ya que existen investigaciones previas que han demostrado que existe influencia de El Niño - Oscilación del Sur (ENSO) sobre el crecimiento arbóreo en América del Sur (Crispin 2021; Dávila 2020; Felfili *et al.* 2018; Ancajima 2017; Brienen *et al.* 2012, entre otros)

Varios trabajos mencionan el potencial que tienen distintas especies arbóreas para realizar reconstrucciones de variables climáticas locales (como precipitación) y globales (ENSO) en los bosques tropicales secos (BTS) (Boninsegna *et al.* 2009). Mencionar a Rosero (2011) quien señala que *Bursera graveolens* es una especie con presencia de anillos de crecimiento anuales cuyo crecimiento es influenciado por el fenómeno de El Niño de 1997-1998; Rodríguez *et al.* 2005 y López *et al.* 2005 en *Bursera graveolens* (Palo Santo) y *Prosopis sp.* (Algarrobo), muestran respuesta bien desarrollada al fenómeno El Niño. También, Portal *et al.* (2019) reportan que el crecimiento de *Jacaranda copaia* en Madre de Dios tuvo una relación directa con El Niño. Los eventos de El Niño registrados en el Perú se resumen en la tabla 1.

**Tabla 1: Resumen de eventos El Niño en el Perú, periodo 1951 a 2018**

<b>Año inicial</b>	<b>Mes inicial</b>	<b>Año final</b>	<b>Mes final</b>	<b>Duración</b>	<b>Magnitud</b>
1951	mayo	1951	noviembre	7	moderado
1953	marzo	1953	junio	4	débil
1957	marzo	1957	diciembre	10	moderado
1965	marzo	1965	septiembre	7	moderado
1969	abril	1969	Julio	4	moderado
1972	marzo	1973	enero	11	fuerte
1976	mayo	1976	noviembre	7	débil
1982	julio	1983	noviembre	17	extraordinario
1986	diciembre	1987	diciembre	13	moderado
1991	julio	1992	Junio	12	moderado
1993	marzo	1993	septiembre	7	débil
1994	noviembre	1995	Enero	3	débil
1997	marzo	1998	septiembre	19	extraordinario
2002	marzo	2002	Mayo	3	débil
2002	septiembre	2003	Enero	5	débil
2003	noviembre	2004	Enero	3	débil
2004	octubre	2004	diciembre	3	débil
2006	agosto	2007	enero	6	moderado
2008	marzo	2008	septiembre	7	débil
2009	mayo	2009	septiembre	5	débil
2012	marzo	2012	Julio	5	débil
2014	mayo	2014	noviembre	7	débil
2015	abril	2016	julio	16	fuerte
2016	diciembre	2017	mayo	6	moderado
2018	noviembre	2019	marzo	5	débil

Fuente: ENFEN (2022)

Debido a la complejidad de este fenómeno y el gran tamaño del Océano Pacífico, la comuna científica internacional dividió el Océano Pacífico Ecuatorial en 4 Áreas denominadas (Figura 1): Área Niño 1+2 (entre 90°W a 80°W, 0°-10°S) ubicada frente a las costas de Perú y Ecuador, las áreas Niño 3 (entre 90° a 150° W y 5° N a 5° S.) ubicada frente al Pacífico Ecuatorial central; Niño 4 (entre 150° W a 160° E y 5° N a 5° S) ubicado en el Pacífico ecuatorial occidental y Niño 3.4 (entre 120° W a 170° W y 5° N a 5° S) ubicado en la superposición de las dos regiones anteriores (CENEPRED 2015).

Usualmente la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) utiliza algunos índices o parámetros sobre la región Niño 3.4 para generar pronósticos respecto a ‘El Niño’; sin embargo, el Comité Multisectorial del Estudio del Fenómeno El Niño



(ENFEN) elaboró el Índice Costero El Niño (ICEN), utilizando datos de la temperatura superficial del mar para la región Niño 1+2. Algunos de los parámetros o índices son la temperatura superficial del mar (TSM), el Índice Oceánico El Niño (ONI), entre otros.

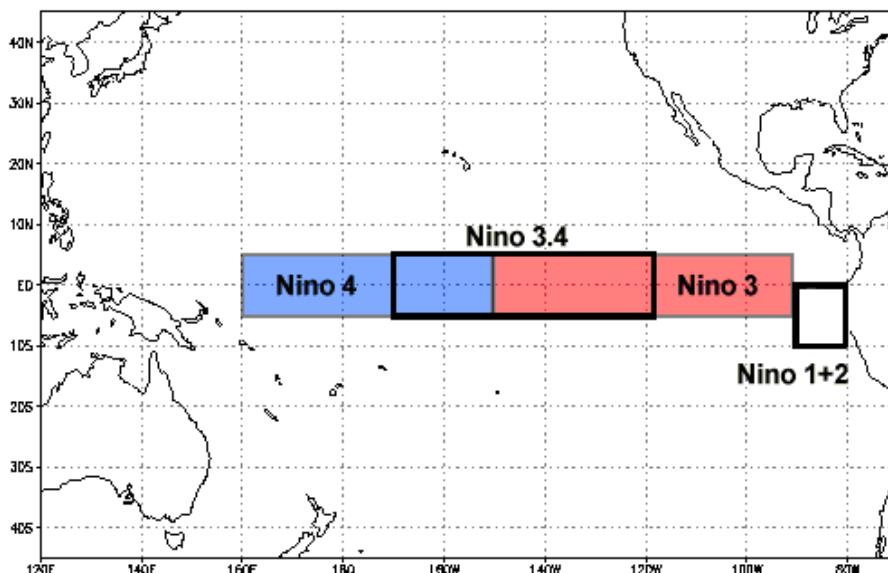


Figura 1: **Regiones Niño**

Fuente: National Oceanic and atmospheric administration (NOAA), 2023

Este fenómeno presenta dos fases, la fase cálida corresponde al El Niño (calentamiento oceánico), mientras que la fase fría corresponde a la Niña (enfriamiento oceánico) (SENAMHI 2014) y cada una generará diferentes impactos, generando lluvias o sequías.

## **2.5. CAMBIO CLIMÁTICO Y RECONSTRUCCIONES CLIMÁTICAS USANDO ÁRBOLES**

### **2.5.1. Cambio climático y crecimiento vegetal**

Según el IPCC (2018), el cambio climático hace referencia a una variación del estado del clima identificable en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante períodos prolongados, generalmente décadas o períodos más largos.

Frente a esto, el Perú es un país con poblaciones y ecosistemas altamente vulnerables a sus efectos adversos (MINAM 2016).

Algunas de las consecuencias que indica el IPCC (2019) sobre el calentamiento global es que ha provocado una mayor frecuencia, intensidad y duración de fenómenos relacionados con el clima, incluidas aquí las olas de calor y las sequías. Es entonces que surge el interés creciente por el estudio de los cambios del clima global a través del tiempo y su posible comportamiento futuro (Cerano *et al.* 2011). Según Ríos *et al.* 2018, entre 2000 y 2016, se publicaron al menos 743 artículos que informan sobre la vulnerabilidad al cambio climático en la literatura sobre conservación. Uno de los motivos para despertar ese interés en conservacionistas es que el crecimiento vegetal es un bioindicador de cambio climático (Gonzalez 2003).

Pucha *et al.* 2020 reportan que un estrés hídrico de cuatro a ocho semanas disminuye el crecimiento hasta un 60%, que la precipitación limita el crecimiento hasta un 70% en especies de bosque seco, y la temperatura hasta un 40% en especies de bosque húmedo. Por lo tanto, esto podría conducir a una pérdida o deterioro de los servicios ecosistémicos lo cual comprometería el bienestar humano (Pecl *et al.* 2017).

Zuidema *et al.* (2022) compilaron una red pantropical de anillos de árboles para mostrar que el crecimiento anual de la biomasa leñosa aumenta principalmente con la precipitación en la estación seca y disminuye con la temperatura máxima de la estación seca. Concluyen que el calentamiento global proyectado probablemente agravará la disminución de la productividad anual de la vegetación tropical, inducidas por las sequías. Esto resulta importante en los ecosistemas tropicales y subtropicales ya que son los principales responsables de la gran variabilidad interanual del sumidero mundial de carbono en la tierra (Ahlström 2015; Poulter 2014)

### **2.5.2. Reconstrucciones climáticas**

La reconstrucción de data hidroclimática a través de testigos climáticos o “proxys”, (cronologías de anillos de crecimiento de los árboles), pueden proporcionar una extensión del registro climático con fecha exacta y resuelta anualmente en los siglos anteriores a las observaciones instrumentales (Stahle *et al.* 2016) y para reconstruir la variabilidad a largo

plazo en el hidroclima regional (Meko y Woodhouse, 2011). Por tanto, mientras más longevas sean las series cronológicas de las especies, hay una mayor probabilidad de analizar variables del clima a partir de estas y que puedan estar relacionadas con su crecimiento radial a lo largo de los años. Es por esto que cuando no se dispone de información instrumental; los estudios de reconstrucción de series paleoclimáticas juegan un papel muy importante (Chávez *et al.* 2017).

No se encontraron estudios de reconstrucciones climáticas en los bosques estacionalmente secos del Perú; sin embargo, existen decenas de reconstrucciones de la precipitación, temperatura o caudal en los bosques tropicales y subtropicales del mundo. En Perú se realizaron las primeras investigaciones sobre reconstrucciones climáticas usando anillos de crecimiento de *Cedrela odorata*, *Cedrela nebulosa* y *Juglans neotropica* (Humanes *et al.* 2020); en Ecuador con *Bursera graveolens* y *Maclura tinctoria* (Pucha *et al.*, 2015) y *Polylepis tarapacana* para el Altiplano andino (Morales *et al.* 2020); sin embargo, la lista de reconstrucciones climáticas en el mundo es bastante amplia. Por tanto, debido a la variación climática reciente y sus efectos en el crecimiento de los árboles, el uso de análisis de series de tiempo se debe reevaluar como una herramienta poderosa para comprender las relaciones de cambio climático y crecimiento de árboles (Castruita *et al.* 2016).

Requena (2015) menciona la utilidad de la dendrocronología como una valiosa herramienta para extender la serie de variables hidroclimáticas, ya que las variaciones interanuales en el espesor de los anillos de crecimiento, están relacionadas con las fluctuaciones climáticas. Además, se puede generar registros con precisión anual, continuos en el tiempo, y que pueden llegar a extenderse eventualmente por miles de años; y aunque los pasos básicos de una reconstrucción climática son relativamente sencillos, los análisis estadísticos de las cronologías de los anillos de los árboles para las reconstrucciones dendroclimáticas se han vuelto cada vez más sofisticados.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO

##### 3.1.1. Localización geográfica

Las especies para el presente estudio se muestran en la Tabla 2, estas cubren una significativa gradiente espacial y altitudinal entre 1000 m y 2000 m en el valle del Maraón. Según el mapa de zonas de vida de Holdridge (1978) las áreas de muestreo se encuentran en un Bosque seco - Premontano Tropical (bs-PT) y bosque seco-Montano Bajo Tropical (bs-MBT), bosque seco-Montano Tropical (bs-MT). Los lugares de colecta se presentan en la Figura 2.

**Tabla 2: Localización geográfica de las tres zonas de estudio**

Nº	Especie	Localidad (Lugar de colección)	Distrito	Provincia	Departamento	Coordenadas geográficas UTM WGS84	
						X	Y
1	<i>Bursera graveolens</i>	San Vicente de Paúl	Longotea	Bolívar	La Libertad	171344	9228148
2	<i>Eriotheca peruviana</i>	Santa Rosa de Crisnejas	Sitacocha	Cajabamba	Cajamarca	180741	9183701
3	<i>Cedrela kuelapensis</i>	Colcamar	Colcamar	Luya	Amazonas	173910	9300565



Figura 2: Lugares de colección de muestras de las especies evaluadas

### 3.1.2. Clima

Los bosques secos montano bajo tropical (bs-MBT) en los que se encuentra el área de estudio tienen un clima subhúmedo-templado cálido, con temperaturas media anual entre 12 °C y 17 °C y precipitación pluvial total promedio anual entre 500 y 650 mm. En cuanto al clima de San Vicente de Paúl, según Marcelo-Peña (2017), tiene una precipitación media anual de 550 mm y temperaturas medias máximas de 28°C y mínimas de 25°C. Por otro lado, el bosque seco premontano tropical (bs-PT), cuenta con temperaturas medias anuales entre 17 °C y 19 °C y precipitación pluvial total promedio anual entre 600 y 800 mm, con un clima subhúmedo-semicálido (Sánchez y Vásquez 2011). Para el área de Santa Rosa de Crisnejas en Cajamarca, el clima es de tipo lluvioso, semifrío y húmedo (Sánchez y Vásquez 2010).

Con la información de las estaciones meteorológicas se construyeron los climogramas de Cajabamba para *Bursera graveolens*, de Colcamar para *Cedrela kuelapensis* y de Santa Rosa de Crisnejas para *Eriotheca peruviana*. Los tres climatogramas tienen un comportamiento similar ya que de octubre a abril son los meses más húmedos del año

( $p > 70$  mm), luego los meses de mayo y septiembre son poco húmedos ( $p > 30$  mm) y los meses más secos abarca los meses de junio, julio y agosto ( $p < 17$  mm) (Figura 3).

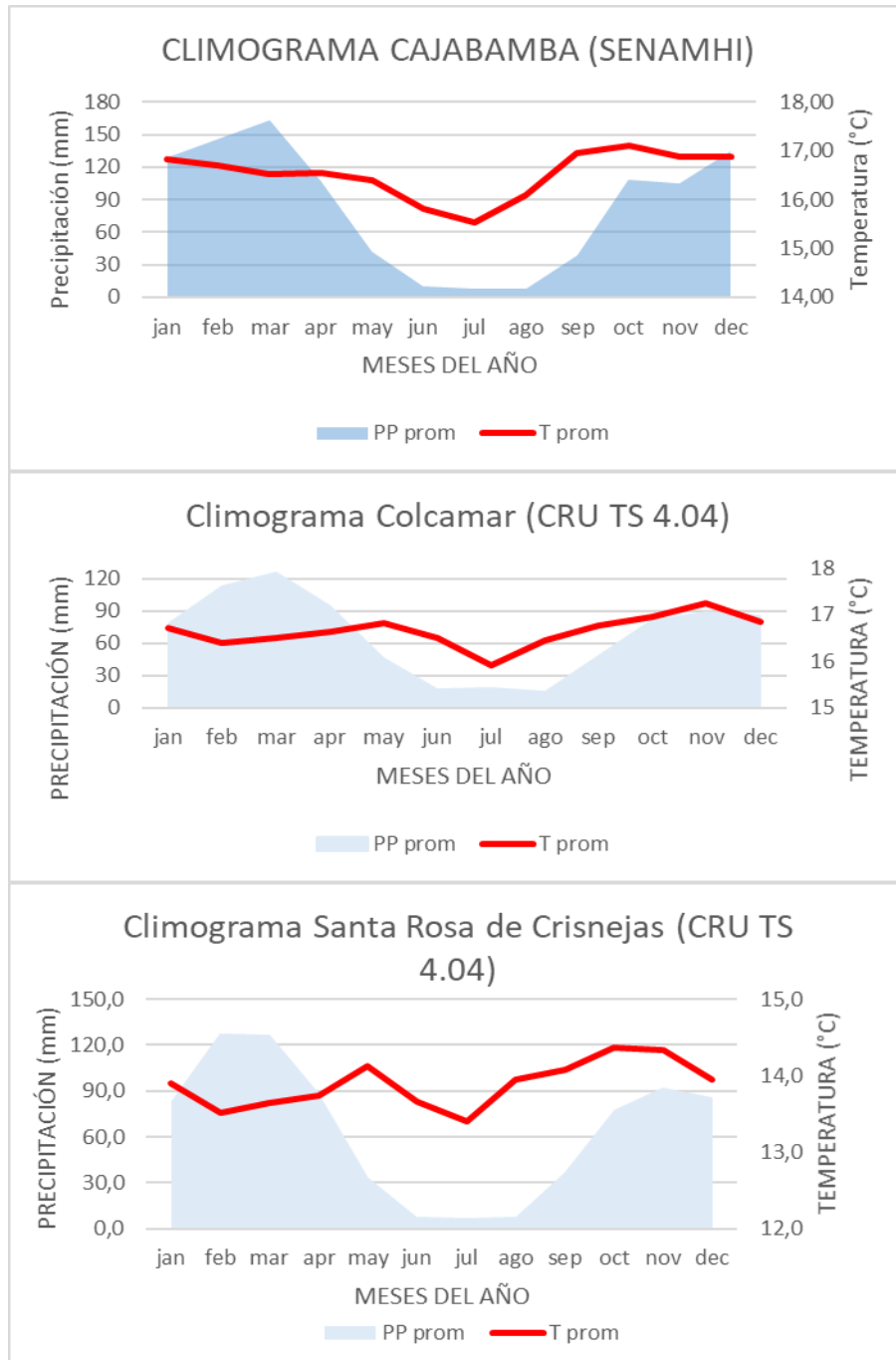


Figura 3: Climatogramas cercanos a las zonas de muestreo

## **3.2. MATERIALES Y EQUIPOS**

### **3.2.1. Materiales de campo**

01 paquete de sorbetes, 01 pintura en spray (marcado de árboles), 03 Plumón indeleble delgado, 01 Libreta de campo, 03 Cinta Masking tape, 01 Tijera, 01 Cinta diamétrica, 01 Botella de Plástico de 3 l, 01 Machete, Clavos de ½ pulgada, 01 Martillo, 01 Navaja.

### **3.2.2. Materiales de laboratorio**

Lijas de diferentes granos (40 a 800 grano. pulgada<sup>-2</sup>), porta muestras de madera, tabla de madera, 01 soporte de metal para fijar la madera a la mesa, pegamento para madera, 01 pincel, 01 lupa de 10x.

### **3.2.3. Equipos y programas usados**

Barreno de Pressler (5,15 mm de diámetro, 400 mm de largo), 01 Lijadora orbital SKIL, 01 Scanner EPSON V39 (Cama plana), 01 GPS Garmin 62, 01 Celular Xiaomi MI A3 (cámara), Programa CooRecorder 7.8. 1, Programa CDendro 7.8.1, Software Dendrochronology Program Library (DPL): COFECHA, ARSTAN y Respo, Programa R – Studio (DplR), Información SENAMHI y de CRU TS 4.04.

## **3.3. METODOLOGÍA**

*Bursera graveolens*, *Cedrela kuelapensis* (especie endémica de Perú comprendida en apéndice II de CITES) y *Eriotheca peruviana* (especie endémica de Perú) fueron seleccionadas por su potencialidad para estudios dendrocronológicos por la visibilidad de sus anillos de crecimiento (Marcelo-Peña 2017), por su endemismo, importancia económica y social (Carrión 2016).

La metodología utilizada para el estudio dendrocronológico comprende tres fases, conforme a los objetivos propuestos:

### **3.3.1. Caracterización de anillos de crecimiento**

#### **a) Colección e identificación dendrológica**

Se realizó la colecta del material dendrológico para tres especies: *Bursera graveolens*, *Cedrela kuelapensis* y *Eriotheca peruviana* y posteriormente llevadas para su identificación

al Laboratorio de Dendrología de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Jaén, dónde finalmente fueron depositadas (Anexo 1). Las medidas dasométricas de las tres especies serán adjuntadas en el Anexo 2.

#### **b) Fase de campo Estudio dendrocronológico**

La toma de muestras de leño de *Cedrela kuelapensis* se realizó por método no destructivo (baguetas) usando el barreno de Pressler (Krottenthaler *et al.* 2015; Marcelo-Peña 2017). Por la escasez de estudios dendrocronológicos en *Bursera graveolens* y la ausencia de cronologías para *Eriotheca peruviana* se empleó el método destructivo (discos de madera). Resaltar que los árboles muestreados fueron tomados de la misma localidad y la misma pendiente, donde la disponibilidad de agua fue un factor limitante, con el objetivo que los árboles presenten un grado de respuesta máximo a los factores relacionados al clima, siguiendo los principios de la dendrocronología (Fritts 1976). Así mismo, se utilizó el método destructivo (discos de madera) para *Eriotheca peruviana*, por ser una madera de baja densidad y al obtener muestras de 5 mm de diámetro (baguetas), éstas se comprimen y altera la estructura anatómica de la madera, importante para el análisis de los anillos de crecimiento. En contraste, los discos tratados previamente con pintura en el corte transversal de la madera, permiten un secado lento y uniforme sin modificar la estructura de los elementos leñosos y facilitan observaciones más precisas en la anualidad de los anillos de crecimiento.

Se tuvo especial cuidado en obtener muestras de árboles de la misma especie con diámetros similares.

Para la colección del leño de las tres especies se realizaron los siguientes pasos:

- i. Marcado de árboles: cada árbol fue marcado con pintura.
- ii. Método destructivo: para las especies *Bursera graveolens* se obtuvo 1 disco por árbol (25 árboles) y para *Eriotheca peruviana* (17 árboles) tomados a 1.30 m de altura). El corte de motosierra fue perpendicular al fuste, de forma cilíndrica y de dos pulgadas de espesor, conforme a Natalini *et al.* 2017).
- iii. Método no destructivo: se obtuvo de 2 a 3 baguetas por árbol, con ayuda del barreno o Sonda de Pressler, de 20 árboles para la especie *Cedrela kuelapensis*.
- iv. Acondicionamiento: las muestras extraídas con el barreno Pressler, fueron acondicionadas en sorbetes de plástico; y se sellaron los extremos con cinta masking tape, donde se colocó la codificación con plumón indeleble y depositados



en un recipiente de plástico a fin de no maltratarlas, evitar caídas y pérdidas. En cuanto a los discos de madera, fueron codificados y llevados a laboratorio para su preparación (pintado de superficie transversal) y análisis.

**c) Fase de laboratorio estudio dendrocronológico**

**(i) Preparación de muestras para el estudio**

Las muestras obtenidas por el método destructivo (discos de madera) y por el método no destructivo (baguetas de madera), fueron lijadas con lijadora orbital; se usaron lijas de diferentes granulometrías empezando por el grano grueso (40 - 800 grano. pulgada<sup>-2</sup>). En cada cambio de lija se eliminó el exceso de polvo con una compresora de aire, para resaltar la estructura anatómica de los anillos de crecimiento. Para el caso de los tarugos obtenidos con el barreno de Pressler; éstos fueron montados en tablillas de madera antes de ser lijados (Natalini *et al.* 2017) (Figura 4).

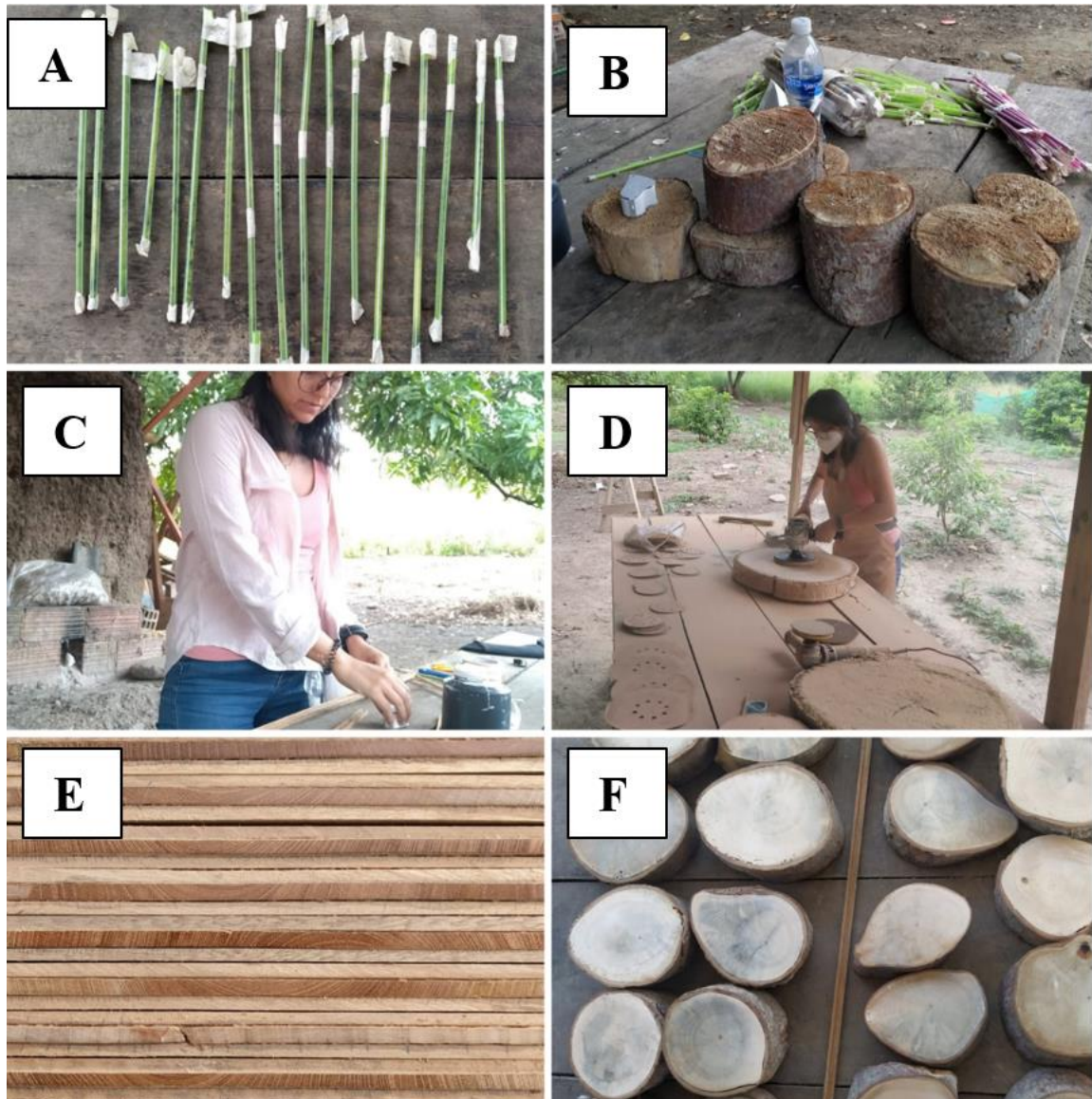


Figura 4: (A) y (B): muestras de baguetas y discos (C) Montaje de baguetas sobre soportes (D) Lijado de muestras (E) y (F): muestras listas para análisis

**(ii) Marcación, medición y digitalización de anillos de crecimiento**

La marcación de los anillos de crecimiento en su sección transversal se realizó con ayuda de un lápiz 2B y de una lupa de 10x. Posteriormente ambos tipos de muestras de leño fueron digitalizadas empleando un scanner EPSON V39 cama plana, resolución 2400 dpi. La demarcación, conteo y medición del ancho de los anillos fueron realizadas con el software CooRecorder 7.8.1 y CDendro 7.8.1. (Figura 5).

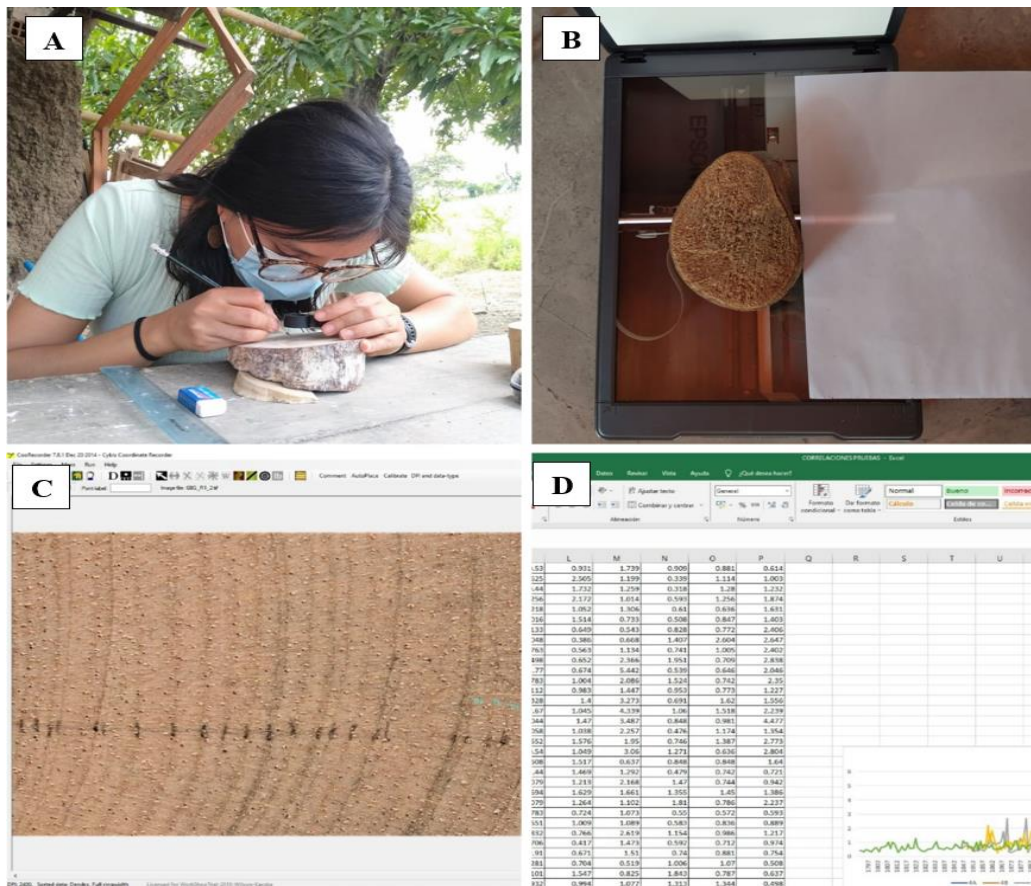


Figura 5: (A) Marcación de anillos de crecimiento (B) Escaneo de muestras a 2400 DPI (C) Medición de anillos de crecimiento en programa Coorecorder 7.8.1 (D) Datos exportados al programa Microsoft Excel

La demarcación de un anillo de crecimiento y otro en el Coorecorder 7.8.1 tiene que ser realizado cubriendo una distancia recta que sea paralela a los radios ubicados entre esos dos anillos de crecimiento, generando una recta con un punto inicial en un anillo y un punto final en el anillo siguiente (Figura 6). Además, se debe hacer las mediciones desde el anillo más cercano a la corteza en dirección a la médula.



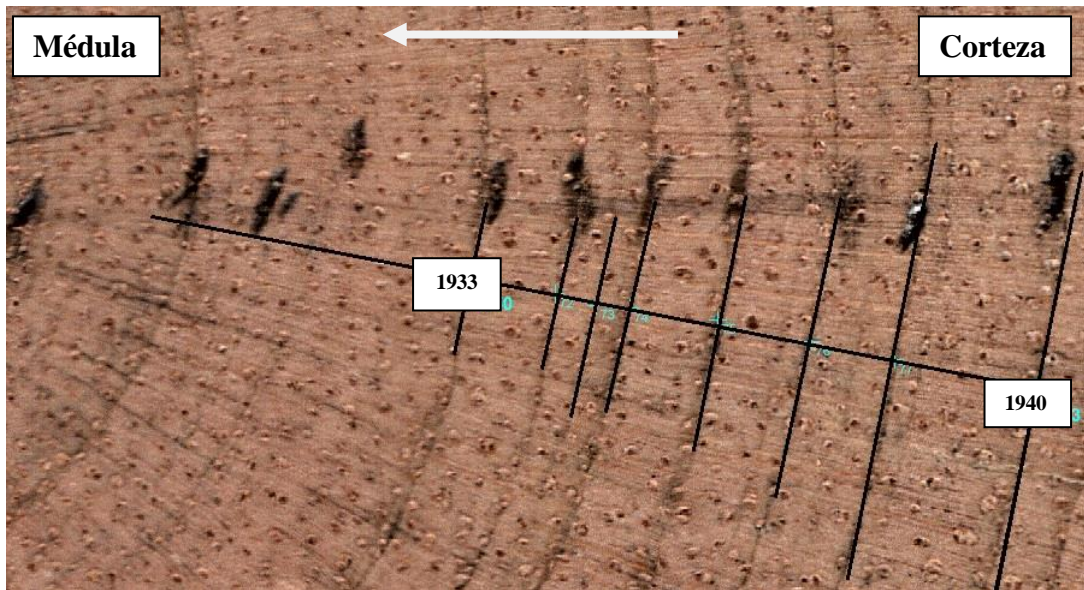


Figura 6: **Ejemplo de marcado de anillos de crecimiento siguiendo la dirección de los radios.**

Las medidas que se obtienen con el Coorecorder 7.8.1 se dan en milímetros (mm). También permite realizar un control de calidad previo para poder distinguir posibles zonas donde hayamos cometido un error de identificación de anillos de crecimiento y nos permite evaluar posibles falsos anillos. Así mismo, conforme se medía una bagueta se iba comparando con otra bagueta del mismo árbol (Bagueta de referencia), previamente medida y lo que finalmente mostraba era la correlación que tenían los anchos de anillo de crecimiento a lo largo de las baguetas, por tramos y una correlación final entre ambas (Figura 7).

