

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

FILIAL JAÉN



**“IMPACTO DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA FRECUENCIA DE SEQUÍAS Y
FENÓMENO DE EL NIÑO REVELADA EN LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DE
ÁRBOLES DE DOS BIOMAS DEL NORTE DE PERÚ”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR LA BACHILLER

INGRID MAGALY ALBERCA MARCELO

ASESOR

ING. M. SC. VITOLY BECERRA MONTALVO

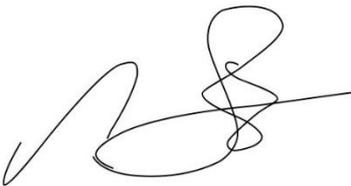
JAÉN – PERÚ

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- Investigador:
Ingrid Magaly Alberca Marcelo
DNI: 70043683
Escuela Profesional/Unidad UNC:
Ingeniería Forestal
- Asesor:
Ing. M.Sc. Vitoly Becerra Montalvo
Facultad/Unidad UNC:
Ingeniería Forestal
- Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:
"IMPACTO DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA FRECUENCIA DE SEQUÍAS Y FENÓMENO DE EL NIÑO REVELADA EN LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DE ÁRBOLES DE DOS BIOMAS DEL NORTE DE PERÚ"
- Fecha de evaluación: 14/10/2024
- Software antiplagio: TURNITIN URKUND (ORIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud: 7 %
- Código Documento: oid: 3117:392899069
- Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 16/10/2024

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>

_____ Ing. M. Sc. Vitoly Becerra Montalvo DNI: 27727452



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Jaén, a los **once** días del mes de **julio** del año dos mil veinticuatro, se reunieron en el **Ambiente de la Sala de Docentes de Ingeniería Forestal- Filial Jaén**, los miembros del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N°171-2024-FCA-UNC, de fecha 18 de marzo 2024, con el objeto, de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulado: "**IMPACTO DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA FRECUENCIA DE SEQUÍAS Y FENÓMENO DE EL NIÑO REVELADA EN LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DE ÁRBOLES DE DOS BIOMAS DEL NORTE DE PERÚ**", ejecutado por la Bachiller en Ciencias Forestales, **Doña INGRID MAGALY ALBERCA MARCELO**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

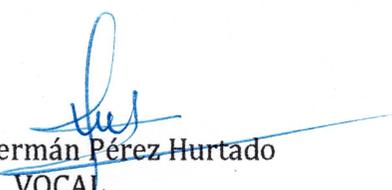
A las **dieciséis** horas y **treinta** minutos, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando al sustentante a exponer su trabajo de Tesis y, luego de concluida la exposición, el jurado procedió a la formulación de preguntas. Concluido el acto de sustentación, el Jurado procedió a deliberar, para asignarle la calificación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de **dieciséis (16)**; por tanto, la Bachiller queda expedita para el inicio de los trámites, para que se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

A las **dieciséis** horas y **cincuenta y ocho** minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Jaén, 11 de julio de 2024.


Dr. Segundo Primitivo Vaca Marquina
PRESIDENTE


Ing. M. Cs. Leiver Flores Flores
SECRETARIO


Ing. M. Sc. Germán Pérez Hurtado
VOCAL


Ing. M. Sc. Vitoly Becerra Montalvo
ASESOR

DEDICATORIA

Va dedicado a Dios, que fue uno de los pilares más fundamentales para no desistir en este camino tan solitario.

A mi amor, que en todo momento me dio fortaleza, comprensión, limpio mis lágrimas y fue el único que realmente confío en mí.

A mi hermanita, que, a pesar de nuestras diferencias, me apoyó en toda mi carrera universitaria de manera moral y económica.

A mamá y papá que me tuvieron paciencia durante todo el proceso de la tesis.

Y a mí.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, expreso mi agradecimiento a mi asesor, el M.Sc. Vitoly Becerra Montalvo, por su constante orientación durante el desarrollo de mi tesis. Su guía y paciencia fueron fundamentales para alcanzar este logro.

Al Dr. José Luis Marcelo Peña le extiendo mi infinita gratitud por haberme brindado la oportunidad de realizar este trabajo de investigación. Aprecio enormemente su respaldo durante todo el proceso.

Asimismo, agradezco a todos los profesionales que compartieron su conocimiento y experiencia conmigo, contribuyendo significativamente a la ejecución de mi tesis. Menciono con especial reconocimiento a la Mg. Sc. Linda Zegarra Agüero, Mg. Sc. Ricardo Ortega, Mg. Sc. Doris Crispín De La Cruz y Mg. Sc. Kelly Peña.

A mis padres, les agradezco por haberme brindado las herramientas y el apoyo incondicional que necesité para enfrentar los caminos de la vida. Aunque en ocasiones nuestras opiniones difieran, sé que siempre han deseado lo mejor para mí.

A mi hermanita, le expreso mi profunda gratitud por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida. Gracias por estar siempre presente y tenderme una mano amiga cuando lo necesité.

A mi compañero de vida, le agradezco infinitamente su amor, paciencia, comprensión y apoyo constante. A pesar de los momentos difíciles, siempre estuvo a mi lado alentándome a seguir adelante.

Finalmente, este logro también lo dedico a mí misma, por la perseverancia y lucha diaria para no rendirme ante las caídas y tristezas. Gracias, Ingrid, por no desistir nunca.

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	16
2.1. Antecedentes	16
2.2. Bases teóricas	19
2.2.1. Caracterización anatómica de las especies tropicales	19
2.2.2. Anillos de crecimiento en especies tropicales	20
2.2.3. <i>Cedrela angustifolia</i>	21
2.2.4. <i>Eugenia</i> sp.	22
2.2.5. Base de datos para variables climáticas y variables oceánicas	23
2.2.6. Índices de sequía	24
2.2.7. Regiones del Fenómeno De El Niño	26
2.2.8. Temperatura de la Superficie del Mar	28
2.2.9. Información de eventos de ENSO en el Perú y el mundo	31
2.3. Definición de términos básicos	31
2.3.1. Dendrocronología	31

2.3.2. Dendroclimatología.....	32
2.3.3. Datación cruzada.....	32
2.3.4. Sequía.....	32
2.3.5. Sensibilidad media	32
2.3.6. EPS (Señal Poblacional Expresada).....	33
2.3.7. Cronología estándar y residual	33
CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO.....	34
3.1. Localización de la investigación	34
3.2. Tipo y diseño de investigación	35
3.3. Materiales, equipos y herramientas.....	36
3.4. Matriz de operacionalización de variables	37
3.5. Unidad de análisis.....	37
3.5.1. Selección de especies e individuos	37
3.5.2. Preparación de muestras de madera	40
3.5.3. Obtención de datos climáticos	50
3.5.4. Obtención de datos TSM	51
3.5.5. Obtención de datos de índices del fenómeno de El Niño (SOI), (ONI) e (ICEN)	52
3.5.6. Obtención de datos de los índices de sequía (SPEI) y (SPI)	52
3.5.7. Análisis espacial entre las cronologías de <i>Cedrela angustifolia</i> y <i>Eugenia</i> sp. y la Temperatura Superficial del Mar (TSM).....	53
3.6. Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	53
3.7. Validación (por expertos) y prueba de confiabilidad de los instrumentos.....	55
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	55

3.9. Presentación de la información	55
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
4.1. Resultados	56
4.1.1. Estructura anatómica de los anillos de crecimiento de las especies seleccionadas .	56
4.1.2. Análisis dendroclimático	59
4.2. Discusión	115
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	120
5.1. Conclusiones	120
5.2. Recomendaciones	121
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123
CAPÍTULO VII. ANEXOS.....	152

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de SPEI y categorías de sequía	25
Tabla 2. Valores de SPI y categorías de sequía.....	26
Tabla 3. Categorización del SOI propuesta por Western REGIONAL Climate de la NOAA .	29
Tabla 4. Identificación de los eventos de El Niño y La Niña según la NOAA en la región 3.4	29
Tabla 5. Clasificación de las anomalías utilizando el ICEN	30
Tabla 6. Materiales, instrumentos y equipos usados para la obtención de datos	36
Tabla 7. Matriz de operacionalización	37
Tabla 8. Base de datos empleados para la correlación entre las variables climáticas y IAA 51	
Tabla 9. Fuentes, técnicas e instrumentos	53
Tabla 10. Registro de las series anuales de <i>Cedrela angustifolia</i>	61
Tabla 11. Registro de las series anuales de <i>Eugenia</i> sp.	63
Tabla 12. Matriz de variables	155
Tabla 13. Matriz de consistencia	156

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación gráfica de la región 3	27
Figura 2. Representación gráfica de la región 3 + 4	28
Figura 3. Mapa de ubicación de las áreas de investigación	34
Figura 4. Recolección de muestras de <i>Eugenia</i> sp por el método destructivo	39
Figura 5. Extracción de núcleos de crecimiento	39
Figura 6. Protección de las muestras en sorbetes.....	40
Figura 7. Preparación de muestras de madera de <i>Cedrela angustifolia</i> y <i>Eugenia</i> sp.....	41
Figura 8. Marcación de anillos de crecimiento en <i>Eugenia</i> sp	43
Figura 9. Escaneo y remarcación de muestras de leño.....	43
Figura 10. Medición de ancho de los anillos anuales y correlación entre núcleos de madera.	45
Figura 11. Mediciones de los anillos anuales de <i>Cedrela angustifolia</i> y <i>Eugenia</i> sp.....	47
Figura 12. Simulación de cofechado de series temporales	49
Figura 13. Anillos de crecimiento de <i>Cedrela angustifolia</i>	57
Figura 14. Anillos de crecimiento de <i>Eugenia</i> sp.....	58
Figura 15. Series anuales y proceso de cofechado para la obtención de cronología master de <i>Cedrela angustifolia</i>	59
Figura 16. Series anuales y proceso de cofechado para la construcción de la cronología master de <i>Eugenia</i> sp.....	60
Figura 17. Cronología estándar de <i>Cedrela angustifolia</i>	61
Figura 18. Cronología residual de <i>Cedrela angustifolia</i>	61
Figura 19. Cronología estándar de <i>Eugenia</i> sp.	62
Figura 20. Cronología residual de <i>Eugenia</i> sp.	62
Figura 21. Relación entre la precipitación del clima local y <i>Cedrela angustifolia</i>	64
Figura 22. Influencia de la temperatura media en el clima local sobre <i>Cedrela angustifolia</i>	65
Figura 23. Interacción entre la precipitación en el clima local y <i>Eugenia</i> sp.	66

Figura 24. Asociación entre la temperatura media en el clima local y <i>Eugenia</i> sp.....	67
Figura 25. Conexión entre el índice SOI y <i>Eugenia</i> sp.	68
Figura 26. Influencia entre el índice ONI y <i>Eugenia</i> sp.....	69
Figura 27. Correlación entre el índice ICEN y <i>Eugenia</i> sp.....	69
Figura 28. Relación entre los valores de la TSM de la zona Niño 1+2 y <i>Eugenia</i> sp.	71
Figura 29. Relación entre las anomalías de la zona Niño 1+2 y <i>Eugenia</i> sp.	71
Figura 30. Influencia entre los valores de la TSM de la zona Niño 3 y <i>Eugenia</i> sp.....	72
Figura 31. Influencia entre las anomalías de la zona Niño 3 y <i>Eugenia</i> sp.....	73
Figura 32. Asociación entre los valores de la TSM de la zona Niño 3.4 y <i>Eugenia</i> sp.....	74
Figura 33. Asociación entre las anomalías de la región Niño 3.4 y <i>Eugenia</i> sp.....	74
Figura 34. Correlación de Pearson $p < 0.01$ entre IAA std <i>Cedrela angustifolia</i> y SPEI	77
Figura 35. Correlación de Pearson $p < 0.01$ entre IAA std de <i>Eugenia</i> sp. y el SPI.....	81
Figura 36. Correlación de Pearson $p < 0.01$ IAA std de <i>Eugenia</i> sp. y SPEI	84
Figura 37. Correlación entre el Índice de Ancho de Anillo estándar <i>Eugenia</i> sp (IAA std) y el Índice de Oscilación Sur (SOI)	87
Figura 38. Correlación entre el ONI y la cronología estándar de la especie <i>Eugenia</i> sp durante el período de 1950 – 2020.....	88
Figura 39. Correlación entre el ICEN y la cronología estándar de la especie <i>Eugenia</i> sp. ...	89
Figura 40. Correlación entre los valores de la zona niño 1+2 y la cronología estándar de la especie <i>Cedrela angustifolia</i>	90
Figura 41. Correlación entre los valores de la zona niño 1+2 y la cronología estándar de la especie <i>Eugenia</i> sp.	91
Figura 42. Relación entre los valores de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) de la región Niño 3 y la cronología master de la especie <i>Eugenia</i> sp.....	92
Figura 43. Correlación entre los valores de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) de la región Niño 3.4 y la cronología master de la especie <i>Eugenia</i> sp	93
Figura 44. Correlación entre las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) de la región Niño 1+2 y la cronología master de la especie <i>Cedrela angustifolia</i>	94

Figura 45. Correlación entre las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) de la región Niño 1+2 y la cronología master de la especie <i>Eugenia</i> sp.....	95
Figura 46. Correlación entre las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) de la región Niño 3 y la cronología master de la especie <i>Eugenia</i> sp.....	96
Figura 47. Relación entre los valores de la cronología estándar de la especie <i>Eugenia</i> sp y las anomalías de la TSM de la zona 3.4.....	97
Figura 48. Relación entre la cronología estándar de <i>Cedrela angustifolia</i> y SPI.....	99
Figura 49. Correlación entre la cronología estándar de <i>Cedrela angustifolia</i> y SPEI.....	103
Figura 50. Relación entre la cronología estándar de <i>Eugenia</i> sp. y SPI.....	107
Figura 51. Correlación entre la cronología estándar de <i>Eugenia</i> sp. y SPEI.....	111
Figura 52. Patrones de correlación espacial entre la cronología estándar de <i>Cedrela angustifolia</i> y la TSM en un período de 42 años.....	114
Figura 53. Patrones de correlación espacial entre la cronología estándar de <i>Eugenia</i> sp. y la TSM en un período de 171 años.....	115
Figura 54. Extracción de muestras de leño de <i>Cedrela angustifolia</i> y <i>Eugenia</i> sp.....	164
Figura 55. Protección de muestras de leño para <i>Cedrela angustifolia</i> y <i>Eugenia</i> sp.....	164
Figura 56. Encolado y pegado de muestras de leño de <i>Cedrela angustifolia</i> en soportes de madera.....	165
Figura 57. Secado de muestras de leño de <i>Cedrela angustifolia</i> a temperatura ambiente	165
Figura 58. Lijado y pulido de muestras de leño de <i>Cedrela angustifolia</i> y <i>Eugenia</i> sp.....	166
Figura 59. Escaneado de muestras de leño de <i>Cedrela angustifolia</i> y <i>Eugenia</i> sp.....	167
Figura 60. Conteo de anillos de crecimiento de <i>Eugenia</i> sp.....	168
Figura 61. Conteo de anillos de crecimiento de <i>Cedrela angustifolia</i>	169

RESUMEN

Los bosques estacionalmente secos y los bosques montanos húmedos del norte de Perú son ricos en flora y fauna y presentan valores sorprendentemente altos en endemismos, actualmente solo quedan menos del 10% de su distribución natural, debido a la severa fragmentación y muchas especies se encuentran en peligro crítico de extinción, no obstante, muy poco se conoce sobre la ecología y la silvicultura de estos bosques. En los bosques tropicales la dinámica se evalúa con dos enfoques, a través de la marcación y registro de árboles en parcelas permanentes y mediante el análisis de los anillos de crecimiento. Con el objetivo de evaluar la influencia del cambio climático en frecuencia de las sequías y el fenómeno de El Niño, analicé los anillos de crecimiento de los árboles de *Cedrela angustifolia* y *Eugenia* sp aplicando la correlación de Pearson al 99% y valores de la Temperatura Superficial del Mar (TSM). Los resultados destacan correlaciones significativas para *Cedrela angustifolia* y *Eugenia* sp con el índice SPEI y el índice SPI. También se evidenció la influencia de los eventos de El Niño y la TSM en los anillos anuales de *Eugenia* sp y *Cedrela angustifolia*. Este trabajo contribuye a reforzar la confirmación de la influencia directa de episodios de sequía registrados en los anillos de crecimiento de ambas especies tropicales. Estos hallazgos proporcionan una comprensión más profunda de como los bosques tropicales se adaptan al cambio climático, subrayando la importancia de abordar estos fenómenos para la conservación y sostenibilidad de estos ecosistemas cruciales.

Palabras claves: Anillos de crecimiento, sequías, ENSO, cambio climático.

ABSTRACT

This study focuses on the relationship between climatic fluctuations and the growth rings of *Cedrela angustifolia* and *Eugenia* sp in the forests of northern Peru, with the aim of evaluating the influence of climate change on droughts and the El Niño phenomenon. Destructive and non-destructive methods were used to obtain log samples, and 99% Pearson correlation was applied to analyze growth rings in relation to drought indices, El Niño events and SST values. The results highlight significant correlations between *Cedrela angustifolia* and the SPEI index, in the same way, between *Eugenia* sp and the SPI index. The influence of El Niño events and SST on the annual rings of *Eugenia* sp was also evident; in addition to greater visibility in the growth rings of *Cedrela angustifolia*. This work contributes to strengthening the confirmation of the direct influence of drought episodes recorded on the growth rings of both tropical species. These findings provide a deeper understanding of the response of tropical forests to climate change, underscoring the importance of addressing these phenomena for the conservation and sustainability of these crucial ecosystems.

Keywords: *Growth rings, droughts, ENSO, climate change.*

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los bosques tropicales del Perú están posicionados como el cuarto más extenso a nivel global, abarca al menos 57,3 % de cobertura boscosa (SERFOR, 2021). En el norte de Perú, los bosques estacionalmente secos (BES), se caracterizan por presentar árboles principalmente caducifolios, de menor diámetro y altura que los bosques húmedos, con un período seco de aproximadamente medio año y bajas precipitaciones (Pennington et al, 2000; Gentry, 1995). Marcelo-Peña (2008) advierte que estos bosques son vulnerables debido a la ocupación de cientos de familias que al ver la fertilidad del suelo los destruyen para desarrollar actividades agrícolas y ganaderas, las consecuencias de estas acciones antropogénicas se ven reflejadas en la susceptibilidad al cambio climático y las fluctuaciones climáticas (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC] 2014).

Los bosques montanos del Norte de Perú se destacan por su gran diversidad de vegetación y presencia de especies endémicas (Vicuña – Miñano, 2005), se encuentran ubicados en los bosques montanos de los Andes tropicales, abarcando los países de Comunidad Andina (Rasal-Sánchez et al., 2012). Además, son esenciales para mantener la regulación y el flujo hídrico de varios ríos de la Macroregión Norte (Rasal – Sánchez et al., 2012). Por causa de la deforestación, los bosques han disminuido velozmente quedando 23 relictos de este ecosistema (Arroyo et al., 2008; Weigend et al., 2005).

La pérdida de los árboles en los bosques montanos es causada por la baja habilidad de los árboles de generar una respuesta de supervivencia, provocada por el efecto del cambio climático (Alvarez, 2023). Del mismo modo sucede para los bosques estacionalmente secos que son influenciados por el cambio climático, aumentando el nivel de muertes de individuos por la escasez de precipitaciones (Allent et al., 2017).

Existen dos métodos relevantes para identificar la influencia del cambio climático en los bosques, uno es la remediación de parcelas permanentes de RAINFOR, sirviendo para evaluar la dinámica y el impacto del cambio climático en los bosques (Pallqui, 2013). Por otro lado, la dendrocronología, utilizada para medir las tasas de crecimiento, evaluar la influencia

de las fluctuaciones climáticas y sobrevivencia de los árboles en respuesta al cambio climático (Mendivelso et al., 2016; Zuidema et al., 2013).

Según Endara (2019a; 2019b), en la región Cajamarca se registraron eventos de sequías en 1980, 1985, 1987, 1990, 1991, 1992, 2004, 2005, 2016. En relación con *Cedrela angustifolia* y los índices de sequía, se observaron coincidencias en el año 1980 con el índice estandarizado de precipitación (SPEI) en el rango de 4 y 6 meses.

La región norte del Perú enfrentó episodios de sequías en los años 1982, 1985, 1986, 1987, 1988, 1990, 1991, 1992, 1995, 1995, 2004, 2007 y 2018 (Endara et al., 2019b).

En los años 1982-1983, se presenciaron eventos extraordinarios asociados al fenómeno de El Niño. Paralelamente, se destacaron otros sucesos intensos en 1941, 1957, 1965, 1972, 1976 y 1987, mientras que eventos de intensidad moderada se identificaron en los años 1930, 1943, 1948, 1951 y 1953 (Macharé y Ortlieb 1993, p. 37). Asimismo, Endara et al. (2019a) menciona que, se registraron episodios de El Niño en los años 1988, 1992, 2005 y 2016.