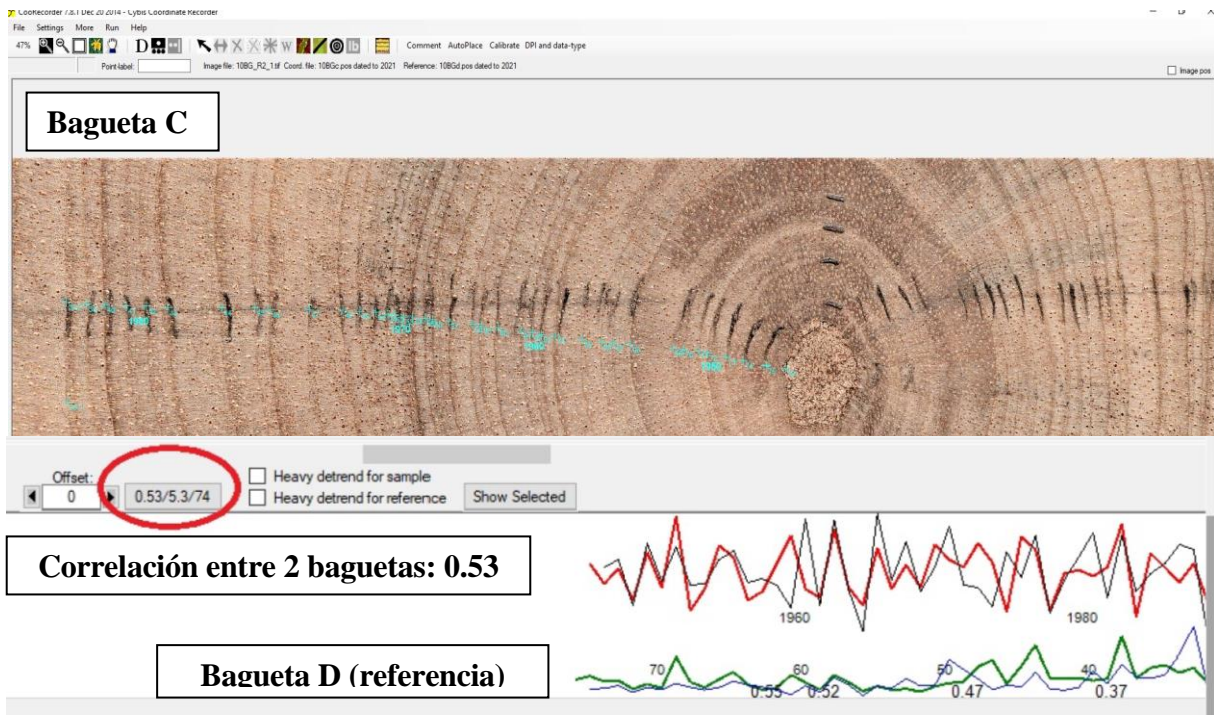


Figura 7: **Control de calidad de las mediciones de las baguetas en el programa CooRecorder 7.8.1**

Cada bagueta daría como resultado una serie de medidas de ancho de anillos. Estas series que se formaban en el programa CooRecorder 7.8.1 se guardaron formando una colección (grupo de series) en el programa CDendro 7.8.1 y con ellas, se realizó una primera serie media que muestra cuán correlacionadas están las muestras que las componen, unas con otras. Conforme se iban midiendo más baguetas, se iban incorporando a la colección, hasta incluir a todas las baguetas; además de esto, el conjunto de series finales se guardó en formato Tucson (.rwl). Luego el archivo fue transformado al formato bloc de notas (.txt) que será el archivo de entrada para el software COFECHA y para el programa R-Studio. También, se guardó en formato tabular (Excel) donde están todas las medidas de los anchos de anillos de crecimiento de todas las series que conforman la colección.

Cabe señalar que en esta sección se presentará un estadístico mencionado en párrafos anteriores: sensibilidad media (SM) pues ayuda a caracterizar los anillos de crecimiento. Aunque, este estadístico se obtendrá en la siguiente fase.

### 3.3.2. Análisis dendroclimatológicos

#### (i) Sincronizado y estandarizado de muestras

Con las mediciones en formato tabular en Microsoft Excel se generó un gráfico inicial de todas las series que formaban la colección. Para la evaluación, control, validación, de las mediciones de las especies seleccionadas se utilizó el software dendrocronológico: COFECHA. En este software se fueron agregando o quitando muestras según el grado de sincronía que tenían entre sí las muestras, hasta formar una serie maestra o serie máster con un grupo de muestras con una correlación mayor al estadístico propuesto por COFECHA (0.3281).

Con las series correctamente codatadas en COFECHA, las series maestras fueron estandarizadas en índices en el programa R-Studio, usando el paquete “Dendrochronology Program Library in R” (DplR) del programa R-Studio (Bunn 2008) con el objetivo de remover las variaciones no relacionadas a los factores del clima, para maximizar la variabilidad de alta frecuencia (Portal 2019). Esta función de estandarización se realiza con el objetivo de eliminar las variaciones ajenas a los factores del clima, removiendo la varianza originada por factores biológicos. Así, se consigue producir índices que conservan las señales climáticas comunes en una sola cronología (Pompa *et al.* 2014). Esto se realizó mediante la aplicación de una función de curva exponencial negativa que retiene los eventos de frecuencia media-baja y luego a una función de spline cúbico con 25% de frecuencia y crea una serie de índices normalizados (Índice de ancho de anillo: IAA) con media de 1.0 y varianza homogénea (Cook 1987).

Finalmente, para analizar la calidad y la intensidad de las cronologías generadas se utilizaron algunos estadísticos de referencia como la: señal de la población expresada (EPS) y la correlación media entre series (R-bar), las cuales cuantifican la señal común presente en cada cronología estudiada. A menudo el EPS tiene un límite de 0.85 que sugiere que, sobre este, la cronología maestra representa la señal de la población con una calidad adecuada (Wigley *et al.* 1984; Speer 2010); el Rbar que evalúa la señal de crecimiento común durante un periodo dado (Aquino 2019) y tiene un rango de 0 a 1 (Campelo *et al.* 2012); la AC1 que evalúa la influencia del crecimiento del año previo sobre el crecimiento del año actual y va desde -1 a 1 (Fritts 1976).

## (ii) Recopilación y análisis de información meteorológica local

Para identificar la relación del crecimiento de los árboles con el clima, se hizo un análisis de correlación de Pearson entre las cronologías de índice de ancho de anillos de crecimiento (IAA) con variables climáticas locales de los promedios mensuales de temperatura y precipitación (Zegarra 2018) en el programa RESPO. Los datos climáticos instrumentales de precipitación promedio mensual y temperatura (máxima y mínima) de las estaciones meteorológicas más cercanas a las zonas de muestreo (en total 7) fueron solicitadas al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI); sin embargo, sólo se utilizaron los datos climáticos de la Estación meteorológica convencional de Cajabamba en un periodo de 1984 a 2021 (38 años) para la precipitación y 1985-2021 (37 años) para la temperatura (Anexo 3) para la elaboración de uno de los tres climatogramas. Ello debido a que faltaban datos o los periodos de tiempo con data eran muy cortos (inferiores a 30 años), lo cual no dota de robustez a la serie de datos para un posterior análisis climático mensual (Llallana 2017); por tal motivo fueron descartadas del estudio.

Para la construcción de los otros dos climatogramas, se usaron los datos climáticos mensuales procedentes de la red Climatic Research Unit (CRU) TS 4.04 (Harris *et al.* 2014) en un periodo de 1948 a 2018 (70 años) para Colcamar (Anexo 3), y de 1948 a 2019 (71 años) para Santa Rosa de Crisnejas (Anexo 3). Estos datos climáticos son tomados por diversas estaciones meteorológicas locales y ajustados a pruebas de homogeneidad (Mitchell y Jones 2005). Además, se escogieron porque abarcan un periodo amplio entre 1901-2021, por ofrecer una resolución espacial de 0,5° y por estar ampliamente contrastados en investigaciones paleoclimáticas y dendroclimáticas (como McGuire *et al.* 2010; Shi *et al.* 2015). En la tabla 3 se presenta el resumen de datos meteorológicos usados.

**Tabla 3: Resumen de los datos meteorológicos usados**

Lugar	Periodo	Especie	Origen
Cajabamba (Cajamarca)	1985 - 2021	<i>Bursera graveolens</i>	SENAMHI
Colcamar (Amazonas)	1948 -2018	<i>Cedrela kuelapensis</i>	CRU TS 4.04
Santa Rosa de Crinejas (Cajamarca)	1948-2019	<i>Eriotheca peruviana</i>	CRU TS 4.04

Cabe destacar que el año biológico (crecimiento del tronco de los árboles) no coincide con el año calendario; considerando que, en el hemisferio sur, los árboles inician su crecimiento al final del período de invierno y/o inicio del período de la primavera hasta el año siguiente, en

este caso de setiembre a mayo. Diferente al hemisferio norte, donde el inicio y el término del crecimiento de los árboles (o del anillo de crecimiento anual) ocurren dentro del período de un año, comprendiendo los meses de enero a diciembre.

Debido a esto y a que el crecimiento de los árboles podría verse influenciado por condiciones del clima anteriores a la formación del anillo, se decide hacer el análisis en el programa RESPO, durante un periodo de 23 meses a partir de junio de la temporada de crecimiento anterior (t-1) a mayo de la temporada de crecimiento actual (t) (Fritts 1976). De esta forma se analizan dos estaciones completas de crecimiento.

Por otro lado, para comprobar si el crecimiento se veía influenciado por la precipitación acumulada, se procedió a realizar correlaciones entre la cronología de índice de ancho de anillo estándar (IAA std) con los datos instrumentales de precipitación mensual acumulada de tres estaciones meteorológicas y datos modelados: Cajabamba (*B. graveolens*), El Palto, San Marcos (SENAMHI) y Colcamar de CRU TS 4.04 (*C. kuelapensis*) y Celendín (*E. peruviana*) (SENAMHI).

Para el cálculo de la temperatura promedio mensual para cada estación climática se utilizó la ecuación 1.

Ecuación 1

$$T_{med} = \frac{(T_{max} - T_{min})}{2}$$

Dónde:

$T_{med}$ = temperatura media

$T_{max}$ =temperatura máxima

$T_{min}$ =temperatura mínima

### **(iii) Recopilación y análisis de información de la temperatura de la superficie del mar TSM**

Para conocer la influencia de El Niño oscilación del Sur (ENOS) en el crecimiento de las especies estudiadas, se descargaron datos de la temperatura de la superficie del mar (TSM) de la región 3.4 y Niño 1+2 de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y



Atmosférica (NOAA) de los siguientes enlaces web: [https://psl.noaa.gov/gcos\\_wgsp/Timeseries/Data/nino34.long.data](https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/Data/nino34.long.data) para el primero y [https://psl.noaa.gov/gcos\\_wgsp/Timeseries/Data/nino12.long.data](https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/Data/nino12.long.data) para el segundo; respectivamente; cubriendo un periodo de 1870 al 2021. Además, se obtuvo información del Índice Costero El Niño (ICEN) del Instituto geofísico del Perú, del siguiente enlace web: <http://met.igp.gob.pe/datos/icen.txt> cubriendo el periodo de 1950 a 2021.

Se realizó un análisis de correlación de Pearson entre la precipitación acumulada de octubre, noviembre y diciembre de cada conjunto de datos climáticos usados y el promedio de la temperatura de la superficie del mar para el mismo periodo de las zonas 3.4 y 1+2 para observar la relación existente entre estas variables. También se correlacionaron las cronologías de índice de ancho de anillo de crecimiento con las temperaturas mensuales de la superficie del mar de la región 3.4 y 1+2, desde junio del año anterior al crecimiento, hasta mayo del año de formación de anillos de crecimiento y por último se correlacionaron los índices de ancho de anillo con el Índice Costero El Niño (ICEN) promedio y por periodos, para cada especie.

### **3.3.3. Reconstrucción climática**

Para la reconstrucción de la variabilidad hidroclimática se identificó cuál es la variable climática que correlaciona de una forma más eficiente con el crecimiento radial de cada especie; es decir, la que explica mejor su crecimiento.

Para generar un modelo climático que permita reconstruir el periodo seleccionado, se realizó un análisis de regresión lineal, generando una ecuación lineal para los periodos correspondientes para las especies (Ortega 2017). Es decir, se correlacionaron las series de índice de ancho de anillo de crecimiento en su versión estándar (STD) con la precipitación acumulada de diferentes meses del año, con el objetivo de ver el periodo de mayor influencia por esta variable y que facilite reconstruirlo.

En este modelo el índice de ancho de anillos (IAA) actúa como la variable independiente y como predictor de las variables climáticas en el tiempo y la variable climática actúa como la variable dependiente.

Posteriormente se realizó el proceso de calibración-verificación a través de modelos de regresión lineal, entre dos variables ya calibradas y verificadas (variable independiente – cronología; variable dependiente – clima). Para la calibración del análisis matemático se usaron los datos instrumentales o modelados del periodo con mayor correlación y se generó una ecuación de regresión lineal entre la variable climática y la cronología de IAA, con esto se generó una ecuación que al reemplazar datos del IAA, permite reconstruir la variable climática. Posteriormente, en la verificación se realizó una correlación entre los datos instrumentales/modelados y los reconstruidos (a partir de la ecuación) para verificar cuán similares eran y finalmente se aplicó la ecuación de regresión a lo largo de toda la cronología de índice de ancho de anillo de crecimiento en donde se carecen de datos instrumentales.

Para analizar los periodos de sequía y humedad a lo largo de la reconstrucción y evaluar su frecuencia, se consideraron años secos extremos los años con precipitaciones menores al promedio - 1 de la desviación estándar y los años húmedos extremos mayores al promedio + 1 desviación estándar (Aquino 2019). Si se tienen 2 o más años inferiores a la media, se consideraron como sequía y aquellos que están por encima de la media, como húmedos (Sun *et al.* 2018) y se compararon con información de sequías históricas y años húmedos generados por el SENAMHI (2019) para algunos departamentos altoandinos del Perú (1981 – 2018) (Cajamarca, Amazonas, La libertad, entre otros) con los años de ocurrencia del Fenómeno de El Niño y con un estudio generado por Humanes *et al.* (2020) que presenta una reconstrucción de la precipitación en los Andes Amazónicos peruanos, en la cual se identifican años secos y húmedos extremos.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CARACTERIZACIÓN DE ANILLOS DE CRECIMIENTO

#### a) *Bursera graveolens*

Los anillos de crecimiento de *B. graveolens* se pueden observar a simple vista, con notoria diferencia entre el leño inicial; que corresponde a las zonas más claras, y el leño tardío; que corresponde a las zonas más oscuras del anillo de crecimiento. Los anillos de crecimiento varían en cuanto a su espesor cuando son observados desde la médula a la corteza, presentándose anillos más anchos o separados hacia la médula y anillos más estrechos o juntos cerca a la corteza (Figura 8).



Figura 8: **Variabilidad de ancho de anillos de crecimiento de *Bursera graveolens***

Se observó que la especie presenta porosidad semicircular y los anillos de crecimiento se encuentran demarcados por zonas fibrosas más oscuras. La especie presenta falsos anillos, identificándose como anillos discontinuos a lo largo de toda la sección transversal que pasan por dos o tres radios (previamente marcados) y desaparecen en el cuarto radio. Esos falsos anillos están más asociados a anillos estrechos (épocas de menor crecimiento en condiciones menos favorables). También se pueden juntar tres anillos y confluir en una porción del anillo en un solo anillo (Figura 9). La sensibilidad media fue de 0.463.

### **FALSO ANILLO EN *Bursera graveolens***

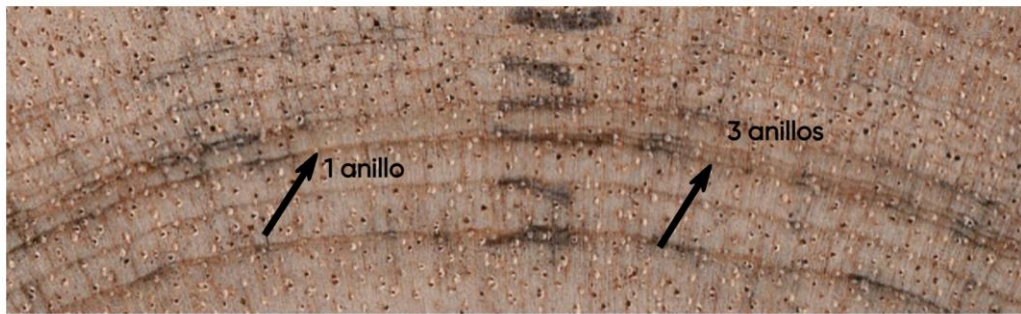


Figura 9: **Presencia de falsos anillos en *Bursera graveolens***

### **b) *Cedrela kuelapensis***

Los anillos de crecimiento de *Cedrela kuelapensis*, se pueden observar a simple vista; diferenciándose el leño tardío del leño temprano. Son variables en cuanto a su espesor de la médula a la corteza, presentándose anillos de diferentes espesores (Figura 10). Sin embargo, se observa en casi todas las muestras, que la parte inicial y media de los radios evaluados presenta anillos de crecimientos más anchos y en las zonas más cercanas a la corteza, los anillos de crecimiento son más angostos.

### **ANCHO DE ANILLO DE CRECIMIENTO**

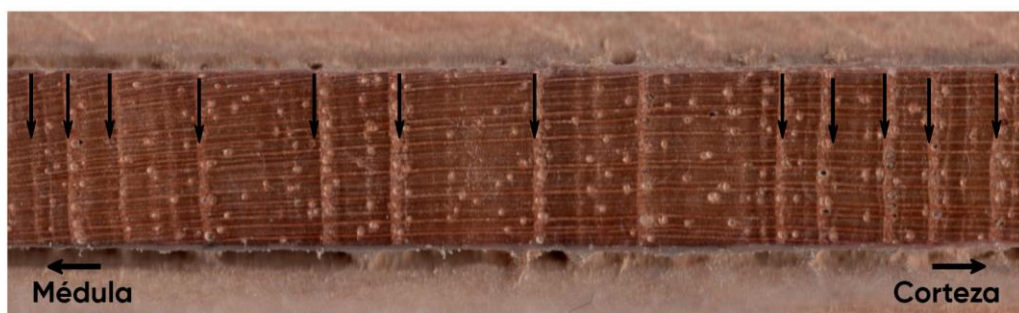


Figura 10: **Variabilidad de ancho de anillos de crecimiento de *Cedrela kuelapensis***

La madera presenta porosidad semicircular; además, los anillos de crecimiento están delimitados por zonas de parénquima marginal más claras; debido al mayor diámetro del lumen de las células parenquimáticas. La sensibilidad media fue de 0.472.

c) *Eriotheca peruviana*

Los anillos de crecimiento se observan a simple vista con diferencia notoria entre el leño inicial y tardío; dadas por zonas más claras y más oscuras en los anillos de crecimiento. Son variables en espesor desde la médula hasta la corteza, presentándose anillos más anchos  $\theta$  hacia la corteza y anillos más estrechos en las cercanías de la médula (Figura 11).

La especie presenta porosidad difusa y la demarcación de los anillos de crecimiento está delimitado por zonas fibrosas más oscuras; debido al aumento del espesor de la pared celular de las fibras. En los resultados obtenidos en el programa COFECHA se tuvo una sensibilidad media de 0.367



Figura 11: **Variabilidad de ancho de anillos de crecimiento de *Eriotheca peruviana***

Las tres especies marcan anillos de crecimiento distinguibles a simple vista, cuya presencia de anillos bien demarcados indica que estos leños estuvieron expuestos a un clima con estacionalidad bien definida (Brea *et al.* 2005).

Los anillos de *B. graveolens* de los BES del Marañón se caracterizan por presentar leño inicial y leño tardío claramente diferenciados, que guardan similitud con otras poblaciones de *B. graveolens* del norte de Perú y sur de Ecuador (Rosero 2011; Pucha *et al.* 2015). Estas características en común guardan relación debido a la estacionalidad que comparten los ecosistemas.

La sensibilidad media (SM) de 0.463 indica que los anillos de crecimiento de esta especie responden a variaciones interanuales del clima y son sensibles (Fritts 1976). Los resultados son similares a lo encontrado por Pucha *et al.* 2015 en un bosque seco Tropical de Ecuador, hallando una sensibilidad media de 0.66 para *Bursera graveolens*. Esto indicaría que el

crecimiento de los árboles de esta especie en el ecosistema ecuatoriano, es más sensible a los factores climáticos que los encontrados en este estudio; pues existe una mayor variabilidad en el ancho de anillos entre un año y otro, debido a la gran estacionalidad que tiene su clima respecto a la precipitación. Además de la influencia de la gradiente altitudinal en este parámetro (Manzanilla *et al.* 2020). Respecto a la porosidad y forma en la demarcación de anillos, los resultados concuerdan con lo descrito por Acevedo y Kikata (1994); Pucha *et al.* 2015.

La especie *C. kuelapensis* muestra anillos de crecimiento diferenciados entre leño tardío y de primavera, característico del género *Cedrela* (Pereyra *et al.* 2014; Marcelo-Peña 2017). Presenta anillos más anchos al inicio de su crecimiento, así como en la zona media de los radios evaluados; siendo los anillos más angostos en zonas cercanas a la corteza. Este patrón de crecimiento explica parte de la dinámica forestal del ecosistema (Génova *et al.* 2009), en los primeros años de vida el árbol tiene espacio y luz que le permite generar mayor tasa de crecimiento, y a medida que crece, encuentra competencia que va limitando su crecimiento como infestaciones de insectos, incendios, características del suelo o eventos climáticos extremos (Ortega y Camarero 2018; Amoroso y Suárez 2015), generando anillos más angostos.

Respecto a la sensibilidad media (0.472), se concluye que la especie presenta anillos sensibles, ya que estos responden a fuertes variaciones interanuales del clima. Los resultados concuerdan con Marcelo *et al.* 2017, quienes afirman la variabilidad interanual en los anillos de la misma especie en el mismo ecosistema. La sensibilidad media encontrada para *Cedrela kuelapensis* es mayor a la reportada por Layme *et al.* 2018 para *Cedrela nebulosa* en bosques montanos tropicales de América del sur (SM: 0.36), revelando que la estacionalidad de la marcada precipitación en el BES del Marañón influye en la sensibilidad de la especie.

*E. peruviana* muestra características similares a *B. graveolens* y a *C. kuelapensis*; la sensibilidad media (0.367) indica que los anillos de crecimiento de esta especie responden a fuertes variaciones interanuales del clima, por lo que se concluye que la especie presenta anillos sensibles (Fritts 1976). Esta característica también se comprueba debido a la variabilidad en el ancho de sus anillos. El patrón de demarcación de sus anillos, así como su porosidad son comunes a *Eriotheca discolor* que cohabita en el mismo ecosistema (Marcelo-Peña 2017). No existe antecedentes dendrocronológicos para esta especie en el Perú ni en otros BES del neotrópico.



## 4.2. ANÁLISIS DENDROCLIMATOLÓGICO

### a) Control de calidad de las series de anillos de crecimiento (cofechado)

Para *Bursera graveolens*, sólo se usaron 42 series de 24 árboles para la construcción de la cronología en el programa COFECHA (Figura 12), generando así una serie maestra de ancho de anillos de crecimiento con señal común (ANEXO 4a). Para las 42 series datadas se obtuvo una intercorrelación de 0.403 (Tabla 4). Esta resultó ser significativa para un nivel de intercorrelación crítica de 0.3281 al 99% de nivel de confianza que indica el programa COFECHA.

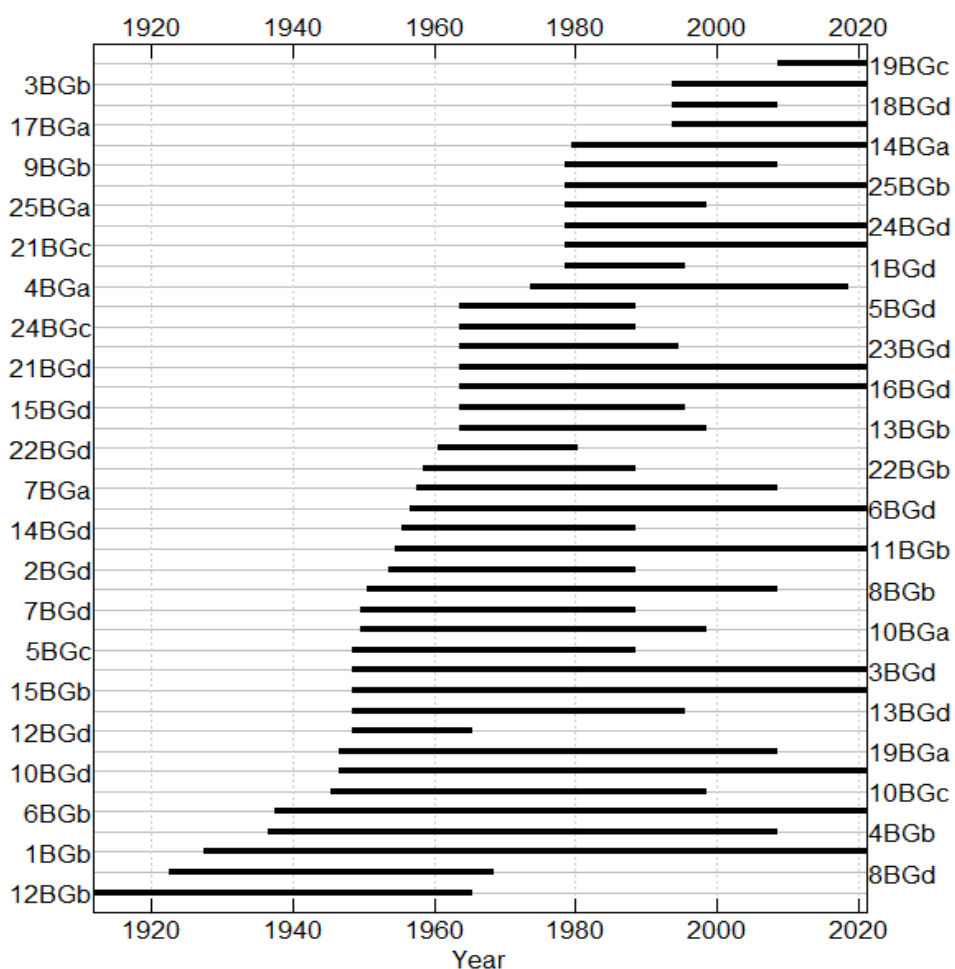


Figura 12: Intervalos de crecimiento de las 42 muestras (*Bursera graveolens*)

De los 20 árboles (47 series) de *Cedrela kuelapensis* muestreados y medidos, sólo se utilizaron 35 series para la construcción de la cronología (Figura 13), generando una serie maestra de ancho de anillos de crecimiento con señal común (ANEXO 4b). Para las 35 series

datadas se obtuvo una intercorrelación de 0.422 (Tabla 4). Esta resultó ser significativa para un nivel de intercorrelación crítica de 0.3281 al 99% de nivel de confianza.

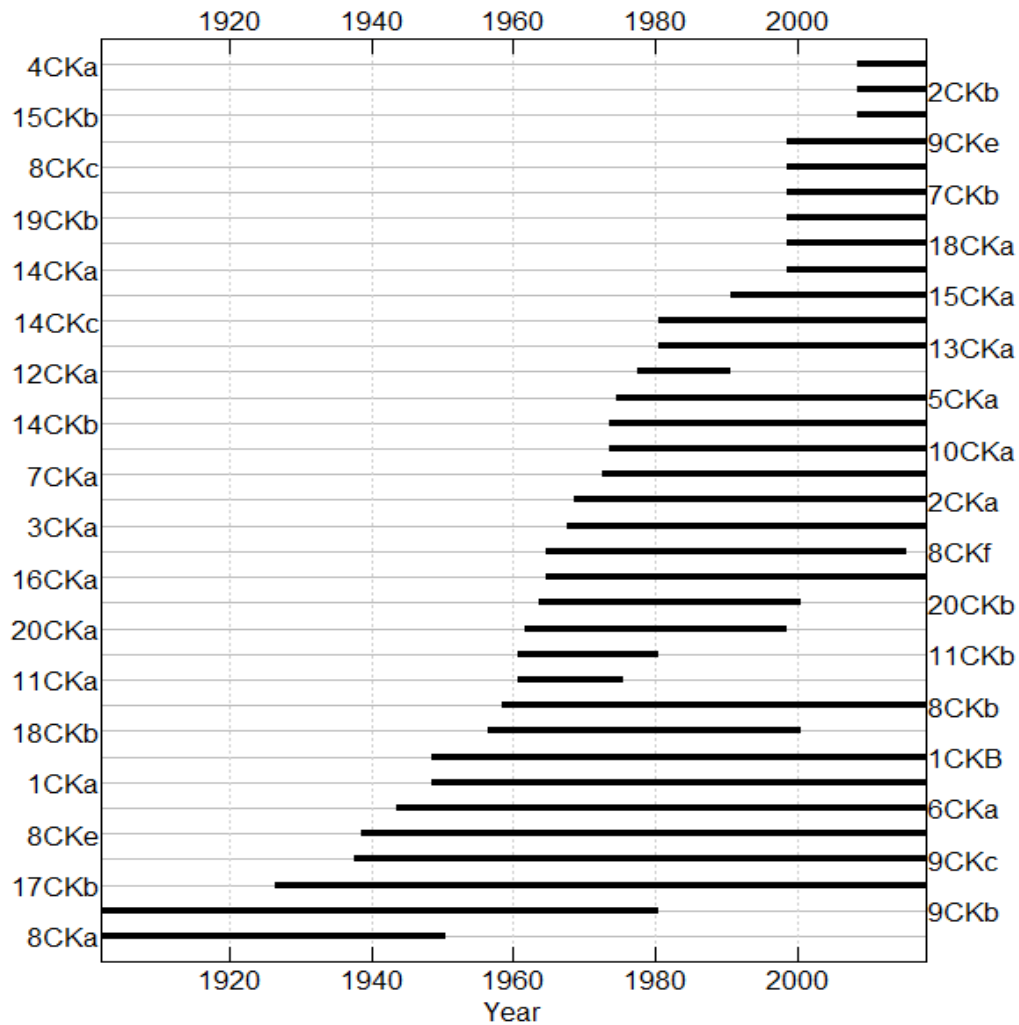


Figura 13: **Intervalos de crecimiento de las 35 muestras (*Cedrela kuelapensis*)**

De los 17 árboles (68 series) de *Eriotheca peruviana* muestreados y medidos sólo se utilizaron 15 árboles (49 series) para la construcción de la cronología en el programa COFECHA (Figura 14), generando una serie maestra de ancho de anillos de crecimiento con señal común (ANEXO 4c) y se obtuvo una intercorrelación de 0.380 (Tabla 4). Esta resultó ser significativa para un nivel de intercorrelación crítica de 0.3281 al 99% de nivel de confianza.



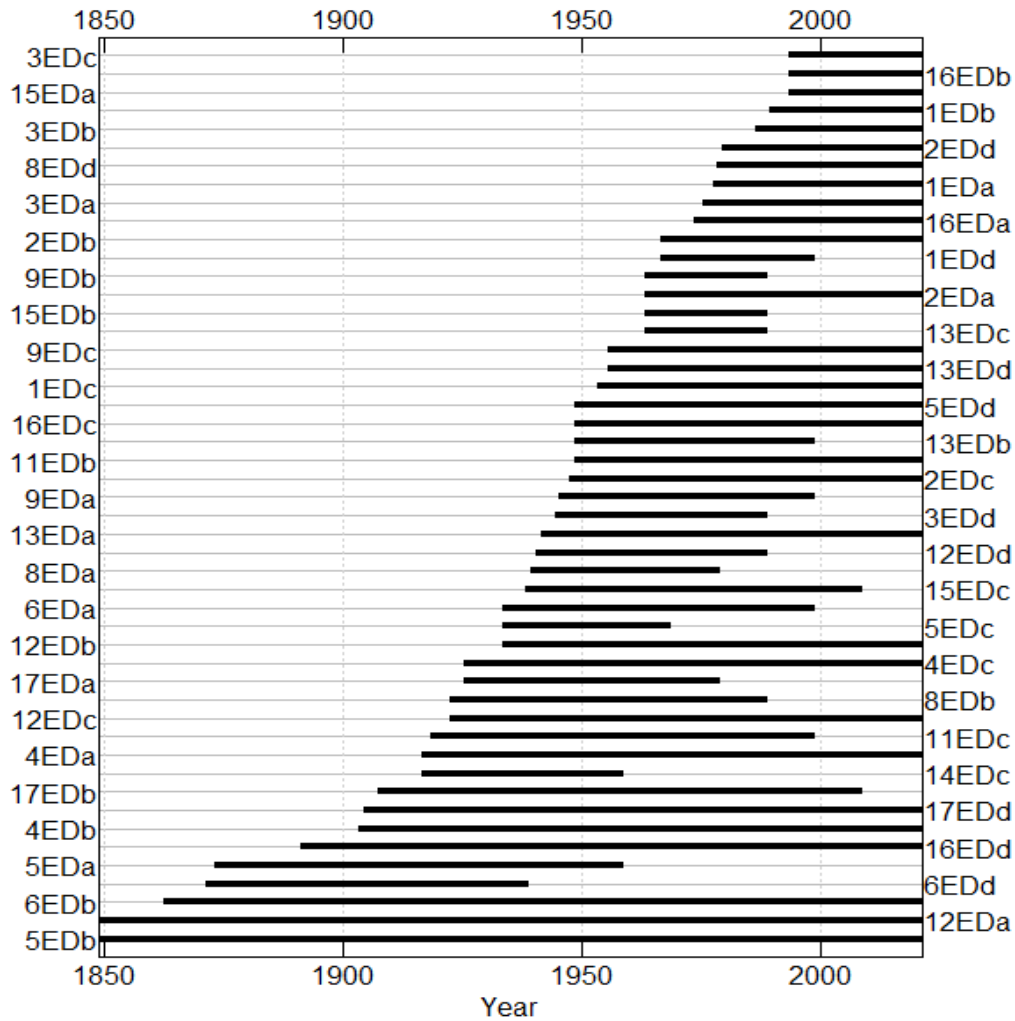


Figura 14: Intervalos de crecimiento de las 49 muestras (*Eriotheca peruviana*)

Respecto a la totalidad de muestras iniciales y finales, para *Bursera graveolens* se utilizó casi la totalidad de árboles; sin embargo, se descartaron a lo largo del proceso 58 series, para *Cedrela kuelapensis* se utilizó casi la totalidad de árboles; sin embargo, se descartaron a lo largo del proceso 12 series y para *Eriotheca peruviana* se descartaron a lo largo del proceso 19 series.