Bennett et al. (2023) mencionan en su estudio la presencia de una sequía extrema causada por El Niño entre los años 2015 y 2016, la cual tuvo un impacto significativo en los bosques secos de Sur América, provocando la mortalidad de los árboles.

Humanes-Fuente et al. (2020) realizaron la primera reconstrucción de precipitaciones utilizando las especies de los géneros *Cedrela* y *Juglans* para los Andes Tropicales en Perú, identificando la relación que tiene ENOS y AMO con las precipitaciones interanuales y multidecenales y eventos de sequías.

Matskovsky et al. (2021) llevaron a cabo una reconstrucción climática utilizando las especies de *Nothofagus macrocarpa* y *Austrocedrus chilensis* del Bosque Mediterráneo de Chile Central; enfocado en proyectar los escenarios del cambio climático RCP 2.6 y RCP 8.5. Los resultados revelaron una mortalidad significativa en los bosques a nivel regional, así como una escasa incorporación de nuevos individuos. De esta manera, se pudo identificar la vulnerabilidad de estos ecosistemas frente al cambio climático futuro y el impacto de las

sequías en los procesos ecológicos de ambas especies. También se destaca la reducción de las precipitaciones en un 30 % y un aumento de temperaturas de 3.5 °C.

En el estudio llevado a cabo por Aragão et al. (2022), se emplearon seis especies pertenecientes a los géneros *Aspidosperma* y *Handroantus*, distribuidas en tres sitios ubicados en el Noreste de Brasil, que abarcaban bosques siempre verdes, sabanas y bosques secos. Se destaca que los primeros ecosistemas presentan niveles de precipitación y temperaturas anuales similares en comparación con los últimos. Por otro lado, el último ecosistema exhibe índices de precipitación anual más bajos y temperaturas más elevadas. Los resultados obtenidos revelaron que los bosques secos muestran una marcada sensibilidad a las sequías, lo que conlleva a la mortalidad de los árboles. Esto sugiere que, en un futuro cercano, estos ecosistemas podrían ser afectados por la creciente frecuencia de sequías, dado que los árboles presentes en los bosques secos tienen una menor capacidad de adaptación a este fenómeno, lo que resulta en un decrecimiento en el desarrollo de los árboles y la pérdida de especies.

Es importante mencionar que los biomas descritos son afectados de manera directa por períodos de escasez hídrica y desbordamiento de agua (Llerena et al., 2014), estos sucesos ocurridos en el tiempo, pueden ser estudiados a través de los anillos de crecimiento de los árboles, que muestran un registro confiable para verificar la influencia de variables climáticas en los bosques (Venegas - Gonzáles, 2013), períodos de sequía, el efecto del fenómeno de El Niño e influencia de la Temperatura Superficial del Mar en crecimiento de especies tropicales (Brienen et al., 2016; Boninsegna et al., 2009, Humanes - Fuente et al., 2020; Menezes et al., 2022, Crispín-De la Cruz et al., 2022, Rodríguez-Caton et al., 2022).

En este contexto, se abordó la obtención de información dendroclimática mediante el análisis de cronologías de *Cedrela angustifolia* y *Eugenia* sp provenientes de los bosques tropicales estacionalmente secos y los bosques tropicales montanos. El propósito principal de este trabajo fue evaluar cómo el cambio climático influye en la frecuencia de sequías de El Niño a través del análisis de los anillos de crecimiento de árboles de los bosques del Norte de Perú. Desglosándose en los siguientes objetivos específicos: “Evaluar la estructura

anat3mica de los anillos de crecimiento de *Cedrela angustifolia* y *Eugenia* sp, analizar si la frecuencia de sequías registradas en los anillos de crecimiento de los 6rboles seleccionados se ha intensificado en la mitad del siglo XX, reconstruir el 6ndice ENOS para al menos 150 a6os y validarse con informaci3n hist3rica sobre episodios de sequía y lluvias”.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes

En el sur del Ecuador, se realizó un estudio centrado en las especies *Bursera graveolens* y *Maclura tinctoria*. Se confirmó que ambas muestran anillos anuales, con cronologías de 203 y 87 años, respectivamente. Estos anillos de crecimiento están directamente correlacionados con los eventos de El Niño intenso. La investigación incluyó la reconstrucción de la precipitación durante la estación húmeda de los últimos 103 años, respaldada por un análisis estadístico. Destacando las teleconexiones identificadas entre los patrones de precipitación y la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el Pacífico central (Pucha - Cofrep et al., 2015).

Aragão et al. (2022) hicieron una evaluación del crecimiento radial en bosques tropicales, destacando su influencia directa de las precipitaciones. Además, resaltaron la sensibilidad de las especies a períodos de deficiencia hídrica causados directamente por el cambio climático.

Venegas-González et al. (2018) llevaron a cabo una investigación en la región de "Serra do Mar", en el sureste de Brasil, centrada en los bosques neotropicales con las especies *Cedrela odorata* y *Cedrela fissilis*. A través de estas especies, se pudo analizar la variabilidad climática y la sequía. Los resultados obtenidos indicaron que el crecimiento de estas especies está fuertemente influenciado por las precipitaciones durante la estación seca en áreas húmedas, y por las precipitaciones durante la estación cálida-lluviosa en zonas con veranos más fríos. Además, se descubrió que los individuos situados a mayor altitud experimentaron un crecimiento menor debido al calentamiento invernal y a la prolongación de las sequías.

Pereyra et al. (2014) realizaron evaluaciones del potencial dendrocronológico de *Cedrela odorata* en la Selva Central del Perú. Durante este estudio, lograron construir una cronología de ancho de 214 años, abarcando el período desde 1795 hasta 2009. Se encontró una relación entre el crecimiento radial de la especie y las precipitaciones totales de los meses

de diciembre a septiembre, en el período de 1990 a 2009. Los resultados obtenidos indicaron que la especie presenta un potencial dendrocronológico debido a su marcada limitación de anillos. Además, se encontró una correlación significativa entre el crecimiento radial y las variables climáticas.

Layme-Huamán et al. (2018) llevaron a cabo un estudio en los bosques montanos de los Andes tropicales. En el distrito de Monobamba, provincia de Jauja, departamento de Junín, se recolectaron muestras de madera de *Cedrela nebulosa*, permitiendo la construcción de una cronología de 133 años, desde 1883 hasta 2015. Se evidenció una correlación significativa con la precipitación en la estación primaveral, mientras que la temperatura fue relevante para el crecimiento anual. Además, se observaron variaciones asociadas al Índice ENSO Multivariado (MEI) y a la Temperatura Superficial del Mar (TSM).

En la investigación realizada por Menezes et al. (2022) en el nordeste de Brasil, se analizó la influencia de las condiciones edafológicas y la variabilidad climática en el crecimiento de *Cedrela odorata*, se construyó una cronología de 89 años, revelando correlaciones positivas con la precipitación y negativas con la temperatura. Se destacaron impactos negativos en el crecimiento radial de la especie debido a teleconexiones oceánicas, excluyendo el Atlántico Sur Tropical (TSA). Señalaron que el índice AMO tuvo un mayor impacto en la estación lluviosa, mientras que el índice WHWP fue más relevante en la estación seca. En conclusión, *Cedrela odorata* mostró potencial dendrocronológico para correlacionarse con variables climáticas, y las teleconexiones climáticas del ENSO influyeron en las lluvias y épocas secas.

El estudio realizado por Paredes-Villanueva et al. (2015) aplicó técnicas dendrocronológicas en *Cedrela fissilis* y *Cedrela angustifolia* en Bolivia y Argentina. Posteriormente, contrastaron estos datos con información meteorológica, revelando una intercorrelación positiva entre las series temporales de ambas especies. Ambas demostraron sensibilidad a la precipitación durante el periodo de octubre a abril del crecimiento actual, así como a las temperaturas mínimas de mayo a julio del mismo año. Estos hallazgos sugieren

la necesidad de comprender la ecología específica de estas especies para una gestión forestal sostenible.

Costa et al. (2023) examinaron los anillos anuales de *Cedrela odorata* y *Ceiba glaziovii*, recolectando muestras en bosques tropicales estacionalmente secos en el noreste de Brasil. Su estudio exploró la conexión entre el clima y eventos de El Niño con el crecimiento arbóreo, especialmente con la precipitación. *Ceiba glaziovii* obtuvo un coeficiente de correlación de 0.24, considerablemente menor que *Cedrela odorata*, que tuvo una correlación de 0.59. La evaluación de cronologías empleó correlación de Pearson y pruebas de Wilcoxon, resaltando la influencia de la precipitación y eventos de El Niño en los anillos de crecimiento. *Cedrela odorata* demostró ser más susceptible a eventos de sequía en comparación con *Ceiba glaziovii*. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar la variabilidad climática en la planificación, gestión y conservación de estos ecosistemas.

El análisis llevado a cabo por Humanes et al. (2020) examinaron la variabilidad hidroclimática en un bosque premontano muy húmedo en San Martín de Pangoa, provincia de Satipo. Se utilizaron cronologías de *Juglans neotropica*, *Cedrela nebulosa* y *Cedrela odorata* para estudiar esta variabilidad. Se encontró que la cronología de *Juglans neotropica* reveló una correlación de Pearson de -0.81 con la temperatura superficial del mar (TSM) en la región 3+4 durante el período de 1950 a 2010. Asimismo, se observó que las precipitaciones en estos ecosistemas estuvieron influenciadas por eventos de ENSO cada cuatro décadas y por la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO). Estos resultados fueron respaldados mediante una reconstrucción climática de la precipitación desde 1817 hasta el 2010.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Caracterización anatómica de las especies tropicales

La anatomía de la madera es importante en la identificación de características tanto macroscópicas y microscópicas de las especies. Esta contribución es fundamental en investigaciones dendrocronológicas, particularmente en la identificación de árboles tropicales en América del Sur y a nivel nacional (Beltrán y Valencia, 2012). La identificación precisa de las características anatómicas de las especies tropicales requiere una preparación continua, respaldada por la investigación constante de publicaciones científicas elaboradas por profesionales. La aplicación de este enfoque es esencial para llevar a cabo un análisis anatómico minucioso entre las especies (Alves e Inga, 2022).

Las investigaciones más recientes, según Alves e Inga (2022) indican que, las fluctuaciones climáticas y las condiciones del sitio afectan directamente la actividad cambial de la madera, reduciendo la generación de nuevas células leñosas. En la dendrocronología, el análisis de la anatomía de la madera sirve para identificar y caracterizar los anillos de crecimiento. Proporcionando información de la estructura de los anillos anuales, la edad de los árboles y permitiendo comparaciones con los factores ambientales (Pereyra Espinoza et al., 2014).

La identificación y caracterización de los anillos de crecimiento en bosques tropicales son más desafiantes que en bosques templados debido a la falta de períodos definidos de crecimiento y la variabilidad estacional. Entre las dificultades se pueden observar anillos anuales difusos y estrechos, marcas de sequía e incendios, la variabilidad entre las especies e incluso dentro de la misma especie, sus características anatómicas varían dependiendo la ubicación geográfica, el período de los árboles, las condiciones de sitio, y los factores atmosféricos. Otras de las limitaciones que se presenta es la dificultad de conseguir muestras anatómicas representativas, pues se requiere de equipo especializado y técnicas de vanguardia para un análisis más efectivo (Rebollar y Quintanar, 2000).

2.2.2. Anillos de crecimiento en especies tropicales

Los anillos de crecimiento son círculos concéntricos que se forman en la sección transversal de la madera, su formación indica el período de vida de los árboles. La formación de los anillos de crecimiento está influenciada por los factores climáticos y la disponibilidad de nutrientes. La representación de mayor medida en el ancho de los anillos indica que se desarrollaron en condiciones favorables, mientras que los anillos angostos se formaron por la ausencia de elementos, períodos de estrés y falta de recursos (Lorente, 2012; Wheeler et al., 2007). En el ámbito de la dendrocronología en especies tropicales López (2011) menciona que, los límites de los anillos de crecimiento en especies tropicales tienen origen por la formación del parénquima terminal, distribución de elementos traqueales y bandas oscuras.

La actividad del fechado de los anillos de crecimiento es tediosa en especies tropicales por la formación de múltiples anillos en un solo año, esto es causado por los permanentes períodos de sequías y fuertes precipitaciones (Mendivelso, 2016). Aunque se ha demostrado la formación de anillos en especies tropicales (Tomazello et al., 2004), existen árboles tropicales donde no se observan anillos definidos y su marcación es dificultosa (Rosero, 2009). En caso no se tengan instrumentos sofisticados para la identificación de los anillos, una solución práctica es contar con un aumento de 10 x, esto ayudará a distinguirlos de manera más sencilla. Las características comunes en los anillos anuales de individuos tropicales son la formación de parénquima marginal, la presencia de tejido xilemático y la observación de poros y semi poros (Alves e Inga, 2022). El potencial dendrocronológico en las maderas tropicales se rige por la existencia de anillos anuales marcados (Zegarra, 2018).

En los estudios dendrocronológicos de especies tropicales (Melandri et al., 2007; Melo, 2010). La presencia de anillos falsos dificulta la datación de los anillos, algunos son causados por períodos de sequías abruptos, anomalías climáticas y ecología de los individuos (Giménez, 2005). Se recomienda extraer muestras de leño transversales para diferenciar los anillos visibles de los anillos discontinuos (Brienen y Zuidema, 2003).

2.2.3. *Cedrela angustifolia*

Familia: Meliaceae

Nombre común: Cedro, cedro de altura, cedro lila, ataq cedro.

Descripción dendrológica

Árbol de 8 - 12 metros de altura y 30 -50 cm de diámetro. Corteza externa marrón lenticelada, la corteza interna color rojiza o rojo vinoso, con olor característico. Ramitas terminales de sección circular, lenticelada. Tiene hojas compuestas, pinnadas, de 23 - 40 cm de longitud, los folíolos de 6 - 10 pares, opuestos o sub opuestos, lanceolados, menos oblongo - lanceolados o elípticos, ápice caudado, base asimétrica, borde entero, venación eucamptódroma, con 11 -17 pares de nervios secundarios. Inflorescencia en panículas terminales, multifloras. Las flores unisexuales (monoica), cáliz en forma de copa, con 5 pétalos oblongos o elípticos, de 7 - 11 cm de largo y 2 -3.5 mm de ancho, androceo con 5 estambres, libres; ovario de 1 -2 mm de longitud. Frutos tipo cápsula, péndulos, ampliamente elipsoidal, con base y ápice redondo, lecticelados, valvas leñosas, columela 5 aladas, semillas de 2 cm de longitud, aladas. Ramitas y hojas con olor característico al ajo (Marcelo- Peña y Tomazello- Filho, 2020, p.118).

Descripción de la madera

Presenta anillos de crecimiento visibles a simple vista semi desnudo, semi poroso y con bandas de parénquima. Parénquima axial visible con aumento de 10 x, difuso, escasamente paratraqueal. Visibilidad de radios con aumento 10 x, finos y numerosos; irregulares espaciados. Vasos solitarios y múltiples, visibles a simple vista, pequeños y abundantes (Marcelo-Peña y Tomazello-Filho, 2020, p. 118).

Descripción de la densidad básica de la madera

Se llevó a cabo una recopilación de información sobre el género *Cedrela*. En un estudio, se calcula que la densidad básica, calculada en función de los anillos de crecimiento, es de 0,49 gr/cm³. Este estudio concluyó que un mayor ancho de los anillos se correlaciona con una mayor densidad (Vega y Suirezs, 2009). Por otro lado, un estudio realizado en San Gabán, Perú, clasificó a *Cedrela odorata* como madera de densidad básica media

(Ticahuanca et al., 2020). Asimismo, en el sur de Ecuador se investigó la densidad básica de tres especies del género *Cedrela*: *Cedrela montana* presentó una densidad de 0.48 gr/cm³, *Cedrela odorata* tuvo una densidad de 0.49 gr/cm³, y *Cedrela sp* registró una densidad de 0,42 gr/cm³ (Peralta, 2022).

Distribución

La distribución de *Cedrela angustifolia* abarca parte de América del Sur, incluyendo países como Argentina, Bolivia, Ecuador, Paraguay y Perú. También se encuentra en Centroamérica, específicamente en Panamá y Honduras, y se extiende hasta el norte de América, en México (Missouri Botanical Garden, 2024).

Hábitat

El hábitat de *Cedrela angustifolia* en Perú se localiza en Amazonas, Apurímac, Cajamarca, Cusco, Junín, Pasco y Piura (Reynel et al., 2017). En bosques montanos húmedos o bosques nublados (Tarazona, 2020; SERFOR, 2020).

2.2.4. *Eugenia sp.*

Familia: Myrtaceae

Nombre común: Guayabilla

Descripción dendrológica

Árbol de unos 5 metros de altura y diámetro de 6 cm, tronco irregular. Corteza fisurada color marrón claro, corteza interna de color anaranjado cremoso. Tiene hojas simples, el ápice es obtuso, 4 - 5 cm de ancho, borde entero (Tropicos, 2023, p.1).

Descripción de la madera

Anillos de crecimientos difusos, poco visibles a simple vista, anillos múltiples en un solo año calendario. La albura y el duramen son de color beige - marrón. Parénquima terminal poco visible, tiene marcaciones oscuras cerca en el duramen y cerca de la médula.

Descripción de la densidad básica de la madera

Las investigaciones sobre la densidad básica del género *Eugenia* son limitadas. Sin embargo, se ha registrado información relevante a través de estudios sobre la densidad de especies maderables en México, donde se documentó la densidad de *Eugenia sp* en un

bosque tropical perennifolio con una densidad básica de 0.94 gr/cm³ (Leandro, 2009; Ordóñez et al., 2015, p. 100). Adicionalmente, un trabajo realizado en 1992 reportó las densidades de tres especies: *Eugenia compta* con un valor de 0.68 gr/cm³, *Eugenia pseudosidium* con 0.62 gr/cm³ y *Eugenia stahlia* con 0.73 gr/cm³ (Reyes et al., 1992).

Distribución

Aunque existen pocos estudios específicos sobre esta especie, se ha tomado como referencia el género *Eugenia* de la familia Myrtaceae, debido a sus similitudes en altitud y hábitat con la especie *Eugenia* sp. objeto de esta investigación. De acuerdo con Vega y Saab (2020), esta especie se distribuye en el departamento de Córdoba, Ecuador. En Brasil, particularmente en la región de Alto Paraíba, en el estado de São Paulo, se han documentado las especies *Eugenia uniflora* y *Eugenia pyriformis* Cambessèdes (Maruyama, 2023). Asimismo, el género *Eugenia* también ha sido registrado en Cúcuta, Colombia (Sarmiento, 2018).

Hábitat

Al ser una especie endémica, su hábitat se encuentra limitado a los bosques estacionalmente secos del distrito de Santa Rosa de la Yunga, en la provincia de Jaén, en el departamento de Cajamarca. No obstante, en países como Brasil y Colombia, también se ha identificado el género *Eugenia* en los bosques estacionalmente secos, donde logra prosperar dentro de este tipo de ecosistema (Vega y Saab, 2020; Sarmiento, 2018).

2.2.5. Base de datos para variables climáticas y variables oceánicas

2.2.5.1. Base de datos TerraClimate

TerraClimate contiene datos mensuales de temperatura y precipitación comprendidos desde el período de 1958 - 2020 mediante su plataforma web. Los datos pueden ser utilizados para estudios de ciencias biológicas, ciencias de la tierra y geografía. Además, cuenta con una resolución espacial de ~ 4 km y escala temporal mensual. Su proceso es el siguiente: Se recopila datos climáticos de estaciones meteorológicas, para la estimación de los datos utilizan modelado espacial. Esto incluye control de calidad evitando inconsistencias en los datos, también implementa en su metodología pruebas estadísticas con el método "Analog

Ensemble” para identificar información faltante y poder rellenar los datos ausentes (Abatzoglou et al., 2018).

2.2.5.2. Climate charts

Es una plataforma de acceso global; la web es de fácil acceso e intuitiva, calificada y respaldada por los usuarios. Climate Charts ofrece información del clima mediante histogramas, mapas, diagramas de cajas y bigotes; además, emplea la clasificación climática de Köppen - Geiger que cataloga los climas de acuerdo a las variaciones de temperatura y precipitación. La plataforma se mantiene en constante actualización ofreciendo una mejor experiencia en su sistema. Permitiendo a los usuarios ofrecer retroalimentación para agregar nuevas funcionalidades y herramientas en sus nuevas versiones (Zepner et al., 2021)

2.2.5.3. KNMI Climate Explorer

Es una base de datos online que contiene un almacenamiento de 10 TB de datos meteorológicos. Mediante sus herramientas permite realizar análisis espacial con la data cronológica de los árboles. La web advierte a sus usuarios que existen limitaciones a la hora de realizar las correlaciones entre la cronología y los datos atmosféricos, es por eso que, recomienda haber eliminado tendencias de las cronologías con programas dendrocronológicos como ARSTAN o el paquete dplR de R studio, obteniendo mejor precisión en los resultados (Cook, 1985; Trouet y Oldenborgh, 2013; Bunn A. et al. 2023).