*Bursera graveolens* presentó correlaciones bajas. Pucha *et al.* 2015, Rosero (2011) y Rodríguez *et al.* (2005) obtuvieron intercorrelaciones de 0.53 hasta 0.73. Las diferencias en las intercorrelaciones pueden deberse al tipo de bosque, la gradiente altitudinal, la precipitación y la estacionalidad climática. Además de las interacciones bióticas (competencia entre individuos por agua, luz, humedad del suelo) y al grado de perturbación

del ecosistema referido a la historia del uso de la tierra y la actividad humana (Grissino-Mayer 2001).

Pese a ello, el valor de intercorrelación hallado indica que esta especie puede ser usada para estudios dendrocronológicos en diversos ecosistemas, a través de la gradiente altitudinal, siguiendo el principio de amplitud ecológica (Fritts 1976). Además, las correlaciones encontradas en este estudio, pueden diferir con otros autores, por la cantidad de árboles muestreados o series usadas para la construcción de la cronología (Portal *et al.* 2023). También, tener en cuenta que, si descartamos series con correlaciones bajas en el software COFECHA, la correlación final entre series, aumentará. Estas diferencias son un reflejo de la complejidad de los procesos que influyen en el crecimiento de los árboles y su relación con el medio ambiente.

*C. kuelapensis* presentó una correlación alta (0.422) permitiendo indicar que esta especie puede utilizarse para estudios dendrocronológicos en diversos biomas con diferentes regímenes climáticos. Este valor fue mayor a lo reportado por Paredes *et al.* (2016) para *Cedrela fissilis* (0.261) en un bosque seco tropical, pudiendo indicarse que, en este último, hubo dificultades en la datación, asociadas con anillos pocos diferenciados. También, en un bosque andino montano (Monobamba, Junín), Layme *et al.* (2018) obtuvieron un valor de 0.47 para 13 árboles (23 series) de *Cedrela nebulosa*, cuyos valores son similares a lo encontrado en este estudio. Así mismo, Acevedo (2018) encontró un valor menor de intercorrelación en los bosques montaños del Perú para *Cedrela sp.* (0.413) con 21 árboles (41 muestras). Las diferencias en la intercorrelación entre series pueden deberse a un descarte de series con baja correlación durante el control de calidad y/o al número de series y árboles usados.

Durante el proceso de cofechado, se descartaron muestras con poca visibilidad en los límites de los anillos debido a errores en el procesamiento de la madera o a correlaciones bajas después de varios intentos de medición. Algunas muestras podrían provenir de árboles afectados por condiciones locales como competencia, plagas, enfermedades e incendios. El porcentaje de muestras cofechadas varía entre el 43% y 90%, dependiendo del lugar. Este descarte es esencial para construir una serie maestra robusta y precisa utilizada en estudios climáticos y eventos históricos (Ortega, 2014; Cerano, 2004; Lara *et al.*, 2000).

## b) Obtención de cronologías estandarizadas

Los árboles de *Bursera graveolens* tuvieron una edad de 110 años cubriendo el periodo de 1912 a 2021; *Cedrela kuelapensis* tuvo una edad de 117 años cubriendo el periodo de 1902 a 2018 y *Eriotheca peruviana* tienen una edad de 173 años cubriendo el periodo de 1849 a 2021.

En las Figuras 15, 16 y 17 se observa cómo, de la data inicial se obtiene una media de crecimiento inicial y luego de ser estandarizadas esa línea de tendencia se convierte en una más homogénea y cercana a la unidad. En las tres figuras se observa una zona sombreada en color gris, que indica el número de muestras usadas para construir la serie maestra. Esta aumenta conforme se incrementan los años de la cronología, esto indica que su construcción fue hecha a partir de muestras de árboles más jóvenes y de menos árboles longevos.

Para la especie *Bursera graveolens*, se ve un cambio abrupto a partir del año 1942; es decir, se usaron más muestras con menos de 79 años para generar la cronología maestra. la especie *Eriotheca peruviana*, se ve un cambio en la línea de tendencia a partir del 1919; es decir, se usaron más muestras con menos de 102 años y para *Cedrela kuelapensis* se observa un cambio desde el año 1960; es decir, se usaron más muestras con menos de 61 años para generar la cronología maestra.

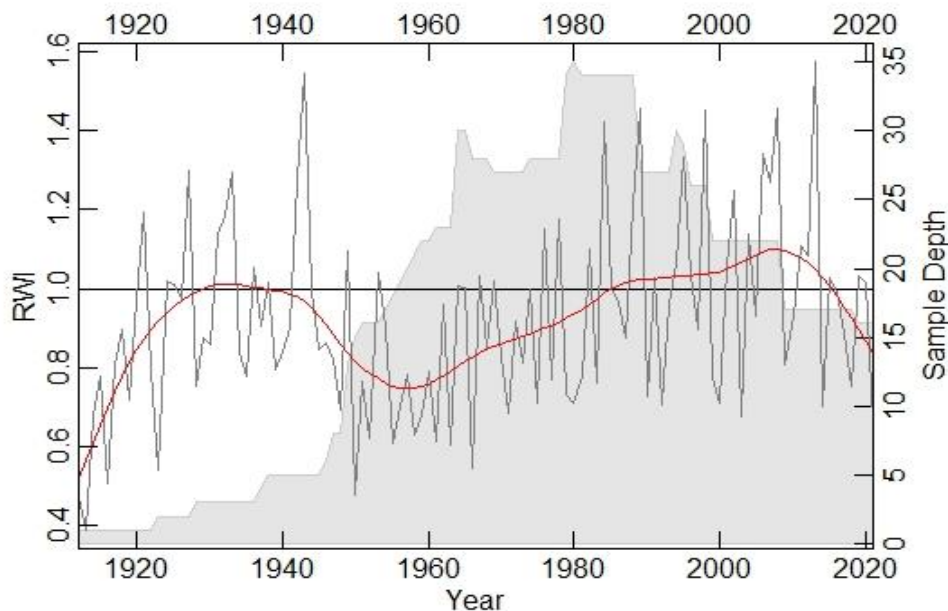


Figura 15: **Cronologías de árboles de *Bursera graveolens*. Línea negra: índice ARSTAN (std). Línea roja: representa el spline. Área gris: número de muestras**

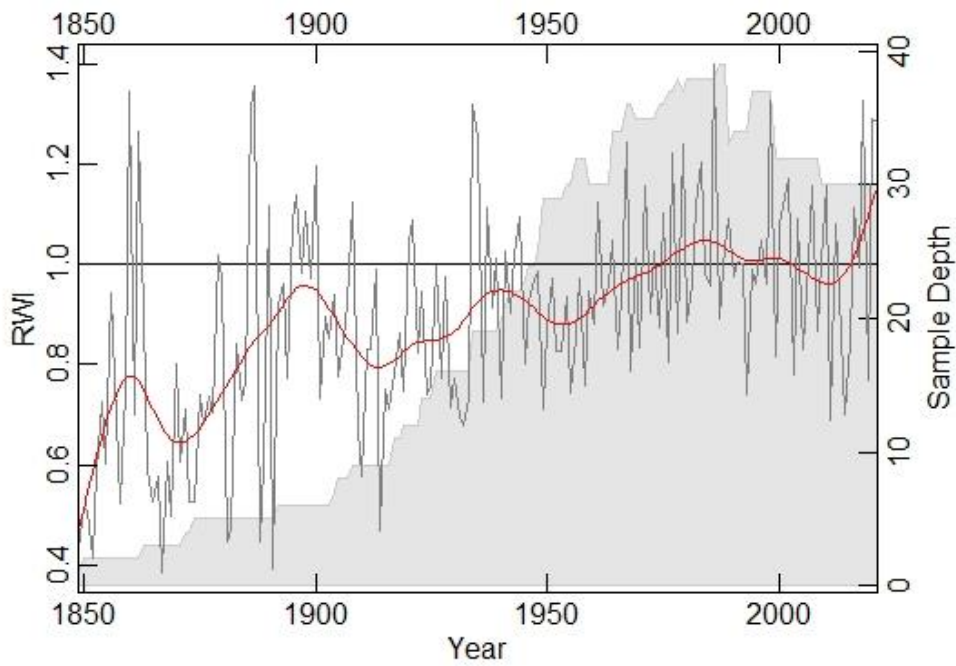


Figura 16: **Cronologías de árboles de *Cedrela kuelapensis*. Línea negra: índice de Ancho de anillos (std). Línea roja: representa el spline. Área gris: número de muestras**

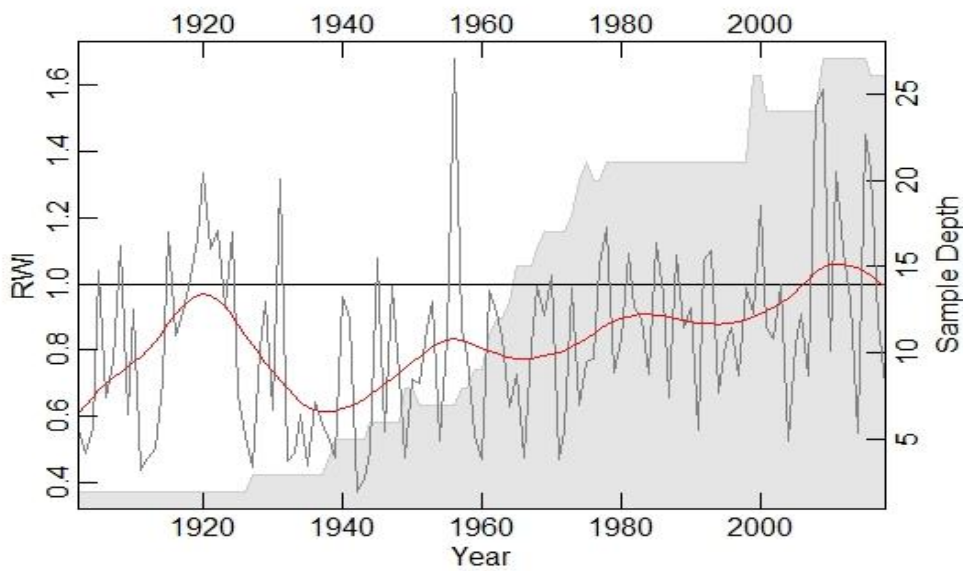


Figura 17: **Cronología de árboles de *Eriotheca peruviana*. Línea negra: índice ARSTAN (std). Línea roja: representa el spline. Área gris: número de muestras.**

Para *Bursera graveolens* se obtuvo un EPS de 0.88, Rbar: 0.188, para *Cedrela kuelapensis* un EPS:0.79, Rbar: 0.145 y para *Eriotheca peruviana* un EPS: 0.86, Rbar: 0.129 (Tabla 4)

**Tabla 4: Estadísticos de la Datación Cruzada y del estandarizado**

<i>Especie/estadísticos</i>	<i>Bursera graveolens</i>	<i>Cedrela kuelapensis</i>	<i>Eriotheca peruviana</i>
N° Árboles iniciales / usados	25 / 24	20 / 20	17 / 15
N° series iniciales / usados	100 / 42	47 / 35	68 / 49
N° total de anillos medidos	1868	1462	3322
Intercorrelación media	0.403	0.422	0.38
Intercorrelación crítica (al 99% de nivel de confianza)	0.3281	0.3281	0.3281
Sensibilidad media (SM)	0.463	0.472	0.367
Media de longitud de series	110 años	117 años	173 años
Periodo de cronología	1912 - 2021	1902 - 2018	1849 - 2021
Coefficiente de correlación media (Rbar)	0.188	0.145	0.129
Señal expresada por la población (EPS)	0.881	0.79	0.86
Autocorrelación de primer orden (AC1)	0.14	0.31	0.26
Relación señal – ruido (SNR)	7.428	3.74	6.358

De los valores de EPS obtenidos, sólo *Bursera graveolens* y *Eriotheca peruviana* sobrepasan el valor mínimo sugerido siendo *Cedrela kuelapensis* la única especie con un valor inferior a 0.85 (Tabla 4). Existen otros trabajos en bosques tropicales en Perú y Ecuador con resultados similares, tales como Pucha *et al.* (2015) que obtuvieron un EPS: 0.85 y Rbar: 0.22 para *Bursera graveolens*; Acevedo (2018) obteniendo un EPS: 0.787 y Rbar: 0.207 para *Cedrela nebulosa* y un EPS: 0.781 para *Cedrela angustifolia*; así como también Burneo (2020) obtuvo un EPS: 0.34 para *Cedrela angustifolia*, y Patiño (2019) un EPS: 0.75 para *Cedrela montana*. Esto indica que el número de muestras utilizados en el estudio es correcto y representa a la población. Mencionar que no se encontraron estadísticos dendrocronológicos para el género *Eriotheca*, siendo los primeros resultados generados para los valles interandinos de Sur América.

Es importante señalar que el valor mínimo de 0.85 usado para evaluar la calidad de las cronologías, se encuentra aún en discusión por sus aplicaciones. Según Buras (2017) y Wigley *et al.* (1984) no debería de tomarse como regla para aceptar o rechazar la confiabilidad de las cronologías, pues inicialmente este umbral apareció como ejemplo para otro parámetro estadístico utilizado en estudios dendrocronológicos (SSS: Submuestra de intensidad de señal). Acevedo (2018) sugiere que este es un valor un tanto arbitrario

construido en base a cronologías de ecosistemas templados, no pudiendo siempre aplicarse a ecosistemas tropicales o subtropicales donde tenemos características fisiográficas y micro climáticas distintas. También, Mendivelso *et al.* (2014) indican que el valor mínimo de la confiabilidad de la cronología para especies de un bosque seco neotropical (Bolivia) fue de  $EPS > 0.80$ .

Cuando el valor del EPS es menor de 0.8, la cronología comienza a estar dominada por una señal individual (a nivel de árbol) en lugar de presentar una señal a nivel de población (Speer 2010); por tanto, el valor estará influenciado directamente por el tamaño de la muestra. Tomando como referencia este valor de 0.85, se podría indicar que es necesario una mayor colecta de árboles y/o muestras para cada especie; sin embargo, hay que resaltar que los bosques estacionalmente secos del valle del Marañón, es una región poco investigada a nivel ecológico por su fisiografía escarpada donde la colecta de árboles tiene serios riesgos. Además, es uno de los ecosistemas más amenazados del mundo (Marcelo-Peña *et al.* 2016; Schröder *et al.* 2021) y en algunas localidades las subpoblaciones de especies endémicas a veces tienen pocos individuos (León *et al.*, 2006; Marcelo-Peña *et al.* 2016).

Respecto a la autocorrelación de primer orden (AR1) en las tres cronologías desarrolladas existe señal de que el crecimiento radial del anillo de un año está influenciado por el crecimiento del año anterior y están dentro del rango sugerido, aunque Fritts (1976) indica que cuando los patrones de crecimiento están más determinados por factores ajenos al clima, la relación señal-ruido será menor. Respecto a los parámetros de  $R_{bar}$ , los resultados están dentro de lo esperado en el rango de 0 a 1 e indican que existe una señal común en la población a lo largo de la cronología (Tabla 4). Para las tres especies, la cronología STD es la que tenía mejores valores y fue la elegida para determinar su relación con el clima.

### **c) Relación del crecimiento con variables climáticas**

#### **(i) Crecimiento y variables climáticas locales anuales**

El crecimiento radial de *Cedrela kuelapensis* evidenció una correlación positiva y significativa con la precipitación media anual regional de Colcamar ( $r=0.256$ ;  $p<0.05$ ) y positiva con la temperatura media anual ( $r=0.140$ ). El crecimiento de *Bursera graveolens* y *Eriotheca peruviana* presentó valores de correlación positivos y negativos no significativos con la precipitación y temperatura media anual regional de Cajabamba y Santa Rosa de Crisnejas; respectivamente (Tabla 5). En los 3 casos para un nivel de confianza del 95%.

**Tabla 5: Coeficientes de correlación de Pearson entre las series de IAA y variables climáticas locales**

Especie	Coeficiente de correlación de Pearson	
	Precipitación	Temperatura
<i>Bursera graveolens</i>	0.130	-0.047
<i>Cedrela kuelapensis</i>	<b>0.256*</b>	0.140
<i>Eriotheca peruviana</i>	0.005	0.135

\*Correlación positiva significativa al 95% de confianza

Los resultados explican que el crecimiento de las especies es sensible a la variable precipitación, respecto a la variable temperatura existe un bajo grado de relación directa con el crecimiento de *Cedrela kuelapensis* y *Eriotheca peruviana* y un bajo grado de relación inversa con el crecimiento de *Bursera graveolens*. Los resultados son similares con lo hallado por Rosero (2011) en Tongorrape y Mayascón en Lambayeque, encontrando correlaciones positivas y no significativas  $r=0.196$  y  $r=0.251$  para la precipitación en bosques estacionalmente secos del norte del país.

No se descarta que las bajas correlaciones encontradas se deban a una mala calidad de los datos meteorológicos provenientes de las diferentes estaciones, son zonas lejanas de los puntos de muestreo. Las correlaciones negativas con temperatura, suelen ser comunes en algunas especies neotropicales como en *Juglans neotropica* (Egües 2021); *Jacaranda copaia* y *Guatteria hyposericea* (Zegarra 2018); *Tectona grandis* (Zúñiga 2012), *Cordia alliodora* (Briceño *et al.* 2016) y específicamente en especies de bosques neotropicales secos: *Aspidosperma tomentosum*, *Tabebuia chrysantha*, *Caesalpinia pluviosa*, *Acosmium cardenasii*, *Amburana cardenasi*, *Anadenanthera macrocarpa* (Mendivelso *et al.* 2014), *Cedrela fissilis* (Paredes *et al.* 2016), *Parkinsonia praecox* (Ramirez y Del Valle 2012).

### (ii) Crecimiento y variables climáticas mensuales

Con el programa RESPO, se obtuvo las correlaciones entre las cronologías de índice de ancho de anillo (IAA) y las variables climáticas de precipitación y temperatura promedio mensual, para el periodo común de 1985 - 2021 para *Bursera graveolens*, de 1948 - 2018 para *Cedrela kuelapensis* y de 1948 - 2019 para *Eriotheca peruviana*. En la tabla 6 se resumen las correlaciones encontradas para las tres especies.

**Tabla 6: Coeficiente de correlación de Pearson entre especies y variables climáticas mensuales: precipitación y temperatura promedio mensual**

Especie		<i>Bursera graveolens</i>		<i>Cedrela kuelapensis</i>		<i>Eriotheca peruviana</i>	
		Tº	PP	Tº	PP	Tº	PP
Variable climática		Tº	PP	Tº	PP	Tº	PP
Meses		Coeficiente de correlación de Pearson					
Año anterior de crecimiento (t-1)	JUNp	0.004	-0.159	0.180	-0.260	0.181	-0.065
	JULp	0.204	-0.325	0.173	-0.148	0.291	-0.222
	AGOp	0.021	0.032	0.106	-0.054	0.261	0.130
	SETp	-0.024	-0.223	0.072	-0.031	0.159	-0.057
	OCTp	-0.018	0.023	0.056	-0.160	0.322	-0.239
	NOVp	-0.178	0.140	-0.006	0.213	0.408	-0.201
	DICp	-0.275	0.062	0.073	0.004	0.284	0.217
	ENEp	0.107	0.030	-0.032	0.254	0.180	-0.010
	FEBp	0.021	0.069	0.062	0.242	0.065	0.024
	MARp	-0.023	0.294	0.016	0.065	0.141	0.152
	ABRp	-0.181	0.352	0.081	-0.029	0.270	-0.167
	MAYp	-0.175	-0.183	0.057	0.227	0.112	-0.033
	JUNp	0.107	-0.229	0.105	0.013	-0.029	-0.059
	JULp	0.143	0.138	0.161	-0.032	0.034	-0.087
	AGOp	0.147	-0.088	0.231	-0.116	0.142	0.071
Año actual crecimiento (t)	SETp	-0.077	0.030	0.218	0.135	0.100	0.095
	OCTp	-0.142	0.239	0.165	-0.088	0.091	0.034
	NOVp	-0.136	-0.331	0.187	-0.062	0.087	0.149
	DICp	-0.029	-0.114	0.064	0.125	0.093	-0.118
	ENE	-0.106	0.193	0.133	0.196	0.155	0.088
	FEB	-0.155	0.028	0.127	0.131	0.329	-0.091
	MAR	-0.171	-0.100	0.139	-0.114	0.209	-0.024
	APR	-0.116	0.071	0.157	0.300	0.130	-0.099
	MAY	-0.325	0.114	0.144	0.102	0.050	-0.101

\*Sombreado amarillo (correlación positiva significativa  $p < 0.05$ ). Sombreado rojo (Correlación negativa significativa ( $p < 0.05$ )).

En *Bursera graveolens* las correlaciones obtenidas indican que la precipitación en el mes de julio de la temporada de crecimiento anterior (t-1) y la precipitación de noviembre del año de crecimiento actual (t) influyen de forma negativa y significativa y que la precipitación de abril del año actual de crecimiento (t) influye de forma positiva y significativa en el crecimiento de los árboles de esta especie. Con la temperatura se encontró una correlación significativa negativa en mayo del año actual de crecimiento (Figura 18).



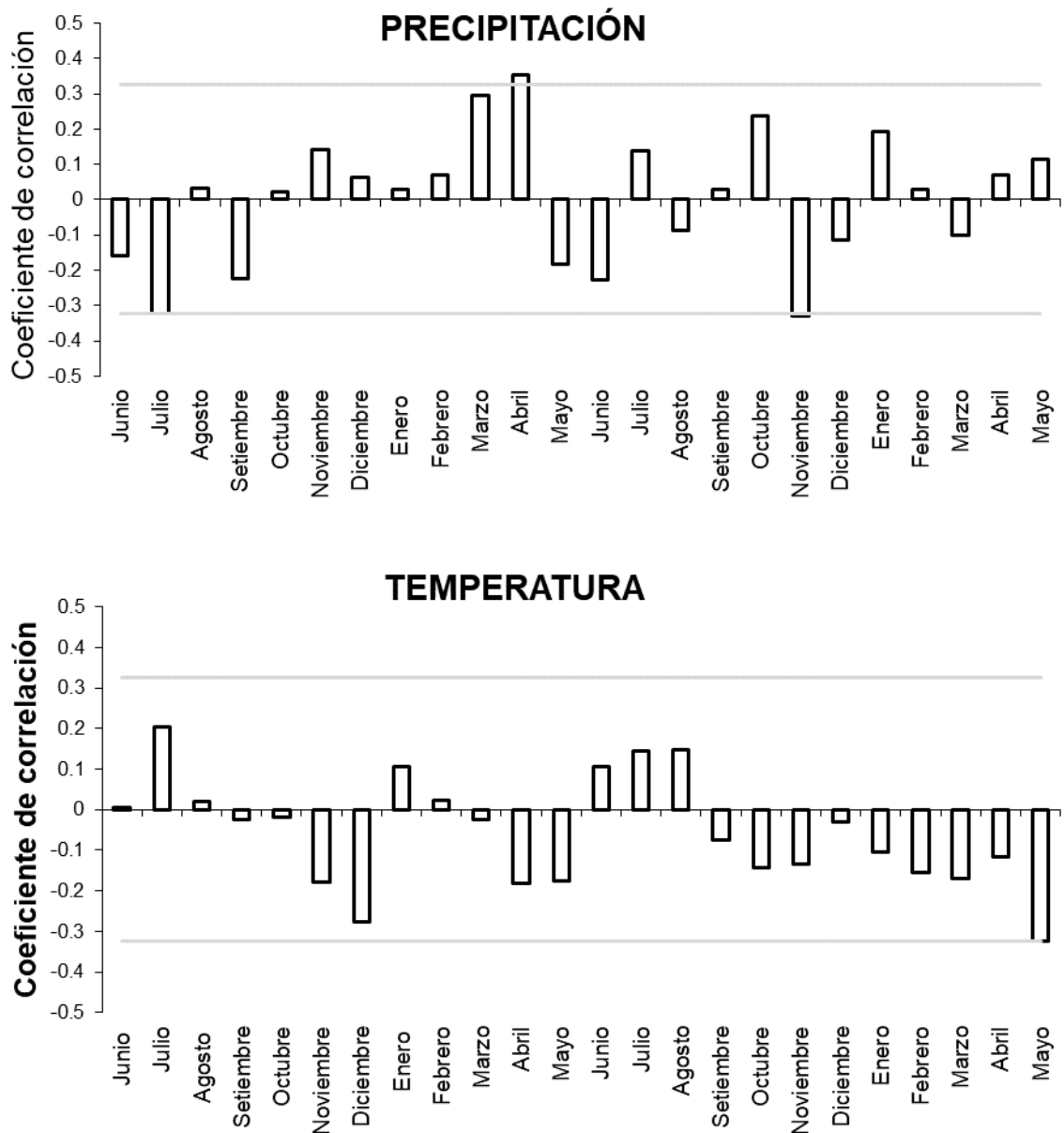


Figura 18: **Correlaciones entre los índices de anillos de crecimiento de *Bursera graveolens* con las variables climáticas durante 2 estaciones de crecimiento: previo (t-1) y actual (t). Las líneas horizontales representan el nivel de significancia.**

Además, las correlaciones de la precipitación acumulada con la cronología de índice de ancho de anillos estándar (IAA std) de *B. graveolens* (1984-2021) indicaron que los meses de febrero/marzo/abril (FMA) fueron los que obtuvieron correlación positiva y significativa con su crecimiento ( $r= 0.323$ ;  $p<0.05$ ) (Figura 19).

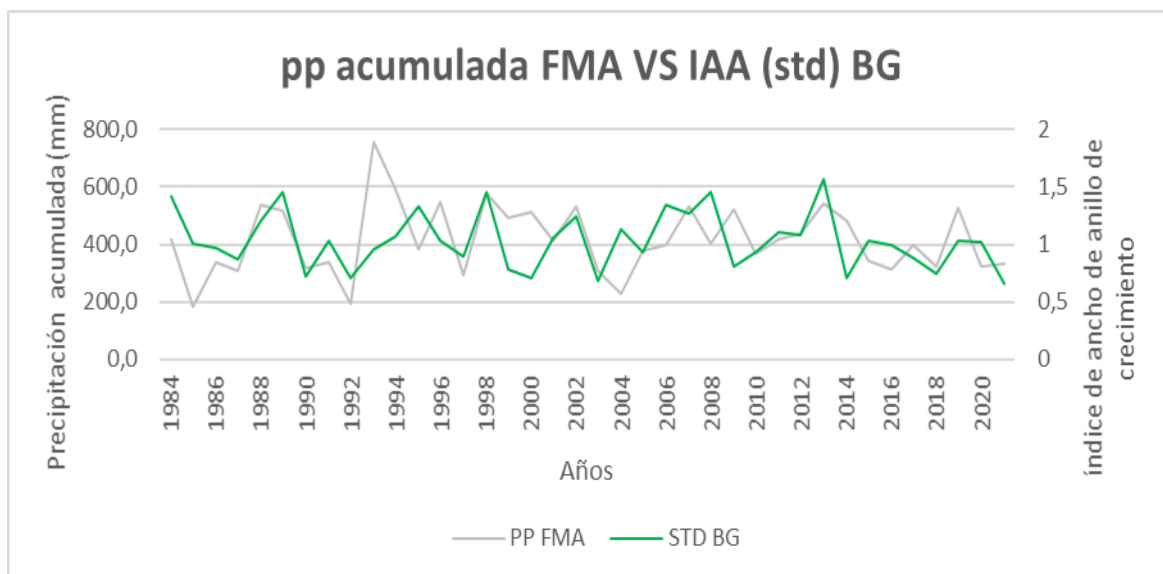


Figura 19: **Correlación de pp acumulada (Estación húmeda) con el IAA (std) de *Bursera graveolens* – Estación meteorológica de Cajabamba (1984 -2021)**

En *Cedrela kuelapensis* la precipitación del mes de enero y febrero de la temporada de crecimiento anterior (t-1) influye de forma positiva y significativa en el crecimiento de los árboles de esta especie, así como la precipitación de abril del año actual de crecimiento (t). No se encontraron correlaciones significativas positivas o negativas referentes a un mes o grupo de meses en particular con la temperatura. Se observan también correlaciones positivas desde febrero del año anterior al crecimiento hasta mayo del año actual de crecimiento; es decir, mientras la temperatura disminuye (temporada seca), el crecimiento disminuye y cuando aumenta (temporada húmeda), el crecimiento aumenta (Figura 20).

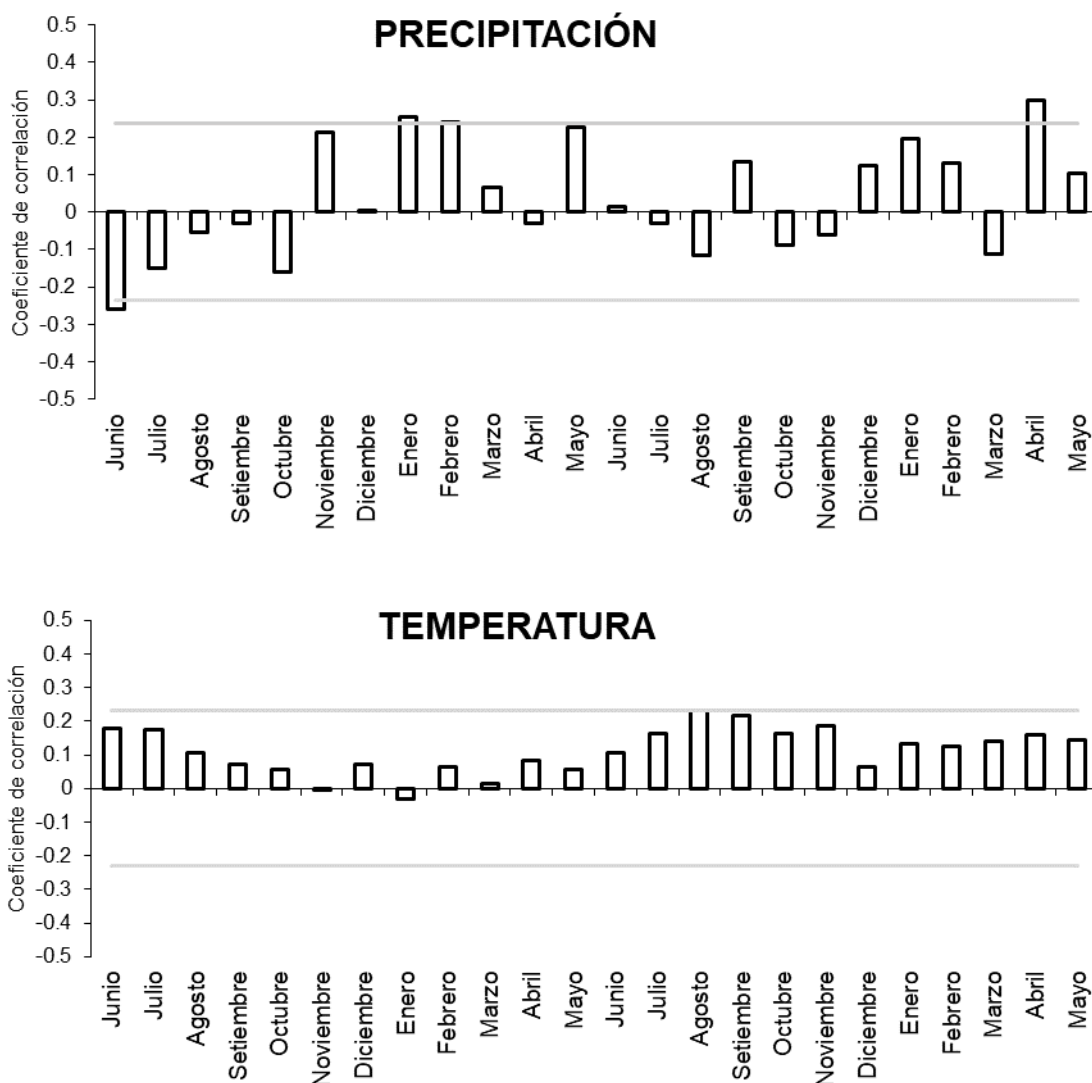


Figura 20: **Correlaciones entre los índices de anillos de crecimiento de *Cedrela kuelapensis* con las variables climáticas durante 2 estaciones de crecimiento: previo (t-1) y actual (t). Las líneas horizontales representan el nivel de significancia.**

Además, se obtuvo correlaciones positivas y significativas más altas con la pp acumulada registrada en El Palto (2003-2018) en los periodos de diciembre/enero/febrero (DEF), diciembre/enero/febrero/marzo (DEFM), enero/febrero (EF) y enero/febrero/marzo (EFM) ( $r=0.574, 0.53, 0.549, 0.502$ ;  $p<0.05$ ) (Figura 21), una correlación positiva y significativa con los datos de la estación meteorológica de San Marcos con la pp acumulada en el periodo de diciembre/Enero (DE) ( $r=0.28$ ;  $p<0.05$ ) (Figura 22), así como también una correlación positiva y significativa con los datos de la Colcamar (CRU TS 4.04) con la pp acumulada en

el periodo de diciembre/Enero/Febrero (DEF), diciembre/enero/febrero/marzo (DEFM), enero/febrero (EF), enero/febrero/marzo (EFM), enero/febrero/marzo/abril (EFMA), con ( $r=0.345; 0.328; 0.341; 0.310$  y  $0.243; p<0.05$ ) respectivamente (Figura 23).