Trouet y Oldenburg (2013) afirman que Climate Explorer tiene actualización constante en su base de datos, además ofrece utilidades para mejores análisis estadísticos. Es muy importante resaltar que para obtener mejores análisis correlaciones mediante esta herramienta, es necesario apoyarse de diversas disciplinas, de esta forma se garantiza que las investigaciones paleoclimáticas sean de mayor calidad.

2.2.6. Índices de sequía

2.2.6.1. Índice de sequía SPEI (índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración)

Es utilizado en investigaciones dendroclimáticas para comprender el impacto de los patrones climáticos en diferentes contextos. Esta herramienta permite evaluar los períodos

de humedad y sequía empleando los datos de temperatura y lluvia en intervalos mensuales de 1 a 48 meses, además, puede ser útil para ejecutar análisis climáticos en el marco del cambio climático, proporcionando predicciones atmosféricas. Existe una limitación aplicando la herramienta, y esto sucede cuando no se tiene información completa de los datos climáticos, dificultando la capacidad del índice para detectar episodios de sequía (Vicente - Serrano, 2010).

Tabla 1

Valores de SPEI y categorías de sequía

Grado	Valor SPEI	Categoría
1	- 0.50 < SPEI	Sin sequía
2	-1.00 < SPEI ≤ -0.50	Sequía leve
3	-1.50 < SPEI ≤ -1.00	Sequía leve
4	-2.00 <SPEI ≤ -1.50	Sequía moderada
5	SPEI ≤ -2.00	Sequía severa

Nota. Fuente: (Sun et al., 2021; Arana et al., 2023).

2.2.6.2. Índice de sequías SPI (Índice de Precipitación Normalizada)

Mckee et al. (1993) mencionaron que, los episodios de sequía son aprovechando los datos de precipitación de estaciones meteorológicas u otra base de datos. Este índice monitorea los períodos de escasez de manera trimestral. Es una herramienta respaldada por varias entidades por la simpleza de evaluar este tipo de anomalía. Una limitación importante es que los valores de SPI varían de un período a otro, pues los valores cambian a medida que se extiende la longitud del registro. Se necesita un intervalo de 5 a 6 décadas para la optimización de las series mensuales, evitando la variación en la data. En caso no se cuente con ese número de valores, es recomendable utilizar al menos un período de 20 - 30 años (Guttman, 1994).

Tabla 2*Valores de SPI y categorías de sequía*

Valor SPI	Severidad del episodio	Categoría	N° de veces en un siglo
0 a -0.99	1 en 3 años	Sequía leve	33
-1.00 a -1.49	1 en 10 años	Sequía moderada	10
-1.5 a -1.99	1 en 20 años	Sequía severa	5
mayor a -2	1 en 50 años	Sequía extrema	2.5

Nota. Fuente: (Svoboda, Mark; Hayes, Michael; Wood, Deborah A.; Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2012).

2.2.7. Regiones del Fenómeno De El Niño

2.2.7.1. Región 1+2

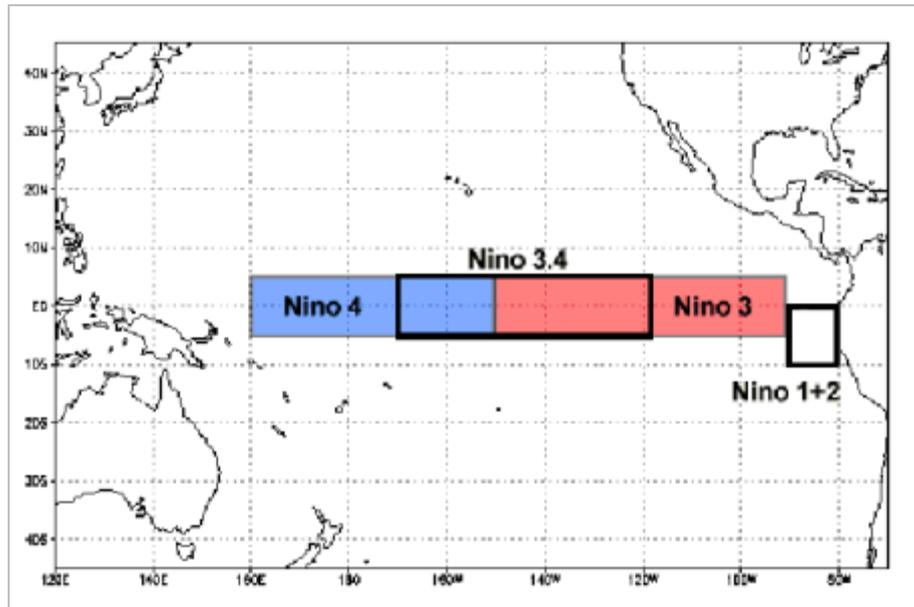
La región 1+2 tiene una extensión de: Longitud: 90°W-80°W y Latitud: 10°S - 0° N, está localizada en la costa de América del Sur, es la región que tiene mayor influencia en el Perú. Tiene menor tamaño a comparación de las otras tres, es la que presenta mayores fluctuaciones en contraste con los demás índices de SST (Trenberth y Stepaniak, 2001).

2.2.7.2. Región 3

La región 3 tiene una extensión de: Longitud: 150°W-90°W y Latitud: 5°S-5°N (Figura 1), fue muy utilizado en el pasado por varios investigadores pues se evaluaba y pronosticaba el evento de El Niño en esta zona, después se descubrió que la zona más adecuada estaba ubicada al oeste. Desde entonces los científicos han dado preferencia a la región 3.4 y al ONI para determinar los componentes oceánicos de El ENOS (Trenberth, 1997).

Figura 1

Representación gráfica de la región 3



Nota: Adaptado de *Definición de regiones El Niño 1+2, 3, 4 y 3.4 sobre el Pacífico Ecuatorial* (p. 34) por Sánchez (2013)

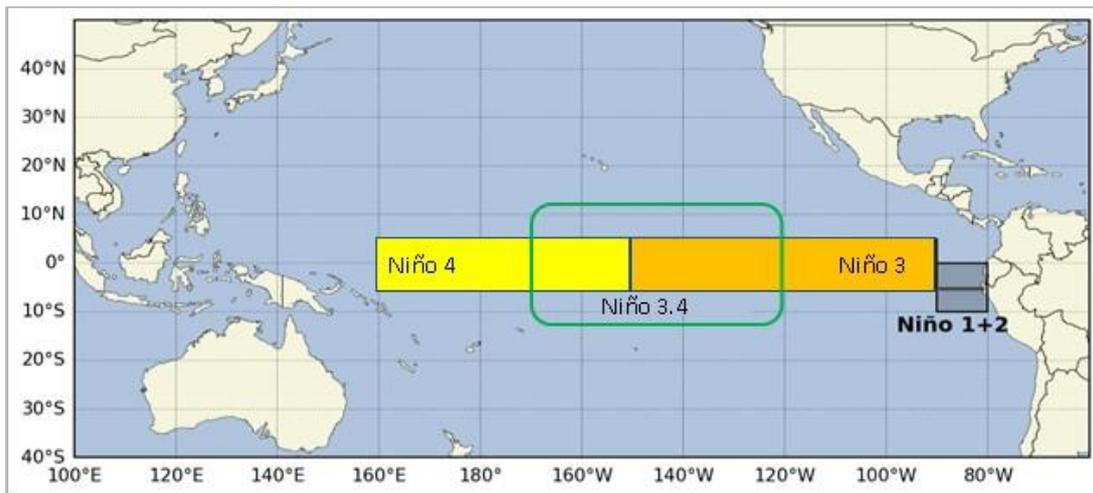
https://www.researchgate.net/publication/280583856_Variacion_interanual_en_la_estructura_vertical_de_las_ondas_de_Kelvin_ecuatoriales_y_su_impacto_en_las_ondas_atrapadas_a_la_costa_frente_a_Peru_y_Chile

2.2.7.3. Región 3+4

La región 3.4 tiene una extensión de: Longitud: 170°W - 120°W y Latitud: 5°S - 5°N, se puede interpretar las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el Pacífico Ecuatorial, cerca de la línea de fecha hasta la costa sudamericana. Se calcula utilizando la media móvil de 5 meses, durante el período de medio año o más se determina si sucedieron eventos de El Niño y La Niña en caso de que la TSM haya presentado valores mayores a +/- 0.4 (Trenberth, 1997; Trenberth y Stepaniak, 2001).

Figura 2

Representación gráfica de la región 3 + 4



Nota: Adaptado de *Modeling and prediction of El Niño in Piura using Artificial Neuronal Networks* (p.305) por Jiménez-Carrión et al. (2018)

https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642018000400303

2.2.8. Temperatura de la Superficie del Mar

Purca et al. (2005) y Rockwell et al. (1999) mencionan que la Temperatura Superficial del Mar (TSM) es un indicador que muestra los cambios de los eventos del ENSO a lo largo de varios períodos en el Océano Pacífico, es confiable y de utilidad para realizar pronósticos mensuales climáticos.

2.2.8.1. Índice SOI (Índice de Oscilación del Sur)

El índice de Oscilación del Sur, es un marcador que se usa para comprender los cambios climáticos que se producen en el Pacífico tropical. Cuando el índice se encuentra en fase negativa significa que las temperaturas del océano son más cálidas, en caso de que esté en fase positiva, las temperaturas serán más frías de lo habitual, correspondiendo el suceso de El Niño en la fase negativa y La Niña en fase positiva (NOAA, 2023).

Para la estimación del SOI se utilizan operaciones básicas matemáticas, basando sus cálculos en los cambios mensuales o estacionales de la presión atmosférica entre la isla de Tahití y Darwin, Australia (Palacios - Hernández et al., 2017).

Tabla 3*Categorización del SOI propuesta por Western REGIONAL Climate de la NOAA*

Categoría	Valores de SOI	Intensidad del Evento
Fuertemente negativo	≤ -1.00	Niño intenso
Moderadamente negativo	≤ -0.50	Niño moderado
Normal	$-0.50 - 0.50$	Normal
Moderadamente positivo	≥ 0.50	Niña moderada
Fuertemente positivo	≥ 1.00	Niña intensa

Nota. Fuente: Jiménez et al. (2011).

2.2.8.2. Índice ONI

El Índice Niño Oceánico (ONI) sirve para monitorear los eventos de ENSO que aparecen en la región 3.4. En caso de que se obtengan valores de $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ o más entonces se manifiesta el evento de El Niño, mientras que si resulta valores inferiores a $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ entonces se presenta el evento de La Niña. La evaluación de este índice se hace durante un período de 5 meses («El fenómeno EL NIÑO en el Perú», 2014; NASA SVS, 2023; Climate gov, 2023).

Tabla 4*Identificación de los eventos de El Niño y La Niña según la NOAA en la región 3.4*

Intensidad	Índice Oceánico El Niño (ONI)
Cálido fuerte	Mayor o igual a +1.4
Cálido moderado	Mayor que +0.9 y menor que +1.4
Cálido débil	Mayor que +0.5 y menor que +1.0
Neutro	Mayor que -0.5 y menor que +0.5
Frío débil	Menor que -0.5 y menor que -0.9
Frío moderado	Menor que -1.0 y menor que -1.5
Frío fuerte	Menor o igual que -1.5

Nota. Fuente: («El fenómeno EL NIÑO en el Perú» [SENAMHI], 2014, p.10)

2.2.8.3. Índice Costero El Niño (ICEN)

El índice Costero El Niño realiza su evaluación y monitoreo de la TSM de manera trimestral en la región 1+2 que influye en el norte del Perú y el Ecuador. El cálculo de la anomalía se hace de manera trimestral (media móvil de tres meses)

Tabla 5

Clasificación de las anomalías utilizando el ICEN

Clasificación	Valor del ICEN
Fría fuerte	Menor que -1.4
Fría moderada	Mayor o igual que -1.4 y menor que -1.2
Fría Débil	Mayor o igual que -1.4 y menor que -1.2
Neutras	Mayor o igual que -1.2 y menor que -1.0
Cálida Débil	Mayor que 0.4 y menor o igual que 1.0
Cálida Moderada	Mayor que 1.0 y menor o igual que 1.7
Cálida Fuerte	Mayor que 1.7 y menor o igual que 3.0
Cálida Extraordinaria	Mayor que 3.0

Nota. Fuente: ENFEN (2012)

2.2.8.4. Análisis espacial con KNMI con cronologías de los árboles

En las investigaciones dendroclimáticas y paleoclimáticas Van Oldenborgh y Burgers (2005) mencionan que el uso de la web KNMI Climate Explorer sirve como herramienta para hacer análisis estadísticos de teleconexión e identificar los eventos de El ENSO a través de cronologías de árboles.

En un estudio realizado por Portal-Cahuana et al. (2023) analizó la Temperatura Superficial del Mar (TSM) con la especie *Zanthoxylum rhoifilum*, obteniendo correlaciones significativas con el Atlántico Sur Tropical. Confirmando que los resultados coinciden con las épocas de precipitación en el departamento de Madre de Dios.

La ejecución de una investigación en el Altiplano de Chiluyo en el departamento de Tacna, haciendo uso del análisis espacial de Climate Explorer comprendido en el período 1870 - 2015, muestra que se obtuvieron correlaciones positivas entre la especie *Polylepis*

Tarapacana y la TSM. Concluyendo que existe una influencia de la TSM de la región 3.4 con el crecimiento radial de la especie (Crispín De La Cruz, 2021)

2.2.9. Información de eventos de ENSO en el Perú y el mundo

Los eventos extraordinarios del fenómeno de El Niño fueron los años 1982 - 1983. Las más severas sucedieron en el año 1925, 1982, 1983. Los eventos fuertes se desarrollaron en los años 1941, 1957, 1965, 1972, 1976, 1987. Los eventos moderados fueron en 1930, 1943, 1948, 1951, 1953 (Macharé y Ortlieb, 1993, p. 37).

Dos eventos muy fuertes en 1578, 1593, 1596; otro moderado 1574. El Niño intenso en 1624, 1686. Los eventos muy fuertes 1728, y otros nombrados como fenómenos 1701, 1720, 1747 - 1748 y 1791. Eventos muy fuertes en los años 1891. De intensidad de los fenómenos del niño 1828, 1871, 1877 - 1878 y 1884. De intensidad media 1803 - 1804, 1814, 1844 - 1845, 1864 (Hocquenghem y Ortlieb, 1990; Hocquenghem y Ortlieb, 1992a; Hocquenghem y Ortlieb, 1992b, p. 38).

Según Alcocer (2001) señala que existe información de sucesos del fenómeno de El Niño en la capital y el norte del Perú. Los antecedentes históricos señalan que se presentaron en los años 1878 - 1879, 1925, 1932, 1939, 1942, 1953, 1966, 1972, y 1982 - 1983, 1997 - 1998 (Bitrán, 1998, p. 5).

Los eventos El Niño 1891 y 1925 fueron de una magnitud similar a los sucedidos de los años 1982 - 1983 y 1997 - 1998. Con la utilidad del ONI la NOAA ha podido registrar eventos El Niño de intensidad débil en los períodos de 2004 - 2005 y 2006 - 2007 y dos eventos moderados en el 2002 - 2003 y el 2009 - 2010 («El fenómeno EL NIÑO en el Perú» [SENAMHI] 2014, folleto 19, p. 24).

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Dendrocronología

La dendrocronología es una disciplina científica que permite el conteo de los anillos de crecimiento de los árboles. Mediante el uso de herramientas y técnicas especializadas, es posible obtener el año calendario exacto e identificar los factores ambientales y climáticos que han afectado el crecimiento de los árboles. A partir de la información extraída, se realizan

estudios en diversas disciplinas relacionadas con la dendrocronología. Este campo de investigación proporciona valiosos datos sobre la historia natural y los cambios ambientales a lo largo del tiempo (Gutiérrez, 2009, p. 1).

2.3.2. Dendroclimatología

La dendroclimatología es una rama derivada de la dendrocronología que identifica información climática mediante los anillos de crecimiento (Fritts, 2012, p. 10). Además, mediante investigaciones dendroclimáticas se logra realizar reconstrucciones climáticas, obteniendo información de climas y de manera adicional pronosticando climas futuros en determinadas regiones (Póvoa y Muñoz, 2012, p. 10).

2.3.3. Datación cruzada

Es una actividad importante en el apartado del principio de los factores limitantes. Su función es que las series de anillos anuales se sincronicen entre sí. Verificando de esta forma la calidad de las series individuales (Gutiérrez, 2009, p. 7-8).

2.3.4. Sequía

De acuerdo con la OMM (2006), define a la sequía meteorológica como una anomalía que presenta precipitaciones bajas en un determinado lugar (p. 10).

Según SENAHMI (2021), la sequía meteorológica es marcada por un período temporal de escasas lluvias, sumado a otros factores como temperaturas que exceden su valor normal, insuficiente humedad y déficit hídrico (p. 25). Además menciona que, la sequía meteorológica es un fenómeno climático que se registra en un intervalo de tiempo en una zona específica” (SENAHMI, 2019, p. 7).

2.3.5. Sensibilidad media

La sensibilidad media corrobora si hay variación entre la anchura de los anillos de crecimiento. En caso de que el resultado se aproxime al 1, indica que existen fluctuaciones significativas en las series anuales, sucede lo contrario si está cerca de 0, señalando que las series son complacientes (Fritts, 2012, p. 539; Speer, 2010, p. 173).

2.3.6. EPS (Señal Poblacional Expresada)

En caso de que la cronología analizada muestra un EPS cercano a 0.85 o igual a este, indica que es “adecuada” para utilizarse en investigaciones de dendroclimatología (Cook et al. 1990, p.147; Speer, 2010, p.175).

2.3.7. Cronología estándar y residual

Como señala Moya y Lara (2011) la cronología estándar conserva la señal de baja frecuencia de las series de anillos de crecimiento, en contraste, la cronología residual elimina por completo todos los componentes endógenos, con la finalidad de obtener mejores resultados estadísticos. Es recomendable escoger la cronología con la que tenga mejores correlaciones significativas con las variables climáticas (p. 168).

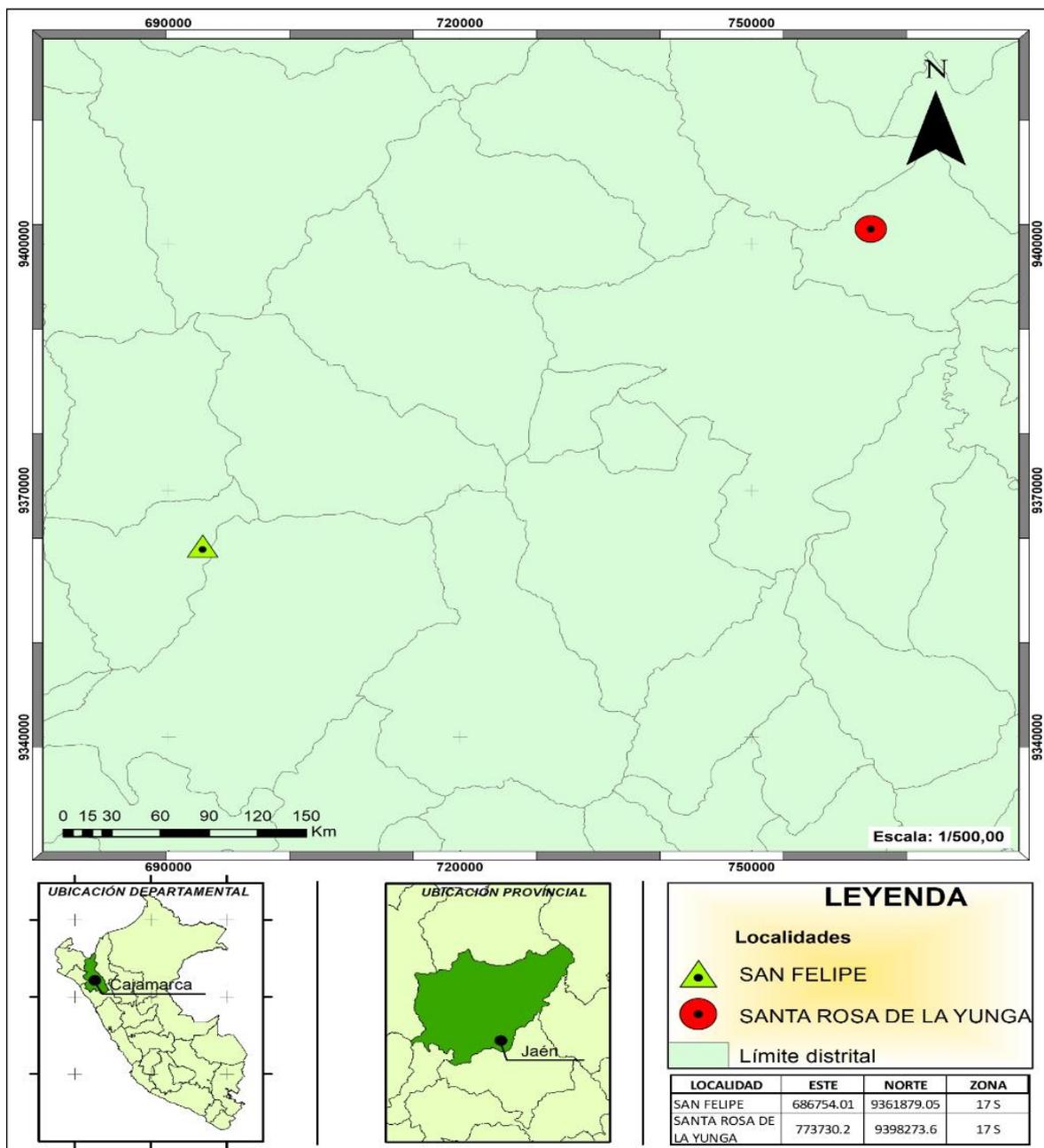
CAPÍTULO 3

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Localización de la investigación

Figura 3

Mapa de ubicación de las áreas de investigación



La investigación se realizó en el área de conservación privada “Páramos y Bosques Montanos, Paraíso de la Comunidad Campesina San Felipe”, en el distrito de San Felipe, provincia de Jaén y departamento de Cajamarca que se ubica a una altitud 2730 m s.n.m. Las temperaturas oscilan entre los 17°C - 19°C, y tiene una precipitación promedio entre 600 - 800 mm (Tello, 2011). Según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1978) y Zamora (2009) la zona de estudio se encuentra ubicada en el bosque montano bajo templado cálido (Figura 3).