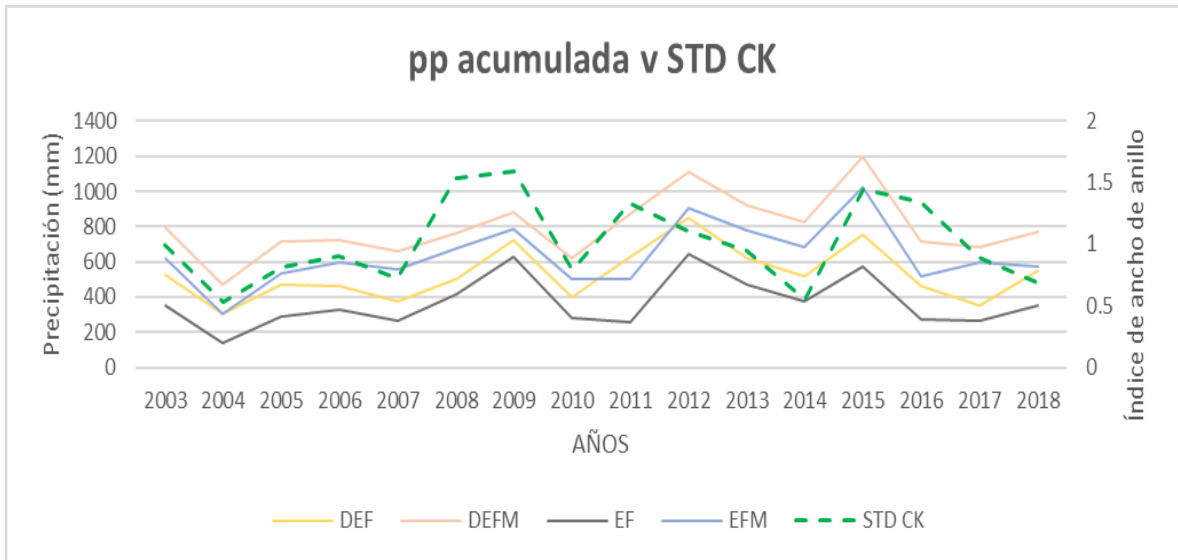


Figura 21: Correlaciones de pp acumulada (estación húmeda) con la cronología IAA (std) de *Cedrela kuelapensis* – Estación meteorológica El Palto (2003-2018).

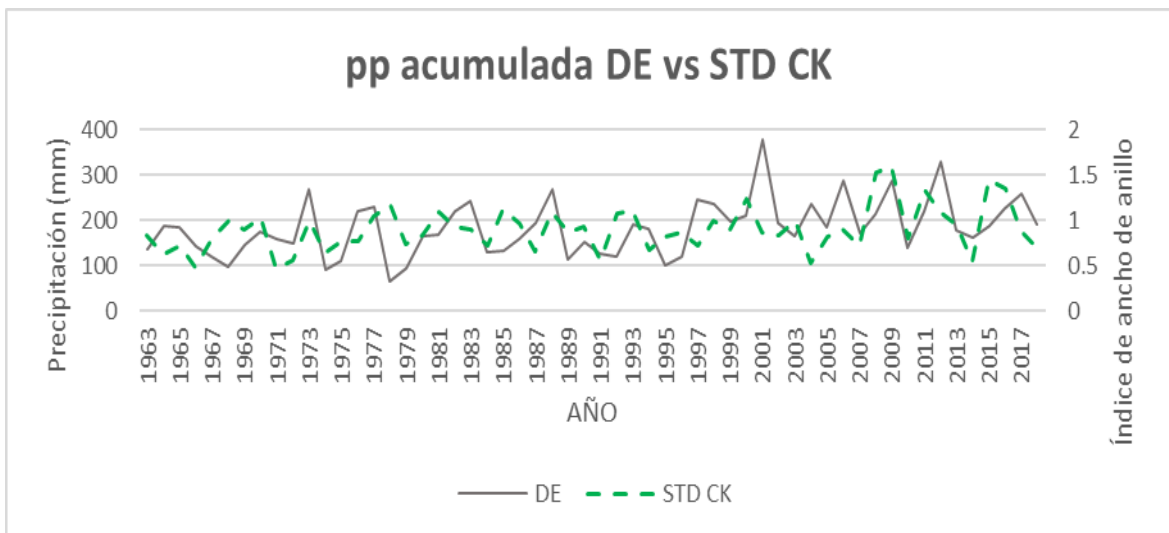


Figura 22: Correlaciones de pp acumulada (estación húmeda) con la cronología IAA (std) de *Cedrela kuelapensis* – Estación meteorológica San Marcos

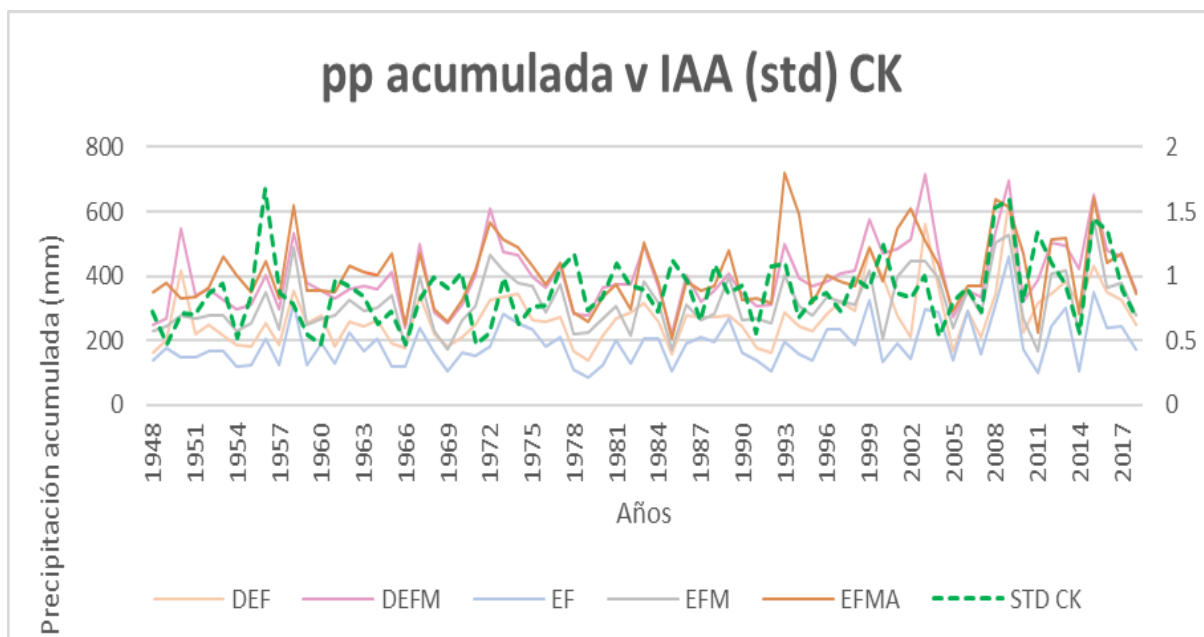


Figura 23: **Correlaciones de pp acumulada (estación húmeda) con la cronología IAA (std) de *Cedrela kuelapensis* – Colcamar (1948 – 2018)**

En *Eriotheca peruviana* la precipitación de octubre de la temporada de crecimiento anterior (t-1) influye de manera negativa y significativa en el crecimiento de los árboles de la especie y respecto a la temperatura se obtuvo correlaciones positivas y significativas en los meses de abril, julio, agosto, octubre, noviembre y diciembre del año previo al crecimiento (t-1) así como también en febrero del año actual de crecimiento (t) (Figura 24).

Usando datos climáticos de Santa Rosa de Crisnejas (CRU TS 4.04), no se obtuvieron correlaciones significativas ni con la precipitación acumulada ni con la temperatura promedio de diferentes meses agrupados.

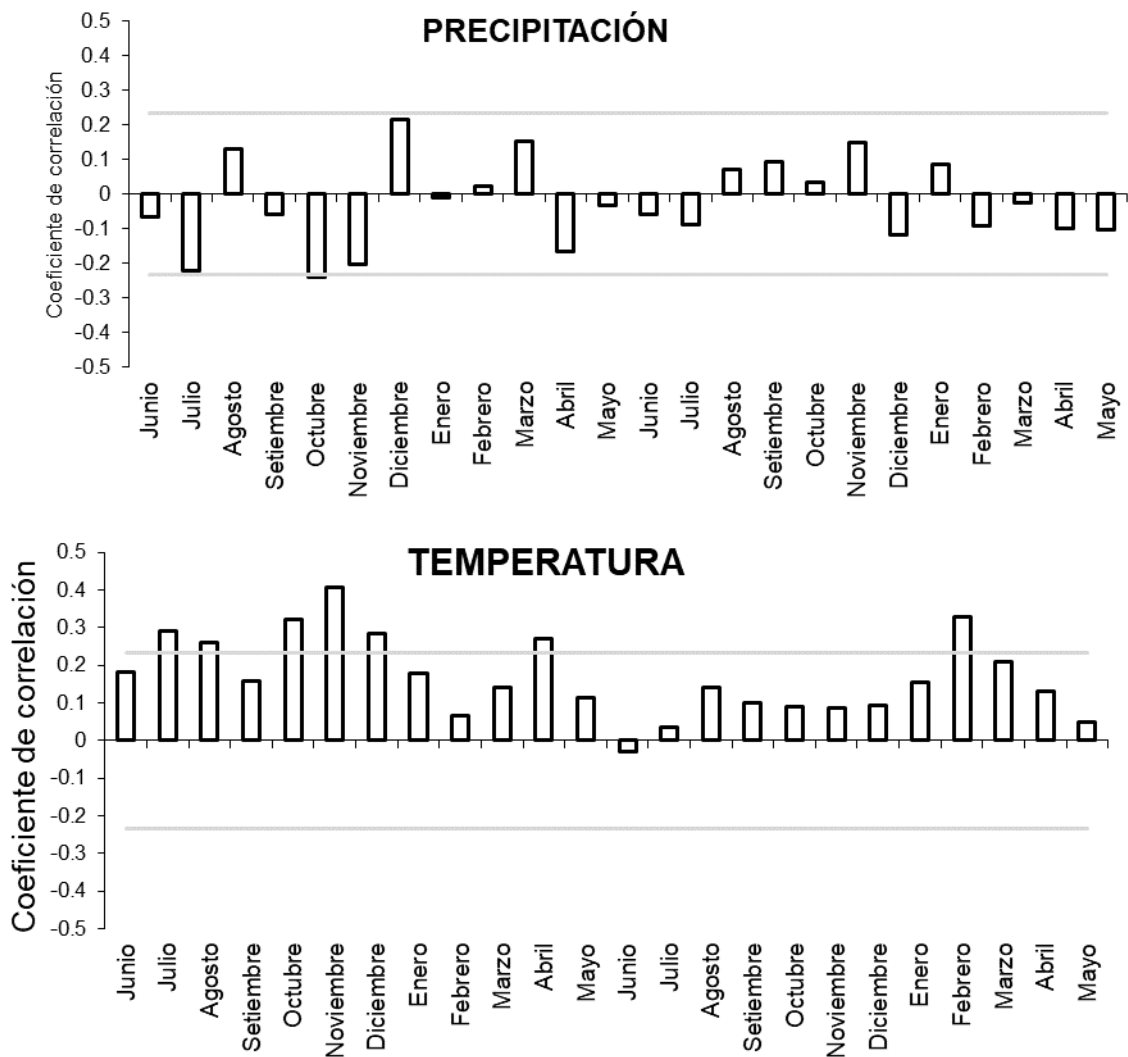


Figura 24: **Correlaciones entre los índices de anillos de crecimiento de *Eriotheca peruviana* con las variables climáticas durante 2 estaciones de crecimiento: previo (t-1) y actual (t). Las líneas horizontales representan el nivel de significancia.**

Sin embargo, cuando se correlacionaron los datos meteorológicos de una estación meteorológica convencional cercana: Celendín, proporcionado por SEMANHI, se encontró que esta especie responde positivamente y con valores muy cercanos al nivel mínimo de significancia, a la precipitación acumulada de setiembre/octubre/noviembre (SON), setiembre/octubre/noviembre/diciembre (SOND), octubre/noviembre (OD), octubre/noviembre/diciembre (OND), octubre/noviembre/diciembre/enero (ONDE) y finalmente la correlación más alta positiva y no significativa ( $r = 0.3845$ ;  $p < 0.05$ ) con la precipitación acumulada de noviembre/diciembre (ND). Esto indicaría que, lo que impacta

positivamente a la *E. peruviana* es una acumulación de agua a lo largo de la estación lluviosa (Figura 25), como en las especies anteriores.

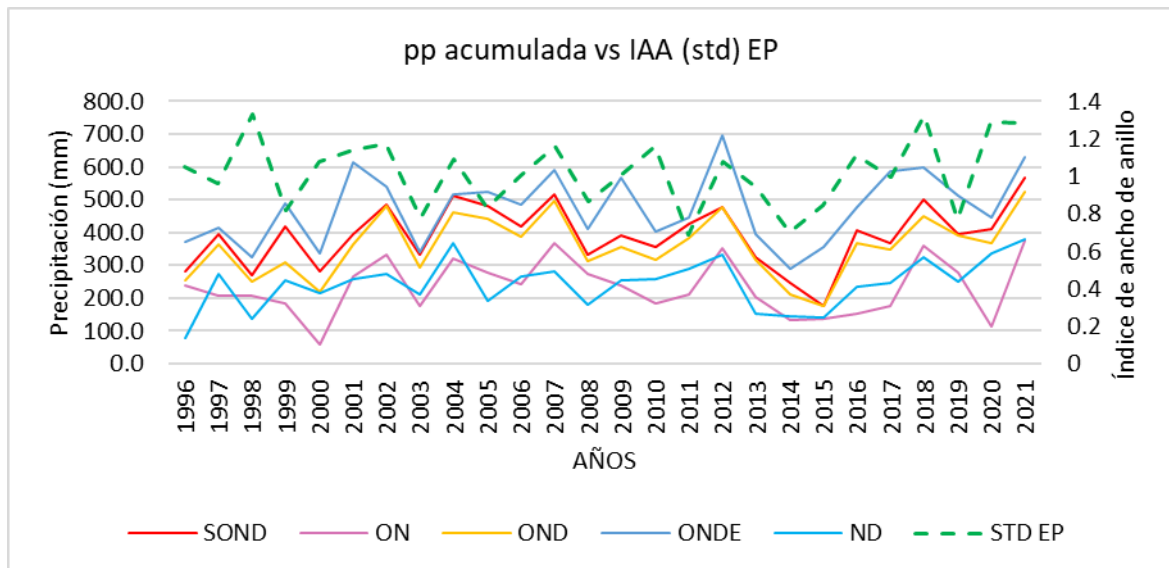


Figura 25: **Correlaciones de pp acumulada (estación húmeda) con STD *Eriotheca peruviana***

El análisis se realizó durante el periodo de 23 meses desde junio de la temporada anterior de crecimiento hasta mayo del año actual, ya que el crecimiento radial de los árboles puede verse influenciado por condiciones climáticas del año de crecimiento anterior (Blasing *et al.* 1984). Además, se debe tener en cuenta que las especies provienen de BES del hemisferio sur y el crecimiento de los árboles no coincidirá con el año calendario actual; empezando en la primavera (septiembre) del año anterior y terminará en mayo del año actual, que coincide directamente con el inicio y cese de las precipitaciones.

La precipitación en el mes de julio de la temporada de crecimiento anterior (t-1) influye negativa y significativamente en el crecimiento de *Bursera graveolens*. Es decir, que, en julio, cuando la precipitación es baja, el árbol tiende a crecer más. Incluso, se observan correlaciones negativas no significativas durante la época seca en la temporada anterior al crecimiento (mayo, junio, agosto) (Figura 18). Esto podría explicarse por a la acumulación de agua de los meses previos con precipitaciones altas, generando una respuesta positiva con el crecimiento arbóreo meses después (Brienen y Zuidema 2005).

Esto se ha observado en otras especies de bosques estacionalmente secos, en el Chiquitano boliviano para *Aspidosperma tomentosum* y *Caesalpinia pluviosa* con una reacción positiva del crecimiento al inicio de la estación seca (Mendivelso *et al.* 2014); así como las correlaciones negativas con la precipitación de la estación seca en invierno (junio, julio, agosto), en *Prosopis sp.* en Piura (Ancajima, 2017).

Para una especie forestal de este tipo de ecosistema se espera que su crecimiento cese con la estación seca y aumente con la estación lluviosa; sin embargo, debe tenerse en cuenta que el crecimiento no es igual para todas las especies y, también depende de factores como un sistema radicular profundo y extenso que le permita acceder a fuentes de agua subterráneas, la densidad de la madera y su relación con la acumulación de agua y uso eficiente del agua para períodos de escasez, la fenología, la anatomía de la madera y la dinámica hidráulica en el fuste (Rodríguez *et al.* 2022, Valverde *et al.* 2021, Mendivelso *et al.* 2013; Mendivelso *et al.* 2016). Esto permitirá a que especies de bosque seco, como *B. graveolens*, puedan mantener un crecimiento continuo o pausado indiferente de las condiciones ambientales (Stahle 1999) gracias a las adaptaciones fisiológicas y/o morfológicas que le permiten sobrevivir incluso en ambientes secos.

*B. Graveolens* presentó correlaciones positivas con la precipitación desde octubre a abril del verano del año anterior al crecimiento. Especialmente en abril existe una relación positiva y significativa; por tanto, a mayor precipitación, mayor crecimiento del árbol; por tanto, la precipitación es una variable climática importante para *B. graveolens* de los bosques estacionalmente secos del Valle del Marañón. En otras localidades del norte de Perú y sur de Ecuador, también se evidencia una relación positiva con registros climáticos de precipitación media en los últimos 50 años (Rodríguez *et al.* 2005; Pucha *et al.* 2015; Córdova 2003).

También se encontró una correlación negativa y significativa en noviembre del año actual de crecimiento; lo cual indica que, a mayor precipitación, hay un crecimiento radial menor. Cabe resaltar que en noviembre las temperaturas son más altas que en el invierno, por lo que podría aumentar la evapotranspiración de las plantas o, el agua que ingresa al sistema podría perderse por escorrentía superficial, o también por la interceptación del agua por el componente vegetal propio del ecosistema (Iguacel *et al.* 2021; Romero y Belmonte 2013).

La relación entre la precipitación acumulada (FMA) y el crecimiento de *B. graveolens* coincide con lo reportado por Pucha *et al.* 2015, con correlaciones positivas significativas un



mes después del inicio de la temporada de lluvias para esta especie en un ecosistema similar en Ecuador. Estos patrones también concuerdan con lo encontrado en otras especies de bosque neotropical seco: *Bursera graveolens* y *Prosopis sp.* (Rodríguez et al. 2005), *Amburana cearensis* (Paredes 2015; Leal 2022), *Parkinsonia praecox* (Ramírez y Del Valle 2012), *Tabebuia impetiginosa* y *Caesalpinia pluviosa* (Mendivelso et al. 2014).

Para *B. graveolens* se encontraron correlaciones negativas con la temperatura durante el verano; indicativo de que, para esta especie, una mayor temperatura en los meses de setiembre a mayo (que coincide con el periodo de lluvias), no le favorece, por lo que también se encontraron correlaciones positivas en los periodos de menos temperatura (estación seca: junio, julio, agosto) (Figura 18). Esto está más relacionado a que altas temperaturas aumentan la tasa de respiración de los árboles, lo cual puede disminuir la disponibilidad de energía para el crecimiento; así como también a la pérdida de agua del suelo (Chávez 2014; Melo 2010). También, se observa en el climograma (Figura 3), la no estacionalidad por temperatura, no estaría permitiendo inducir a la dormancia, ya que es relativamente uniforme a lo largo del año. Respecto a este parámetro Pucha et al. 2015 no encontraron correlaciones significativas para esta especie con la temperatura, probablemente debido a que la variación de esta variable a lo largo del año, es mucho menor a la que presentan las zonas de muestreo de este estudio.

La precipitación de enero, febrero del año anterior de crecimiento y abril del año actual de crecimiento de *Cedrela kuelapensis* influyen de manera positiva y significativa en el crecimiento de los árboles (Figura 23), que indica que mientras aumenta la precipitación, los árboles tienden a aumentar su ancho de anillo. Este patrón se observa desde noviembre del año previo al crecimiento, ya que hay correlaciones positivas con el inicio de la temporada de lluvias (primavera-verano); es decir, cuando hay más disponibilidad de agua, el árbol tiende a crecer más.

Estudios previos en bosques secos neotropicales de Costa Rica, Bolivia y Brasil para las especies (*Bursera simaruba*, *Cordia alliodora*, *Hymenaea courbaril* L, *Cedrela fissilis*, *Cedrela angustifolia*, *Amburana cearensis*) también se encontró que el crecimiento de las especies era influenciado positivamente por la estación lluviosa (Valverde et al. 2021, Paredes et al. 2016; Leal 2022). Esto debido a que es un periodo donde las raíces de los árboles poseen mayor disponibilidad de agua, permitiendo un mayor movimiento hidráulico y de nutrientes del suelo hacia el resto de la planta; además de generar nuevamente hojas

(Ramírez y Del Valle 2012; Worbes 2002; Enquist y Leffler 2001, Brienen y Zuidema 2005).

También se sostiene que el crecimiento de los árboles del género *Cedrela* está relacionado con la estacionalidad de la precipitación, como se evidencia en *C. kuelapensis* (Baker et al., 2017). Sin embargo, en *Cedrela fissilis* de otros biomas, la lluvia no necesariamente favorece su crecimiento. Huamán (2019) encontró una correlación negativa significativa en enero que contrasta con los resultados obtenidos. Burneo (2020) también descubrió correlaciones negativas significativas en *C. nebulosa*, atribuidas a la ausencia de estacionalidad climática en las áreas de estudio, por tanto, no se generan respuestas de sensibilidad ante esta variable climática. Es importante considerar que el crecimiento puede estar influenciado no solo por la precipitación mensual, sino también por la acumulada.

Acevedo (2018) encontró correlaciones positivas significativas con la temperatura durante los meses de junio a setiembre del año actual de crecimiento de *Cedrela nebulosa* y *Cedrela angustifolia*. Paredes et al. (2016) observaron una mayor sensibilidad de *Cedrela fissilis* a las bajas temperaturas (mayo, junio, julio), que corresponde a la temporada seca. Burneo (2020) también encontró una correlación positiva entre la temperatura y el crecimiento de *Cedrela nebulosa* a lo largo del período de crecimiento. La influencia positiva de la temperatura en meses donde hay mayor precipitación puede atribuirse a la disponibilidad de agua, así como también por activación de la actividad cambial (Borchert 1994a, b) y no necesariamente por un aumento en la temperatura. Además, las temperaturas altas previas pueden generar un déficit hídrico que reduce la disponibilidad de agua durante el período vegetativo (López y Villalba, 2011).

El crecimiento radial en *E. peruviana* correlaciona positiva y significativamente con la temperatura de abril (mes lluvioso), julio, agosto (meses secos), octubre, noviembre y diciembre (meses de lluvia) del año anterior al crecimiento, así como también en febrero del año actual de crecimiento. Esto indica que mientras aumenta la temperatura, el árbol aprovecha el aumento de la radiación solar y realiza más actividad fotosintética, traduciéndose en crecimiento del ancho de anillos (Figura 25).

Las correlaciones positivas significativas, también coinciden con la temporada de lluvias, y podría ser un efecto indirecto (contribuye a un aumento de fotosíntesis) y no necesariamente

estar asociado a un aumento de temperatura persé (Beltrán 2011; Rosero 2009; Rozendaal y Zuidema 2011).

### (iii) Respuesta de los árboles al ENSO

Las correlaciones de las cronologías de índice de ancho de anillo de *Bursera graveolens*, *Cedrela kuelapensis* y *Eriotheca peruviana* con la temperatura de la superficie del mar del océano pacífico en las zonas Niño 1+2 y Niño 3.4, obtenidas de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA), se observan en el Anexo 5.

Las correlaciones obtenidas para las tres especies no presentaron valores significativos con la temperatura superficial del mar (TSM) de la zona Niño 1+2 y la zona Niño 3.4 durante los dos periodos de crecimiento evaluados. Las correlaciones fueron bajas, siendo solo positiva y significativa la correlación con el mes de febrero del mes anterior al crecimiento (verano) en *Bursera graveolens* revelando que la temperatura de la superficie del mar de la zona niño 3.4 no se relaciona con el crecimiento de las poblaciones empleadas en este estudio; no obstante, en febrero (verano), la temperatura de la superficie del mar de la zona Niño 1+2, sí influye de manera directa y positiva en el crecimiento de *Bursera graveolens*.

Al correlacionar las cronologías de índice de ancho de anillo de las tres especies con el Índice Costero El Niño (ICEN), se obtuvo correlaciones positivas no significativas (*Bursera graveolens*:  $r=0.036$ ;  $p<0.05$ ), *Cedrela kuelapensis*:  $r=0.125$ ;  $p<0.05$ ) y *Eriotheca peruviana*:  $r=0.146$ ;  $p<0.05$ ). Sin embargo, al relacionar el ICEN por periodos, con las cronologías de índice de crecimiento, se obtuvo una correlación positiva y significativa en el periodo de diciembre/enero/febrero (DEF) para *Bursera graveolens*, con un valor de ( **$r=0.243$** ;  **$p<0.005$** ). Para *Cedrela kuelapensis* se obtuvo una correlación positiva no significativa en el periodo de marzo/abril/mayo (MAM), con un valor de ( $r=0.161$ ;  $p<0.005$ ) y para *Eriotheca peruviana* se obtuvo una correlación positiva no significativa en el periodo de enero/febrero/marzo (EFM), con un valor de ( $r=0.189$ ;  $p<0.005$ ).

El índice del niño costero (ICEN) comparte tendencias comunes con la cronología del índice de ancho de anillos de *Bursera graveolens* (Figura 26). Años donde la tendencia tiene un comportamiento directo entre el crecimiento y el ICEN fueron: 1951, 1957, 1965, 1969, 1972, 1982, 1991, 1998, 2006, 2015 y 2018; es decir, mientras aumenta o disminuye el ICEN, el ancho de anillo de crecimiento aumenta o disminuye. (Figura 26).

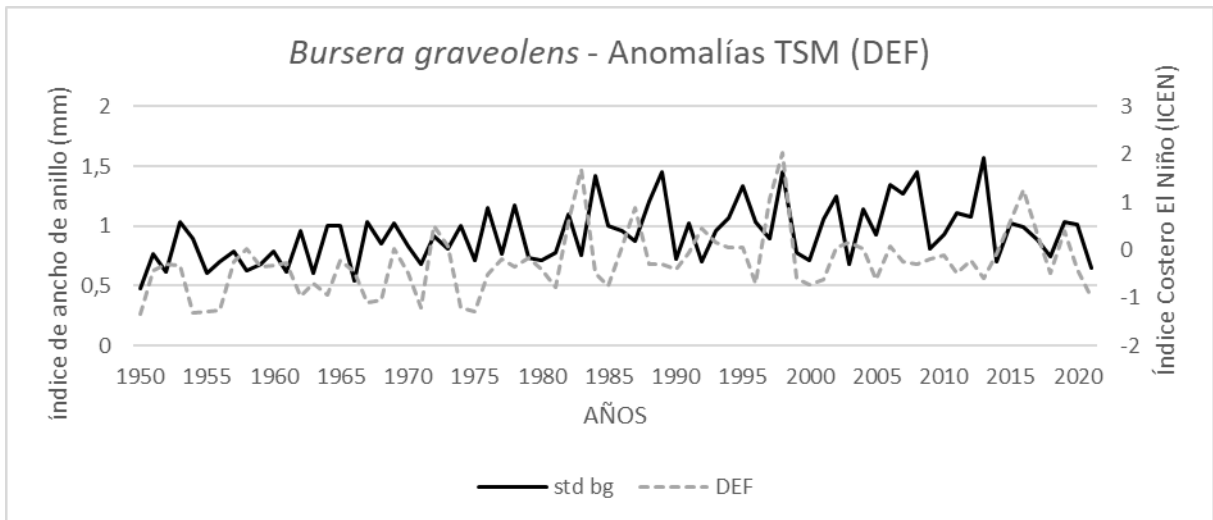


Figura 26: **Correlación entre el índice de ancho de anillo de crecimiento (IAA) de *Bursera graveolens* y el índice Costero El Niño (ICEN) promedio del periodo diciembre/enero/febrero (DEF), durante los años 1950 - 2021.**

El índice del niño costero (ICEN) comparte tendencias comunes con la cronología del índice de ancho de anillos de *Cedrela kuelapensis* (Figura 27). Los años donde la tendencia tiene un comportamiento directo entre el crecimiento y el ICEN son: 1953, 1954, 1972, 1992, 1994, 1998, 2007, 2015 y 2018; es decir, mientras aumenta o disminuye el ICEN, aumenta o disminuye el ancho de anillo de crecimiento.

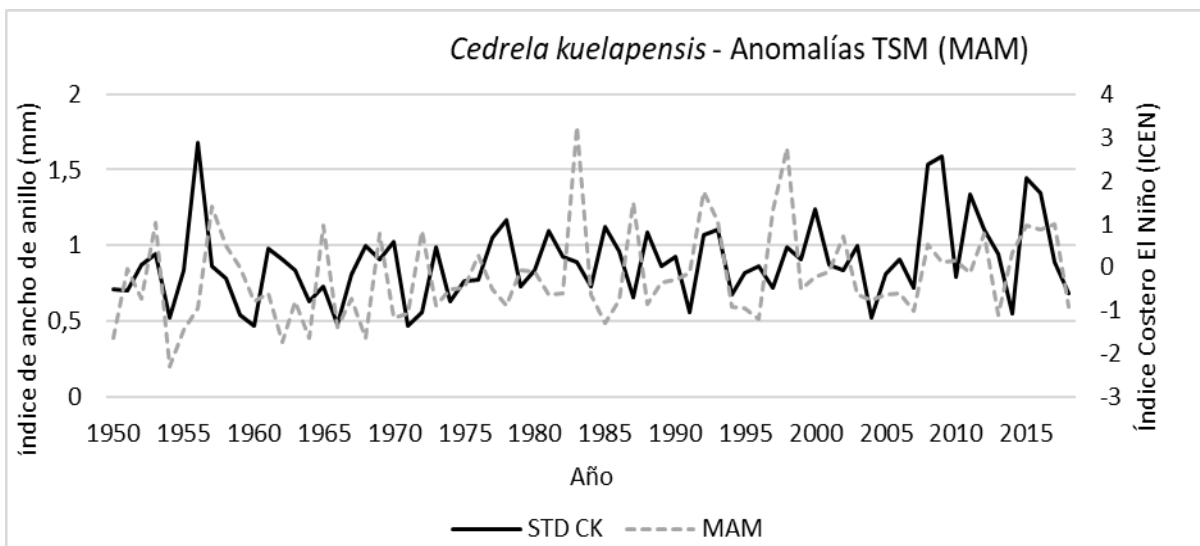


Figura 27: **Correlación entre el índice de ancho de anillo de crecimiento (IAA) de *Cedrela kuelapensis* y el índice Costero El Niño (ICEN) promedio del periodo marzo/abril/mayo (MAM), durante los años 1950 – 2018**

El índice del niño costero (ICEN) comparte tendencias comunes con la cronología del índice de ancho de anillos de *Eriotheca peruviana* (Figura 28). Algunos de los años en los que la tendencia tiene un comportamiento directo entre el crecimiento y el ICEN son: 1951, 1957, 1958, 1969, 1973, 1983, 1986, 1998, 2006, 2012 y 2016; es decir, mientras aumenta o disminuye el ICEN, aumenta o disminuye; respectivamente, el ancho de anillo de crecimiento.

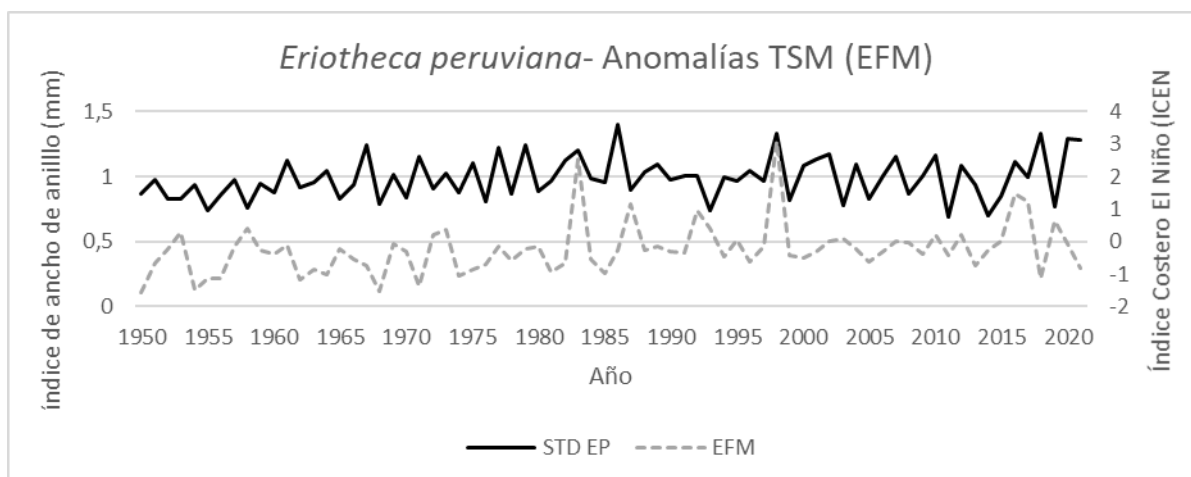


Figura 28: **Correlación entre el índice de ancho de anillo de crecimiento (IAA) de *Eriotheca peruviana* y el índice Costero El Niño (ICEN) promedio del periodo de diciembre/enero/febrero (DEF), durante los años 1950-2021**

La temperatura de la superficie del mar para la región Niño 3.4 influye escasamente en el crecimiento de las tres especies evaluadas; sin embargo, los resultados sugieren una relación entre la zona 1+2 y el crecimiento de los anillos de *B. graveolens* (Figura 26).