Mientras que, en el caserío de La Yunga en el distrito de Santa Rosa, provincia de Jaén, se encuentra ubicado en los bosques estacionalmente secos (BES), según las definiciones de Lugo y Murphy (1986) y Pennington et al., (2009). El área de estudio se encuentra a 1054 m s.n.m. Los BES presentan precipitaciones anuales de 100 hasta 1800 mm, está propenso a sufrir épocas de sequía, no se ven influenciadas por heladas. Las temperaturas son mayores a los 20 °C (Linares - Palomino y Álvarez, 2005).

3.2. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación: Aplicada

Método: Descriptiva

Diseño: No experimental

3.3. Materiales, equipos y herramientas

Tabla 6

Materiales, instrumentos y equipos usados para la obtención de datos

De Campo				
Motosierra	cinta masking	plumón de tinta indeleble	tubo de pvc de 2" x 70 cm largo	Libreta de campo
Tijera	Lapiceros Lápices	Soporte metálico para mesa	GPS	Barreno de Pressler de 40 cm de largo
Celular con cámara	bolsas polietileno grandes	Cartones	Plumones indelebles color negro	Sorbetes de plástico
Lija grano N° 40 - 600	Soportes de madera 30 cm largo x 1.5 cm ancho	Tabla porta soportes 35 cm largo x 8 cm ancho	Pinceles	Ultra cola sintética
Cinta masking tape	Sierra cinta semi industrial	Cinzel	Martillo	-
De Gabinete				
Escáner EPSON	Computadora portátil	Cámara fotográfica profesional	Trípode	-
Programas				
CooRecorder 7.8	Cdendro 7.8	Gigapixel AI	Dendrocronology	Cofecha
R studio	Microsoft Excel	Google Earth	Photoshop	-

3.4. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 7

Matriz de operacionalización

Variables	Operacionalización	Dimensión	Indicador
Cambio climático	Patrones de circulación atmosféricos	Temperatura media anual Precipitación anual Eventos ENSO Temperatura Superficial del Mar	C°, mm, correlación de Pearson ($p < 0.01$), índice SOI, ICEN, ONI e índices de sequía SPEI y SPI
Anillos de crecimiento	Ancho de los anillos	Variabilidad hidroclimática Sequías	mm, C°, correlación de Pearson ($p < 0.01$), splines cúbicos, correlación de spearman

3.5. Unidad de análisis

Población: Especies de *Cedrela angustifolia* y *Eugenia* sp extraídos de San Felipe y Santa Rosa de La Yunga respectivamente.

Muestra: Fueron seleccionadas 15 muestras de leño de secciones transversales para *Eugenia* sp y 41 núcleos de crecimiento para *Cedrela angustifolia*.

3.5.1. Selección de especies e individuos

En el desarrollo del proyecto de tesis, se tomaron inicialmente en consideración dos especies diferentes. Sin embargo, debido a razones externas, se optó por seleccionar otras especies. En lugar de *Cedrela kuelapensis*, se decidió utilizar *Cedrela angustifolia*, manteniendo así el género *Cedrela*. Para sustituir a *Osteophloeum platyspermum*, se eligió *Eugenia* sp., de un género y familia diferentes. Cabe resaltar que los ecosistemas seleccionados fueron los mismos que se mencionaron en el proyecto de tesis. Las especies anteriormente escogidas se encontraban en predios privados, pertenecientes a diferentes propietarios. Es por ello que no fue posible contar con dichas especies para la ejecución de la tesis.

Durante los recorridos de exploración botánica durante mis prácticas, encontramos un fragmento de bosque destruido para cultivo de plátanos. Por las colectas previas que hicimos, además de la consulta a las familias locales supimos que se trataba de “guayabilla” que corresponde a una especie del género *Eugenia*. Esta especie solamente crece en esta localidad y no ha sido reportada en otros estudios en el valle del Marañón (Marcelo-Peña et al., 2016). Aprovechamos para hacer cortes con motosierra en la base del árbol apeado, a 30 cm de altura (Chave et. al., 2006; Da Silva et al., 2015). Las rodajas de madera debidamente codificadas fueron cubiertas con cartón del tamaño del diámetro de cada fuste y almacenadas en cajas de cartones grandes para el traslado hasta el laboratorio (Figura 4). Obtuvimos 15 discos de *Eugenia* sp para los estudios dendrocronológicos con secciones transversales el corte se hizo cerca de la base del fuste a 30 cm de altura.

Cedrela angustifolia, fue seleccionada debido a los escasos reportes de localización a nivel nacional y su reciente inclusión en la categoría de "Vulnerable" en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) desde el año 2021 acentúa la urgencia de comprender y abordar su situación. Además, se conocía de una excelente población en los alrededores de los Páramos y bosques montanos de San Felipe.

Los individuos muestreados presentaron diámetros mayores a 35 cm y alturas promedio de 25 metros, fustes rectos, moderadamente cilíndricos, libre de malezas y ubicados en zonas de pendiente moderada. Los individuos de *Eugenia* sp., presentaron fustes bifurcados con protuberancias, ubicados en zonas con pendientes inclinadas y libres de malezas.

En *Cedrela angustifolia* se empleó método no destructivo para la obtención de núcleos de incremento llamados también baguetas, utilizando un barrenado de Pressler de 40 cm de largo y 1.5 mm de diámetro (Figura 5), cada bagueta fue codificada con plumón indeleble e introducido en sorbetes de plástico sellados con cinta masking tape (Figura 6). El conjunto de muestras colectadas de madera se almacenó en un tubo de pvc de 2" x 70 cm largo

acondicionado para el traslado y con la finalidad de evitar daños del material o el extravío de las muestras de leño.

Figura 4

Recolección de muestras de Eugenia sp por el método destructivo



Figura 5

Extracción de núcleos de crecimiento



Figura 6

Protección de las muestras en sorbetes

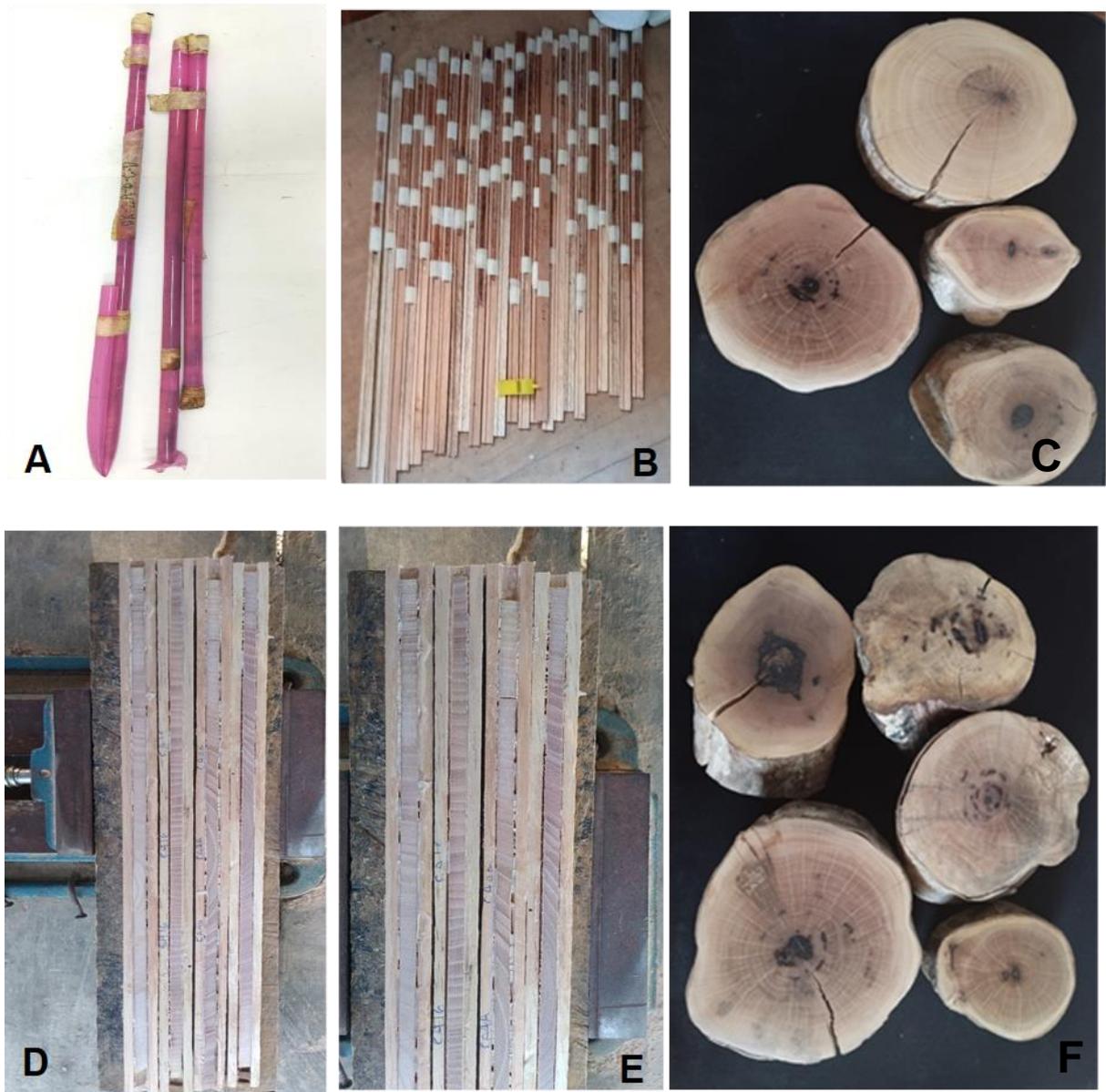


3.5.2. Preparación de muestras de madera

Las muestras de leño secas de *Cedrela angustifolia* y *Eugenia* sp antes de ser lijadas, fueron remarcadas y codificadas con plumón indeleble. En *Cedrela angustifolia* para sostener los soportes de madera que contienen las baguetas, fue necesario pegarlos y fijarlos en unas tablillas de madera para evitar el desprendimiento y pérdida de las muestras de leño. Se procedió a lijar y pulir con diferentes números de granos de lija (60 - 800) hasta que se puedan visualizar los anillos de crecimiento (Figura 7). Las secciones transversales de *Eugenia* sp. fueron secadas a temperatura ambiente, obviando los pasos de montaje debido a que no son necesarios para muestras obtenidas por el método destructivo.

Figura 7

Preparación de muestras de madera de Cedrela angustifolia y Eugenia sp.





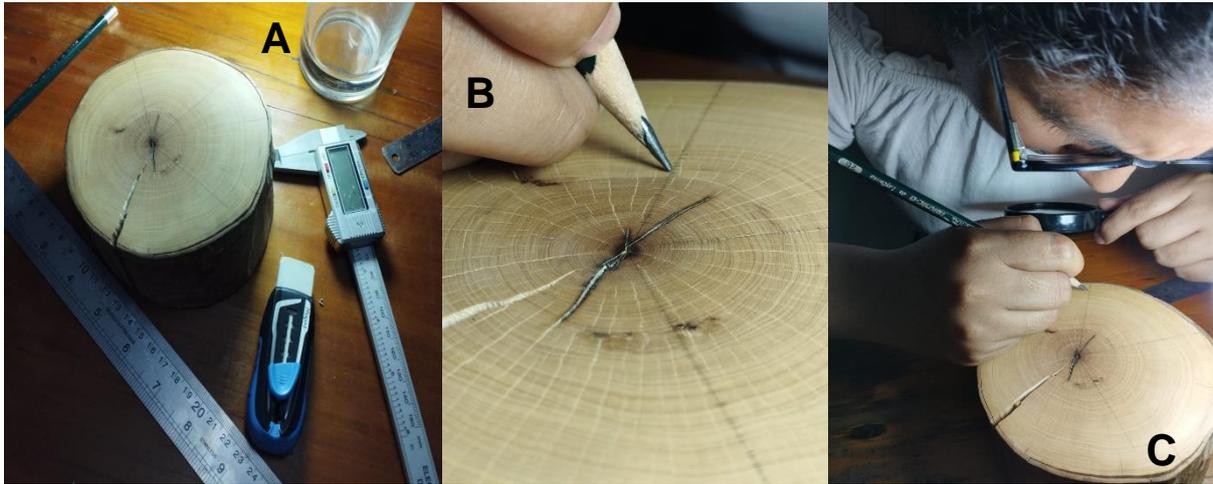
Nota. A y B: Núcleos de crecimiento de *Cedrela angustifolia* (C) Muestras de leño en secciones transversales de *Eugenia* sp. (D), (E) y (F) Lijado y pulido de rodajas de *Eugenia* sp y tarugos de leño de *Cedrela angustifolia*. (G), (H) e (I) Maderas pulidas de *Cedrela angustifolia*.

a) Actividades de laboratorio

El marcado manual y conteo de anillos de crecimiento de *Eugenia* sp., fue verificado apoyándose de una lupa de 10 x de aumento y marcado con un lápiz; tal como muestra en la figura 8.

Figura 8

Marcación de anillos de crecimiento en Eugenia sp

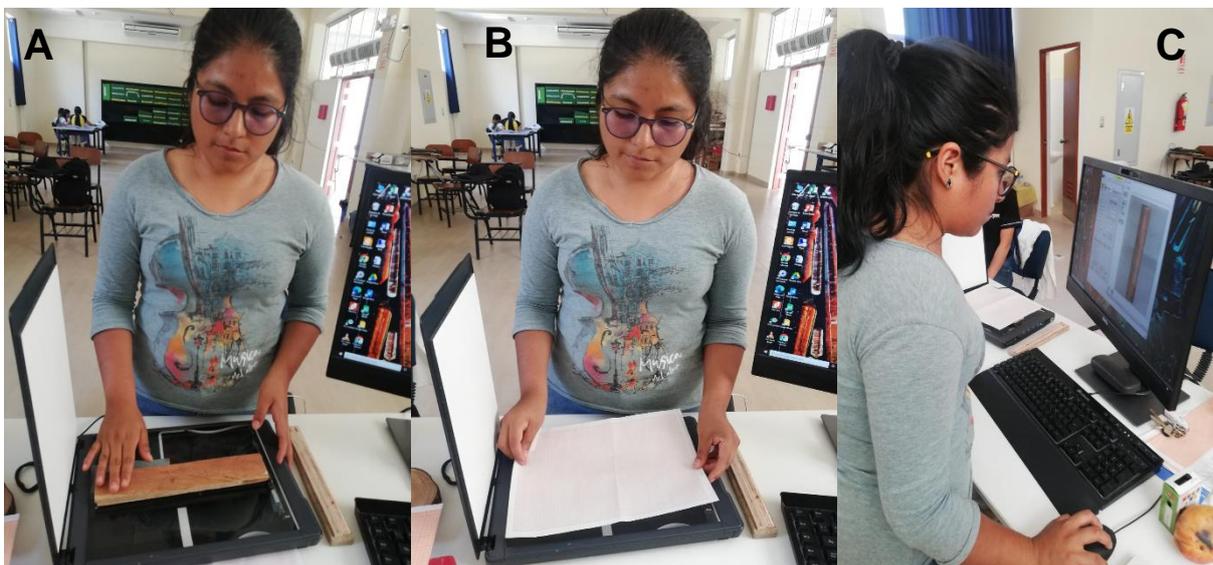


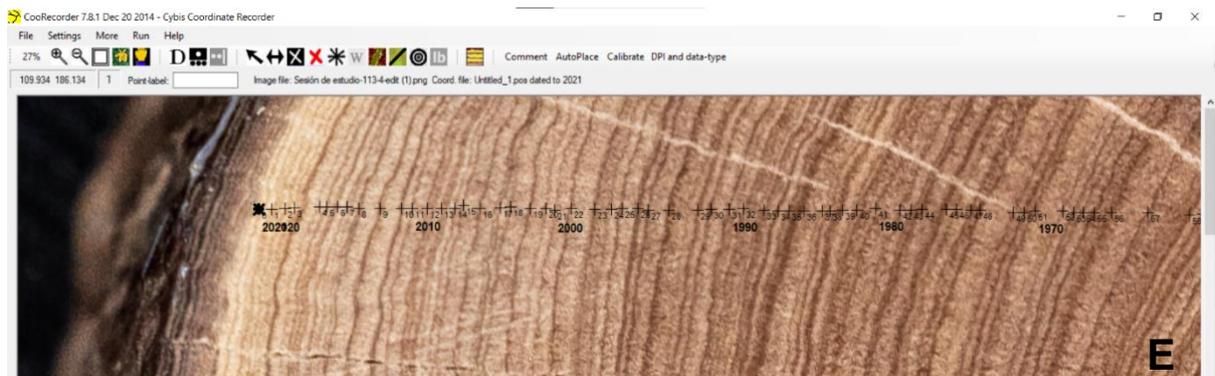
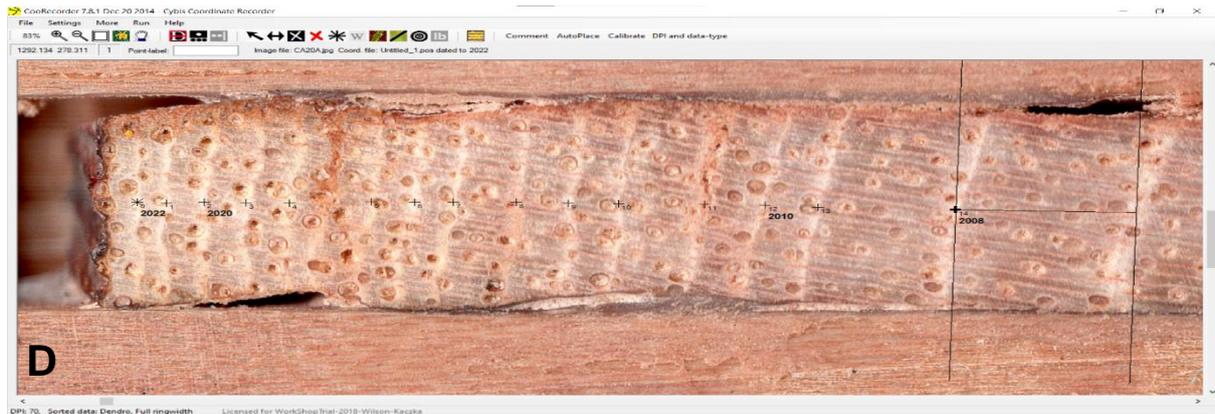
Nota. (A) Herramientas utilizadas en la marcación de anillos anuales. (B) y (C) marcación manual de los anillos en la especie *Eugenia sp*.

Luego las muestras de leño se escanearon empleando un escáner marca EPSON con resolución de 2400 pp. almacenadas en los formatos sugeridos para el procesamiento (.tif y .png) para la lectura y recepción en los otros programas. La remarcación, fechado y anchura de los anillos de crecimiento se realizaron utilizando el software CooRecorder 7.8.1. El remarcado se hizo en dirección horizontal, desde la corteza hasta la médula.

Figura 9

Escaneo y remarcación de muestras de leño



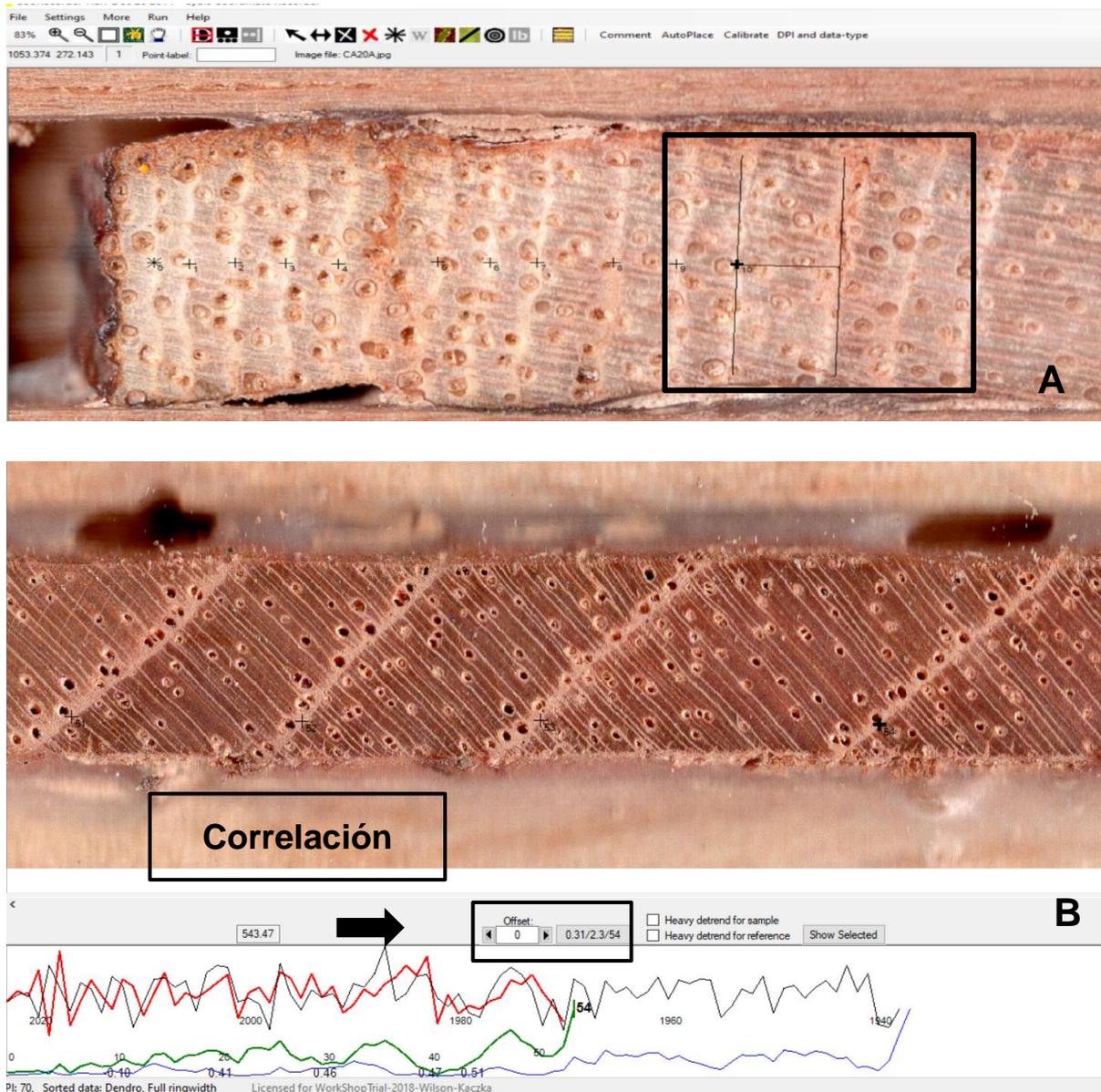


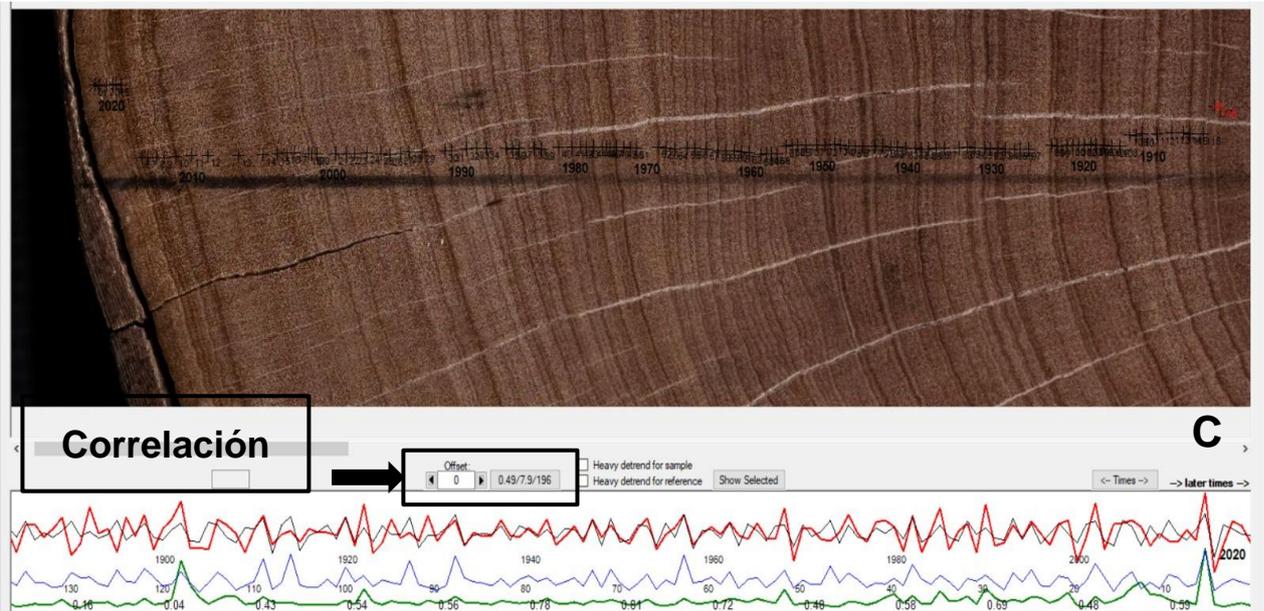
Nota. (A, B y C) Escaneo de muestras de leño resolución 2400 pp. (D y E) Remarcación de anillos en el programa CooRecorder 7.8.1

La medición de los anillos de crecimiento de *Cedrela angustifolia* se realizaron usando el programa CooRecorder 7.8.1. La unidad de medida se da en mm. Para verificar los límites y el ancho de los anillos se toma de referencia otro tarugo de leño del mismo árbol. La correlación se corrobora en el apartado de la figura 10.

Figura 10

Medición de ancho de los anillos anuales y correlación entre núcleos de madera.





Nota. (A) Medición de ancho de los anillos anuales. (B y C) Correlación de anillos de crecimiento entre dos cores de un árbol. Las líneas de color negro y azul pertenecen al core de referencia, mientras que las líneas de color roja y verde pertenece al core que se midió.

Los datos obtenidos de la digitalización de las muestras de cada especie se guardan en formato .pos; estos mismos archivos son utilizados en el software CDendro 7.8.1 para verificar las correlaciones entre los cores, tomando los cores con mayor correlación, originando una seria media que permitió tener como referencia para las muestras de madera que no tuvieron correlaciones iguales o mayores a 0.30. El procedimiento anteriormente descrito se realizó varias veces ajustándose hasta obtener mejores correlaciones. Concluido este proceso, la data se exportó en formato TUCSON (.rwl), en formato raw (txt) y en Excel (xlsx).

Figura 11

Mediciones de los anillos anuales de *Cedrela angustifolia* y *Eugenia* sp.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
68	1935	1596	2797	3011	3011							2492	889	2492	889	2492	889	2492	837	837	5088	1975	1596	1596	1596	279
69	1936	1509	1975	3314	3314							4464	879	4464	879	1369	879	1369	456	456	4281	2264	1309	1309	1309	197
70	1937	3360	2264	3892	3892							6330	868	6330	868	17609	868	2307	2806	2806	4920	1146	3360	3360	3360	216
71	1938	3103	1146	1809	1809							5441	815	5441	815	9620	815	1445	957	957	4402	1328	3103	3103	3103	114
72	1939	2435	1328	1809	1809				11310	11310	11310	5992	1270	5992	1270	9230	1270	3174	1079	1079	5915	2435	2435	2435	2435	132
73	1940	3169	2402	2186	2186				9910	9910	9910	2857	1493	2857	1493	6759	1493	1583	1505	1505	2901	3169	3169	14798	14798	240
74	1941	2789	1797	2286	2286				2792	2792	2792	3663	1005	3663	12514	5939	1005	1558	1461	1461	3221	2789	2789	4184	4184	179
75	1942	2196	1688	1707	1707				9060	9060	9060	6324	952	6324	11393	4936	952	1297	1365	1365	4378	2196	2196	2231	2231	168
76	1943	1719	2379	1667	1667	5050	5050	8610	5050	8610	10074	330	10074	12600	5438	330	980	1270	1270	1538	1719	1719	1152	1152	237	
77	1944	1275	1433	1487	1487	7941	7941	6060	7941	6060	6060	8123	571	8123	12914	6266	571	938	571	571	1281	1275	1275	1319	1319	143
78	1945	1772	2194	3699	3699	8668	8668	6096	8668	6096	6096	6365	636	6365	8849	7842	636	2572	635	635	520	1772	1772	7672	1543	219
79	1946	1730	1115	2493	2493	3301	3301	2699	3301	2699	13730	1058	13730	2605	5945	1058	3579	466	466	477	1730	1730	1424	2411	111	
80	1947	978	900	2772	2772	3162	3162	2548	3162	2548	6808	795	6808	674	5576	795	3526	445	445	837	978	978	1656	2651	900	
81	1948	558	1556	3604	3604	3732	3732	2706	3732	2706	5878	510	5878	3240	5092	510	2482	1058	1058	1460	558	558	3394	3641	155	
82	1949	767	648	1178	1178	11465	11465	3673	11465	3673	6070	671	6070	3084	5343	671	2264	1230	1230	2064	767	767	1467	4358	648	
83	1950	1321	944	1084	1084	3191	3191	5469	3191	5469	7098	2106	7098	3080	5581	2106	1758	837	837	1778	3595	1321	629	4033	34	
84	1951	1505	1092	1592	1592	2442	2442	5470	2442	5470	7475	3887	7475	4130	8865	3887	2451	1219	1219	837	6633	1505	742	4642	109	
85	1952	1307	991	1164	2815	2815	2190	5774	2190	5774	5774	9814	2597	9814	1704	4476	2597	3513	561	561	466	5683	1307	673	4984	99
86	1953	1112	4629	360	2727	2727	589	7935	589	7935	9422	636	9422	1700	2792	636	3111	814	814	571	5165	1112	892	3225	463	
87	1954	1928	1856	2319	2444	2444	8181	3313	8181	3313	8535	3209	8535	1641	4415	3209	2727	868	868	900	3338	1928	746	4773	185	
88	1955	1620	975	2149	4170	4170	1395	3236	1395	3236	6933	3101	6933	1747	4101	3101	2572	11636	657	382	3820	1620	805	15104	3138	
89	1956	1838	456	2835	2833	2833	657	5313	657	5313	1726	3124	1726	2879	3255	3124	3397	3672	975	2212	4483	1838	698	19105	758	
90	1957	2303	1269	2173	2154	2154	1274	1883	1274	1883	801	4113	801	4235	2574	4113	3387	1644	883	1608	3290	2303	767	10326	112	
91	1958	1656	428	2207	2032	2032	1341	1303	1341	1303	1836	1836	1836	5150	2232	1836	1495	2470	773	2658	2001	1656	1033	11583	437	
92	1959	1788	298	2122	146	146	1244	793	1244	793	536	2086	536	4910	1145	2086	1084	2551	903	2963	799	1788	1110	8876	340	
93	1960	2418	205	2441	3041	3041	2577	2229	2577	2229	4762	3228	4762	4675	945	3228	1619	2312	1546	3463	1211	2418	1192	6166	859	
94	1961	1346	189	1691	2122	2122	1906	3328	1906	3328	542	2923	542	5324	1487	2923	1085	1461	964	2212	488	1346	1271	6064	1330	
95	1962	1464	297	2105	2643	2643	2662	2752	2662	2752	8551	4244	8551	7081	1674	4244	1965	872	889	2170	1434	1464	2992	5964	1260	
96	1963	1482	374	3597	2754	2754	1555	2562	1555	2562	10220	5200	10220	7261	1007	5200	1054	465	657	1842	1297	1482	3297	8010	946	
97	1964	1686	485	6056	3712	3712	3163	1209	3163	5382	5382	8710	4826	8710	8011	3150	4826	882	5569	879	1968	3238	1686	5978	9528	591
98	1965	1150	2209	1264	1477	1477	3751	3751	3751	3751	6348	2933	6348	3551	1863	6663	336	1473	890	1053	2013	1150	3291	4841	414	
99	1966	1467	1632	2209	4976	4976	3147	3147	3147	3147	7261	4183	7261	3079	3185	5419	436	432	1539	1177	797	1467	3474	3689	527	
100	1967	715	352	1632	3342	3342	3633	883	3633	883	883	7486	3950	7486	3221	4668	7019	312	397	1684	1948	765	715	2862	2930	500
101	1968	1013	492	352	2216	2216	3412	1762	3412	1762	2382	2951	2382	4847	6809	7303	531	379	3122	3780	2833	1013	3888	1467	564	
102	1969	825	799	492	1765	1765	4815	1167	1167	1167	2044	4001	2044	4161	7358	7960	327	259	2278	655	2881	825	4049	3714	44	
103	1970	1162	947	799	2273	2273	14393	1467	1467	1467	4147	5082	4147	5991	6993	9825	391	1346	711	1541	2736	1162	2786	7531	471	
104	1971	491	2460	947	2004	2004	4327	3958	3958	3958	2354	7425	2354	5810	3579	8852	609	1207	625	1235	3884	491	2200	9044	601	
105	1972	572	2348	2460	2980	21232	2747	4531	4531	4531	859	6678	859	10359	1944	5929	592	3738	297	1828	4678	572	3463	8531	687	
106	1973	731	2282	2348	4859	10501	2340	7171	7171	7171	1254	5783	1254	6278	2081	8085	718	5775	927	1258	3329	731	4361	5639	853	
107	1974	467	2211	2282	5794	4799	3700	4872	4872	4872	1680	4877	1680	7240	1263	10480	2400	3197	402	1425	3355	467	5532	4500	700	
108	1975	662	1431	2211	4630	6326	2231	7144	7144	7144	1881	2250	1881	6330	1476	6213	3669	739	476	1655	1686	662	3016	3966	666	

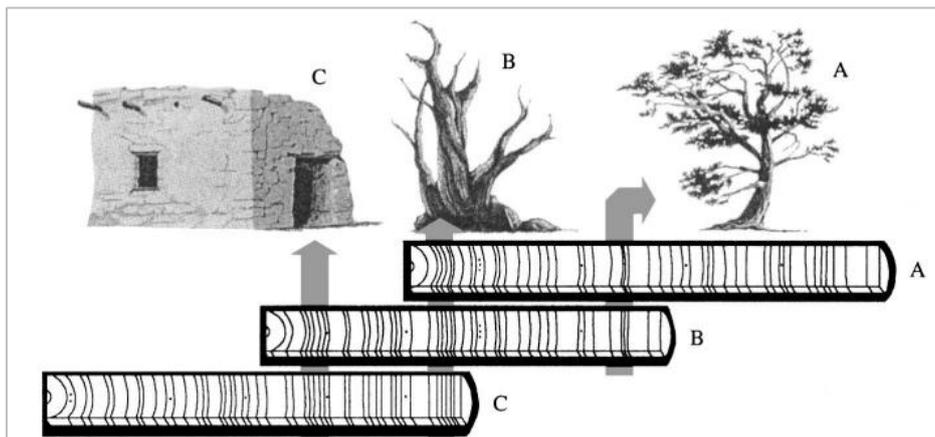
Microsoft Excel interface showing a spreadsheet with columns labeled N through AN and rows numbered 80 through 117. The ribbon includes options like Archivo, Inicio, Insertar, Disposición de página, Fórmulas, Datos, Revisar, Vista, Ayuda, Transmisor de datos, and Power Pivot. The spreadsheet data is as follows:

	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	A
80	678	678	5625	5625	810	810	5159	5159	4208	4208		1035	1035	4780	10316	4069	5509	6774		640	9124	9124	5277	5953	10716	7293	6946	
81	502	502	3083	3083	1280	1280	4289	4289	2898	2898		1032	1032	13142	10412	5355	8393	7450		328	6605	6605	5893	14534	11399	6774	3969	
82	678	678	4345	4345	1483	1483	3919	3919	2222	2222	397	714	714	5629	7458	5800	5510	3053		476	7995	7995	3183	4636	3572	8132	2993	
83	855	855	9452	9452	1254	1254	9771	9771	4290	4290	1292	1431	1431	8686	7210	8923	4575	4163		555	6087	6087	5498	5249	20638	8976	10932	
84	731	731	5398	5398	877	877	10100	10100	3179	3179	1145	3651	718	5864	7553	7089	10338	5929		956	3927	3927	7519	9607	22820	6355	4326	
85	719	719	3581	3581	1667	1667	8099	8099	5023	5023	732	3184	953	5467	8662	4721	16721	4748	3919	718	5398	5398	6617	9491	11907	6181	4339	
86	655	655	5261	5261	887	887	3654	3654	1775	1775	731	3302	1032	5134	8144	4321	12277	5509	2303	397	4986	4986	4047	5720	10889	6196	10183	
87	1232	1232	4312	4312	715	715	4707	4707	3199	3199	620	3794	965	7330	7919	4676	7374	10330	1825	715	3020	3020	6032	8115	9055	6489	3388	
88	2876	2876	15275	15275	1136	1136	6057	6057	13027	13027	1128	11916	3621	11004	10229	12940	9909	3572	3417	635	9249	9249	8802	1034	4845	62458	9689	
89	2393	2393	7354	7354	1122	8307	8255	11113	6747	6747	897	5339	635	10346	4096	7550	19267	2203	3105	718	7330	7330	6521	9731	4131	7130	16383	
90	1998	1998	4695	4695	556	7731	3371	8899	6995	6995	2286	2302	877	6561	10669	7589	4657	7047	6204	794	5577	5577	7304	6777	12939	14747	10245	
91	1194	1194	3840	3840	555	5609	7948	3254	5878	5878	1960	7567	1032	5570	4078	4905	2878	6894	5165	640	3730	3730	7001	4769	10489	20746	5420	
92	955	955	5339	5339	877	7694	8106	3673	6992	6992	754	7307	1122	4381	4011	8785	8214	7687	3120	1035	6985	6985	9811	5490	8143	3217	3472	
93	1747	1747	5592	5592	794	9887	17635	8121	13344	13344	2510	4716	405	10575	4135	9781	5604	3221	4076	3493	9685	9685	12011	16116	12066	3896	4149	
94	1430	1430	3100	3100	877	9268	4925	5477	11237	11237	1255	4528	397	12587	5096	11788	5504	6190	3290	793	2327	2327	5743	11510	5558	3979	3302	
95	635	635	3016	3016	1032	9715	4527	7064	9731	9731	1136	4962	405	7064	5419	11130	2918	5176	4648	318	3575	3575	9525	8423	6764	2626	2624	
96	397	397	1541	1541	3482	12045	6667	19061	7939	7939	1406	8652	718	10673	13230	12130	14140	11437	5644	794	7363	7363	7462	10643	3889	6778	4491	
97	1035	1035	4219	4219	1430	21016	24920	12368	13477	13477	731	7143	1114	6327	3556	16949	6096	5345	3761	397	9620	9620	3909	17781	5571	8393	17526	
98	798	798	3969	3969	556	7476	13268	8100	6992	6992	829	7146	1032	7893	5137	12790	3899	6105	4234	476	8178	8178	2545	4621	4921	3645	13508	
99	794	794	3179	3179	640	8744	14219	4444	12147	655	1059	3417	635	12179	8736	16091	19410	10576	2964	797	5759	5759	3831	7788	3428	2203	5435	
100	561	561	7640	7640	1748	5715	22385	3655	14172	887	1292	5445	798	17889	10426	12112	24289	49111	3682	794	7375	7375	7878	8359	3428	2709	8144	
101	1191	1191	3254	3254	397	5175	7709	8972	14199	476	1946	4060	794	14057	13294	10135	14567	24518	3863	877	4774	4774	5927	20722	17628	2462	7199	
102	810	810	3021	3021	476	4603	4780	3184	13201	719	810	3654	635	4853	5611	8298	3497	12534	4453	966	4786	4786	3414	3988	3586	4487	6021	
103	1114	1114	6596	6596	477	3200	15664	6193	5399	798	981	4528	877	11208	8386	7628	12956	5864	4304	635	4938	4938	7471	9767	8336	4826	3760	
104	1114	1114	17308	17308	2223	11702	8499	15722	8640	1114	929	4765	952	12710	5358	19526	8656	10414	2414	810	7540	7540	11990	24825	3020	3895	19306	
105	1596	1596	5249	5249	1122	9303	16758	13414	5879	710	810	4451	956	14955	6889	16947	10160	14071	2858	2630	7307	7307	8811	5254	7705	7130	11435	
106	1351	1351	6438	6438	635	6521	6960	6992	5955	731	754	3097	555	6265	4833	12753	6521	13294	2545	1510	6751	6751	9513	14212	4659	5611	7622	
107	1035	1035	6994	6994	873	5570	5209	5318	7705	966	1179	6803	1510	9339	4572	13547	7390	5516	2964	1270	9686	9686	8836	28917	4605	8128	12447	
108	877	877	5797	5797	1596	6043	7128	4848	6526	1003	578	3909	1588	20743	12541	12791	4404	6083	10819	1349	5477	5477	6316	8814	4154	9144	7627	
109	877	877	8004	8004	5023	36006	11074	11589	17354	3022	1696	22353	1984	32943	11981	17990	7712	12873	3200	966	5241	5241	8688	22865	6600	13124	9065	
110	829	829	3334	3334	966	13099	10809	14613	14606	719	463	7384	877	12390	9919	10752	6350	7622	7148	635	2867	2867	4086	18973	17350	14067	8807	
111	2481	2481	4737	4737	731	4535	13257	10568	5485	1667	1059	2937	719	9091	4148	9799	4910	6871	5419	794	9225	9225	9684	10581	6041	14055	10500	
112	5095	5095	10959	8255	2303	12859	13685	8102	10489	2698	719	4672	3580	9581	16074	13815	41674	7462	6904	1358	7878	7878	9038	8939	5916	22082	22947	
113	1826	1826	9292	6910	2228	11116	7891	3745	5636	956	3025	5640	555	6101	7709	10551	10390	4862	3706	1270	2699	2699	7024	3972	3428	4829	7885	
114	887	887	9926	4658	873	8343	11434	3665	12541	635	1371	5321	635	5760	4325	9368	10390	5619	9049	1064	6278	6278	8816	4371	3018	4241	2116	
115	714	714	4401	3774	636	8625	7234	3896	7864	1431	714	5399	484	6274	18063	8409	2202	5504	2850	1517	6591	6591	9217	4884	18100	4748	3984	
116	640	640	6906	3738	640	5729	8056	5557	9938	1428	877	15404	1190	15766	5927	12803	4659	5509	4648	404	4374	4374	10175	7794	8737	9328	7120	
117	556	556	6669	3270	1034	4531	6295	7869	15253	1272	562	5482	556	12871	13970	8636	5083	4918	5814	397	12226	12226	7159	9050	7318	6049	7390	

En el cofechado se hicieron las correcciones de medición en el ancho de los anillos, falsos anillos, anillos faltantes y también patrones anómalos. Este procedimiento ayudó a comprobar la calidad de las series anuales de las especies utilizando el programa dendrocronológico COFECHA (Holmes, 1983). De esta forma se generó una serie maestra confiable.