La baja influencia de la región Niño 3.4 en su crecimiento se debe a la topografía de los Andes, la fisiografía extremadamente quebrada y la profundidad del valle y/o los vientos. *Prosopis sp.* otra especie neotropical de BES presentó valores positivos y significativos con la zona Niño 1+2 pero no encontró correlación con la zona Niño 3.4 (Ancajima 2017). Revelando que no siempre un aumento en la temperatura de la superficie del mar en la zona Niño 3.4 implica un aumento en las precipitaciones en las costas peruanas, pero sí en las costas de Norteamérica (Mabres 2015). Algunos estudios han abordado esta cuestión en relación con otras regiones con características similares de clima. Por ejemplo, un estudio en el bosque seco de Piura, Tumbes y Lambayeque, Lagos *et al.* (2018) obtuvieron mayores correlaciones entre la precipitación y la temperatura de la superficie del mar de la región

Niño 1+2 que en la región Niño 3.4. Sin embargo, sí tiene influencia significativa en la variabilidad climática interanual en el altiplano, impactando así en el crecimiento de *P. tarapacana* (Crispin 2021).

Además, la relación del crecimiento de *B. graveolens* con el ICEN (DEF), indica que las variaciones en la temperatura de la superficie del mar (TSM) de la región Niño 1+2, y que las condiciones climáticas relacionadas a este fenómeno, como el aumento de lluvias en los años de ocurrencia, están favoreciendo el crecimiento de esta especie. También *B. graveolens* y *Prosopis sp.* mostraron comportamiento semejante para otras localidades en el norte de Perú y sur de Ecuador (Rodríguez *et al.* 2005; López *et al.* 2005; Rosero 2011; Pucha *et al.* 2015) respecto a la actividad de ENSO.

Para *C. kuelapensis* también se puede inferir que las variaciones en la temperatura de la superficie del mar (TSM) de la región Niño 1+2 durante los meses de marzo a mayo estarían influenciando positivamente el crecimiento arbóreo de esta especie (Figura 27). Estos comportamientos son similares para otras especies del género *Cedrela*, localizados en otros biomas de centro de Perú (Layme *et al.* 2018), reportando una relación fuerte en la estación de verano en los meses de diciembre a marzo y una relación similar entre la temperatura de la superficie del mar del océano pacífico tropical y el crecimiento de esta especie. También, Huamán (2019) encontró que durante el trimestre (noviembre, diciembre y enero) el ancho de los anillos de crecimiento de *Cedrela fissilis*, correlacionó positivamente ( $r=0.17$ ) con el Índice de El Niño Oceánico (ONI) en el sector La Joya (Madre de Dios); pero que guardaba mayor relación con la estación más fría del ENSO (La Niña).

Las variaciones en la temperatura de la superficie del mar (TSM) de la región Niño 1+2, podrían influenciar positivamente en el crecimiento de *E. peruviana* (Figura 28). Ella muestra sensibilidad a eventos del Niño fuerte de los años 1982-1983 y 1997-1998; y también a otros eventos Niño (Figura 28) a diferencia de *Guazuma ulmifolia* que presentó un marcado aumento de crecimiento en los eventos Niño fuerte (1982-1983 y 1997-1998) pero no en todos (Suntaxi y Jimenez (2014). Las diferencias de sensibilidad del crecimiento entre especies a periodos secos o húmedos de duración variable se relacionan de manera inversa con la densidad de la madera (Mendivelso *et al.* 2013). Así, las especies del género *Eriotheca* tienen una densidad baja a muy baja (Uzcátegui 2022), relacionado directamente con una mayor sensibilidad a la variación de precipitación (Mendivelso *et al.* 2014).

La evaluación de estas variables espaciales son importantes en el contexto de calentamiento global y cambio climático, ya que nuevas condiciones del clima, obligaría a las especies a migrar de hábitat (Manzanilla *et al.* 2019), por lo que sus condiciones climáticas habituales; cambiarían y esto podría afectar a su crecimiento normal.

De las correlaciones positivas significativas y no significativas se puede inferir que las tres especies estudiadas son sensibles a los eventos de ENSO, y que las cronologías representan una fuente indirecta de datos proxy de alta resolución, así como otras cronologías de especies sensibles a este fenómeno como por ejemplo *Polylepis tarapacana* (Crispin 2021).

Las cronologías generadas tienen importancia científica ya que nos acerca más al bosque y a conocer cómo es que un fenómeno de escala global puede influenciar en el crecimiento de una especie; además de permitir ampliar el conocimiento del comportamiento del ENSO en el bosque estacionalmente seco del Valle del Marañón.

### 4.3. RECONSTRUCCIÓN CLIMÁTICA

La precipitación acumulada del periodo de febrero-abril ( $P_{FMA}$ ) fue el factor climático que más influyó positiva y significativamente en el crecimiento radial de *Bursera graveolens* ( $r=0.323$ ,  $p<0.05$ ). Para la reconstrucción climática local de la  $P_{FMA}$  en Cajabamba, fue usada la cronología de índice de ancho de anillos estándar (IAA -STD). La ecuación desarrollada para reconstruir la precipitación acumulada de este periodo (febrero– abril) fue la siguiente:

$$P_{FMA} = 253.2 + (158.24 \times IAA)$$

Dónde:

$P_{FMA}$  = precipitación acumulada (mm) de febrero-abril y

IAA = índice de ancho de anillo de la cronología estándar

El modelo de regresión lineal desarrollado explica el 10% de la variación de la  $P_{FMA}$  para el periodo de 1984 -2021 (Figura 29). La correlación entre la reconstrucción y la precipitación observada fue de 0.323 ( $p<0.05$ ). Estos resultados muestran una baja asociación entre ambas variables.

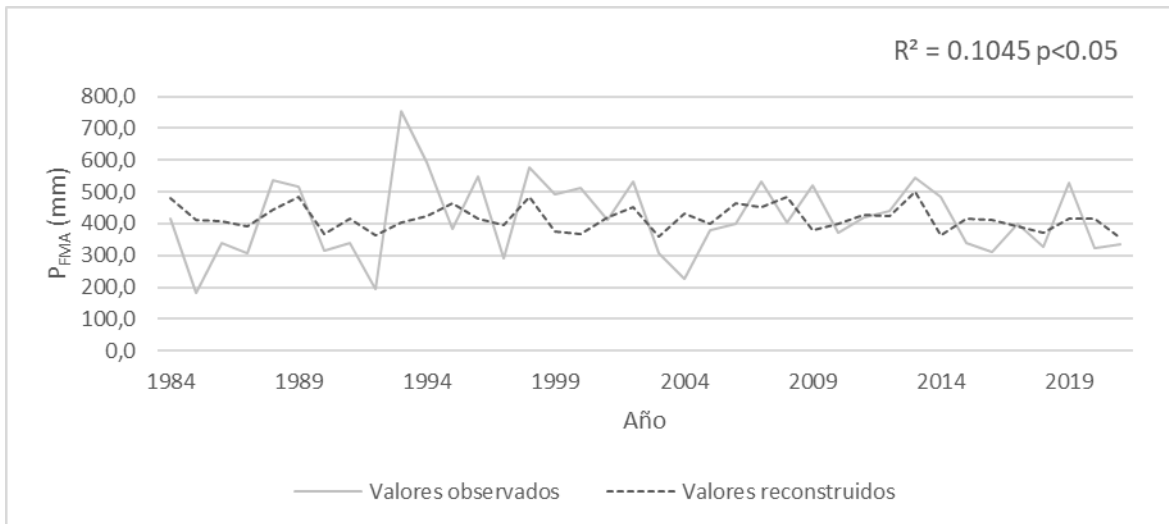


Figura 29: **Comparación entre valores observados y valores reconstruidos de la precipitación acumulada de febrero-abril ( $P_{FMA}$ ) para el periodo de 1984-2021, en Cajabamba, Cajamarca.**

Al determinar el modelo se generó la reconstrucción en la extensión total de la cronología usada (Figura 30).

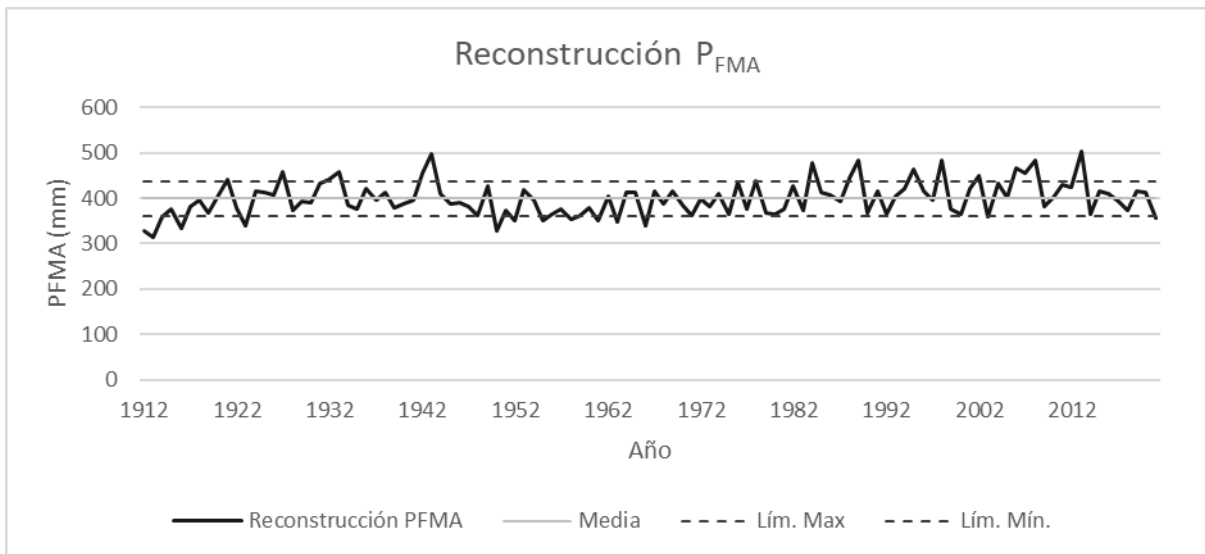


Figura 30: **Precipitación reconstruida para *Bursera graveolens* de febrero a abril (1912-2021)**

El valor promedio de la  $P_{FMA}$  reconstruida fue de 416.819 mm con una desviación estándar de 38 mm. La reconstrucción de la  $P_{FMA}$  muestra una alta variabilidad entre periodos húmedos y secos a lo largo de los 110 años (1912 – 2021) en Cajabamba. Se identificaron 14 periodos de sequías importantes (que sobrepasan el límite mínimo), que representan el 12.7% del total de años, los cuales corresponden a: 1912 – 1914, 1916, 1923, 1950, 1952,



1955, 1958, 1961, 1963, 1966, 2003, 2021 y 14 periodos húmedos (que pasan el límite superior) que representan el 12.7% del total de años, que corresponden a los años: 1921, 1927, 1932 -1933, 1942-1943, 1978, 1988-1989, 1998, 2006-2008, 2013.

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de correlación, la precipitación acumulada del periodo de diciembre-febrero ( $P_{DEF}$ ) fue el factor climático que más influyó positiva y significativamente en el crecimiento radial de *Cedrela kuelapensis* ( $r=0.574$ ;  $p<0.05$ ). Para la reconstrucción climática local de la  $P_{DEF}$  en El Palto, Amazonas, fue usada la cronología de índice de ancho de anillos estándar (IAA -STD). La ecuación desarrollada para reconstruir la precipitación acumulada de este periodo (diciembre-febrero) fue la siguiente:

$$P_{DEF} = 274,75 + 253,01 \times IAA$$

Dónde:

$P_{DEF}$  = precipitación acumulada (mm) de diciembre-febrero y

IAA = índice de ancho de anillo de la cronología estándar

El modelo de regresión lineal desarrollado explica el 33% de la variación de la  $P_{DEF}$  para el periodo de 2003 -2018 (Figura 31). La correlación entre la reconstrucción y la precipitación observada fue de 0.574 ( $p<0.05$ ). Estos resultados muestran una alta asociación entre ambas variables y estadísticamente, tiene validez con fines de reconstrucción.

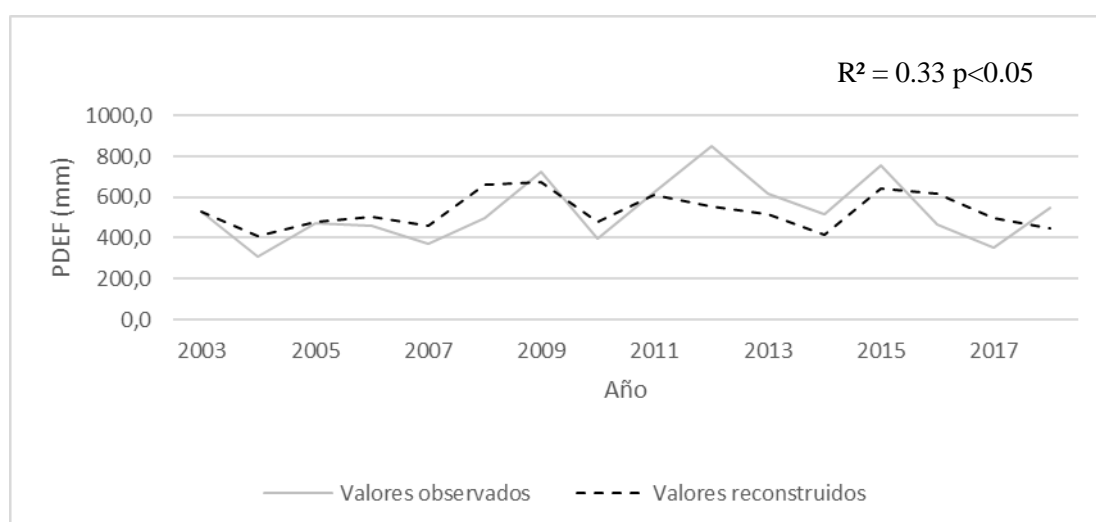


Figura 31: **Comparación entre valores observados y valores reconstruidos de la precipitación acumulada de diciembre-febrero ( $P_{DEF}$ ) para el periodo de 2003-2018, en El Palto, Amazonas**

Al determinar el modelo se generó la reconstrucción en la extensión total de la cronología usada (Figura 32).

El valor promedio de la  $P_{DEF}$  reconstruida fue de 485.546 mm con una desviación estándar de 69 mm. La reconstrucción de la  $P_{DEF}$  muestra una alta variabilidad entre periodos húmedos y secos a lo largo de los 117 años (1902 – 2018) en El Palto, Amazonas. Se identificaron 25 periodos de sequías importantes (que sobrepasan el límite mínimo), que representa el 21.3% del total de años, los cuales corresponden a: 1902-1903, 1911-1913, 1926-1927, 1932-1933, 1935, 1938- 1939, 1942-1944, 1946, 1949, 1954, 1959-1960, 1966, 1971-1972, 2004, 2014 y 15 periodos húmedos (que pasan el límite superior), que corresponden a los años: 1908, 1915, 1919-1922, 1931, 1956, 1978, 1985, 2004, 2008-2009, 2011, 2015-2016.

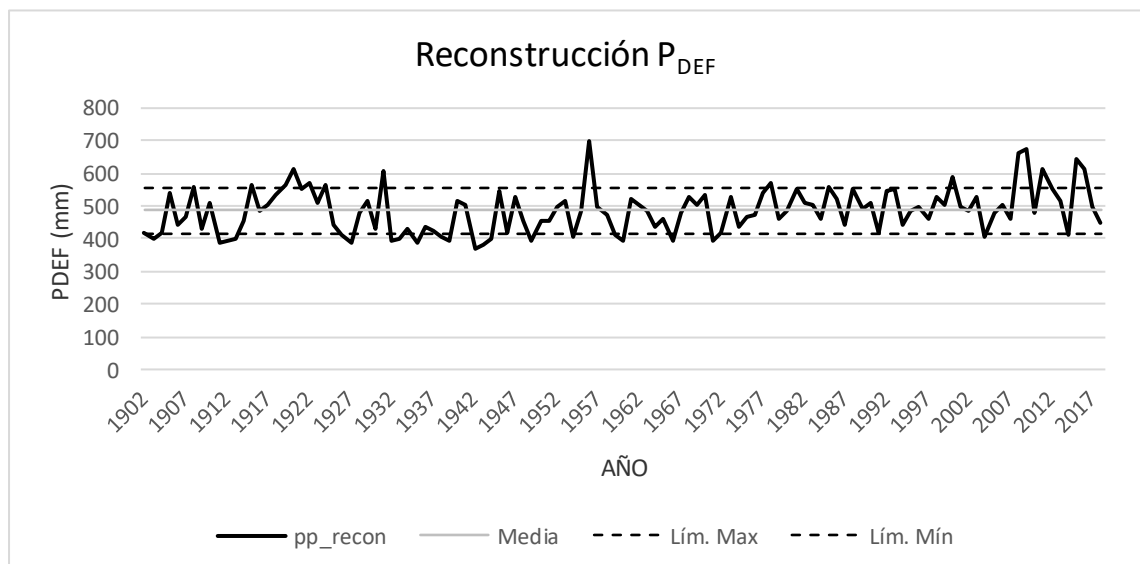


Figura 32: **Precipitación reconstruida para *Cedrela kuelapensis* de diciembre a febrero (1902-2018)**

Los resultados revelan que *B. graveolens* y *C. kuelapensis* al ser especies sensibles al clima y representar parte de la variabilidad de la precipitación acumulada (10% y 33%), pueden ser usadas para obtener modelos climáticos con fines de reconstrucción; como las generadas por Ferrero *et al.* (2015); Granato *et al.* (2018); Pereira 2018; López *et al.* 2017; Pucha *et al.* 2015), que tienen representaciones entre el 35 y 54% de la variabilidad de la precipitación durante los periodos de calibración.

Es importante señalar que la significancia de los datos obtenidos estará directamente relacionada a la calidad de la data climatológica recogida por las estaciones meteorológicas usadas y a la insuficiencia de datos. Para la cuenca del Marañón se tiene una densidad de estaciones de registros pluviométricos insuficiente y heterogénea (ANA 2015) según recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM 2008). Además, la capacidad de reconstruir el clima a partir de árboles, tiene implicaciones importantes para la comprensión de la variabilidad climática en la región y puede ser una herramienta útil para la toma de decisiones en la gestión de los recursos naturales. También, permite poder tener una visión histórica del clima y a su vez, poder compararlos con registros históricos instrumentales para evaluar su precisión. Otro punto importante es que gracias a la respuesta que ofrecen estas especies a los periodos de humedad y sequía a lo largo de los años, se podrá entender la respuesta de los ecosistemas al cambio climático; especialmente importante dado que se espera que estos afecten significativamente a los ecosistemas.

Los modelos de reconstrucción de la precipitación desarrollados en este estudio son los primeros para la Cuenca del Marañón, y confirman la presencia de años secos y húmedos y que coinciden con las reconstrucciones de la precipitación de los Andes tropicales del Perú (Humanes *et al.* 2020). Los años secos reportados fueron: 1944, 1971, 1972, 2003, 2004 y los años más húmedos fueron: 1915, 1919, 1922, 1931, 1932, 1933, 1985, 1988, 1989.

De las sequías registradas en los departamentos altoandinos del Perú para el periodo de 1981 al 2018 (SENAMHI, 2019), para Amazonas se reportan seis episodios de sequía (1985, 1987, 1988, 1990, 1992, 2004) y para Cajamarca cuatro (1985, 1990, 1992, 2004), solo la sequía del 2004 fue registrada en los resultados de la reconstrucción de la estación meteorológica el Palto. De los eventos de El Niño registrados en el Perú (ENFEN, 2012), los resultados obtenidos muestran periodos secos que coinciden con eventos niño débiles (2003, 2004 y 2014). Esto demuestra que los árboles desarrollan adaptaciones y que se manifiestan en la variación del ancho de los anillos de crecimiento y en las características anatómicas que están relacionadas con el transporte de agua. (León, 2002).

Dadas las pruebas que existen sobre los cambios en el clima y el medio ambiente que están sucediendo en la actualidad (IPCC 2014), es pertinente llevar a cabo investigaciones para comprender cómo las plantas responden a las alteraciones en las condiciones climáticas (Swetnam y Brown 2010; Bazzaz 1996) y si éstas guardan esos cambios.

## V. CONCLUSIONES

1. **Del objetivo 1:** Caracterizar los anillos de crecimiento de *Bursera graveolens*, *Cedrela kuelapensis* y *Eriotheca peruviana*, de los BES del valle del Marañón.
  - Realizado el análisis de los anillos de crecimiento de las especies *Bursera graveolens*, *Cedrela kuelapensis* y *Eriotheca peruviana*; se encontró que estas tienen anillos de crecimiento claramente delimitados y sensibles a las variables climáticas, con valores de Sensibilidad Media (SM) de 0,463 para *B. graveolens*, 0,472 para *C. kuelapensis* y 0,367 para *E. peruviana*. Los resultados son indicativos que los árboles desarrollan adaptaciones frente al clima y lo manifiestan en la variación del ancho de los anillos de crecimiento y en sus características anatómicas.
  
2. **Del objetivo 2:** Identificar cómo el crecimiento anual de los árboles de los BES se asocia a variables climáticas locales ( $T^{\circ}$  y pp) y globales como El Niño Oscilación del Sur (ENOS)
  - El trabajo permite establecer claramente la influencia de la precipitación media anual y precipitaciones acumuladas en el crecimiento de las especies estudiadas, especialmente para *C. kuelapensis*; además se encontraron relaciones positivas (*C. kuelapensis*, *E. peruviana*) y negativas (*B. graveolens*) con la temperatura. Al evaluar la influencia del Fenómeno de El Niño en el crecimiento de las tres especies, se concluye que existe una influencia directa del ICEN en el crecimiento de las tres especies en el Valle del Marañón.
  
3. **Del objetivo 3:** Reconstruir la variabilidad hidroclimática en la región de los BES del valle del Marañón, Perú para el último siglo y validar estas reconstrucciones con información histórica sobre episodios de sequía y grandes lluvias.
  - Se demuestra la importancia de comprender cómo las plantas responden a los cambios en las condiciones climáticas y cómo estos cambios pueden ser

reconstruidos a través del análisis de anillos de crecimiento de árboles. En particular, las especies *B. graveolens* y *C. kuelapensis* son útiles para obtener modelos climáticos y entender la respuesta de los ecosistemas al cambio climático.

- Los modelos de reconstrucción de la precipitación desarrollados para la Cuenca del Marañón confirman la presencia de años secos y húmedos que coinciden con las reconstrucciones de la precipitación de los Andes tropicales del Perú. Estos tienen implicaciones importantes para la comprensión de la variabilidad climática en la región y puede ser una herramienta útil para la toma de decisiones en la gestión de los recursos naturales.
4. **Del objetivo general:** Evaluar la influencia del cambio climático en la frecuencia de sequías y fenómeno de El Niño Oscilación Sur (ENOS), a través del análisis de los anillos de crecimiento de árboles de los BES del valle del Marañón, Perú.
- Los anillos de crecimiento de las especies arbóreas analizadas, permiten evaluar su respuesta ante los efectos del cambio climático, reflejando adaptaciones a las variaciones del clima a lo largo de los años, además revelan la influencia directa de las condiciones climáticas locales y del Fenómeno de El Niño en su crecimiento. Estos hallazgos tienen implicaciones significativas para la gestión de recursos naturales y la adaptación a las cambiantes condiciones climáticas en la región.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Para evitar la pérdida de agua y la contracción de las muestras de *E. peruviana*, es necesario sellar los extremos en caso las muestras no se manipulen de inmediato; evitando la pérdida de agua.
2. Realizar estudios complementarios para evaluar cómo las sequías pueden afectar la estructura anatómica y la plasticidad de los elementos xilemáticos de las tres especies estudiadas.
3. Durante el muestreo de árboles para estudios dendrocronológicos se debe evitar árboles con doble médula pues induce a error en el conteo de los anillos de crecimiento. Además, evitar tomar arboles inclinados ya que en estos hay la presencia de madera de tensión y compresión.
4. Evaluar estudios dendrocronológicos con estas especies en gradientes altitudinales diferentes para evaluar su influencia.
5. Durante el proceso de lijado, utilizar una regla para comprobar que toda la superficie lijada está homogénea.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abellán L, M. 2021. El cambio climático: negacionismo, escepticismo y desinformación. *Tabula Rasa*, 37, 283–301. <https://doi.org/10.25058/20112742.n37.13>
- Acevedo, M.; Kikata, Y. 1994. "Atlas de maderas del Perú". UNALM. Lima- Perú. Universidad de Nagoya. Japón
- Acevedo V, I 2018. Identificación de la variable climática que controla el crecimiento de *Cedrela* sp., *Cedrela nebulosa* T.D. y *Cedrela angustifolia* C.DC.; en los bosques montanos del Perú, Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Alas peruanas. Huancayo – Perú. Disponible en: [https://condesan.org/wp-content/uploads/2020/12/TesisIngrith\\_Vega.pdf](https://condesan.org/wp-content/uploads/2020/12/TesisIngrith_Vega.pdf)
- Ahlström, A. 2015. El papel dominante de los ecosistemas semiáridos en la tendencia y variabilidad del CO terrestre. *Ciencia*. 348, 895–899.
- Allen, C. D., Breshears, D. D., and McDowell, N. G. 2015. On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere* 6, 1–55
- Aquino R, M. Análisis dendrocronológico e influencia climática en el crecimiento de tres especies de *Oyamel* en Oaxaca. Tesis para obtener el grado de doctor en ciencias. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. Disponible en: [http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/3583/Aquino\\_Ramirez\\_M\\_DC\\_Ciencias\\_Forestales\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/3583/Aquino_Ramirez_M_DC_Ciencias_Forestales_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). 2015. Evaluación de Recursos Hídricos en la Cuenca Marañón. Disponible en: [https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/39/ANA0000053\\_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/39/ANA0000053_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Amoroso, M., & Suarez, M. L. 2015. La aplicación del análisis de los anillos de crecimiento a interrogantes ecológicos: Un breve repaso de la Dendroecología en Hispanoamérica. *Ecosistemas*, 24(2), 1-6. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2015.24-2.01>
- Ancajima M, E. 2017. Dendrocronología de *Prosopis* sp. en la región Piura. Tesis para optar el título de Biólogo. Piura, Perú. 80 p. Disponible en: <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1046/CIE-ANC-MOR-17.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Baker, J. C. A., Santos, G. M., Gloor, M., & Brienen, R. J. W. 2017. Does *Cedrela* always form annual rings? Testing ring periodicity across South America using radiocarbon dating. *Trees*, 31(6), 1999–2009. <https://doi.org/10.1007/s00468-017-1604-9>
- Bazzaz, F.A., 1996. *Plants in Rapidly Changing Environments: Linking Physiological, Population, and Community Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Beltrán, L. (2011). Caracterización anatómica de anillos de crecimiento de especies forestales tropicales maderables con valor comercial para dendrocronología - Selva central. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú). Recuperado de: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/2595/Beltran%20Gutierrez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Blackie, R; Baldau, C; Gautier, D; Gumbo, D; Kassa, H; Parthasarathy, N; Paumgarten, F; Sola, P; Pulla, S; Waeber, P; Sunderland, T. 2014. Tropical dry forests: The state of global knowledge and recommendations for future research. *CIFOR* 2:1-30.
- Blasing, T.J., Solomon, A.M., Duvick, D.N., 1984. Response functions revisited. *Tree-Ring Bull.* 44, 1–15
- Boninsegna, J.A., Argollo, J., Aravena, J.C., Barichivich, J., Christie, D., Ferrero, M.E. et al. 2009. Dendroclimatological reconstructions in South America: A review. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281: 210–228. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1194>
- Borchert R (1994a) Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. *Ecology* 75:1437–1449



- Borchert R (1994b) Water status and development of tropical trees during seasonal drought. *Trees* 8:115–12
- Bunn, A. G. 2008. A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia*, 26(2), 115-124.
- Brea M, Matheos S, Zamuner A, Ganuza D. 2005. Análisis de los anillos de crecimiento del bosque fósil de Víctor Szlápeliz, Terciario inferior del Chubut, Argentina. V.42 n. 2. Disponible en: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S0002-70142005000200011&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S0002-70142005000200011&script=sci_arttext)
- Buras, A. (2017) A comment on the Expressed Population Signal. *Dendrochronologia* 44:130-132.
- Burneo R, MA. 2020. Estudio dendroclimático de *Cedrela nebulosa* T.D. Penn.&Daza en el bosque húmedo del cantón Mera, provincia de Pastaza, Ecuador. Tesis para optar el título de ingeniera forestal, Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador. 106 p. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23758/1/Mar%c3%ada%20Ang%c3%a9lica%20Burneo%20Rodr%c3%adguez.pdf>
- Brienen, R; Zuidema, P. 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. *Oecologia*.146 (1): 1–12
- Brienen, R.J., Helle, G., Pons, T.L., Guyot, J.-L., Gloor, M., 2012. Oxygen isotopes in tree rings are a good proxy for Amazon precipitation and El Niño-Southern Oscillation variability. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109, 16957–16962
- Briceño J, A. Rangel, J, Bogino S. 2016. Estudio de los anillos de crecimiento de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken en Colombia. *Colombia Forestal*. 9(2), 95-107 p. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=423946648007>
- Campelo, F., García-González, I., & Nabais, C. 2012. Detrendr - A Graphical User Interface to process and visualize tree-ring data using R. *Dendrochronologia*, 30(1), 57–60. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2011.01.010>
- Carnicer, J., Coll, M., Ninyerola, M., Pons, X., Sánchez, G., Peñuelas, J. 2011. Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108, 1474–1478.

- Carrión P, H. 2016. Gestión y participación local para el aprovechamiento sostenible de desechos orgánicos del palo santo (*Bursera graveolens*), en el bosque seco semideciduo del sur occidente de la provincial de Loja, Ecuador. Tesis doctoral. Universidad de Jaén. España. Disponible en: <https://ruja.ujaen.es/bitstream/10953/747/1/9788416819638.pdf>
- Castruita E, L. U., Correa-Díaz, A., Gómez-Guerrero, A., Villanueva-Díaz, J., Ramírez-Guzmán, M. E., Velázquez-Martínez, A., & Ángeles-Pérez, G. 2016. Basal area increment series of dominant trees of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco show periodicity according to global climate patterns. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22(3), 379-397. doi: 10.5154/r.rchscfa.2015.10.048
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del riesgo de Desastres (CENEPRED), 2015. Escenario de riesgos por lluvias frente a un posible ‘Niño Costero’ moderado para abril del 2015. 38p Disponible en:
- Cerano P, J. 2004. Reconstrucción de 350 años de precipitación invierno-primavera para Saltillo, Coahuila. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Forestal, Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Coahuila, México. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/874/58436s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cerano P, Villanueva D, Valdez C, Méndez G, Constante G. 2011. Sequías reconstruidas en los últimos 600 años para el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2: 235-249. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342011000800006](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000800006)
- Chávez, J. (2014). Dendrocronología de *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze, “Taya”, en bosques naturales de la provincia de San Marcos y distrito de Matara. (Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Cajamarca). Disponible en: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1864>
- Chávez S, J. 2018. Captura y almacenamiento de carbono de los bosques estacionalmente secos de la costa norte (Lambayeque), como mitigación frente al cambio climático. Tesis Ing. Ambiental, UNALM. 261 p.

- Chávez G, M; Cerano P, J; Nájera L, J; Pereda B, V; Esquivel A, G; Cervantes M, R; Cambrón S, V; Cruz C, F, y Corral R, S. 2017. Reconstrucción de la precipitación invierno-primavera con base en anillos de crecimiento de árboles para la región de San Dimas, Durango, México. *Bosque (Valdivia)*, 38(2), 387-399. Disponible en: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0717-92002017000200016&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0717-92002017000200016&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Crispin D. 2021. Influencia de la variabilidad climática en el crecimiento de *Polylepis tarapacana* Phill en Chiluyo – Tacna. Tesis para optar el título de ingeniera ambiental. Universidad Continental. 106p. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/9750>
- Cook, E. R. 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-Ring Bulletin* 47:37-59.
- Coulthard, B; Smith D. 2013. Dendrochronology. *Encyclopedia of Quaternary Science (Second Edition)*. Elsevier. 453-458. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444536433003551>
- Córdova M., E.I. 2003 Reconstrucción climática a partir del anillado de los árboles de la costa norte del Perú. 2003. 143 p. Tesis (graduación en ingeniería industrial) - Universidad de Piura, Piura.
- Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN). 2012. Definición operacional de los eventos El Niño y la Niña y sus magnitudes en la costa del Perú. Disponible en: [http://met.igp.gob.pe/elnino/enfen/ICEN-Nota\\_Tecnica.pdf](http://met.igp.gob.pe/elnino/enfen/ICEN-Nota_Tecnica.pdf)
- Dávila G, T. 2020. Dendrocronología de la especie *Guazuma crinita Mart.* En bosque natural y plantación forestal de la Provincia Tambopata – Madre de Dios (Tesis para optar el grado de ingeniero forestal y medio ambiente). Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. 79p. Disponible en: <https://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14070/676/004-2-3-108.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Egües N, A. 2021. Caracterización anatómica de la madera y dendrocronología de *Juglans neotropica* Diels de áreas ribereñas de la provincia de Chachapoyas, Amazonas. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. 81 p.

- Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN). 2022. Disponible en: [http://met.igp.gob.pe/elnino/lista\\_eventos.html](http://met.igp.gob.pe/elnino/lista_eventos.html)
- Enquist B, Leffler J. 2001. Long-term tree ring chronologies from sympatric tropical dry-forest trees: individualistic responses to climatic variation. *Journal of Tropical Ecology* 17: 41–60. <https://doi.org/10.1017/S0266467401001031>
- Felfili, C. F.; Cunha, C. N. da; Rosa, S. A.; Paixão, E.; Junk, W. J.; Schöngart, J. 2018. Dendrochronological records of a pioneer tree species containing ENSO signal in the Pantanal, Brazil. *Brazilian Journal of Botany, Reporter: Brazilian Journal of Botany*, v. 41, n. 1, p. 167–174, . DOI: 10.1007/s40415-017-0434-
- Ferrero, M. E., Villalba, R., De Membiela, M., Ferri Hidalgo, L., & Luckman, B. H. 2015. Tree-ring based reconstruction of Río Bermejo streamflow in subtropical South America. *Journal of Hydrology*, 525, 572-584. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.004>
- Franco R, O; Vásquez S, L. 2017. Trabajo de campo dendrocronológico para estudios de geografía física. Experiencias en los volcanes popocatepetl e iztaccíhuatl, 2006-2017. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*. 2017(94): 150-162. Disponible en: <https://doi.org/10.14350/rig.59574>
- Fritts, H.C. 1976. *Tree-rings and Climate*. Academic Press. Nueva York, 567 pp.
- Génova M, Benso M, Moya P. 2009. Análisis de la dinámica forestal registrada en los anillos de crecimiento. V Congreso Forestal Español. Disponible en: [http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos\\_forestales/article/view/16617/16460](http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/16617/16460)
- Giraldo J, J. 2011. Dendrocronología en el trópico: aplicaciones actuales y potenciales. 14(1): 97-111. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-07392011000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-07392011000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- Gonzalez E, M. 2003. Indicadores de cambio climático en algunas especies de Pináceas de la Sierra Madre Occidental, México. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias. Universidad Autónoma de Nuevo León. 208 p. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/1286/1/1020149228.PDF>

- González, P.; Cano A.; Särkinen T., Goodwin Z., Valencia Z., Sachahuamán I., Marcelo-Peña JL. 2020. Las plantas comunes del bosque seco del Marañón: Biodiversidad para las comunidades locales. Primera edición digital. Disponible en: [https://museohn.unmsm.edu.pe/docs/nuevas\\_publicaciones/Manual%20de%20reconocimineto%20de%20plantas%20nativas.pdf](https://museohn.unmsm.edu.pe/docs/nuevas_publicaciones/Manual%20de%20reconocimineto%20de%20plantas%20nativas.pdf)
- Granados R, R; Sarabia R, A. 2013. Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(3), 435-446. Recuperado en 02 de diciembre de 2021, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342013000300008&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000300008&lng=es&tlng=es).
- Granato-Souza. D., Stahle, D. W., Barbosa, A. C., Feng, S., Torbenson, M. C. A., Assis Pereira, G., et al. (2018). Tree rings and rainfall in the equatorial Amazon. *Climate Dynamics*, 52(3-4), 1857-1869. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4227-y>
- Grissino M, H. 2001. Research Report: Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. Vol. 57(2). P. 205-2021. Disponible en: [https://www.ltrr.arizona.edu/~ellisqm/outgoing/dendroecology2014/readings/Grissino\\_mayer\\_COFECHA\\_2001.pdf](https://www.ltrr.arizona.edu/~ellisqm/outgoing/dendroecology2014/readings/Grissino_mayer_COFECHA_2001.pdf)
- Gutiérrez G, G., y Ricker, M. 2019. Influencia del clima en el crecimiento radial en cuatro especies de coníferas en la sierra de San Antonio Peña Nevada (Nuevo León, México). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90(2019 ), e902676
- Hao, Z; Singh, V. 2015. Drought characterization from a multivariate perspective: A review. *Journal of Hydrology*, 527, 668-678. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.031>
- Harris, I. P. D. J., Jones, P. D., Osborn, T. J., & Lister, D. H. 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations—the CRU TS3. 10 Dataset. *International Journal of Climatology*, 34(3), 623-642. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.3711>
- Hijar, G; Bonilla C; Munayco, C; Gutierrez E; Ramos W. 2016. Fenómeno El Niño y desastres naturales: intervenciones en salud pública para la preparación y respuesta. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*. 3 (2). p. 300-310. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/363/36346797016.pdf>

- Holmes, R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bull.* 44, 69-75.
- Huamán G, B. 2019. Evaluación del crecimiento de *Cedrela fissilis* Vell. aplicando técnicas dendrocronológicas en áreas urbanas en el sector la joya de la ciudad de Puerto Maldonado, distrito Tambopata, provincia Tambopata, departamento de Madre de Dios. Tesis para optar el grado de Ingeniera forestal y medio ambiente. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. 92p.
- Humanes, V., Ferrero, M., Muñoz, A., González, Á., Requena, E., Barichivich, J., Inga, J., Layme, E. 2020. Two centuries of hydroclimatic variability reconstructed from tree-ring records over the Amazonian Andes of Peru. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125 (18). <https://doi.org/10.1029/2020JD032565>
- Iguacel N, A., Aguinaga M, M. Rango B. y López N. 2021. Balance hídrico aplicado al cálculo de evapotranspiración normal en una subcuenca serrana. *Revista estudios ambientales.* 9 (2), 193-2011. Disponible en: <https://ojs2.fch.unicen.edu.ar/ojs-3.1.0/index.php/estudios-ambientales/article/view/1290/1090>
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), 2018: Anexo I: Glosario Matthews J.B.R. (ed.). Disponible en: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15\\_Glossary\\_spanish.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15_Glossary_spanish.pdf)
- IPCC, 2019: Resumen para responsables de políticas. En: *El cambio climático y la tierra: Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres* [P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley (eds.)]. En prensa
- IPCC, I. (2014). *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.*
- Krottenthaler, S.; Pitsch, P.; Helle, G.; Locosselli, G. M.; Ceccantini, G.; Altman, J.; Svoboda, M.; Dolezal, J.; Scheleser, G. and Anhuf, D. 2015: A power-driven

- increment borer for sampling high-density tropical wood. In: *Dendrochronologia* 36, 40–44. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2015.08.005>
- Kumar, V; Babu S; Ajeesh R. 2015. *Dendroclimatology: present and future prospects*. Tropical Forest Research Institute. 2(7): 8-16
- Layme H, E; Ferrero M; Palacios K. 2018. *Cedrela nebulosa: a novel species for dendroclimatological studies in the montane tropics of South America*. doi:10.1016/j.dendro.2018.06.004
- Llallana LL, V. 2017. Análisis dendroclimático y modelización cartográfica de la respuesta climática de *Fagus sylvatica* en su crecimiento, en un sector de la montaña cantábrica central. *Investigaciones Geográficas*. 67: 193-213. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/176/17651756011/html/>
- Lagos, P., Silva, Y., Nickl, E., Mosquera, K., 2008. El Niño- related precipitation variability in Perú. *Adv. Geosci.* 14, 231–237. <https://doi.org/10.5194/adgeo-14-231-2008>.
- Lara, A.; Villalba, R.; Aravena, J.; Wolodarsky, F. y Neira, E. 2000. Desarrollo de una red de cronologías de *Fitzroya cupressoides* (Alerce) para Chile y Argentina. En: *Dendrocronología en América Latina*. Roig F. (comp); EDIENC. Mendoza, Argentina. 215-218 p.
- Leal M, J. 2022. Madeiras da caatinga são bons proxies dos efeitos da seca e das mudanças climáticas. [https://eu2022.ufc.br/banner/216\\_5793.pdf](https://eu2022.ufc.br/banner/216_5793.pdf)
- Le Quesne C, Rojas M, Duncan C. 2014. Anillos de crecimiento de *Austrocedrus chilensis*: un archivo natural del cambio climático. *Revista Chagual*. 12:31-35. Santiago, Chile. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Duncan-Christie/publication/308764852\\_Anillos\\_de\\_crecimiento\\_de\\_Austrocedrus\\_chilensis\\_un\\_archivo\\_natural\\_del\\_cambio\\_climatico/links/57eead0b08ae8da3ce49ac11/Anillos-de-crecimiento-de-Austrocedrus-chilensis-un-archivo-natural-del-cambio-climatico.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Duncan-Christie/publication/308764852_Anillos_de_crecimiento_de_Austrocedrus_chilensis_un_archivo_natural_del_cambio_climatico/links/57eead0b08ae8da3ce49ac11/Anillos-de-crecimiento-de-Austrocedrus-chilensis-un-archivo-natural-del-cambio-climatico.pdf)
- León B; Pitman N; Roque J. 2006. Introducción a las plantas endémicas del Perú. *Rev. Perú. Biol.* 13(2):9s-22s. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v13n2/v13n02a004.pdf>
- León, W. 2002. Anatomía xilemática del tronco de *Pereskia guamacho* (Cactaceae) procedente del Estado de Mérida. *Pittieria*. 31, 41 - 49.

- Llancabure J, JC. 2011. Relaciones entre el crecimiento de *Nothofagus betuloides* y el clima local y de gran escala en bosques subantárticos de la Isla Navarino. (Tesis para optar por el título de Ingeniero forestal, Universidad Austral de Chile)
- Linares P, R; Oliveira-Filho AT, Pennington RT. 2011. Neotropical seasonally dry forests: Diversity, endemism, and biogeography of woody plants. In *Seasonally Dry Tropical Forests: Ecology and Conservation*. Edited by Dirzo R, Mooney H, Ceballos G, Young H. Island Press. 21p.
- Linares-Palomino R, Huamantupa-Chuquimaco I, Marcelo-Peña JL, Padrón E, La Torre-Cuadros MA, Roncal-Rabanal M, Choquecota N, Collazos L, Elejalde R, Vergara N. 2022. Los bosques estacionalmente secos del Perú: un re-análisis de sus patrones de diversidad y relaciones florísticas. *Revista peruana de biología* 29(4): e21613 001 - 020 (Noviembre 2022). doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v29i4.21613>
- López, B.C., S. Sabate, C. A. Gracia & R. Rodríguez. 2005. Wood anatomy, description of annual rings and responses of ENSO events of *Prosopis pallida*. *Journal of Arid Environments* 61: 541-554. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.10.008>
- López, L., Villalba, R. 2011. Climate influences on the radial growth of *Centrolobium microchaete*, a valuable timber species from the tropical dry forests in Bolivia. *Biotropica* 43: 41–49. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2010.00653.x>
- López, L., Stahle, D., Villalba, R., Torbenson, M., Feng, S., & Cook, E. (2017). Tree ring reconstructed rainfall over the southern Amazon Basin. *Geophysical Research Letters*, 44, 1- 9. <https://doi.org/10.1002/2017GL073363>
- Mabres A. 2015. El niño y sus efectos en el Perú. Universidad de Piura. Disponible en: <https://www.udep.edu.pe/hoy/2015/09/el-nino-y-sus-efectos-en-el-peru/>
- Mann ME, Bradley RS, Hughes MK. 1998. Global-scale temperature patterns and Climate forcing over the past six centuries. *Nature*. 392:779-787.
- McDowell, N. G., and Allen, C. D. 2015. Darcy's law predicts widespread forest mortality under climate warming. *Nat. Clim. Chang.* 5:669.
- McGuire, A. D., Ruess, R. W., Lloyd, A., Yarie, J., Klein, J. S., & Juday, G. P. (2010). Vulnerability of white spruce tree growth in interior Alaska in response to climate variability: dendrochronological, demographic, and experimental perspectives. This article is one of a selection of papers from *The Dynamics of Change in Alaska's*



Boreal Forests: Resilience and Vulnerability in Response to Climate Warming. *Canadian Journal of Forest Research*, 40(7), 1197-1209. <https://doi.org/10.1139/X09-206>

Malatesta S. K. 2018 “Dendrocronología de *Schizolobium parahyba* (vell.) s.f. Blake de bosques secundarios del Fundo El Bosque de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Tambopata – Madre de Dios” . Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente. Puerto Maldonado, Perú. 84 p. Disponible en: <http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/615/004-2-3-104.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Manzanilla Q, U, Aguirre C, OA, Jiménez P, J; Treviño G, EJ, Yerena Y, JI (2019) Distribución actual y futura del bosque subalpino de *Pinus hartwegii* Lindl en el Eje Neovolcánico Transversal. *Madera y Bosques* 25(2): e2521804. doi: 10.21829/myb.2019.2521804

Manzanilla Q, U, Aguirre C, OA, Jiménez P, J; Villanueva D, J. (2020) Sensibilidad climática en anchuras de anillos de crecimiento de *Pinus hartwegii*: una especie alpina mexicana con potencial dendroclimático. *Rev. Mex. Biodiv.* vol.91. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3117>

Marcelo-Peña, J.L.; Huamantupa I, Särkinen T y Tomazello M. 2016. Identifying Conservation priority areas in the Marañón Valley (Perú) based on floristic inventories. *Edinburgh Journal of Botany* 73(01):95–123. <https://doi.org/10.1017/S0960428615000281>

Marcelo-Peña, J. L. 2017. Diversidade florística, dendrologia e dendroecologia de florestas estacionais decíduas do norte e centro do Peru. Tese para obtenção do título de Doutor em Ciências. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-Universidade de São Paulo. 544 pp

Matskovsky V, Venegas G, A; Garreaud R, Roig F; Gutiérrez A, Muñoz A, Le Quesne C; Klock K; Canales C. 2021. Tree growth decline as a response to projected Climate change in the 21st century in Mediterranean mountain forests of Chile. *Global and Planetary Change*. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2020.103406>

- Mejía, I. 2021. Bosques Secos del Marañón ya es la tercera área de conservación regional de Cajamarca. SPDA. Actualidad ambiental. Disponible en: <https://www.actualidadambiental.pe/bosques-secos-del-maranon-ya-es-la-tercera-area-de-conservacion-regional-de-cajamarca/>
- Meko, DM, Woodhouse, CA, 2011. Aplicación de la reconstrucción de caudales al agua gestión de recursos, en: Hughes, MK, Swetnam, TW, Diaz, HF, (Eds.), Dendroclimatología, Desarrollo en Investigación Paleoambiental 11. Springer, pp. 231-261.
- Melo, J. (2010). Dendrocronología de la especie *Pinus radiata* de plantaciones de la granja Porcón, Cajamarca (Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1170/T003831.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mendivelso HA, Camarero JJ, Royo Obregón O, Gutiérrez E, Toledo M (2013) Las respuestas diferenciales de crecimiento al balance hídrico de especies de árboles caducifolios coexistentes están vinculadas a la densidad de madera en un bosque seco tropical boliviano. PLoS ONE 8(10): E73855. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073855>
- Mendivelso H, A. Camarero J, J. Gutiérrez E, Zuidema P, A. 2014. Time-dependent effects of climate and drought on tree growth in a Neotropical dry forest: Short-term tolerance vs. long-term sensitivity. Agricultural and Forest Meteorology 188, 13-23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.12.010>
- Mendivelso, H.A., Camarero, J.J., Gutiérrez, E. 2016. Dendrocronología en bosques neotropicales secos: métodos, avances y aplicaciones. Ecosistemas 25(2): 66-75. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1194>
- MINAM. 2014. Perú, reino de bosques. Lima. 312 p. Disponible en: [http://www.bosques.gob.pe/archivo/1455ad\\_perureinodebosques.pdf](http://www.bosques.gob.pe/archivo/1455ad_perureinodebosques.pdf)
- MINAM. 2016. El Perú y el Cambio Climático: tercera comunicación nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Ministerio del Ambiente. Lima, Perú. 329 p. Disponible en:

[https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/05/Tercera-Comunicaci%  
c3%b3n.pdf](https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/05/Tercera-Comunicaci%c3%b3n.pdf)

MINAM. 2017. Evaluación dendrológica y anatómica de las especies del género Cedrela. Servicio de consultoría ejecutada por BioModus Tropical. 108p. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/344508687/MINAM-2017-Evaluacion-Dendrologica-y-Anatomica-de-Las-Especies-Del-Genero-Cedrela>

Mitchell, T. D., & Jones, P. D. (2005). An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *International Journal of Climatology*, 25(6), 693–712. <https://doi.org/10.1002/joc.1181>

Morales, M.S., Cook, E.R., Barichivich, J., Christie, D.A., Villalba, R., LeQuesne, C., Srur, A.M., Eugenia Ferrero, M., Gonzalez-Reyes, ´ A., ´ Couvreur, F., Matskovsky, V., Aravena, J.C., Lara, A., Mundo, I.A., Rojas, F., Prieto, M.R., Smerdon, J.E., Bianchi, L.O., Masiokas, M.H., Urrutia-Jalabert, R., Rodriguez-Caton, ´ M., Munoz, ~ A. A., Rojas-Badilla, M., Alvarez, C., Lopez, L., Luckman, B.H., Lister, D., Harris, I., Jones, P.D., Park Williams, A., Velazquez, G., Aliste, D., Aguilera-Betti, I., Marcotti, E., Flores, F., Munoz, ~ T., Cuq, E., Boninsegna, J.A., 2020. Six hundred years of South American tree rings reveal an increase in severe hydroclimatic events since mid-20th century. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 117, 16816–16823 <https://doi.org/10.1073/pnas.2002411117>.

Natalini F, Garriga G, E; Reyes A, Vásquez P, J. 2017. Técnicas y herramientas para la preparación de muestras extraídas de árboles para el análisis dendrocronológico. En: 7º Congreso Forestal Español. Gestión del monte: servicios ambientales y bioeconomía. (26-30 junio 2017, Plasencia, Cáceres). Disponible en: [http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/15492/Tecnicas\\_y\\_herramientas.pdf?sequence=2](http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/15492/Tecnicas_y_herramientas.pdf?sequence=2)

Návar, J., & Lizárraga-Mendiola, L. 2013. Hydro-climatic variability and forest fires in Mexico's northern temperate forests. *Geofísica internacional*, 52, 5-20. doi: 10.1016/S0016-7169(13)71458-2

Organización Meteorológica Mundial. 2008. Guía de practicas hidrológicas. Vol. I: Hidrología-De la medición a la información hidrológica. 324 p. Disponible en: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10456](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10456)

- Ortega A, E. 2017. Generación de un modelo de regression segmentado a través de un análisis dendroclimático en *Pseudotsuga menziessi* (MIRB.) FRANCO. Tesis para optar el grado de maestría en ciencias forestales. Universidad autónoma de Nuevo León. México. 52 p. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/16480/>
- Ortega, D. 2014. Evaluación de la influencia del raleo en el crecimiento de *Pinus patula* Schl. et Cham. Aplicando técnicas dendrocronológicas en plantaciones de Cajamarca – Perú. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE. UNALM. 91 p.
- Ortega M, Camarero J. 2018. La memoria de los árboles. La información del territorio contenida en los anillos de crecimiento de la madera. Medio Natural. Disponible en: <http://arboreo.org/wp-content/uploads/2018/12/arboreo-publicacion-la-memoria-de-los-arboles-de-Miguel-Ortega.pdf>
- Palacios S, N; Zapata G, I. 2022. Variabilidad climática de la provincial de Sechura y su impacto en las actividades productivas. Compilación y análisis de datos ambientales mediante software R. Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial y de Sistemas. Universidad de Piura. 333 p. Disponible en: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/5671/ING\\_2217.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/5671/ING_2217.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Paredes-Villanueva, K. 2015. Dendrochronological growth characterization of timber species from moist to dry tropical forests in Bolivia. Tesis de doctorado, Universidad de Córdoba, Córdoba, España
- Paredes V, K; López L, Navarro C, R. 2016. Regional chronologies of *Cedrela fissilis* and *Cedrela angustifolia* in three forest types and their relation to Climate. *Trees*. DOI 10.1007/s00468-016-1391-8
- Pasho, E., J. Camarero J, De Luis M y Vicente-Serrano, S.M. 2011. Impacts of drought at different time scales on forest growth across a wide climatic gradient in north-eastern Spain. *Agricultural and Forest Meteorology*. 151: 1800-1811.
- Patiño R, S. 2019. Turno biológico de corta para *Cedrela montana* Moritz ex Turcz, y de *Cedrela odorata* L. en la reserve biológica San Francisco (Zamora Chinchipe) y en un bosque natural del sector El Tmbo (Provincia de Loja). Tesis para obtener el grado de Ingeniera forestal. Universidad Nacional de Loja. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22564/1/Silvana%20del%20Carmen%20Pati%C3%B1o%20Rosario.pdf>

- Pecl GT, Araujo MB, Bell JD, Blanchard J, Bonebrake TC, Chen I, et al. 2018. Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science* 439; 355: 1-9.
- Pereyra E, Manuel J, Inga G, G, Santos M, M., & Arisméndiz, Rodolfo. 2014. *Cedrela odorata* (Meliaceae) potential for dendrochronological studies in the Selva Central of Perú. *Revista de Biología Tropical*, 62(2), 783-793. Retrieved November 19, 2021, from [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442014000100031&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442014000100031&lng=en&tlng=en)
- Pereira, G. de A. (2018). *Dendroclimatology in seasonally dry tropical forests in the São Francisco Basin, Brazil*, (Doctoral dissertation). Retrieved from Repositório UFLA (<http://repositorio.ufla.br/handle/1/3276Z> . Universidade Federal de Lavras, Brazil
- Pompa G, M, Dávalos-Sotelo, R; Rodríguez-Tellez E; Aguirre-Calderón O. y Treviño-Garza E. 2014. Sensibilidad climática de tres versiones dendrocronológicas para una conífera mexicana. *Madera y Bosques* Vol. 20,num 3:139-151. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-04712014000300012](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712014000300012)
- Portal A, M. 2019. *Procesamiento digital de imágenes aplicado al análisis dendrocronológico en algarrobo*. (Tesis para optar el título de Ingeniero MecánicoEléctrico). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, Perú. Disponible en: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4118/IME\\_260.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4118/IME_260.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Portal C, L; Fontana C; Assis P, G; Groenendijk P; Roig F; Tomazello F, M. 2023. Thirty-four years of dendrochronological studies in Perú: A review of advances and challenges. *Dendrochronologia*. Vol. 78. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2023.126058>
- Portal C, L; Huamán G, R; Colina N, H. 2023. *Zanthoxylum rhoifolium* y su potencial para estudios dendrocronológicos en la Amazonía peruana. *Ciencia Florestal*, 33(1), e67592, p. 1-19. Disponible em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/67592/52335>
- Póvoa M, P; Muñoz B, E. 2012. *Anais da reuniao técnica temática: aneis de crescimento e clima*. Colombo, PR, Brasil.

- Poulter, B. 2014. Contribución de los ecosistemas semiáridos a la variabilidad interanual del ciclo global del carbono. *Naturaleza* 509, 600–603
- Pucha-Cofrep, D; Jumbo N, Moncada V, Burneo M, Narvaez L, Feijo C, Barrera E, Castro J, Ruiz C, Bräuning A. 2020. Impacto de las condiciones climáticas en el crecimiento diamétrico de especies forestales de alto valor comercial. Memoria de congreso: Efectos del cambio climático en el hábitat de las especies y los ODS. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Holger-M-Benavides-Munoz/publication/349609027\\_Aumento\\_del\\_consumo\\_de\\_agua\\_domiciliaria\\_como\\_efecto\\_de\\_los\\_fenomenos\\_mundiales\\_Posibles\\_escenarios/links/60382776a6fdcc37a8516155/Aumento-del-consumo-de-agua-domiciliaria-como-efecto-de-los-fenomenos-mundiales-Posibles-escenarios.pdf#page=20](https://www.researchgate.net/profile/Holger-M-Benavides-Munoz/publication/349609027_Aumento_del_consumo_de_agua_domiciliaria_como_efecto_de_los_fenomenos_mundiales_Posibles_escenarios/links/60382776a6fdcc37a8516155/Aumento-del-consumo-de-agua-domiciliaria-como-efecto-de-los-fenomenos-mundiales-Posibles-escenarios.pdf#page=20)
- Pucha-Cofrep, D., Peters, T., & Bräuning, A. (2015). Wet season precipitation during the past century reconstructed from tree-rings of a tropical dry forest in Southern Ecuador. *Global and Planetary Change* 133, 65-78. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.08.003>
- Raffelsbauer V. 2020. Tree water relations and drought responses in contrasting neotropical forest ecosystems in Southern Ecuador. Doctoral Thesis. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU). Disponible en: <https://opus4.kobv.de/opus4-fau/frontdoor/index/index/docId/12645>
- Ramírez, J.A., Del Valle, J.I. 2012. Local and global climate signals from tree rings of *Parkinsonia praecox* in La Guajira, Colombia. *International Journal of Climatology* 32: 1077–1088. doi:10.1002/joc.2335
- Requena R, E. 2015. Dendrocronología de *Alnus acuminata* en el bosque reservado de San Pedro de Saño, Huancayo. *Apunt. Cienc. Soc.* 05(02):249-256. DOI: <http://dx.doi.org/10.18259/acs.2015035>
- Ríos, C., Watson, J., & Butt, N. (2018). Persistence of methodological, taxonomical, and geographical bias in assessments of species' vulnerability to climate change: A review. *Global Ecology and Conservation*, 15, 1-15.
- Romero D, A. y Belmonte S, F. 2013. Interceptación de la lluvia por la vegetación en España. Instituto Euromediterráneo del agua. 1era edición. España. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Serrato-2/publication/266735481\\_Estudios\\_de\\_interceptacion\\_de\\_la\\_lluvia\\_en\\_Espana/links/544111110cf27c1020000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Serrato-2/publication/266735481_Estudios_de_interceptacion_de_la_lluvia_en_Espana/links/544111110cf27c1020000000.pdf)

[ks/54397b900cf204cab1d965a6/Estudios-de-interceptacion-de-la-lluvia-en-Espana.pdf#page=123](https://doi.org/10.1038/s41598-022-25645-w)

- Rodríguez R, E; Ferrero M, Acevedo V, I; Crispin D, D; Tice O, G y Requena R, E. 2022. Plastic adjustments in xylem vessel traits to drought events in three *Cedrela* species from Peruvian Tropical Andean forests. *Sci rep.* 12, 21112. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25645-w>
- Rodríguez R, Mabres A; Luckman B; Evans M; Masiokas M, Ektvedt T. 2005. ‘‘El Niño’’ events recorded in dry-forest species of the lowlands of northwest Peru. *Dendrochronologia*, 22 (3), p 181-186, Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1125786505000160>
- Rodríguez R, E; Alvitez I, E; Pollack L. 2015. Notas sobre Malvaceae subfamilia Bombacoideae en la región La Libertad, Perú. *REBIOL* 2015; 35(2): 90-101. Disponible en: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/faccbciol/article/download/1080/1008/2941>
- Roncal B, W. 2014. Dendrología de *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze, ‘‘Taya’’, en bosques naturales de la provincia de San Marcos y distrito de Matara. Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1864/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rosero, J. 2009. Dendrocronología de árboles de mogno, *Swietenia macrophylla* King., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica do Departamento de Madre de Dios, Peru. Universidad de Sao Pablo. Recuperado de: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-18052009-165913/pt-br.php>
- Rosero A, J. 2011. Análisis Dendrocronológico de tres especies forestales del Bosque seco Ecuatorial Estacional. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal - Facultad de Ciencias Forestales. UNALM. Lima. Perú. 124 p
- Rozendaal, D., & Zuidema, P. (2011). Dendroecology in the tropics: A review. *Trees*, 25(1), 3-16. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0480-3>
- Ruiz, C. 2020. Influencia del tipo de suelo sobre el crecimiento diamétrico anual de *Juglans neotropica* Diels y *Eriotheca ruizii* (K. Schum.) A. Robyns en los sectores del Parque Universitario Francisco Vivar Castro y la Reserva El Chilco, al sur de

- Ecuador. Tesis para optar el grado de Ingeniero Forestal. Universidad de Loja. Ecuador. 111 p. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23765/1/Carlos%20Honorio%20Ruiz%20Ortiz.pdf>
- Sánchez R, A.; Vásquez P, C. 2010. Mapa climático Departamento de Cajamarca. Disponible en: <https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/MapaClimatico.pdf>
- Sánchez T, S.; Vásquez C. 2011. Zonas de Vida de Cajamarca. Disponible en: <https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/ZonasVidasZEESegunMapa Nacional.pdf>
- Särkinen, T.E., J.L. Marcelo-Peña, A.D. Yomona, M.F. Simon, T.P. Pennington, C.E. Hughes. 2011. Underestimated endemic species diversity in the dry inter-Andean valley of the Río Marañón, northern Peru: an example from Mimosa (Leguminosae, Mimosoideae). *Taxon* 60(1):139-150.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). 2014. El Fenómeno El Niño en el Perú. 36 p. Disponible en: [https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final\\_web.pdf](https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final_web.pdf)
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). 2016. Análisis del riesgo de sequías en el sur del Perú. 59 p. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/hidro2016-0005.pdf>
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). 2019. Monitoreo de sequías para Sistemas de Alerta Temprana (SAT), Descripción de índices para el monitoreo de sequía hidrológica implementado en el SENAMHI 44 p. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-83.pdf>
- SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre). 2021. Cuenta de Bosques del Perú. Documento metodológico. Lima. 78 p. Disponible en: [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1811/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1811/libro.pdf)
- Shi, C., Masson-Delmotte, V., Daux, V., Li, Z., Carré, M., & Moore, J. C. (2015). Unprecedented recent warming rate and temperature variability over the east



- Tibetan Plateau inferred from Alpine treeline dendrochronology. *Climate Dynamics*, 45(5-6), 1367-1380. <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2386-z>
- Speer H, J. 2010. *Fundamentals of Tree Ring Research*. University of Arizona Press.
- Stahle, D. W., Cook, E. R., Burnette, D. J., Villanueva, J., Cerano, J., Burns, J. N., ... & Szejner, P. 2016. The Mexican Drought Atlas: Tree-ring reconstructions of the soil moisture balance during the late pre-Hispanic, colonial, and modern eras. *Quaternary Science Reviews*, 149, 34-60. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.06.018>
- Schröder, J. M., Ávila Rodríguez, L. P., & Günter, S. (2021). Research trends: Tropical dry forests: The neglected research agenda? *Forest Policy and Economics*, 122(September 2020). <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102333>
- Sun, C. L; Song Y, Mei H, Payomrat R, Wang P, L&Liu, R. 2018. Tree-ring based precipitation in the source region of weihe River, northwest China since AD 1810. *International Journal of Climatology*, 38(8), 3421, 3431.
- Suntaxi F, Jimenez E. 2014. Realizar una aproximación dendroclimatológica, en un bosque seco utilizando la especie Guasmo (*Guazuma ulmifolia*) y su relación con la precipitación y la temperatura en el periodo 1974-2007. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL).
- Swetnam, T. & Brown, P. (2010). Comparing selected fire regime condition class (FRCC) and LANDFIRE vegetation model results with tree-ring data. *International Journal of Wildland Fire*, 19, 1-13. DOI: 10.1071/WF08001
- Tallaksen L, Lanen H. 2004. Hydrological drought. Processes and estimation methods for streamflow and groundwater. Elsevier, p. 73
- Toledo, M., Poorter, L., Peña-Claros, M., Alarcón, A., Balcázar, J., Leño, C., Licona, J.C., Llanque, O., Vroomans, V., Zuidema, P.A., Bongers, F. 2011. Climate is a stronger driver of tree and forest growth rates than soil and disturbance. *Journal of Ecology* 99: 254–264. doi:10.1111/j.1365-2745.2010.01741.x
- Tomazello F., M.; Botosso, P.C. y Lisi, C. 2001. “Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores”. In: MAIA, N.; MARTOS, H.; BARRELLA, W. (Org.). *Indicadores ambientais conceitos e aplicações*. São Paulo: Educ. p. 117-143.

- Uzcátegui R, M; Valero, S.W; León H, W.J. 2022 Densidad seca al aire y características cuantitativas de elementos xilemáticos de conducción en 10 especies de Malvaceae en Venezuela. *Tecnología en Marcha*. Vol. 35-1. Pág 14-27. <https://doi.org/10.18845/tm.v35i1.5436>
- Valverde J, Arias D, Castillo M, Torres D. 2021. Relación de la variabilidad climática con el crecimiento diamétrico de ocho especies arbóreas de bosque seco en Costa Rica. *Ecosistemas* 30(1):2092. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2092>
- Vicente, S; Beguería S, Lorenzo L, J; Camarero J, López M, J; Azorín M, C; Revuelto J, Morán T, e; Sánchez L, A. 2012. Análisis comparativo de diferentes índices de sequía para aplicaciones ecológicas, agrícolas e hidrológicas. *Asociación Española de Climatología*. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/62168>
- Venegas G, A. 2013. Dendrocronología de árboles de *Tecnona grandis* L. e *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* Barr. Et Golf de plantacao da Mata da Pedreira, Campus da ESALQ-USP. Tesis Mestrado. Piracicaba, SP. 142 p
- Venegas-González, A., Von Arx, G., Chagas, M; Tomazello D, M. 2015. Plasticity in xylem anatomical traits of two tropical species in response to intra-seasonal climate variability. *Trees*. 29, 423–435 <https://doi.org/10.1007/s00468-014-1121-z>
- Venegas-González, A; Gibson-capintero s, Anholetto-Junior C, Mathiasen P, Premoli AC y Fresia P . 2022. El análisis de anillos de árboles y las asociaciones genéticas ayudan a comprender la sensibilidad a la sequía en Chile Bosque Endémico de *Nothofagus macrocarpa*. Parte delantera. Para. globo Cambio 5:762347. doi: 10.3389/ffgc.2022.762347
- Villanueva D, J. Martínez S, A, Estrada A, J. 2021. Reconstrucción de precipitación y temperatura con anillos de crecimiento anual del ciprés *Taxodium mucronatum* (Taxodiaceae) en Coahuila, México. *Rev. oil. Trop* vol.69 n.1. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v69i1.43249>
- Wigley, TM, Briffa KR, Jones PD. 1984. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *J Appl Meteorol Clim* 23:201–13
- Wilhite, D., & Glantz, M. (1985). Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, 10, 111-120.

- Worbes M. 2002. One hundred years of tree-rings research in the tropics. A brief history and an outlook to future challenges. *Dendrochronologia* 20: 217–231.
- World Meteorological Organization (WMO). 1986. Report on drought and countries affected by drought during 1974-1985. WMO/TD- N° 133; WCP- N° 118.
- Zuidema, Pieter & Babst, Flurin & Groenendijk, Peter & Trouet, Valerie & Abiyu, Abrham & Acuña-Soto, Rodolfo & Adenky-Filho, Eduardo & Alfaro Sánchez, Raquel & Aragão, José & Assis-Pereira, Gabriel & Bai, Xue & Maioli Campos Barbosa, Ana & Battipaglia, Giovanna & Beeckman, Hans & Botosso, Paulo & Bradley, Tim & Brienen, Roel & Buckley, Brendan & Zhou, Zhe-Kun. 2022. Tropical tree growth driven by dry-season climate variability. *Nature Geoscience*. 15. 10.1038/s41561-022-00911-8.
- Zegarra, L. (2018). Caracterización anatómica y dendrocronológica de *Guatteria hyposericea*, *Jacaranda copaia* y *Pourouma minor* de Junín Perú [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3715/zegarraagiero-linda-elvira.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Zúñiga, C. 2012. 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. Tesis Ing. Forestal, Lima, PE. UNALM. 97 p.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1: CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN BOTÁNICA



"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"



Jaén, 27 de noviembre de 2023.