Figura 12

Simulación de cofechado de series temporales



Nota: Adaptado de *Archaeological Tree-Ring Dating at the Millennium* (p. 245) por Nash. (2002). DOI: 10.1023/A:1016024027669

La estandarización de la cronología se hizo con el propósito de eliminar factores endógenos de los árboles, aunque las muestras de leño se han extraído en el mismo lugar e incluso del mismo árbol, existen diferencias entre los individuos causado por influencia de los factores que no están relacionados con el clima (Fritts, 2012).

El procedimiento de estandarización se realizó mediante el paquete dplR que pertenece al programa estadístico R Studio (Bunn, 2008). Permitiendo transformar la cronología con tendencias biológicas en índice de ancho de anillo que mantienen los efectos del clima constituidas dentro de la cronología (Kaennel y Schweingruber, 1995). Se escogió la curva exponencial negativa para el análisis de ambas especies. La curva exponencial preserva los eventos de media - baja frecuencia, obteniendo como resultado dos cronologías; cronología residual y cronología estándar (Cook, 1987).

A partir del análisis estadístico, se verificaron los valores estadísticos de cronología. Estos fueron el EPS (Señal de población Expresada), Sensibilidad Media (SM), Correlación media entre series (Rbar), Glk y AC1 (Peña, 2022).

3.5.3. Obtención de datos climáticos

Para la extracción de los datos climáticos de precipitación temperatura máxima y mínima de ambas áreas de investigación fueron obtenidos de una plataforma web (base de datos) Terraclimate. Elegimos esta opción debido a que las estaciones meteorológicas que estaban cerca de los sitios de estudio no contaban con suficientes datos para realizar las correlaciones entre las variables climáticas y el índice de ancho de anillo (IAA) de las especies.

Los datos climáticos almacenados en el base datos del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú); cuenta con períodos cortos desde el año 1990 - 2021, además, existe una gran cantidad de información faltante en los años anteriores. Se utilizó en un principio para el llenado de datos faltantes de precipitación el modelo de regresión lineal simple, por la gran cantidad de datos discontinuos mensuales de la estación de referencia, y el coeficiente de correlación lineal fue menor a $-0.8 \leq R \leq 0.8$ fue descartado (Pizarro et al, 1993; Pizarro et al., 2009; Luna y Lavado, 2015). Luego se utilizó el Método de U.S National Weather Service, que consiste en rellenar los datos faltantes de precipitación tomando información de las estaciones cercanas o contiguas a la estación de referencia, sucedió el mismo problema. Finalmente, para aplicar ambos métodos se necesitaba como mínimo que cumplieran ciertas condiciones: que sea menor a 25 km, altitud de (+/-30m) y un clima similar a las áreas de investigación (Jiménez et al. 2004 y Toro et al., 2015).

Se realizó la extracción de base de datos de Terraclimate, considerando las variables climáticas primarias: Temperatura máxima, Temperatura mínima, Precipitación para San Felipe y el caserío de La Yunga, brindando datos mensuales desde el período de 1958 - 2021. Un intervalo de años suficientes para hacer las correlaciones correspondientes con el índice ancho de anillo (IAA) y las variables climáticas. Según Abatzoglou et al. (2018) señalan que Terraclimate presenta una validación alta, su evaluación está contrastada con la red Global

Historical Climate Network, SNOTEL y RAWS asegurando precisión y confiabilidad del modelo climático. Además, tiene una resolución espacial de ~4 km o 1/24°.

Tabla 8

Base de datos empleados para la correlación entre las variables climáticas y IAA

Sitio	Intervalo de años	Especie	Base de datos
San Felipe	1958 - 2021	<i>Cedrela angustifolia</i>	CRU Ts4.0/JRA55 - Terraclimate
La Yunga	1958 - 2021	<i>Eugenia</i> sp	CRU Ts4.0/JRA55 - Terraclimate

Nota. Adaptado de *CRU TS4. 01: Climatic Research Unit (CRU) Time-Series (TS) version 4.01 of high-resolution gridded data of month-by-month variation in climate.* Por Harris et al., (2017). *Centre for Environmental Data Analysis*, 25. <https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/edf8febfdad48abb2cbaf7d7e846a86>. CRU TS4.00 son datos que se obtienen mediante “la interpolación de ponderación de distancia inversa que utiliza datos espaciales mensuales para estimar valores”.

Las correlaciones entre los índices de ancho de anillo (IAA) de las especies y las variables climáticas se hicieron utilizando la Correlación de Pearson. Evaluando la influencia de los factores climáticos. Tomando el año anterior al periodo de crecimiento (t-1) y el año actual (t) al período actual de crecimiento de cada especie (Fritts, 1976). La razón fue por la ubicación de las áreas de investigación en el hemisferio sur (Domínguez, 2014).

3.5.4. Obtención de datos TSM

Para verificar la influencia de ENOS en las especies de *Cedrela angustifolia* y *Eugenia* sp., se tomaron los datos de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) registrados en la base de datos de NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Las zonas elegidas fueron Niño 3, Niño 3.4 y Niño 1+2.

Las anomalías y valores de las regiones Niño 3, Niño 3.4 y Niño 1+2 fueron descargados mediante los siguientes links respectivamente:

https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/Nino3/;

https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/Nino34/;

https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/Nino12/.

Luego se hicieron análisis de correlación de Pearson entre las zonas del ENSO y los Índice Ancho de Anillo (IAA) de todas las especies. Las correlaciones se hicieron tomando de referencia 24 meses para el año de crecimiento previo y el año de crecimiento actual. El período comprendido de todas las zonas del ENSO está entre 1870 - 2022.

3.5.5. Obtención de datos de índices del fenómeno de El Niño (SOI), (ONI) e (ICEN)

Para comprobar la influencia de El Índice de Oscilación Sur en el crecimiento de las especies, se realizó análisis de correlación de Pearson entre el Índice de Ancho de Anillo (IAA) de las especies *Cedrela angustifolia* y *Eugenia* sp y el Índice de Oscilación Sur. Se tomaron los años de crecimiento previo y crecimiento actual. El período para SOI oscila entre 1866 - 2022.

Se realizó el mismo procedimiento para el Índice Niño Oceánico (ONI) y el Índice Costero El Niño (ICEN). Los períodos para ambos índices oscilan entre 1950 - 2022. Los datos fueron descargados en los siguientes links:

<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/oni.ascii.txt>

https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/SOI/

<http://www.met.igp.gob.pe/variabclim/indices.html>

3.5.6. Obtención de datos de los índices de sequía (SPEI) y (SPI)

Los datos de SPEI (índice de Precipitación Evapotranspiración Estandarizada) se descargó mediante la página web: <https://spei.csic.es/> y la data del SPI (Índice de Precipitación Estandarizada) se realizó con la librería de "SPEI" en el programa R Studio. La descarga de datos para ambos índices se hizo en un intervalo de 12 meses "traslapados en subperíodos" de 4 meses.

Luego se procedió a utilizar la correlación de Pearson entre los Índice Ancho de Anillo (IAA) de ambas especies con los índices de sequía SPEI y SPI. El período de correlación estuvo comprendido entre 1958 - 2022.

3.5.7. Análisis espacial entre las cronologías de *Cedrela angustifolia* y *Eugenia* sp. y la Temperatura Superficial del Mar (TSM)

El análisis espacial entre los Índice de Ancho de anillo (IAA) de ambas especies y la Temperatura Superficial del Mar (TSM) se realizó durante el período de 1870 - 2015 al 99 % en la plataforma Climate Explorer <https://climexp.knmi.nl/start.cgi>

3.6. Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tabla 9

Fuentes, técnicas e instrumentos

Fuentes	Técnicas	Instrumentos
Krottenthaler et al., (2015); Marcelo-Peña (2017).	Se obtuvieron muestras de leño por método no destructivo y método destructivo. Para especies de densidad baja a media, se utilizó el barreno de Pressler y para especies de densidad alta se hizo uso de la motosierra. De cada árbol fueron obtenidas dos muestras de leño en sentido opuesto. Se acondicionaron y transportados en tubos de plástico de similar diámetro y posteriormente se fijaron en soportes de madera. Los datos de georeferencia, DAP, altura y otros, fueron registrados como parte de la información necesaria.	GPS, lápiz, lapicero, marcador indeleble, cuaderno de notas, regla, cinta diamétrica, Barreno de Pressler, motosierra, sorbetes.

	Se recolectaron muestras por método	
Villanueva-Díaz, et al., (2020)	destrutivo (15 rodajas), de <i>Eugenia</i> sp. y para <i>Cedrela angustifolia</i> , (41 núcleos de crecimiento) por el método no destructivo.	Motosierra, marcador indeleble, libreta de notas, GPS.
Villanueva-Díaz et al., (2009)	Para mejorar la visibilidad de los anillos de crecimiento, las muestras se pulieron con lijas de diferentes granos (80 - 600). Para la marcación de anillos de crecimiento anuales las muestras se observaron con ayuda de aumento 10 x. Se escanearon las secciones marcadas de las muestras de leño con una	Lijadora orbital, lijas granos 80 - 600, lápiz.
Villanueva-Díaz et al., (2014)	resolución mínima de 2400 dpi. El análisis y registro del ancho de anillos empleando las imágenes escaneadas, se realizaron a través del programa	
Mamani (2019)	CooRecorder. El programa CDentro fue muy útil para generar las series individuales en forma de grosores de anillos y se agruparon conforme a su localidad o población.	Escáner, hardware y software, programas dendrocronológicos.
Portal-Amaya (2019)	Para medir el ancho y sincronizar los anillos de crecimiento, se usará el software COFECHA. En la construcción de las cronologías de las especies, se utilizaron el programa	

ARSTAN, que eliminó los factores biológicos propios del crecimiento de los individuos (factores endógenos).

3.7. Validación (por expertos) y prueba de confiabilidad de los instrumentos

En la ejecución de esta investigación fue preciso contar con metodologías empleadas y validadas por estudios previos en reconstrucciones dendroclimáticas como Krottenthaler et al. (2015), Morales et al. (2018). El proceso de cofechado convencional se realizó mediante técnicas dendrocronológicas usadas por Stokes y Smiley (1968), Fritts (1976), y para el Cofechado calidad de la respuesta climática y exactitud de la medición de cada anillo se utilizó el programa COFECHA (Holmes, 1983; Grissino-Mayer, 2001). Para eliminar las tendencias biológicas que no tienen relación con el clima se empleó el programa de ARSTAN (Cook y Holmes, 1986).

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para relacionar las variables climáticas (precipitación y temperatura) con los anillos de crecimiento; los datos climáticos se obtuvieron de Terra Climate. Por otro lado, las variables climáticas globales se extrajeron de la plataforma KNMI Climate explorer <http://climexp.knmi.nl> y National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Finalmente se realizó el análisis de correlación de Pearson con Excel. La información de períodos de sequías y los eventos de El Niño fue contrastada mediante referencias históricas (Le Quesne, 2006).

3.9. Presentación de la información

El análisis de datos se presentó en formato (word), además, fueron ilustrados a través de tablas, figuras y gráficos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. *Estructura anatómica de los anillos de crecimiento de las especies seleccionadas*

a) *Cedrela angustifolia*

Características generales

Evaluando a simple vista las características del leño, se puede observar que no hay diferencia significativa entre el color de la albura y el duramen. Grano recto, vetado con arcos superpuestos, textura fina, olor a ajo cuando se recogen los leños, olor agradable durante el lijado, brillo medio, sabor imperceptible. Los límites de los anillos de crecimiento se distinguen por las bandas de color blanquecinas.

Descripción macroscópica

Porosidad: Poros visibles utilizando una lupa con aumento de 10 x, porosidad difusa, poros solitarios, presenta algunos poros múltiples (dos poros), su disposición de poros no tiene un patrón definido; tiene poros ovalados.

Radios: Visualización de radios con ayuda de un aumento de 10 x.

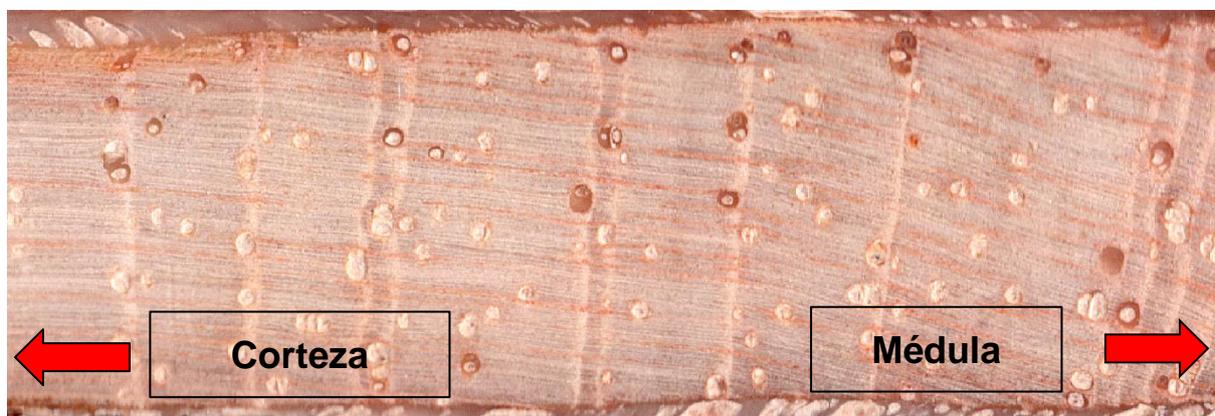
Parénquima: Parénquima paratraqueal vasicéntrico con bandas marginales.

Características de anillos anuales de *Cedrela angustifolia*

Los anillos anuales de *Cedrela angustifolia* se pueden observar sin complejidad a simple vista, para mejor visualización se usa lupa con aumento 10x; existe diferencia entre la madera temprana y la madera tardía. La limitación de cada anillo se visualiza por bandas de parénquima de color blanco. Presenta porosidad difusa. El ancho de los anillos es variable, los que se encuentran cerca de la corteza son angostos, mientras que los que se encuentran próximos a la médula son amplios. No se muestra el mismo patrón para todos los leños, en otros hubo la presencia de anillos estrechos en la parte media del leño. El número de años de *Cedrela* oscilan entre 79 - 153 años.

Figura 13

*Anillos de crecimiento de *Cedrela angustifolia**



b) *Eugenia* sp.

Características generales

Mostró diferencias de color entre la albura y el duramen. La primera se visualiza de color amarillo ligeramente naranja cremoso, mientras que el duramen tiene un color marrón ligeramente visible. Grano recto, textura fina, brillo mediano, olor imperceptible, sabor no distinguible. Fisuras en la sección transversal del leño. Límites no perceptibles a simple vista, aún con aumento de 10x.

Descripción macroscópica

Porosidad: No visibles a simple vista.

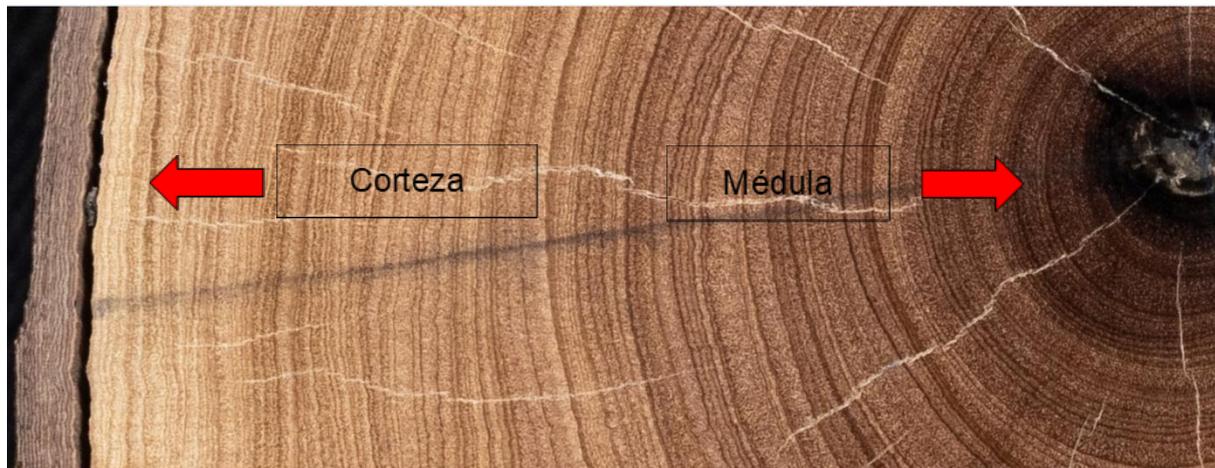
Radios: No visibles a simple vista.

Parénquima: No visible a simple vista.

Caracterización de anillos anuales de *Eugenia* sp.

Figura 14

Anillos de crecimiento de Eugenia sp.



Los anillos de crecimiento de *Eugenia* sp son visibles. El conteo de anillos aun con el uso de una lupa 10 x de aumento presentó limitaciones, se necesita usar equipos como estereoscopio o sistema velmex para marcar nuevamente los anillos mediante y tener mayor precisión. Además, apoyarse en el uso de programas dendrocronológicos para medición: Coorecorder 7.8.1 o ImageJ. La verificación de los anillos anuales se realizó mediante el uso de Coorecorder 7.8.1.

Los anillos de crecimiento visibles que están formados en su totalidad contabilizados oscilaron entre 85 - 215, vinculados a un anillo por año, presentó el mismo número de años.