#### Herbario ISV

ICNDMB Código de Autorización N° AUT-ICND-2023-004

#### CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN BOTÁNICA N°04-2023

Por medio de la presente se da constancia de la identificación de 03 muestras botánicas, a solicitud de la Ing. Linda Elvira Zegarra Agüero, de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en el marco de proyecto de tesis titulado "Dendroclimatología de *Bursera graveolens*, *Cedrela keuelapensis* y *Eriotheca peruviana* de los bosques estacionalmente secos del valle del Marañón, Perú". Las colectas fueron identificadas y depositadas en la colección del Herbario ISV de la Universidad Nacional de Jaén.

Las identificaciones corresponden a las siguientes especies.

N°	DUP	CÓDIGO	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	AUTOR
1	1	11199A	MELIACEAE	<i>Cedrela</i>	<i>keuelapensis</i>	T.D. Penn. & Daza
2	1	11199	MALVACEAE	<i>Eriotheca</i>	<i>peruviana</i>	A. Robyns
3	1	11120	BURSERACEAE	<i>Bursera</i>	<i>graveolens</i>	(Kunth) Triana & Planch.

Atentamente,

  
Dr. José Luis Marcelo Peña  
Director del Herbario ISV  
Universidad Nacional de Jaén



Herbario Isidoro Sánchez Vega  
Universidad Nacional de Jaén  
Carretera Jaén-San Ignacio Km 24  
Correo: herbario@unj.edu.pe

**ANEXO 2: DATOS DASOMÉTRICOS DE LAS TRES ESPECIES COLECTADAS**

Especie	<i>Cedrela kuelapensis</i> (N° 20 árboles)		<i>Bursera graveolens</i> (N° 25 árboles)		<i>Eriotheca peruviana</i> (N° 17 árboles)	
	N° árbol	DAP (cm)	H (m)	DAP (cm)	H (m)	DAP (cm)
1	25.7	7	11.4	4	18.9	6
2	19.8	5	15.7	6	17.2	6
3	17	6	10.8	4	25.8	7
4	23.5	6	12.2	5	25.2	7
5	17.5	5	12	5	21.4	7
6	21	6	11.2	4	37.8	8
7	20	6	12.3	5	35.5	8
8	23.6	7	12	5	29	7
9	21	6	11.7	4	21.5	7
10	21.3	6	10.9	4	23.5	7
11	25	7	11.9	4	28.7	7
12	26.3	7	11.8	4	33.2	8
13	19.9	5	12	5	17.9	6
14	26	7	11.6	4	25	7
15	19.5	5	14	6	24.3	7
16	22.5	6	12.9	5	32.5	8
17	30	7	8.8	4	30.7	8
18	23.8	6	11.5	5		
19	12.5	5	13.3	5		
20	26.7	7	12.5	5		
21			14.7	5		
22			13.2	5		
23			10.3	4		
24			12.9	5		
25			12.1	5		

### ANEXO 3: DATOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA CONVENCIONAL DE CAJABAMBA - SENAMHI

LON: 78° 3' "W"

ALT: 2625 msnm

PARAMETRO: PRECIPITACION TOTAL MENSUAL

PROV: CAJABAMBA

DIST: CAJABAMBA

UNIDAD: (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PP prom. anual
1984	128.6	146.3	163.0	107.5	41.8	10.1	7.5	7.8	39.2	106.9	104.5	134.2	83.1
1985	66.9	49.7	85.7	45.7	28.9	0.5	5.3	8.4	54.1	117.8	74.5	159.7	58.1
1986	148.4	117.4	112.7	107.5	27.9	5.5	8.2	24.3	5.6	102.6	121.8	134.2	76.3
1987	128.6	125.5	77.2	106.1	45.6	10.0	12.2	23.0	68.0	67.9	119.1	92.8	73.0
1988	170.2	256.3	86.5	194.5	16.0	12.0	4.5	3.0	31.2	103.1	96.4	107.5	90.1
1989	188.0	187.9	175.7	154.5	16.6	15.2	0.0	2.6	98.9	162.2	38.5	0.0	86.7
1990	232.5	144.8	75.5	95.6	25.3	27.8	1.5	1.2	11.7	202.0	181.7	100.0	91.6
1991	77.9	93.6	176.0	70.0	19.0	6.0	3.5	0.0	20.5	56.8	156.0	81.5	63.4
1992	55.4	70.2	65.9	59.5	12.0	20.5	1.5	10.5	79.7	162.0	65.5	74.0	56.4
1993	87.0	230.0	309.0	216.5	66.8	0.5	5.2	7.8	67.6	166.6	173.0	287.8	134.8
1994	195.0	248.2	182.8	162.6	62.9	4.5	8.6	1.0	19.1	106.1	116.4	135.1	103.5
1995	46.9	156.7	155.6	71.2	65.6	3.7	16.5	1.0	35.2	127.8	80.0	237.4	83.1
1996	121.6	233.2	162.8	151.6	43.1	11.8	0.0	9.5	28.8	151.1	67.6	75.1	88.0
1997	59.9	148.4	84.8	58.8	25.1	21.9	0.0	21.2	39.0	93.8	148.2	184.7	73.8
1998	261.2	262.8	163.0	151.3	22.6	2.7	0.0	7.6	48.6	120.5	64.5	87.1	99.3
1999	187.3	319.7	98.7	73.2	50.6	38.7	14.3	3.1	92.5	21.9	95.3	123.1	93.2
2000	92.3	228.9	186.0	98.8	37.4	14.9	2.3	7.7	65.6	14.8	40.0	141.5	77.5
2001	193.0	127.0	244.2	42.0	46.5	2.6	5.1	0.0	33.9	95.8	169.4	192.9	96.0
2002	73.1	94.4	329.5	108.4	19.7	4.7	13.5	0.0	57.6	124.5	144.2	176.1	95.5

2003	84.9	92.1	137.4	78.6	23.2	17.5	7.9	0.0	50.8	100.8	140.7	139.0	72.7
2004	100.1	76.4	75.3	75.1	41.3	3.1	30.0	4.7	79.7	128.7	158.6	145.9	76.6
2005	128.6	135.0	172.6	70.0	11.1	4.7	1.4	11.7	10.8	149.9	22.7	172.5	74.2
2006	84.7	137.8	163.0	98.9	8.0	22.8	4.4	23.0	39.2	74.3	101.5	140.6	74.8
2007	108.3	58.4	319.2	155.9	44.8	0.0	7.2	1.3	28.5	106.9	85.6	108.1	85.3
2008	155.2	134.6	144.5	125.4	35.4	25.2	9.8	4.8	65.0	167.6	87.5	36.6	82.6
2009	228.3	102.2	220.4	199.5	118.6	16.2	18.4	9.0	7.9	131.6	168.1	121.4	111.8
2010	56.6	124.6	126.4	118.8	63.8	6.6	1.1	5.4	21.8	51.0	85.0	111.2	64.4
2011	75.0	107.6	140.6	170.1	7.7	3.7	11.2	6.4	63.5	101.7	85.7	235.4	84.1
2012	244.6	189.4	103.9	144.7	40.2	4.1	0.0	1.6	1.5	153.3	107.0	79.1	89.1
2013	77.8	129.2	278.5	136.9	63.4	6.6	16.9	24.7	3.0	174.9	17.7	137.5	88.9
2014	108.7	199.6	178.3	105.5	75.3	0.0	10.8	0.7	41.3	68.8	102.8	157.9	87.5
2015	180.5	64.2	212.9	63.5	68.3	1.0	2.0	0.0	10.8	33.9	96.6	31.3	63.8
2016	152.8	149.4	117.7	44.3	12.4	10.4	0.0	3.1	11.6	67.6	14.5	191.3	64.6
2017	104.9	145.6	163.7	90.6	144.9	17.0	0.0	17.2	26.5	127.3	28.4	256.0	93.5
2018	124.6	141.2	125.3	58.8	52.8	2.1	0.0	8.4	39.2	106.9	104.5	52.9	68.1
2019	75.4	216.0	198.4	114.4	19.6	1.1	5.9	0.0	45.3	79.7	148.1	183.5	90.6
2020	109.3	50.8	163.0	107.5	41.8	10.1	50.1	0.0	19.5	25.9	133.6	173.9	73.8
2021	171.5	65.8	217.4	51.4	42.9	16.6	0.0	35.7	25.5	150.9	220.4	132.2	94.2
<b>PROMEDIO (1984 -2021)</b>	<b>128.6</b>	<b>146.3</b>	<b>163.0</b>	<b>107.5</b>	<b>41.8</b>	<b>10.1</b>	<b>7.5</b>	<b>7.8</b>	<b>39.2</b>	<b>108.0</b>	<b>104.4</b>	<b>135.0</b>	<b>83.3</b>

LON:78° 3' "W"

ALT: 2625 msnm

PARAMETRO: TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL

PROV: CAJABAMBA

DIST: CAJABAMBA

UNIDAD: (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	t máx. prom
1985	22.4	21.2	21.6	21.9	21.6	21.8	21.8	21.8	23.3	23.2	23.4	22.6	22.2
1986	22.0	22.3	21.7	21.8	22.8	22.7	21.7	23.0	24.2	24.6	23.1	23.8	22.8
1987	21.5	22.3	24.0	23.9	23.6	24.1	23.4	23.9	23.2	24.9	22.7	24.2	23.5
1988	22.5	21.4	23.2	21.8	22.5	23.5	24.3	24.1	23.8	23.3	22.4	21.5	22.9
1989	22.0	22.7	21.6	20.5	22.0	22.0	22.8	23.0	23.0	22.7	24.2	24.7	22.6
1990	21.2	21.1	22.2	23.0	22.4	21.2	22.0	21.6	23.2	23.3	23.1	23.2	22.3
1991	22.3	22.3	22.1	22.1	22.6	24.4	23.4	23.5	25.0	23.4	24.0	25.1	23.4
1992	24.3	25.2	23.8	23.5	24.3	21.1	21.3	22.6	24.0	23.3	23.7	24.1	23.4
1993	23.0	20.2	19.9	20.7	26.1	26.7	22.8	22.3	21.7	22.7	21.9	21.5	22.5
1994	21.4	20.9	21.4	21.5	22.1	21.2	23.6	24.5	24.9	23.0	21.6	21.1	22.3
1995	23.9	21.7	21.5	22.6	23.0	24.6	25.1	25.4	24.8	24.4	23.2	23.3	23.6
1996	21.4	21.0	21.1	20.9	21.7	22.4	23.1	22.9	24.0	23.4	23.8	23.0	22.4
1997	22.7	21.0	23.0	22.4	22.9	22.9	23.4	23.1	24.7	24.2	22.6	21.4	22.9
1998	22.2	22.7	21.8	22.7	23.4	23.0	23.3	23.6	24.2	23.2	23.6	23.8	23.1
1999	21.4	19.9	21.1	21.7	21.7	22.2	21.7	23.3	22.7	23.0	23.4	21.8	22.0
2000	22.7	20.1	20.4	20.8	21.9	22.1	22.2	22.8	22.5	24.0	24.4	21.8	22.1
2001	19.9	20.6	20.1	21.7	22.0	22.0	22.8	23.2	23.7	23.7	22.1	23.3	22.1
2002	22.5	21.7	21.1	21.5	22.4	22.5	22.5	23.6	24.4	22.6	21.8	22.1	22.4
2003	23.0	22.7	21.6	22.7	22.6	22.7	22.8	23.8	24.5	24.5	23.4	21.9	23.0
2004	24.1	22.2	22.9	23.2	23.9	22.0	22.5	23.3	22.7	23.0	22.4	22.6	22.9
2005	23.0	23.1	21.3	22.4	23.5	24.0	23.8	24.1	24.6	22.5	24.1	21.9	23.2
2006	22.8	22.3	21.0	21.9	23.1	22.1	23.2	23.6	23.8	24.3	22.6	21.9	22.7
2007	22.9	22.7	21.5	21.4	23.1	23.1	23.5	23.6	22.9	22.7	21.8	23.0	22.7



2008	21.2	21.2	20.5	21.4	22.3	22.6	22.8	23.6	22.9	21.7	22.0	23.4	22.1
2009	21.3	21.1	20.7	21.0	21.9	22.0	22.2	23.8	24.2	23.5	22.5	22.0	22.2
2010	22.7	23.2	22.6	23.0	22.8	22.8	23.9	23.6	24.0	23.9	23.2	21.4	23.1
2011	22.0	21.6	20.4	21.0	22.4	22.6	22.5	23.6	22.5	22.1	22.7	21.5	22.1
2012	21.4	21.1	21.6	21.4	22.0	22.3	22.6	23.3	23.9	22.8	22.4	22.5	22.3
2013	23.9	22.5	21.7	22.9	22.5	22.3	22.6	23.5	25.1	22.9	24.1	23.1	23.1
2014	23.1	22.8	21.4	23.0	22.7	23.8	23.8	23.6	24.3	24.3	24.1	23.3	23.4
2015	22.7	23.3	22.1	22.3	22.6	23.1	24.0	24.8	25.7	25.4	24.6	24.8	23.8
2016	25.8	23.8	23.9	24.2	25.1	23.6	24.2	24.9	25.3	25.5	27.2	23.3	24.7
2017	22.4	23.4	21.5	22.4	22.2	23.3	23.5	24.5	24.5	24.8	25.2	23.4	23.4
2018	22.9	23.9	21.9	21.9	22.7	22.8	23.0	24.3	25.0	23.9	23.8	23.3	23.3
2019	23.7	22.9	21.8	22.7	23.9	24.1	23.1	23.6	23.9	22.8	23.4	22.3	23.2
2020	24.1	23.9	24.5	22.1	22.8	22.8	22.9	24.0	23.4	25.0	25.2	22.9	23.6
2021	22.3	23.8	22.2	22.8	23.0	22.8	22.3	23.1	23.1	23.2	22.5	23.1	22.9
<b>Promedio</b>	<b>22.6</b>	<b>22.2</b>	<b>21.8</b>	<b>22.1</b>	<b>22.8</b>	<b>22.8</b>	<b>23.0</b>	<b>23.5</b>	<b>23.9</b>	<b>23.6</b>	<b>23.3</b>	<b>22.8</b>	

LON:78° 3' "W"

ALT: 2625 msnm    PARAMETRO: TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL

PROV: CAJABAMBA

DIST: CAJABAMBA    UNIDAD: (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Tmin. prom
1985	9.8	10.2	9.7	9.6	8.4	6.9	6.0	7.6	9.0	8.6	7.7	10.2	8.6
1986	10.5	9.8	9.7	11.1	9.0	7.3	6.5	9.1	8.9	9.6	9.7	10.5	9.3
1987	11.7	10.9	9.9	10.4	8.8	7.5	8.7	8.5	10.1	9.9	10.8	11.9	9.9
1988	11.2	11.8	11.6	10.8	9.6	6.9	6.5	7.4	9.6	10.2	10.8	9.6	9.7
1989	11.0	10.9	10.2	10.7	7.5	7.6	6.1	7.7	9.3	10.4	8.9	8.0	9.0
1990	10.6	10.1	10.4	10.5	8.5	8.9	7.0	7.0	9.8	10.3	11.2	9.5	9.5
1991	10.1	10.0	10.6	10.4	8.6	7.3	6.0	7.0	8.2	9.7	9.7	9.6	8.9
1992	10.0	9.9	10.7	10.7	9.8	8.9	7.1	8.2	9.7	10.0	9.8	8.9	9.5
1993	9.9	9.9	9.9	10.9	12.9	11.1	7.8	6.6	9.7	10.3	9.5	11.4	10.0
1994	10.8	9.7	10.3	10.3	9.5	8.3	7.3	8.0	9.9	9.3	8.8	10.0	9.4
1995	10.3	10.3	10.9	9.8	8.5	8.2	8.3	7.8	9.1	10.0	10.4	9.7	9.4
1996	9.9	10.2	11.1	10.3	9.1	7.6	6.3	7.6	9.6	10.2	8.1	9.5	9.1
1997	8.9	11.0	9.3	9.6	9.7	8.0	7.4	8.8	10.2	11.6	11.6	12.5	9.9
1998	12.2	12.7	13.0	12.6	9.9	8.8	7.8	9.1	9.5	10.9	9.7	10.3	10.5
1999	11.1	11.3	10.9	11.4	10.2	9.7	8.2	8.7	10.3	9.9	10.7	11.3	10.3
2000	10.4	10.8	11.2	10.8	10.3	9.7	8.7	9.4	10.1	9.9	8.7	11.2	10.1
2001	11.3	11.5	11.4	10.8	10.3	8.6	9.2	8.9	10.6	12.1	11.7	11.6	10.7
2002	11.3	12.2	11.8	11.1	10.8	8.8	9.7	8.8	10.7	11.5	11.7	12.5	10.9
2003	12.1	11.9	11.4	11.6	10.9	9.3	8.2	9.0	10.0	10.8	10.4	11.5	10.6
2004	9.7	11.8	11.4	10.1	10.1	8.7	9.3	8.7	10.3	11.6	11.3	11.7	10.4
2005	10.9	12.7	12.0	11.8	9.0	9.6	7.9	8.9	10.2	11.3	9.5	10.5	10.4
2006	11.0	12.0	11.5	10.7	8.9	9.2	8.0	9.5	10.6	11.0	10.9	12.0	10.4

2007	12.7	10.7	11.7	11.0	10.3	8.4	8.8	9.1	9.3	10.1	11.3	10.3	10.3
2008	11.2	11.3	10.6	10.7	9.9	8.8	8.3	9.8	10.3	11.4	10.6	10.1	10.3
2009	11.2	11.3	11.4	11.2	11.6	10.0	9.2	9.9	10.1	11.3	10.8	11.8	10.8
2010	12.3	12.4	12.5	12.1	10.8	9.7	9.1	9.2	10.3	10.2	10.4	10.8	10.8
2011	10.6	10.5	10.2	10.8	9.9	9.4	9.1	9.7	10.6	10.2	11.5	11.5	10.3
2012	11.3	10.5	11.5	11.0	10.5	8.6	8.7	9.1	9.7	11.4	12.3	11.5	10.5
2013	12.3	11.6	12.0	11.3	10.8	9.9	8.4	9.5	9.8	11.7	10.6	11.6	10.8
2014	11.8	12.0	11.9	11.2	11.5	9.3	9.0	8.9	10.6	11.2	11.0	12.1	10.9
2015	12.0	11.7	12.2	11.9	11.2	8.8	9.1	9.4	11.5	12.2	11.7	12.7	11.2
2016	12.6	13.6	12.6	12.0	11.0	9.1	8.8	9.7	11.0	10.9	10.3	12.0	11.1
2017	11.6	11.5	11.7	11.6	10.8	9.5	8.4	9.7	11.1	11.2	11.1	11.4	10.8
2018	10.9	11.4	12.1	10.9	10.6	8.5	9.2	9.6	10.3	10.9	11.1	10.7	10.5
2019	12.1	12.8	12.4	11.5	10.6	9.8	9.1	8.3	9.9	11.6	11.5	12.1	11.0
2020	11.8	12.9	12.8	11.0	10.0	8.8	8.6	8.3	10.5	10.5	10.2	11.4	10.6
2021	11.7	10.2	10.9	11.3	9.8	9.5	6.8	8.3	10.2	10.7	10.8	10.6	10.1
<b>promedio</b>	<b>11.1</b>	<b>11.2</b>	<b>11.2</b>	<b>11.0</b>	<b>10.0</b>	<b>8.8</b>	<b>8.1</b>	<b>8.7</b>	<b>10.0</b>	<b>10.7</b>	<b>10.5</b>	<b>10.9</b>	<b>10.2</b>

**ANEXO 4: DATOS DE COLCAMAR - CLIMATIC RESEARCH UNIT (CRU) TS 4.04 – PRECIPITACIÓN (MM)**

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>PP prom anual</b>
1948	61.9	78.5	88.8	118.5	140.1	28.2	130.8	9.9	15.6	216.7	46.9	22	79.83
1949	55.3	119.3	67.6	135.7	12.8	11.1	11.5	9	28.9	57.5	40.2	28.1	48.08
1950	46.8	103.1	129.7	48.9	23.5	27.4	90.2	13.2	62.6	67.2	45.2	268.8	77.22
1951	59.5	88.5	122	66.1	50.2	24.9	6.5	8.6	23.6	90.9	122.9	72.7	61.37
1952	76.3	92.4	108.2	86.5	29.9	12.3	46.7	14.6	27.8	75.4	107.9	81.9	63.33
1953	80.3	88.7	107.5	185.9	31	15.4	47.8	17.5	39.3	85.1	81.4	48.4	69.03
1954	53.2	66.6	108.8	175.8	42.1	14.8	8.8	7.1	30.9	110.7	75.4	68.6	63.57
1955	63.1	63.2	129.9	94.2	67.3	11.3	34.2	8.7	49.4	73.3	84.9	57.4	61.41
1956	99.9	103.9	148.5	94	28.8	13	47.1	13	52.1	71.8	51.5	50.1	64.48
1957	44.1	79.6	110.5	96.1	38.7	24.4	5.2	17.8	28.2	57.6	226.8	60.7	65.81
1958	231	83.6	177	125.9	97.7	10.8	10.8	16.6	17.9	102.4	52.7	39.3	80.48
1959	37.4	87.7	125.8	101.6	57.8	27.3	9.3	5.3	41.7	88.7	80	126.5	65.76
1960	65.1	126.1	77.5	88.4	57.8	9.9	17.8	30.8	53.5	49	110.9	87.3	64.51
1961	68	60.9	150.8	72.2	32.5	14.5	3.9	6	39.9	105.3	55.1	51.9	55.08
1962	100.7	125.6	100.6	103.3	59.1	5.9	35.4	12.2	53.8	51	58.6	32.8	61.58
1963	59	107.8	126.7	121.3	42.4	15.7	9.6	7.7	28.9	94.4	86.3	76.5	64.69
1964	90.5	114.9	96.8	100.7	39.6	12.8	32.2	30.7	66.9	98.7	131	57.3	72.68
1965	52	66.5	222.5	129.6	41.2	20.5	17.4	11.6	68.2	83.8	105.7	71.7	74.23
1966	67.2	53.6	63.1	65.2	43.6	12.7	9.8	20.6	42.4	134.3	83.3	55.6	54.28
1967	116.5	122.4	158.9	72.6	45.1	15.3	65.8	15.7	36.6	79.2	47.9	102.9	73.24
1968	73.3	87.5	68.7	70	19.1	9.8	13.8	18.7	96	140.9	59.5	58	59.61
1969	48.7	54.5	70	84.2	20.1	24.6	8.6	16.8	43.3	85.8	100	79.3	52.99

1970	109.5	50.9	101.4	65.5	63.7	50.5	13.7	10.3	50.5	69.4	71.8	48.1	58.78
1971	59.4	94.3	153.2	110	44.3	13.8	27.8	16.5	57.9	105.1	75.4	94.6	71.03
1972	114.4	67.7	284	100	31.2	12.5	14.9	21	75.8	51.1	50.7	143.6	80.58
1973	115.1	166.5	136.6	95.1	30.1	33.3	17.3	13.5	74.9	42.5	121.5	54.7	75.09
1974	69.5	186.5	122	112.4	21.8	35.2	17.2	21	67.9	54.9	60.8	87.4	71.38
1975	104.9	127.9	137	61.8	49.4	17.5	26.5	39.1	51.6	77.1	74.4	29.7	66.41
1976	122.6	59.4	104.6	86.5	32.8	17.5	5.8	20.8	30.5	60	68.6	78.7	57.32
1977	49.6	161.3	161.4	67.7	37.5	19.2	18.1	15.7	59.2	69.9	98.4	60	68.17
1978	54.2	53.1	114.4	66.3	67.9	8.3	18.4	10.6	69.3	75.1	64.2	61.3	55.26
1979	48.9	37.4	137.3	34.6	66.6	8.5	11.5	11.8	52.3	51.8	99.6	54.3	51.22
1980	66.9	55.4	147.8	64.6	31.6	18.6	10.6	23.8	25.3	117.7	129	92.6	65.33
1981	62.8	140.3	105.8	63.8	19.6	19.5	20.2	40.9	21.9	96.5	69	67.5	60.65
1982	41.1	88.2	86.6	82.4	33.4	24.3	12.8	4.6	63.9	158.9	76.2	159.4	69.32
1983	94.7	109	180.8	119.9	73	14.5	8.5	5.9	21.2	61.6	81	111	73.43
1984	35.1	173	106.5	62.8	71.7	21.4	6.3	15.9	62.8	68.5	54.4	48.7	60.59
1985	27.1	77.9	65	35.8	60.1	8	11.9	25.3	52.5	57.3	52	52.6	43.79
1986	86.6	102.7	122.8	70.5	37.5	4.6	7.1	29.5	37.7	77	110.4	89.2	64.63
1987	126.5	85.7	50.8	91.4	24.6	9	24.1	17.9	35.9	90.4	100.3	59.5	59.68
1988	60.3	137.5	84.6	84.9	59	10.7	3.1	17.6	35.3	61.6	77.8	74.7	58.93
1989	139.4	127.1	130.4	84.6	44	28.2	8.7	16.8	66	108.5	42.3	12.9	67.41
1990	83.6	79.3	101.1	63.4	33.2	23.7	17	14.2	29.2	64.7	91.4	79.1	56.66
1991	34.6	103.6	129.9	63.1	28.3	16.7	3.8	8.8	25.1	39.4	78.6	37.5	47.45
1992	32.7	71.1	148.3	63.7	13.8	6.9	15.3	15.6	107	54.3	59.5	59.7	53.99
1993	91.7	103.2	209.1	314.2	32.6	22.6	13.6	4.9	32.9	96.1	48.5	94.1	88.63
1994	87.6	68.9	152.5	283.2	27.4	20.1	5.7	8.3	40.4	45.5	100	86.7	77.19
1995	36.8	103.1	137.3	38.2	26.8	6.4	6.9	14	23.7	36	74.3	92	49.63
1996	99.8	133.9	102.9	67.3	44.5	8.7	16.1	17.5	24.5	102.3	39.7	47.6	58.73

1997	33.1	199.8	86.2	65.9	32.9	3.9	6.5	11.6	42.3	53.7	186.7	89.1	67.64
1998	109.5	77.5	124.5	58.8	28	18.9	5.2	10.4	124.6	121.4	72.1	105.8	71.39
1999	119.9	204.5	91.6	73.1	70.8	10.6	14.2	11.4	109.5	86.9	54.8	161.8	84.09
2000	58	76.6	70.2	178.6	79.4	17.7	16.2	13.6	76.9	42.9	63	264.5	79.80
2001	63.8	129.6	203.9	148.5	27.3	13.5	11.2	11.1	29.3	43.1	69.6	85.4	69.69
2002	48.6	92.5	303.4	163.2	25.6	9.1	9.4	7.6	22.1	48.9	126.1	67.6	77.01
2003	82	213.3	151.1	63.6	32.5	14.7	5.3	12.1	41.5	61.1	92.7	268.1	86.50
2004	19.7	265.5	106.1	43.7	28.4	15.5	12.2	14.2	35.2	124.5	87.8	80	69.40
2005	24.5	112.7	103.7	49.2	9.4	16.4	7.2	6	44.7	62.4	70.6	29.9	44.73
2006	132.1	161.3	61.5	12.7	12.9	11.3	7.1	40.3	68.2	169.3	216.1		81.16
2007	74.9	83.1	125.7	86.8	42.8	10.8	5.4	16.2	41.2	47.1	200.8	53.1	65.66
2008	88.5	221.6	192.3	134.6	20.6	15.2	25.2	10	34.7	119.3	128.4	35.9	85.53
2009	268.5	191.7	68.6	83.5	115.4	12.2	8	12.3	47.4	36.7	81.2	168.1	91.13
2010	43.8	126.3	99	202.8	52.1	13.1	5.4	11.1	40.9	111.8	269	54	85.78
2011	50.5	48.2	69.5	57.2	68.4	17.6	15.1	5.1	47	54	155.3	218.4	67.19
2012	106.6	139.9	159.3	108.8	29.7	15	8.7	5.5	37.8	98.1	62.1	97	72.38
2013	77.9	225.5	114.1	100.3	63.1	18.3	15.9	10.2	120.6	181.1	94	79.1	91.68
2014	62.7	43.8	111.5	62.6	68.5	15.3	21	14.5	23.4	75.4	45.8	205.9	62.53
2015	69.5	281.8	222.9	68.5	171	13.9	9.5	7.6	17.6	68.5	82.7	79.8	91.11
2016	75.2	161.9	128.9	73.8	43.2	16.1	8.5	15.8	72.5	69.2	20	115	66.68
2017	113.8	130.3	135.5	93.1	54.7	22.1	14.6	19.9	54	58.3	96.7	82.2	72.93
2018	84.9	89.6	102.5	66.9	44.1	20	17	16.6	40.6	88	84	76	60.85
2019	90.1	100.2	106.6	83.3	56.5	6.2	21.6	26	37.7	96.4	104.4	99.2	69.02
<b>pp prom mes 1948-2019</b>	<b>77.65</b>	<b>112.91</b>	<b>125.436</b>	<b>94.177</b>	<b>45.740</b>	<b>16.394</b>	<b>17.956</b>	<b>14.887</b>	<b>48.094</b>	<b>82.177</b>	<b>88.498</b>	<b>85.595</b>	

- Temperatura media anual (°C)

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>T° prom anual</b>
1948	16.6	16.4	16.3	16.6	18.2	17	15.7	16.1	16.7	17.1	17.2	16.2	16.68
1949	17.4	16.7	17.4	16.1	16	15.4	14.9	15.4	15.6	15.8	16.9	16	16.13
1950	15.8	15.2	15	15.2	15.5	14.8	14.4	15.4	16.1	16.2	16.6	15.9	15.51
1951	15.7	15.1	15.5	15.6	16.8	16.9	16.7	16.6	16.9	17	17.1	16.6	16.38
1952	16.5	16	16.1	15.9	16.2	15.2	14.9	15.5	16.1	16.5	16.5	16.5	15.99
1953	16.3	16	16.4	17.2	17.3	16.4	15.4	16.7	17.4	16.6	17.1	16.4	16.60
1954	16.1	16	15.7	16	15.4	15.3	14.5	15.4	15.9	15.8	16.5	15.9	15.71
1955	16.1	15.9	15.6	15.6	15.9	16.3	15.3	15.6	15.7	16.3	16.5	16	15.90
1956	15.4	15.4	15.8	15.6	15.9	15.7	15	15.6	15.9	16	16.3	15.9	15.71
1957	15.9	16.3	16.8	16.8	17.7	17.1	16.3	16.5	17	16.8	16.8	17	16.75
1958	16.9	16.7	16.4	16.6	16.4	16.2	15.9	15.6	16.6	16.7	16.5	16.7	16.43
1959	16.2	16.2	16.9	16.7	16.5	16.3	15.9	16.5	16.3	16.6	16.9	16.4	16.45
1960	16.8	16.2	16.5	16.2	15.9	16.2	15.6	16.4	16.4	16.5	16.7	17.1	16.38
1961	16.7	16.2	16.2	16.2	16.9	16.1	16	16.8	16.7	16.9	16.3	16.7	16.48
1962	16.5	16	15.9	16.5	16.1	15.8	15.1	16.4	17	16.5	17.5	17.5	16.40
1963	16.7	15.9	16.1	16.1	16.8	16.5	16.2	17.3	17.6	17	17.3	17.2	16.73
1964	17.1	16.7	16.2	16.3	15.6	15.7	14.9	15.7	16.1	16.3	16.7	16.5	16.15
1965	16.7	16.4	16.8	17	16.7	16.9	16.4	17.3	17.1	17.3	17.4	17.2	16.93
1966	17	17	16.6	16.7	16.6	16.4	15.6	16.1	16.5	16.8	17.2	16.7	16.60
1967	16.3	15.9	16	16.1	16.4	15.6	15.3	15.9	16.3	16	16.6	16.3	16.06
1968	16.5	16.1	15.4	15.4	14.8	15.3	15.4	16.3	16.8	17	17.4	17.1	16.13
1969	17.4	16.9	17.2	17.5	18.1	17.4	15.9	16.5	17.5	17.4	17.7	17.4	17.24
1970	16.7	16.5	16.3	16.3	16.4	16	15	15.9	16.5	17.1	16.9	16.5	16.34

1971	16	15.2	15.6	15.7	15.9	16.2	15.7	15.8	16.3	16.5	17	16.6	16.04
1972	16.2	16.8	16.9	17.1	18	18	17.5	18	17.6	18	18	18.4	17.54
1973	17.3	16.9	16.9	16.4	16.2	15.5	15.1	15.2	15.8	16.2	16.4	15.7	16.13
1974	15.6	15.2	15.5	15.8	16.3	15.8	14.8	15.3	15.2	16	16.8	15.9	15.68
1975	15.2	15.4	15.9	16.5	16	15.7	14.8	15.6	15.5	16.2	16	15.6	15.70
1976	15.9	16	16	15.9	16.8	16.4	16.4	16.8	16.6	16.8	17.5	17.2	16.53
1977	17	16	16.3	16.7	16.7	16.3	16	16	16.6	16.7	17	17.2	16.54
1978	16.4	16.8	16.5	16.4	16.6	16.3	16.1	16	16.5	17.1	17.8	17.1	16.63
1979	17.6	16.6	16.7	17.1	17	16.5	16.3	17.4	17.1	17.5	17.3	17.2	17.03
1980	17.6	17.2	16.9	17.9	17.4	17.2	16.3	16.2	16.8	16.8	17.6	17.2	17.09
1981	16.7	16.2	16.6	16.7	17.3	16.7	15.2	15.9	16.5	17	17	16.6	16.53
1982	16.7	16.3	16.8	16.6	16.8	17.1	16.5	16.9	17.3	17.5	18.7	18	17.10
1983	17.6	17.9	17.8	17.3	17.8	18.6	18	17.7	17.5	17.9	17.7	17.1	17.74
1984	16.6	15.9	16.2	16.6	16.6	16.6	16	16	17.1	17.8	17.2	16.8	16.62
1985	16.3	16.2	16.6	15.9	15.5	15.8	15.3	15.7	16.2	17.1	17	16.6	16.18
1986	16.6	16	15.6	16.8	16.4	16	15.5	16.6	17	16.8	17.6	17	16.49
1987	16.9	17.1	17.6	17.6	17.5	17.1	17.2	17.1	17.3	17.5	17.5	17.3	17.31
1988	16.4	16.6	16	16.3	16.8	16	15.4	15.9	16.3	16.3	17.7	16.5	16.35
1989	16	15.9	16.2	15.6	15.5	16	15.4	16.2	16.8	16.4	17.4	16.7	16.18
1990	16.4	16.5	16.4	16.9	17.4	16.2	15.3	16.2	17	16.8	18	17	16.68
1991	16.5	16.5	16.6	16.6	17.3	17.2	15.9	15.9	16.9	17	17.1	17.5	16.75
1992	17.8	17	17.5	18.4	18.6	17.4	15.7	16.5	16.7	17.2	17.2	16.9	17.24
1993	16.8	16.4	16.5	17	17.7	17.4	16.4	16.7	17.4	17.3	16.9	16.9	16.95
1994	16.8	16.2	16.4	16.8	17.6	16.4	15.8	16.3	17.3	17.4	17.5	17.5	16.83
1995	17.6	16.8	16.7	17	16.6	17.5	16.4	16.8	17.2	17.3	17.2	16.4	16.96
1996	15.9	15.6	16.4	16	16.4	16.1	15.1	15.7	16.7	16.5	17.1	16.3	16.15
1997	16.5	15.9	17	17.5	18.4	18.8	17.5	17.4	18.1	18.4	18.3	18.1	17.66
1998	18	17.6	18.1	18.7	18.4	17.6	17.1	17.4	17.3	17.3	17.6	17.2	17.69



1999	16.2	16.3	16.6	16.1	16.2	16.2	15.5	16.2	16.6	16.8	16.9	16.5	16.34
2000	16.2	16	16	16.3	16.5	16.5	15.5	17.1	16.8	17.6	17.9	16.9	16.61
2001	16.6	16.8	16.4	16.7	16	15.2	15.5	16.2	16.2	16.6	17.1	16.6	16.33
2002	16.5	16.7	17.2	17.5	17.5	16.3	15.7	16.8	17.3	17.6	17.9	17.6	17.05
2003	17.5	17	17.2	16.5	16.4	16.5	16.2	16.3	16.7	17.7	18	17.3	16.94
2004	17.4	17.1	17.3	17.2	16.4	15.9	15.9	16.3	17.1	17.8	17.9	17.7	17.00
2005	17.6	16.6	16.8	17	17.1	16.7	16	17	16.8	16.7	16.4	17	16.81
2006	17	17	16.7	16.4	16.4	16.8	16.9	17.3	16.7	16.9	17.9	17.3	16.94
2007	17.7	16.6	16.4	16.6	15.8	15.4	15.4	15.8	16	16.1	16.7	16.1	16.22
2008	16.7	16.6	17	16.4	16	16.4	16.8	17.5	17.3	17	17.1	16.9	16.81
2009	16.4	16.5	16.4	17.3	16.8	16.8	16.8	17.2	17.4	17.4	17.9	17.6	17.04
2010	17.9	17.3	17.2	17.5	17.2	16.7	15.6	16.2	16.5	16.7	16.6	16.2	16.80
2011	16.3	16.1	15.8	16.8	17.1	17.3	16.2	16.7	16.4	16.5	17.2	16.3	16.56
2012	16.3	15.5	16.4	17.1	17.4	17.6	16.9	17	17.2	17.2	17.6	16.8	16.92
2013	16.8	16.4	16.2	15.8	16.5	16	15.2	16	16.8	16.7	16.8	17.1	16.36
2014	17	16.2	16.3	16.3	17.9	17.9	16.3	16.6	17.1	17.2	17.4	16.8	16.92
2015	16.5	16.7	16.7	16.9	18.1	18.1	17.2	17.5	18.6	18.4	18.5	17.9	17.59
2016	18.3	17.4	17.4	17.2	17.5	17	16.8	17.7	17.8	17.8	18	17.4	17.53
2017	18.5	17.4	18.3	17.8	17.8	17.3	16.2	16.7	16.7	17.9	17.7	16.6	17.41
2018	16.8	16.3	16.4	16.8	18.3	16.4	15.8	16.9	17.3	16.9	17.2	16.9	16.83
2019	17	16.9	16.6	17	17.8	16.8	17.6	17.5	17.4	17.6	18.4	17.9	17.38
<b>T° prom mes 1948 - 2019</b>	<b>16.709</b>	<b>16.378</b>	<b>16.5070</b>	<b>16.6225</b>	<b>16.7957</b>	<b>16.5056</b>	<b>15.8788</b>	<b>16.4183</b>	<b>16.7690</b>	<b>16.943</b>	<b>17.2309</b>	<b>16.8408</b>	

b) Datos de Santa Rosa de Crisnejas - Climatic Research Unit (CRU) TS 4.04 – Precipitación (mm)

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>PP prom anual</b>
1948	88.3	106.4	112.3	92.4	50.8	14.3	57.4	5.4	11.6	243.9	55.8	8.3	70.58
1949	41.6	111.5	48.8	195.6	10.2	3.6	5.6	3.3	14.1	60.1	41.2	26.2	46.82
1950	48	124.4	124.3	43.5	21.8	12.4	34.2	6.5	48.7	67	54.4	368.6	79.48
1951	61.8	88.4	121.5	57	40.1	12.9	2	5.1	19.7	89.4	127.5	72.8	58.18
1952	84.4	110	119.7	84.9	23.4	7.1	18.5	7	21.4	76.4	120.8	82.2	62.98
1953	100	101.4	112.9	237.9	30	8	18.7	9.1	29.4	85.9	88.3	48	72.47
1954	65	70.1	110.3	229.3	38.5	7.6	3.4	2.9	24.1	98.4	83.3	65.3	66.52
1955	62.2	64.7	133.7	81	58.6	5.2	14	3.4	37.9	77.8	89.3	56.7	57.04
1956	126.1	112	152.4	89	23.9	5.9	18.3	6.2	36.8	69.4	58.1	44.3	61.87
1957	52.5	72.6	115.2	60.6	33.2	12.8	2.5	9.3	25.8	58.9	237	62.1	61.88
1958	241.6	70.4	157.8	111.1	50.6	5.3	4.1	8.4	15.5	95	55.3	39.5	71.22
1959	39.5	81.8	132.3	90.9	50.1	14.8	3.3	4.2	30.6	88.5	81.2	119.6	61.40
1960	72.4	134.7	83.1	72.1	46.6	4.9	4.4	16	39.2	52	121.5	81.3	60.68
1961	73.7	63.2	147.4	59.2	26.4	7.1	1.5	3.1	31	95	58.3	45.1	50.92
1962	100.6	122	99.6	84.8	43.9	3	12.7	6.5	38.1	44.7	57	27.7	53.38
1963	58.7	106.8	128.9	158.1	31.2	8.6	2.8	4.5	23.4	85.6	82.9	63.8	62.94
1964	90.5	109.5	110	114	31.1	6.4	10.7	18.1	42.7	90.8	245.5	51.4	76.73
1965	50.8	96.8	331.6	98.4	29.3	9.1	5.6	5.2	49.8	75.2	98.4	62.6	76.07
1966	63.6	50.6	56.9	53.7	33.5	5.1	2.8	9.3	33.8	121.8	82.6	49.5	46.93
1967	118.9	129.1	146.1	59.3	32	7.6	25.3	6.2	26.7	71.4	46.6	88.8	63.17
1968	67.2	81.5	50.3	54.4	12.7	4.5	3.8	12.5	75.1	126	54.7	48.1	49.23

1969	43.4	92.5	64.6	68	12	13.8	2.7	8.1	29.5	80.8	104.4	62.4	48.52
1970	102	37.5	88.5	54.9	54.7	29.2	4.3	6.2	40.1	60.4	68.8	48	49.55
1971	53.9	88.6	144.5	94	31.4	6.3	10.1	8.1	44.1	97.8	74.9	76.9	60.88
1972	110.6	67.4	257.2	150.9	23	5.9	4.4	13.3	52.8	46.9	49.3	221	83.56
1973	141.7	159.6	215.9	87.4	23.6	18.1	6.2	7.9	58.2	42.7	128.1	46.5	77.99
1974	67.8	225.7	111.2	158.2	16.7	16.9	5.4	13.8	51.9	45.2	51.8	77.3	70.16
1975	149.8	165.1	159.5	53.6	42	8.4	6.8	17.9	39.3	69.2	71.4	25.1	67.34
1976	116.8	50.5	98.2	68.4	24.6	9.4	1.6	9.1	26.7	59	67.1	70.8	50.18
1977	47.2	173.9	165.2	48.3	29.1	8.3	6.5	6.3	52.4	60.3	97.7	48.4	61.97
1978	54.9	47.7	110.5	53	51.1	3.6	6	4	48	74.5	64.1	48.8	47.18
1979	47.6	37	109.6	23.8	54.9	4.8	3.8	5.7	37	46.1	95.9	45.1	42.61
1980	71.6	44.3	127.4	45.9	21.6	9.7	3.6	11.3	20.3	105.5	201.1	80.3	61.88
1981	87.7	171.3	98.6	53	18.3	11.4	10.1	20.1	17.6	89.9	83.1	63.9	60.42
1982	45.2	99.2	87.1	78.1	25.8	13	4.1	3.7	49.2	174.9	75.9	278.4	77.88
1983	62.5	109.1	180.3	116.4	72.5	8.2	2.6	3	15.4	57.1	105.7	76.4	67.43
1984	32.3	233.4	94.4	59.2	59.4	11.7	2	8.2	46.9	62.9	61.7	40.9	59.42
1985	26.2	130.5	59.8	30.7	40.6	4.3	7.7	14.5	39.2	46.7	43.1	40.2	40.29
1986	86.6	111.8	129.6	55.7	36.6	2.2	2.1	16.2	22.8	70	128.9	73.6	61.34
1987	170.8	90	41	70.6	17.9	4.5	7.1	8.9	26	88.7	77.8	56.5	54.98
1988	75	141.6	79.4	78.7	43.5	5.2	0.5	7.1	25.8	54.2	77.1	64.6	54.39
1989	159.1	135.1	117.5	69.5	33.3	14.4	2.7	8.5	52.8	95.8	42.7	13.2	62.05
1990	78.7	70.9	96.9	46.3	31.1	13	5.4	6.6	21.4	58.4	84.4	70.9	48.67
1991	31.9	95.8	131.4	60.2	20.3	7.7	0.8	3.6	17	35.2	83.8	35.5	43.60
1992	28.8	77.5	129.1	47.2	8	3	4	8.1	95.9	53.2	45.5	59.7	46.67
1993	91.4	108.6	189.4	384.6	25.7	11	5.2	2.1	21.1	86	51.5	73.5	87.51
1994	78.2	113.2	133.3	348.7	20.6	8.8	1.5	3.3	30.5	50.4	97.3	71.7	79.79

1995	35.7	109	134.6	39.6	22.8	3.7	2.6	8.4	19	39.3	69.4	76.2	46.69
1996	119.6	177.6	91.5	52.8	36.4	4.2	5.3	8.4	21.1	105.1	49.6	42.5	59.51
1997	41.9	235.4	78.3	40.3	26.6	2	2.3	5.6	29.9	51.7	184.3	74.8	64.43
1998	162.1	83.3	121.7	47.6	22.1	8.6	1.3	4.9	109.7	106.2	65.2	96.5	69.10
1999	154.8	192.8	110.3	63.3	48.2	4.2	5.3	5.2	87.6	101.6	56.5	158.9	82.39
2000	51.9	61.5	50.9	119.6	41.1	7.6	7.1	5.6	54	37.7	62.8	310.8	67.55
2001	61.4	147	241.6	96.9	16.4	5.9	3.9	3.6	19.6	33	38.5	47.9	59.64
2002	56.9	106.7	349.1	173.3	13.2	3.6	2.2	4.1	16.7	44.6	110.1	75.4	79.66
2003	86	312.5	127.8	48.7	24.4	9	1.9	9.3	39.4	53.5	102.6	294.8	92.49
2004	22.2	381.7	115	23.7	21	6.6	5	7.6	31.4	128.5	71.9	72.3	73.91
2005	26.5	137.8	94.2	37.1	6.4	6.8	2.6	3.7	32.9	51.1	63.5	26.2	40.73
2006	115	156.8	169.5	56.9	9.4	5.5	3.8	4.2	39.2	83.7	197.7	276.4	93.18
2007	84.8	111.2	129.2	83	33.4	3.1	2.2	5	25.7	46.2	220.3	50.8	66.24
2008	106.2	220.3	186.7	100.5	12.8	8.3	6.5	3	27.6	127	138.6	24.8	80.19
2009	340.5	249.4	58.7	82.5	61.6	5.6	2.6	5.1	31.1	32.7	64.4	130.9	88.76
2010	45.1	128.8	117.7	154.6	43.8	4.8	1.9	5.1	25.2	93.6	358.9	49.2	85.73
2011	53.1	37.8	63.1	45.5	36.1	8.8	4.3	1.9	29.3	38.2	109.6	224	54.31
2012	101.9	122.1	175.6	83.6	20.2	6.5	3.5	2.4	26.7	78.8	35.8	89.7	62.23
2013	78.3	326.1	113	120.3	38	8.5	5.1	3.6	102.2	203.7	98.3	65.2	96.86
2014	73	40.6	91.6	61.4	60.9	6.3	5.3	6.3	16.9	37.1	48.5	217.9	55.48
2015	65.4	445.5	215.7	61	114.4	4.3	2.6	4.5	11	71.2	103.4	79.4	98.20
2016	79.1	180.1	107	56	31.5	6.2	2.4	9.6	43.4	83.8	20.5	83.8	58.62
2017	102.1	120.2	125.1	84	37.5	10.2	5.9	10	41	81.9	92.4	78.2	65.71
2018	96.4	112.5	119.5	79.7	36	10	6	9.7	39.3	87	90	77	63.59
2019	97.4	114.4	120.1	82.4	37.8	3.1	6.3	10.5	38.9	88.4	93.8	81.1	64.52
<b>Pp prom 1948 - 2021</b>	83.7	127.73	126.70	89.261	33.447	7.95	6.4819	7.2930	36.3347	77.6472	91.936	85.919	

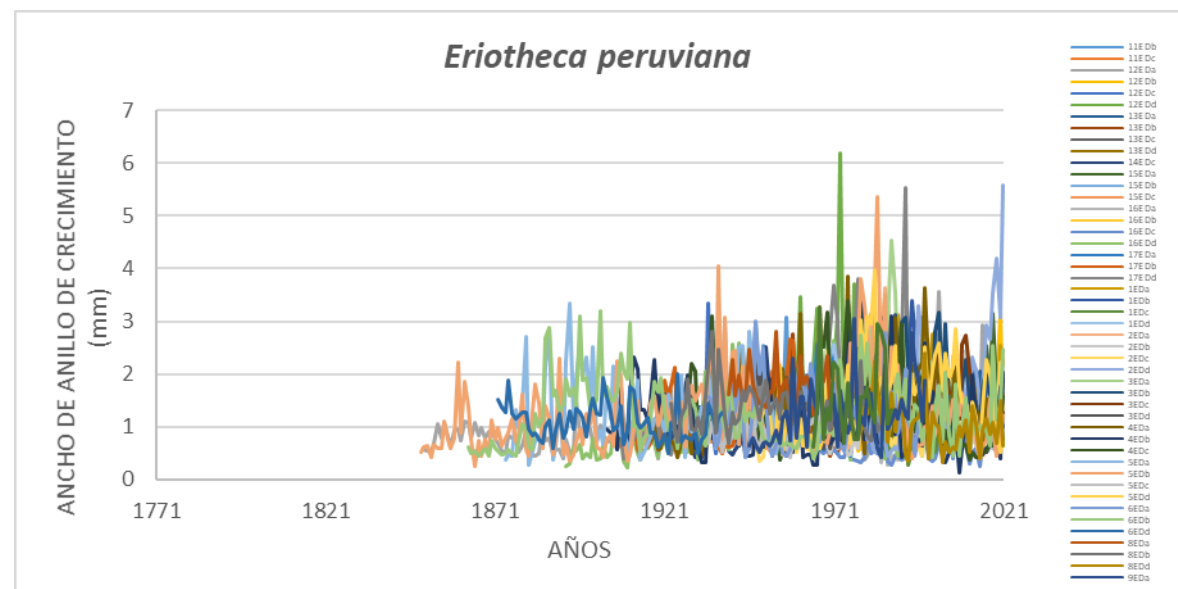
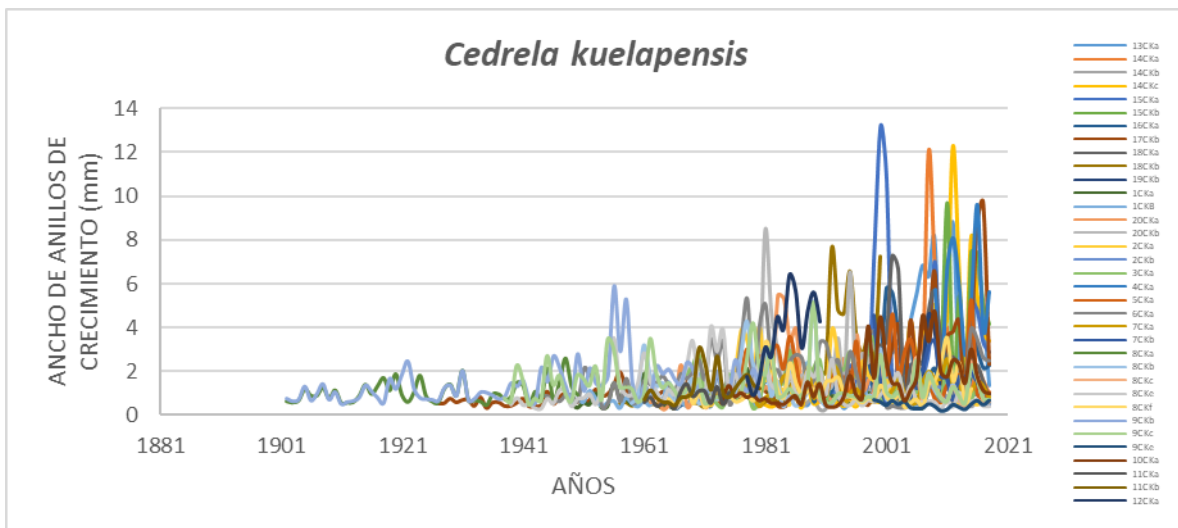
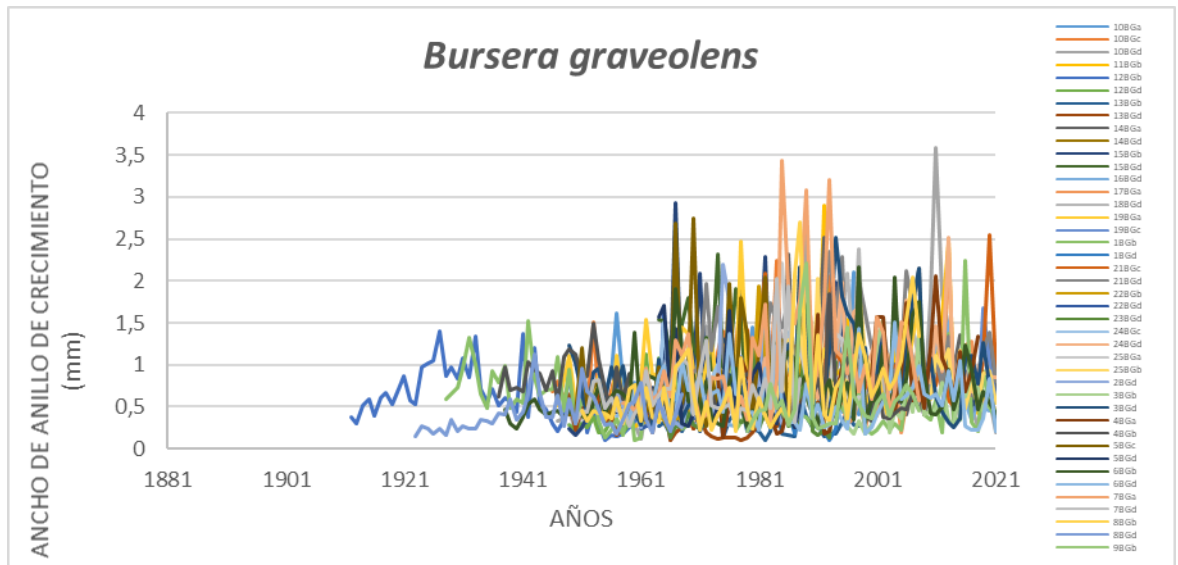
- Temperatura media anual (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	T° prom
1948	13.7	13.6	13.4	13.8	15.4	14.1	13.2	13.5	13.8	14.5	14.3	13.3	13.88
1949	14.6	13.7	14.5	13.2	13.3	12.6	12.3	12.9	12.9	13.1	13.9	13.1	13.34
1950	12.9	12.3	12.1	12.3	12.7	11.9	11.9	12.8	13.3	13.6	13.6	12.9	12.69
1951	12.9	12.1	12.5	12.7	14.1	14	14.2	14.1	14.1	14.4	14.2	13.7	13.58
1952	13.7	13.2	13.2	13	13.4	12.3	12.4	13	13.4	13.9	13.6	13.6	13.23
1953	13.5	13.1	13.5	14.3	14.6	13.5	12.9	14.2	14.8	14	14.2	13.5	13.84
1954	13.3	13.1	12.8	13.1	12.6	12.3	12	12.8	13.2	13.2	13.6	13	12.92
1955	13.3	13	12.7	12.7	13.2	13.3	12.8	13.1	13	13.7	13.6	13	13.12
1956	12.6	12.4	12.9	12.6	13.2	12.8	12.5	13.1	13.2	13.4	13.4	13	12.93
1957	13.1	13.5	13.9	13.9	15	14.1	13.7	14	14.2	14.2	13.9	14.1	13.97
1958	14.1	13.9	13.5	13.7	13.6	13.3	13.4	13.1	13.9	14.1	13.6	13.8	13.67
1959	13.4	13.3	14	13.8	13.8	13.4	13.3	13.9	13.6	14	14.1	13.4	13.67
1960	14.1	13.4	13.6	13.2	13.1	13.4	13.2	13.9	13.7	14	13.8	13.9	13.61
1961	13.7	13.3	13.3	13.3	14.1	13.5	13.7	14.5	14	14.4	13.6	13.8	13.77
1962	13.5	13	13	13.6	13.4	13.1	12.7	13.8	14.3	14.1	14.8	14.6	13.66
1963	13.7	12.9	13.1	13.2	14.1	13.6	13.9	15	14.9	14.4	14.3	14.3	13.95
1964	14.4	13.7	13.3	13.3	12.9	12.8	12.5	13.2	13.5	13.7	13.9	13.8	13.42
1965	13.8	13.5	14	14.3	14	14.2	13.9	14.5	14.5	14.8	14.5	14.4	14.20
1966	14.3	14.1	13.7	13.8	13.9	13.6	13.1	13.5	13.8	14	14.2	13.7	13.81
1967	13.4	12.9	13.1	13.2	13.7	12.6	12.7	13.3	13.6	13.4	13.7	13.4	13.25
1968	13.7	13.1	12.5	12.4	12.3	12.5	12.8	13.7	14.1	14.3	14.4	14.2	13.33
1969	14.6	14	14.3	14.7	15.5	14.6	13.2	13.9	14.8	14.8	14.8	14.4	14.47

1970	13.8	13.6	13.4	13.4	13.6	13.1	12.4	13.4	13.9	14.4	14	13.5	13.54
1971	13.2	12.3	12.7	12.8	13.2	13.3	13.2	13.2	13.6	13.8	14.1	13.6	13.25
1972	13.3	13.9	14.2	14.2	15.2	15.1	14.9	15.5	14.9	15.4	15.1	15.5	14.77
1973	14.4	13.9	14	13.5	13.5	12.6	12.5	12.7	13.1	13.6	13.4	12.6	13.32
1974	12.6	12.3	12.6	12.8	13.6	13	12.3	12.8	12.6	13.4	13.8	13	12.90
1975	12.5	12.5	12.9	13.6	13.3	12.8	12.1	13.1	12.8	13.6	13.1	12.8	12.93
1976	12.9	13.2	13	13.1	14.3	13.7	13.9	14.3	14	14.2	14.5	14.1	13.77
1977	14.2	13.2	13.5	13.8	14	13.5	13.5	13.6	13.9	14.1	14.1	14.3	13.81
1978	13.6	14	13.5	13.5	13.8	13.3	13.5	13.5	13.8	14.5	14.7	13.9	13.80
1979	14.6	13.6	13.8	14.2	14.2	13.6	13.7	14.9	14.3	15	14.2	14.1	14.18
1980	14.8	14.2	14.1	15	14.6	14.3	13.7	13.7	14	14.1	14.5	14.2	14.27
1981	13.8	13.3	13.7	13.9	14.5	13.9	12.8	13.6	13.7	14.3	14	13.7	13.77
1982	13.9	13.3	13.7	13.7	14.1	14.2	13.9	14.5	14.6	15.1	15.6	15.2	14.32
1983	14.8	14.9	14.8	14.4	15	15.6	15.5	14.9	14.8	15.4	14.7	14.2	14.92
1984	13.8	13	13.4	13.7	14.1	13.7	13.5	13.5	14.5	15.1	14.2	13.9	13.87
1985	13.5	13.3	13.7	13.1	13	12.9	12.8	13.4	13.5	14.7	14.1	13.8	13.48
1986	13.7	13.1	12.6	13.8	13.6	13.1	13	14.3	14.3	14.2	14.6	14.2	13.71
1987	14.2	14.4	14.9	14.8	14.8	14.4	14.8	14.6	14.7	15.1	14.6	14.4	14.64
1988	13.6	13.7	13.3	13.6	14.1	13.4	12.8	13.4	13.6	13.7	14.7	13.6	13.63
1989	13.3	13	13.3	12.8	13	13.4	12.9	13.7	14	14	14.5	14	13.49
1990	13.7	13.8	13.6	14	14.8	13.4	12.9	13.9	14.2	14.2	15.1	14.1	13.98
1991	13.8	13.5	13.8	13.9	14.6	14.3	13.4	13.5	14.2	14.4	14.4	14.7	14.04
1992	15.1	14.3	14.9	15.6	16.2	14.7	13.3	14.1	14.1	14.7	14.6	14	14.63
1993	14	13.8	13.7	14.2	15.2	14.7	14.1	14.2	14.7	14.7	14.1	14	14.28
1994	14	13.4	13.7	14	14.8	13.6	13.3	13.8	14.6	14.9	14.7	14.6	14.12
1995	14.9	14	13.8	14	14	14.5	13.9	14.4	14.5	14.7	14.2	13.6	14.21
1996	13.2	12.8	13.5	13.1	13.6	13.1	12.7	13.4	13.8	14.1	14.2	13.5	13.42
1997	13.8	13	14.1	14.7	16.1	16	15.1	14.9	15.3	15.8	15.4	15.2	14.95

1998	15.2	14.7	15.3	15.9	15.9	14.9	14.5	14.9	14.6	14.9	14.7	14.3	14.98
1999	13.4	13.7	13.6	13.2	13.5	13.4	13.1	14	13.9	14.4	14.2	13.7	13.68
2000	13.4	13.2	13.2	13.4	13.9	13.6	13.1	14.7	14.1	15.1	15.2	14.1	13.92
2001	13.8	13.9	13.6	13.8	13.4	12.4	13	13.7	13.5	14	14.2	13.7	13.58
2002	13.7	13.8	14.4	14.7	14.8	13.4	13.1	14.3	14.6	15	15	14.7	14.29
2003	14.8	14.2	14.4	13.6	13.7	13.7	13.7	13.7	14	15.1	15.1	14.5	14.21
2004	14.6	14.2	14.4	14.3	13.7	13	13.5	13.9	14.5	15.2	15.1	14.8	14.27
2005	14.8	13.7	13.9	14.1	14.4	13.8	13.5	14.5	14.1	14.1	13.5	14.1	14.04
2006	14.3	14.2	13.9	13.5	13.7	14	14.5	14.9	14	14.3	15.1	14.4	14.23
2007	15	13.6	13.6	13.7	13.1	12.5	12.9	13.3	13.4	13.5	13.8	13.2	13.47
2008	14	13.8	14.2	13.5	13.3	13.5	14.4	15	14.6	14.4	14.3	14	14.08
2009	13.7	13.6	13.7	14.2	14.1	13.9	14.4	14.7	14.7	14.8	15	14.7	14.29
2010	15.1	14.4	14.4	14.6	14.5	13.8	13	13.7	13.8	14.1	13.7	13.3	14.03
2011	13.5	13.3	12.8	13.9	14.4	14.5	13.8	14.2	13.7	13.9	14.3	13.4	13.81
2012	13.6	12.7	13.6	14.4	14.8	14.8	14.5	14.6	14.5	14.6	14.7	13.9	14.23
2013	14	13.5	13.4	12.8	13.8	13.1	12.7	13.5	14	14.1	13.9	14.2	13.58
2014	14.2	13.3	13.4	13.3	15.2	15.1	13.8	14.1	14.4	14.6	14.5	13.9	14.15
2015	13.7	13.8	13.9	14.1	15.5	15.3	14.7	15.1	15.9	15.9	15.6	15	14.88
2016	15.5	14.6	14.5	14.3	14.8	14.1	14.3	15.2	15.1	15.3	15.1	14.5	14.78
2017	15.7	14.6	15.6	15	15.2	14.4	13.7	14.2	14.1	15.2	14.8	13.8	14.69
2018	14	13.4	13.5	13.9	15.3	13.5	13.4	14.2	14.6	14.3	14.3	14	14.03
2019	14.1	14	13.7	14.1	15	13.9	14.7	14.9	14.7	14.9	15.4	14.9	14.53
<b>T° prom mes 1948-2021</b>	<b>13.91</b>	<b>13.51</b>	<b>13.64</b>	<b>13.74</b>	<b>14.12</b>	<b>13.66</b>	<b>13.40</b>	<b>13.94</b>	<b>14.08</b>	<b>14.37</b>	<b>14.34</b>	<b>13.95</b>	

**ANEXO 5: SERIES INDIVIDUALES DE ANCHO DE ANILLOS DE CRECIMIENTO CON SEÑAL COMÚN**





**ANEXO 6: COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE LAS  
CRONOLOGÍAS DE ÍNDICES DE ANCHO DE ANILLOS DE LAS 3 ESPECIES  
ESTUDIADAS Y LAS TEMPERATURAS DE LA SUPERFICIE DEL MAR DE LAS  
ÁREAS GEOGRÁFICAS NIÑO 1+2 Y NIÑO 3.4**

Especie/mes		<i>Bursera graveolens</i>		<i>Cedrela kuelapensis</i>		<i>Eriotheca peruviana</i>	
Región climática		Región 1+2	Región 3,4	Región 1+2	Región 3,4	Región 1+2	Región 3,4
Año anterior de crecimiento (t-1)	Junio (-1)	-0.01	0.12	0.07	0.07	0.02	0.10
	Julio	0.07	0.11	0.13	0.07	0.04	0.11
	Agosto	0.00	0.09	0.05	0.08	0.10	0.10
	Setiembre	0.02	0.07	0.01	0.07	0.07	0.08
	Octubre	0.05	0.00	-0.01	0.05	0.01	0.08
	Noviembre	0.05	0.01	-0.01	0.01	0.03	0.04
	Diciembre	0.08	-0.02	0.05	0.02	0.06	0.04
	Enero	0.08	-0.05	0.03	0.03	0.06	0.00
	Febrero	0.21	-0.01	0.10	0.01	0.05	-0.01
	Marzo	0.08	-0.07	0.06	0.04	0.04	-0.01
	Abril	0.02	-0.02	0.11	-0.02	0.02	-0.05
	Mayo	-0.04	-0.04	0.07	0.06	-0.03	-0.05
	Junio	-0.03	-0.05	0.06	0.08	-0.03	-0.03
	Julio	0.01	0.02	0.06	-0.01	-0.02	0.01
	Agosto	-0.01	-0.02	0.01	-0.01	0.01	-0.02
Año actual de crecimiento (t)	Setiembre	-0.02	0.00	-0.05	-0.02	-0.02	0.00
	Octubre	0.02	-0.03	-0.03	0.00	-0.04	-0.01
	Noviembre	0.07	-0.05	-0.03	-0.02	-0.02	0.00
	Diciembre	0.05	-0.07	0.00	-0.01	-0.04	-0.01
	Enero	0.05	-0.08	-0.02	-0.05	0.04	0.02
	Febrero	0.02	-0.12	0.09	-0.04	0.09	0.04
	Marzo	-0.03	-0.09	0.07	0.01	0.13	0.05
	Abril	-0.15	-0.14	0.08	0.02	0.07	0.05
Mayo	-0.09	-0.08	0.06	0.10	0.08	0.08	

\*La casilla sombreada de Amarillo representa un valor significativo ( $p < 0.05$ )