4.1.2. Análisis dendroclimático

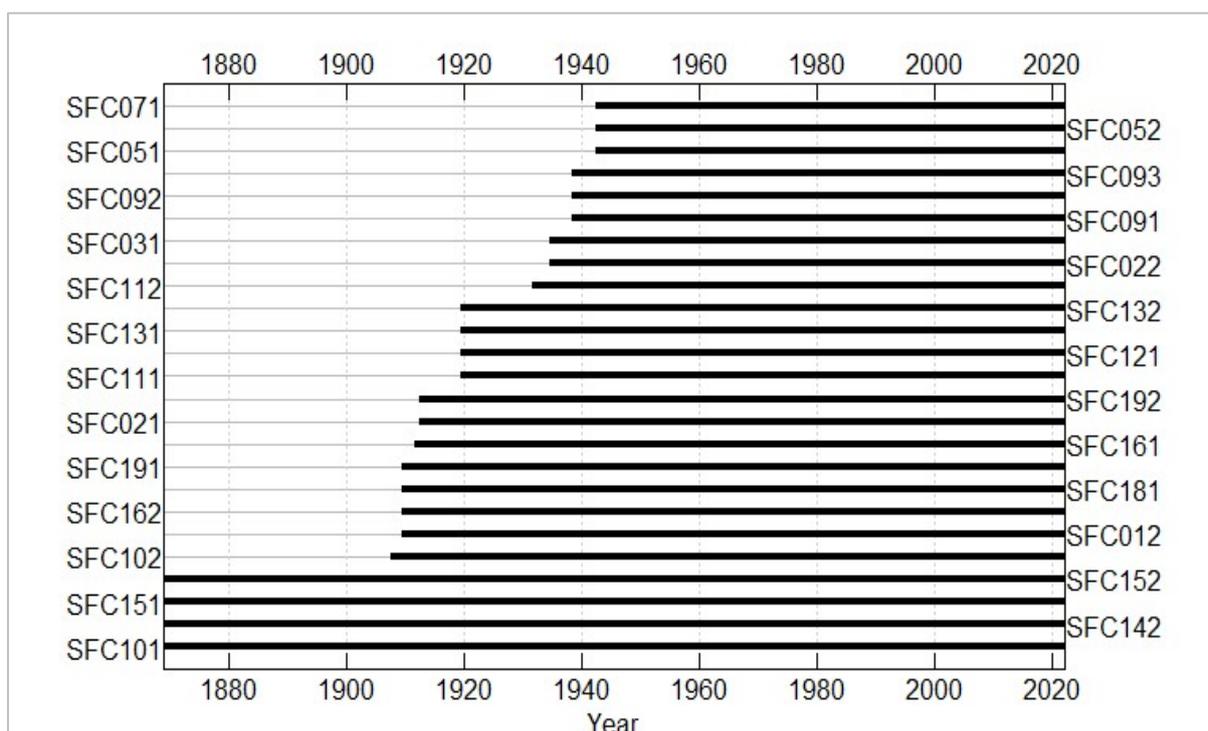
Construcción de las cronologías de *Cedrela angustifolia* y *Eugenia* sp.

a) *Cedrela angustifolia*

Para las 25 series empleadas para la confección de la cronología master de *Cedrela angustifolia*, se alcanzó una intercorrelación de 0.33 al 99 % de confianza. Los árboles más juveniles presentaron edades 79 años (1944 - 2022) y 80 años (1943 - 2022). Los árboles más longevos reportaron edades de 154, 155 y 157 años respectivamente (1869 - 2022), (1868 - 2022) (1866 - 2022).

Figura 15

Series anuales y proceso de cofechado para la obtención de cronología master de Cedrela angustifolia



b) *Eugenia* sp.

La construcción de la cronología de *Eugenia* sp se utilizaron solo 41 series de anillos para la obtención de la serie maestra de *Eugenia* sp, su intercorrelación fue de 0.363 al 99 % de confianza. Los árboles con edades más juveniles fueron de 112 años (1909 - 2020) y 106

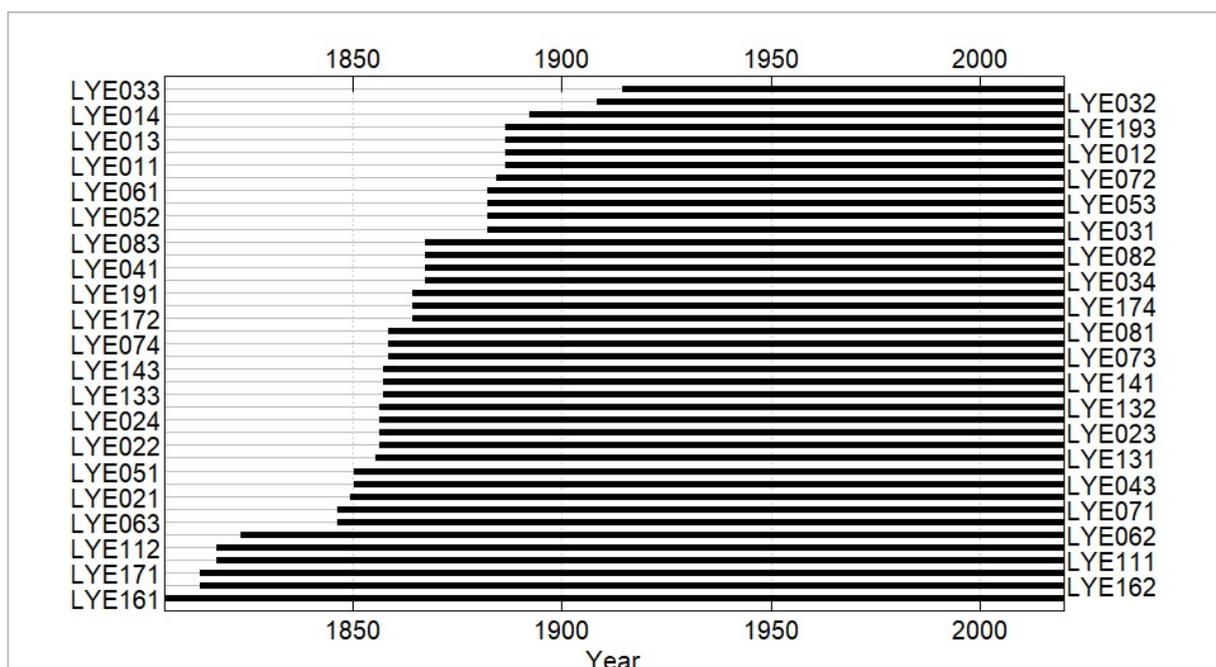
años (1915 - 2020). Los períodos más amplios hallados fueron 216 años (1805 - 2020), 207 años (1814 - 2020), 203 años (1818 - 2020) y 197 años (1824 - 2020).

Estandarización de series maestras de *Cedrela angustifolia* y *Eugenia* sp

Series anuales y proceso de cofechado para la construcción de la cronología master de *Eugenia* sp.

Figura 16

Series anuales y proceso de cofechado para la construcción de la cronología master de Eugenia sp.



Estandarización para *Cedrela angustifolia*

Para el suavizado de la cronología de *Cedrela angustifolia* se aplicó curva de splines cúbicos de 50 años (línea pronunciada de color verde intenso) y se empleó la curva exponencial negativa para la estandarización. La robustez de la cronología está sombreada de color celeste. La cronología tuvo un período de 154 años, sin embargo, a partir de 1890 es donde se visualizó picos bruscos.

Se presentó mayor robustez a partir de 1910 (113 años), usando este período para el origen de la serie master. Crispín (2021) sostiene que, a partir del período donde se muestra mayor robustez existe mayor confiabilidad para construir la cronología maestra.

Figura 17

Cronología estándar de Cedrela angustifolia

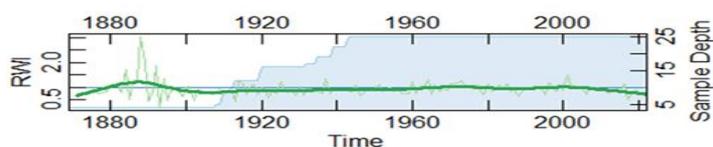


Figura 18

Cronología residual de Cedrela angustifolia

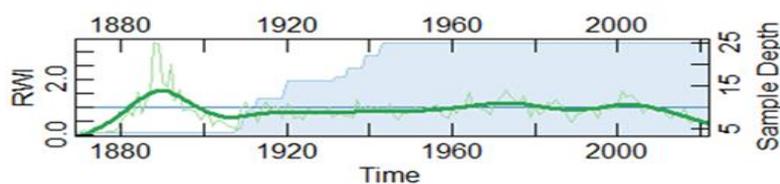


Tabla 10

Registro de las series anuales de Cedrela angustifolia

Parámetros - Estadísticos	Cedrela angustifolia
Números de árboles	21
Números de las series fechadas	25
Número de mediciones (total de número de anillos medidos)	2685
Media de la longitud de las series	107.4
Rango	154
Período	1869 - 2022
Intercorrelación media de las series	0.330
Autocorrelación de primer orden (AR1)	0.61
Ausencia de anillos de crecimiento	-
Sensibilidad media (Ms)	0.427
GIk	0.583
Rbar.wt	0.189
Rbar.bt	0.124
EPS	0.70

Nota: Según Surayothee et al. (2021), sostienen que los parámetros y estadísticos más relevantes son: Sensibilidad media (Ms), Sincronía de crecimiento Gleichläufigkei (Glk), Correlación dentro del mismo árbol (Rbar.wt), Correlación entre los árboles (Rbar. bt), Señal total de la población expresada (EPS). El análisis estadístico se realizó después de la eliminación de las tendencias biológicas de la cronología.

Estandarización para *Eugenia* sp.

Para el suavizado de la cronología de *Eugenia* sp se aplicó curva de splines cúbicos de 50 años (línea pronunciada de color verde intenso) para el suavizado de la cronología y se empleó la curva exponencial negativa para la estandarización. La robustez de la cronología está sombreada de color celeste.

La cronología constituyó un período de 216 años, sin embargo, desde el año 1850 se registró mayor robustez de series (171 años) mostrado en la Figura 19 y Figura 20, utilizando este período para originar la serie maestra. Crispín De La Cruz (2021) menciona que, a partir del período donde se muestra mayor robustez existe mayor confiabilidad para construir la cronología maestra.

Figura 19

Cronología estándar de Eugenia sp.

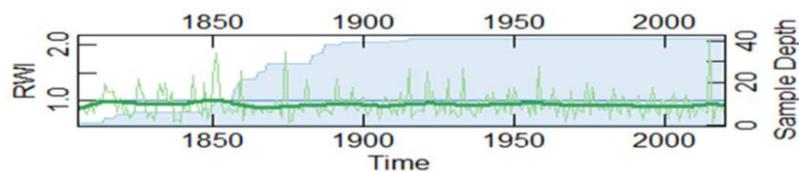


Figura 20

Cronología residual de Eugenia sp.

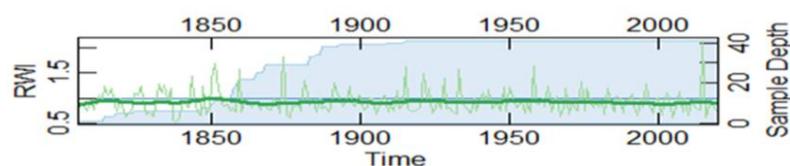


Tabla 11*Registro de las series anuales de Eugenia sp.*

Parámetros - Estadísticos	Eugenia sp
Números de árboles	15
Números de las series fechadas	41
Número de mediciones (total de número de anillos medidos)	6538
Media de la longitud de las series	159.463
Rango	216
Período	1805 - 2020
Intercorrelación media de las series	0.363
Autocorrelación de primer orden (AR1)	0.272
Ausencia de anillos de crecimiento	-
Sensibilidad media (Ms)	0.462
Glk	0.593
Rbar.wt	0.182
Rbar.bt	0.13
EPS	0.80

Nota: Surayothee et al. (2021) sostiene que, los parámetros y estadísticos más relevantes son: Sensibilidad media (Ms), Sincronía de crecimiento Gleichläufigkei (Glk), Correlación dentro del mismo árbol (Rbar.wt), Correlación entre los árboles (Rbar. bt), Señal total de la población expresada (EPS). El análisis estadístico se realizó después de la eliminación de las tendencias biológicas de la cronología.

4.1.2.1. Influencia de las variables climáticas y el crecimiento de las especies

a) *Cedrela angustifolia*

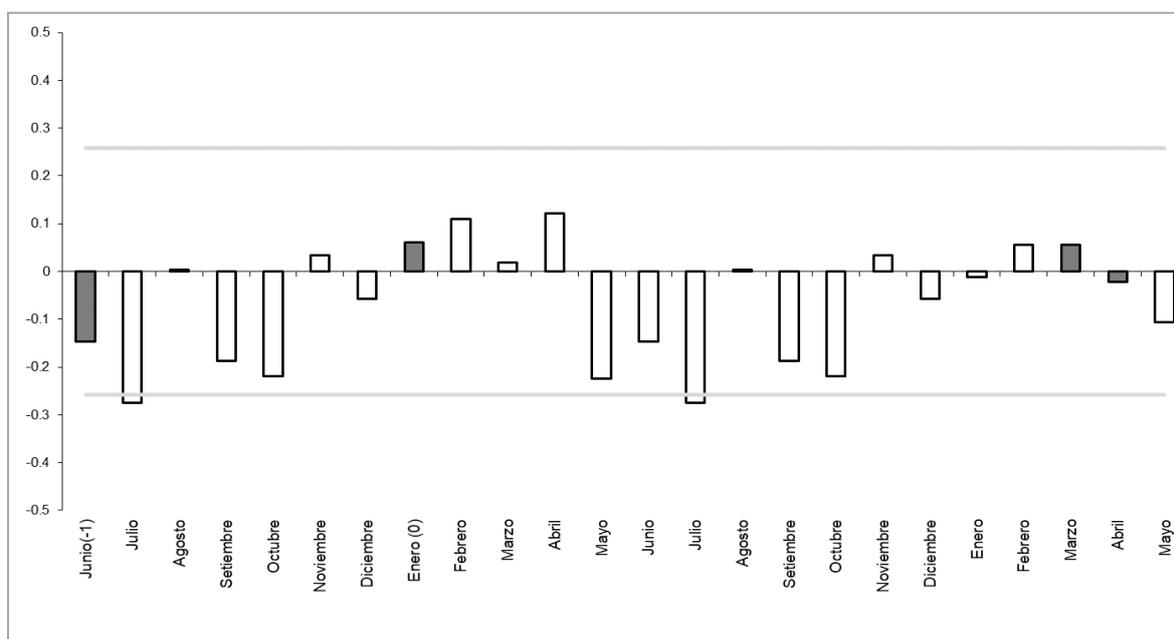
Utilizando el índice de ancho de anillo (IAA) estándar (std) se realizó la correlación de Pearson con las variables climáticas locales en el período de 1958 - 2021. El análisis de correlación se hizo para el crecimiento previo (t-1) y el crecimiento actual (t) de la especie.

Precipitación

El crecimiento de la especie *Cedrela angustifolia* tomó un rango de 24 meses, desde junio del año anterior hasta mayo del año actual del año calendario. El período de datos mensuales de precipitación estuvo comprendido entre 1958 - 2021. En el período de crecimiento previo se encontró correlaciones bajas negativas ($p < 0.01$) en los meses julio ($r = -0.275$) y octubre ($r = -0.219$) del crecimiento previo, por otro lado, también hubo correlaciones bajas negativas ($p < 0.01$) para el crecimiento actual en los meses de mayo ($r = -0.225$), julio ($r = -0.28$) y octubre ($r = -0.22$).

Figura 21

Relación entre la precipitación del clima local y Cedrela angustifolia



Nota. Las barras superiores representan correlaciones positivas y las barras inferiores indican correlaciones negativas entre ambas variables.

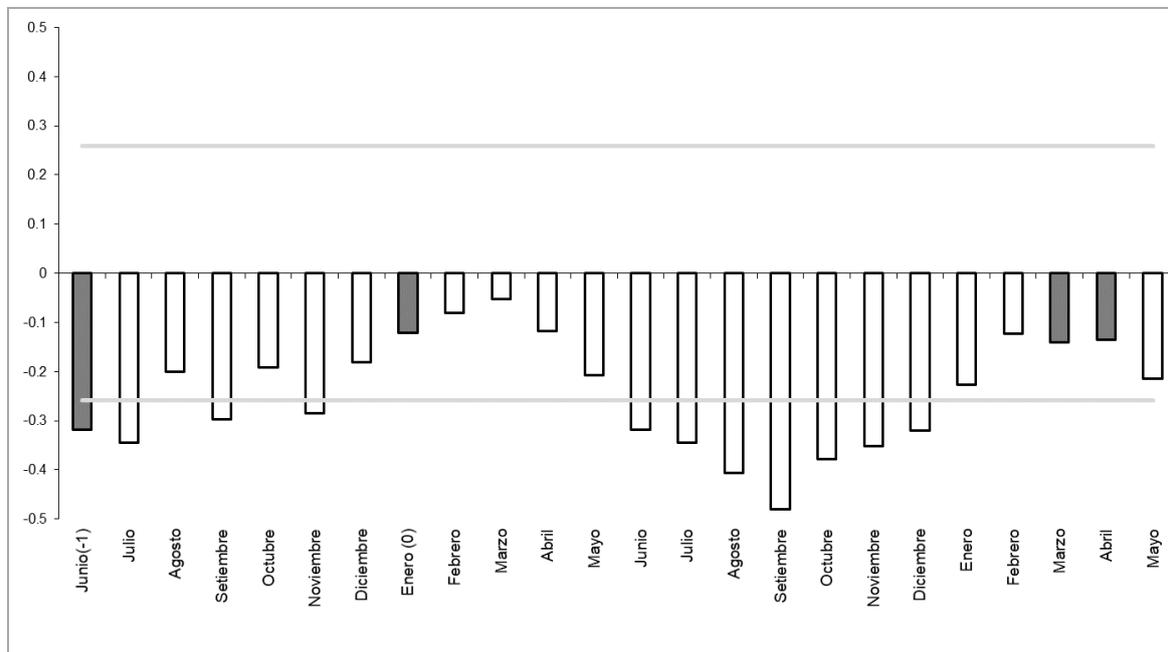
Temperatura media

La temperatura media y el crecimiento de la especie, indicaron correlaciones negativas en ambos períodos. En el crecimiento previo se encontraron correlaciones negativas significativas ($p < 0.01$) en los meses junio ($r = -0.318$), julio ($r = -0.345$), septiembre ($r = -0.297$) y noviembre ($r = -0.285$). Del mismo modo, se hallaron correlaciones negativas significativas ($p < 0.01$) para el crecimiento actual en los meses de junio ($r = -0.320$), julio ($r =$

-0.350), agosto ($r = -0.407$), septiembre ($r = -0.480$), octubre ($r = -0.378$), noviembre ($r = -0.352$), diciembre ($r = -0.321$).

Figura 22

Influencia de la temperatura media en el clima local sobre Cedrela angustifolia



Nota. El gráfico barras indican correlaciones negativas entre la temperatura media de San Felipe y *Cedrela angustifolia*.

b) Eugenia sp.

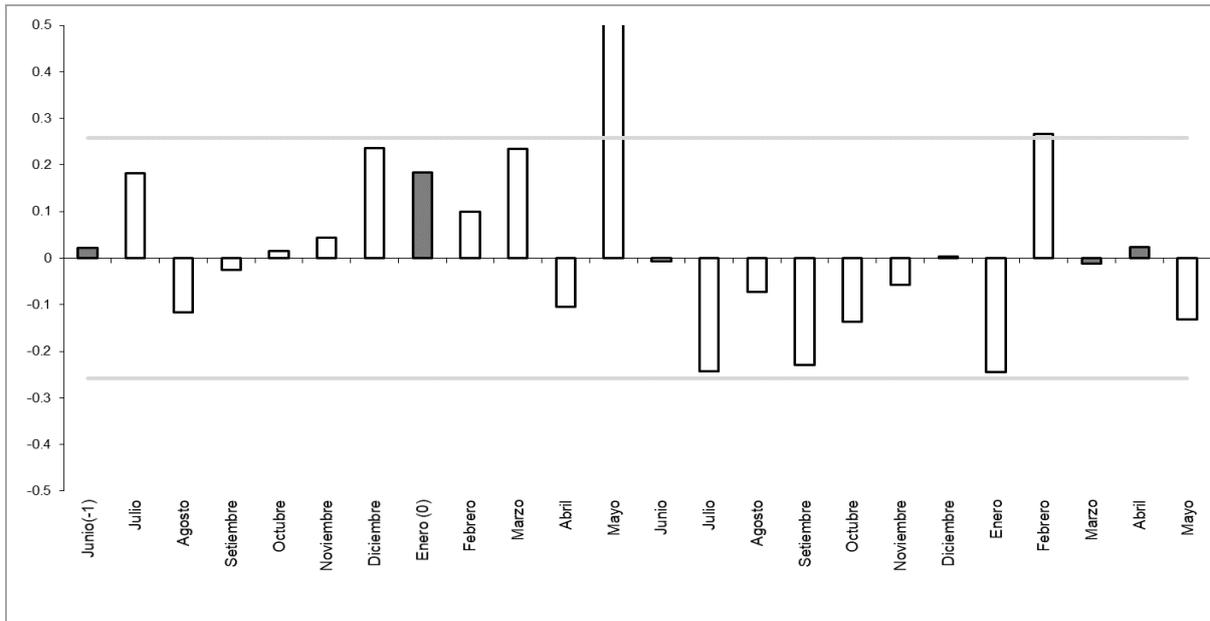
Se realizó el análisis de correlación de la especie entre el índice de ancho de anillo (IAA) estándar (std) con las variables del clima local. La información climática se obtuvo en valores mensuales, abarcando un período de 64 años, desde 1958 - 2021. El análisis de correlación se hizo para el crecimiento previo (t-1) y el crecimiento actual (t) de la especie.

Precipitación

Las precipitaciones locales, obtuvieron correlaciones significativas positivas ($p < 0.01$) en el mes de mayo ($r = 0.570$) al finalizar el crecimiento previo, y en el mes de febrero ($r = 0.270$) del período de crecimiento actual, empezando el último cuatrimestre del año actual.

Figura 23

Interacción entre la precipitación en el clima local y Eugenia sp.



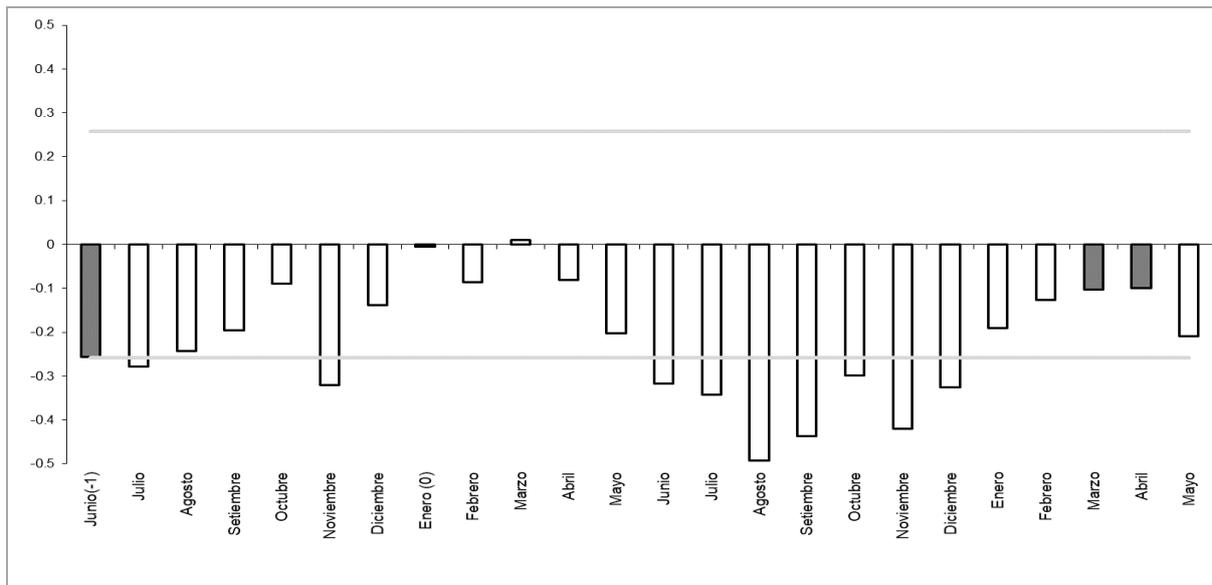
Nota. Se determina que en el mes de mayo hubo mayor correlación entre ambas variables.

Temperatura media

Las correlaciones entre la temperatura promedio y el índice de ancho de anillo (IAA) estándar (std), mostraron valores significativos negativos al 99 % de significancia en el período de crecimiento actual de la especie. En los meses de invierno y primavera austral: junio ($r = -0.318$), julio ($r = -0.342$), agosto ($r = -0.492$), septiembre ($r = -0.436$), octubre ($r = -0.298$), noviembre ($r = -0.420$); finalizando a principios de verano austral en el mes de diciembre ($r = -0.326$).

Figura 24

Asociación entre la temperatura media en el clima local y Eugenia sp.



Nota. La figura muestra correlaciones negativas entre la temperatura media del clima local de Santa Rosa de La Yunga y *Eugenia sp.*

4.1.2.2. Influencia de los eventos ENSO en el crecimiento de las especies

a) *Cedrela angustifolia*

En relación con los índices que monitorean y evalúan los eventos ENSO, los resultados obtenidos mediante el análisis de Correlación de Pearson al 99 % de confianza, mostraron que no existe influencia entre el crecimiento de *Cedrela angustifolia* y la Temperatura Superficial del Mar (TSM). Además, los resultados mostraron que las correlaciones no fueron significativas para los índices SOI, ICEN y ONI.

b) *Eugenia sp.*

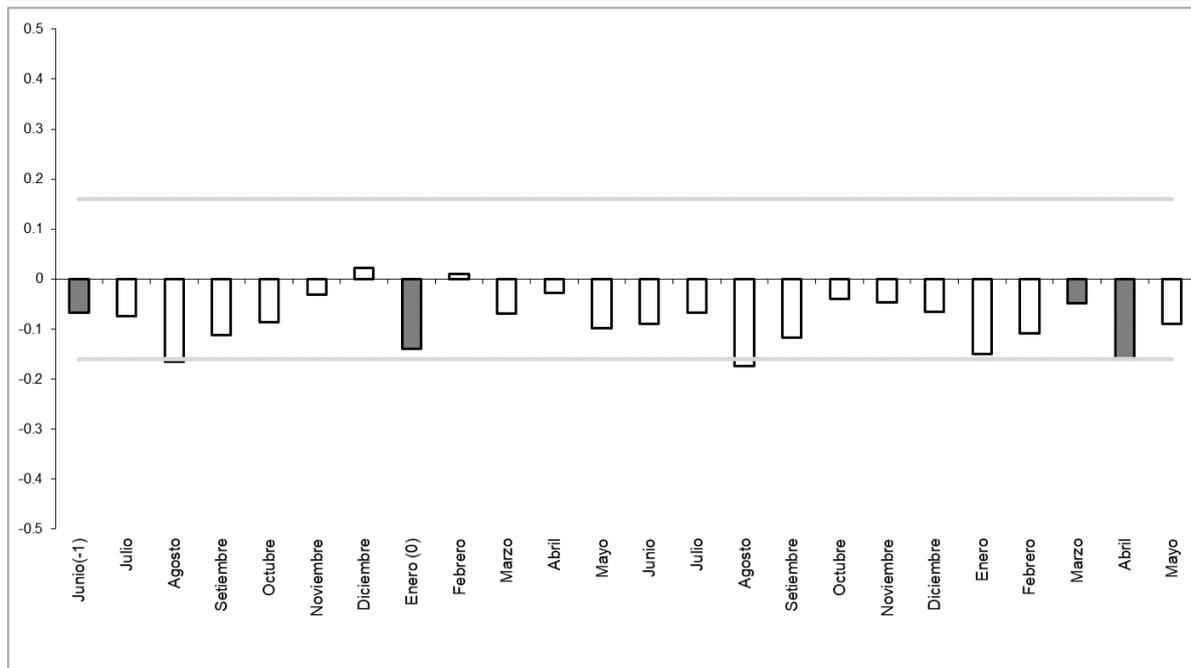
En contraste, las correlaciones entre el Índice de ancho de anillo estándar (IAA std) de *Eugenia sp* y los índices ONI e ICEN, mostraron correlaciones positivas en el período de crecimiento actual de la especie. Los resultados de correlación de Pearson ($p < 0.01$) para ONI indican que iniciaron en junio del invierno austral hasta marzo de la estación de otoño austral; junio ($r = 0.260$), julio ($r = 0.302$), agosto ($r = 0.324$), septiembre ($r = 0.321$), octubre ($r = 0.309$), noviembre ($r = 0.300$), diciembre ($r = 0.302$), enero ($r = 0.309$), febrero ($r = 0.297$) y

marzo ($r=0.264$). Finalmente, para ICEN, se mostraron correlaciones positivas en los meses de agosto ($r = 0.273$), septiembre ($r = 0.282$) y octubre ($r = 0.272$). No obstante, el índice SOI obtuvo correlaciones negativas poco significativas en el período del crecimiento previo conjuntamente con el crecimiento actual.

SOI

Figura 25

Conexión entre el índice SOI y Eugenia sp.

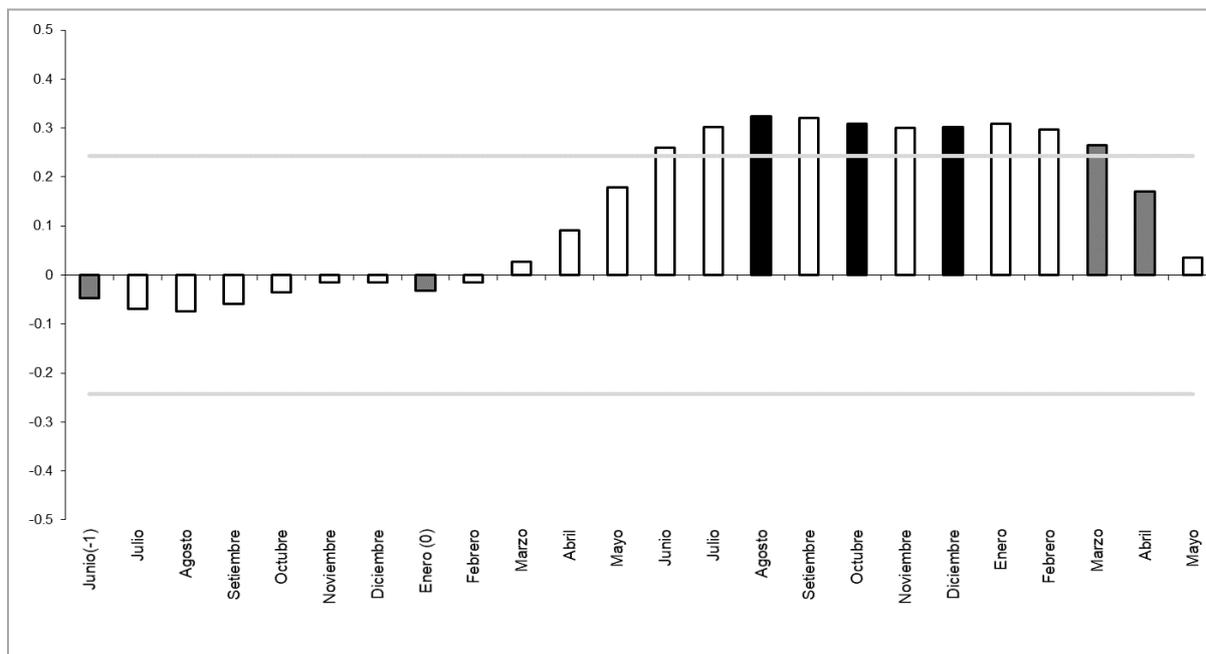


Nota. El gráfico de barras muestra correlaciones negativas entre el índice SOI y *Eugenia sp.*

ONI

Figura 26

Influencia entre el índice ONI y Eugenia sp

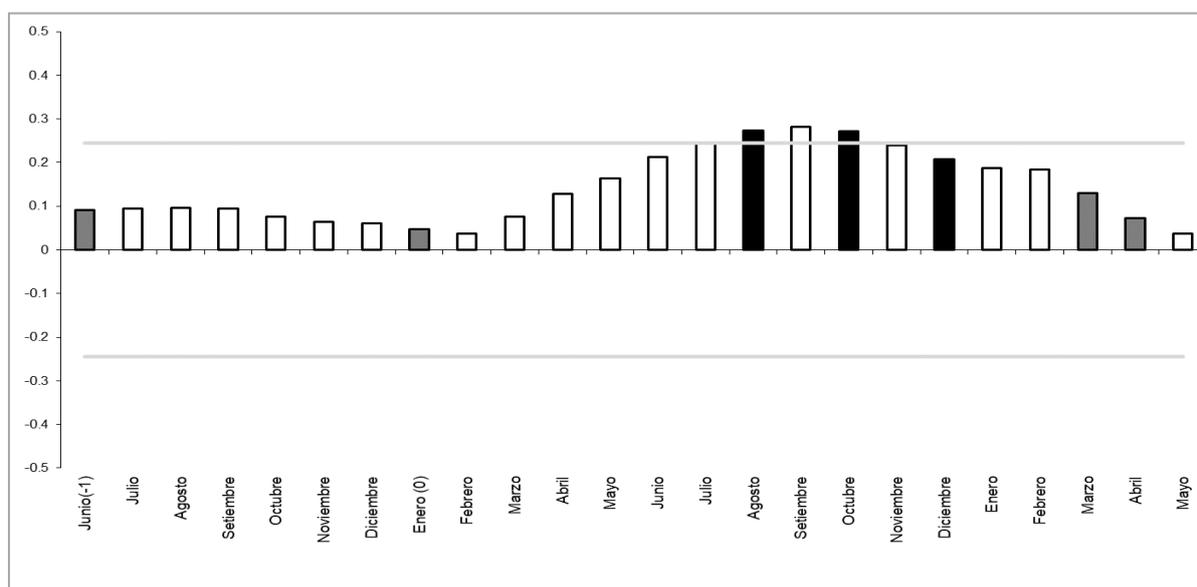


Nota. El gráfico de barras muestra correlaciones positivas entre el índice ONI y *Eugenia sp*

ICEN

Figura 27

Correlación entre el índice ICEN y Eugenia sp.



Nota. El gráfico de barras indica correlaciones positivas entre el índice ICEN y *Eugenia* sp.

4.1.2.3. Influencia de la temperatura superficial de mar (TSM) de las zonas de El Niño en el crecimiento de las especies

a) *Cedrela angustifolia*

No se encontraron correlaciones significativas, ya sean positivas o negativas, entre las regiones de El Niño y el índice ancho de anillo estándar (IAA std) de la especie. Esto se aplica tanto a los valores de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) como a las anomalías de las zonas de El Niño.

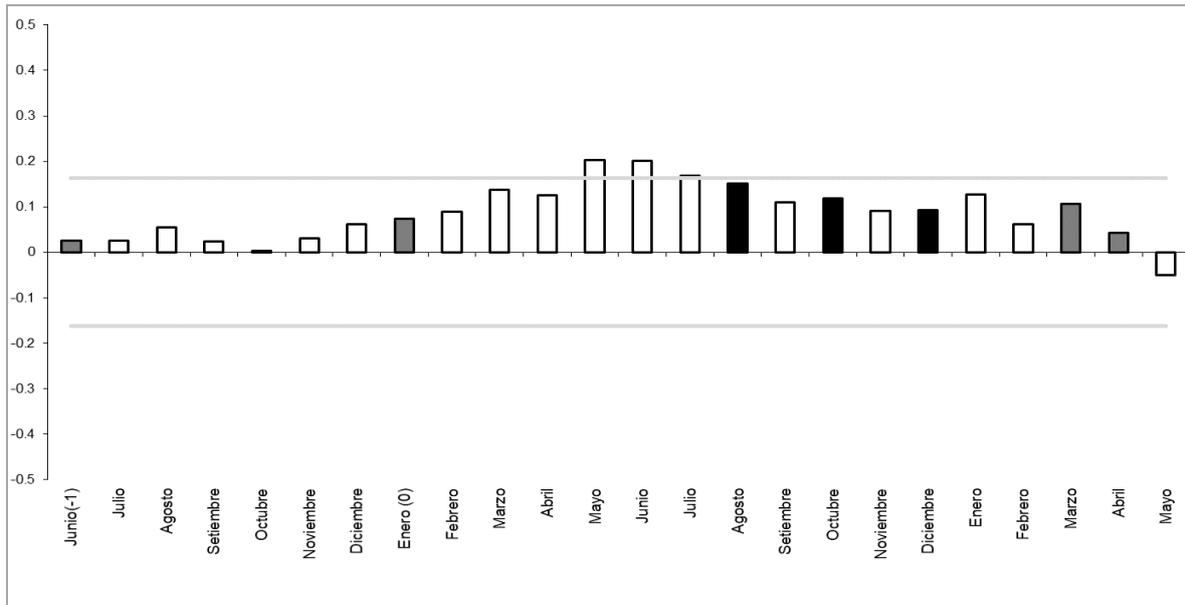
b) *Eugenia* sp.

Con *Eugenia* sp., se obtuvieron correlaciones positivas poco relevantes a un nivel de significancia del 99%; entre los valores reales de la TSM conjuntamente con las anomalías de las regiones de El Niño y el índice de la cronología estándar de *Eugenia* sp.

En el crecimiento actual y los valores de la TSM de la zona 1+2 se obtuvieron correlaciones positivas débiles en los meses de mayo ($r = 0.203$), junio ($r = 0.200$) y julio ($r = 0.168$). De manera similar ocurrió con las correlaciones entre el crecimiento actual de la especie y las anomalías de la región Niño 1+2. Las correlaciones positivas significativas estuvieron presentes en los meses de mayo ($r = 0.199$), junio ($r = 0.196$) y julio ($r = 0.168$) (Figura 28).

Figura 28

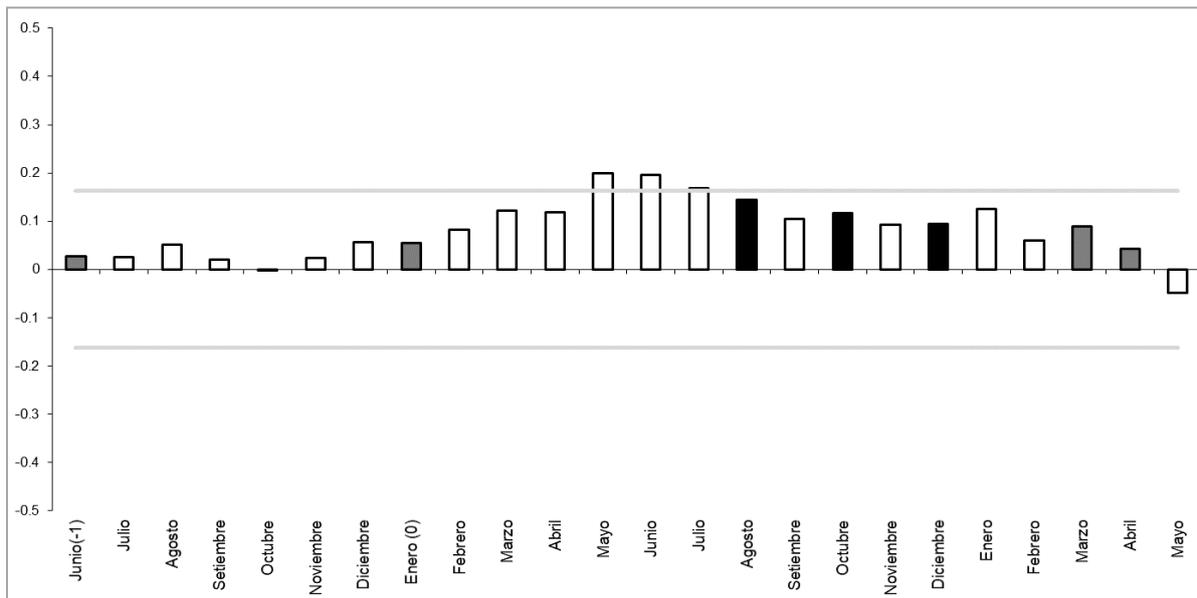
Relación entre los valores de la TSM de la zona Niño 1+2 y Eugenia sp.



Nota. Se muestran correlaciones positivas entre la TSM Niño 1+2 y *Eugenia sp*

Figura 29

Relación entre las anomalías de la zona Niño 1+2 y Eugenia sp.

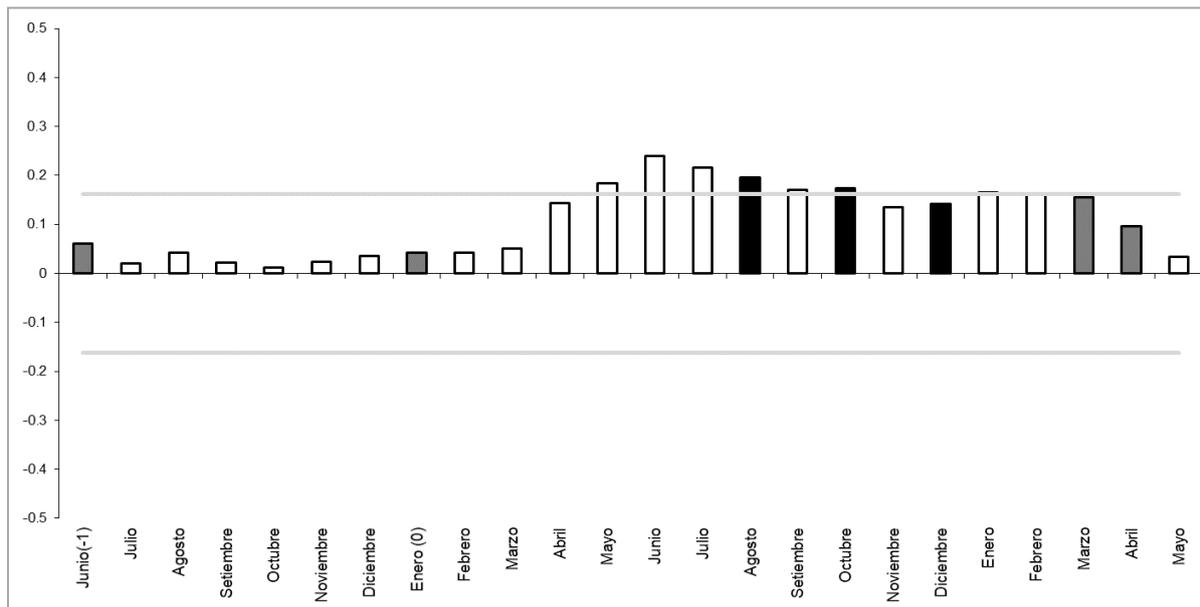


Nota. Se muestran correlaciones positivas entre las anomalías del Niño 1+2 y *Eugenia sp.*

En el crecimiento actual de la cronología estándar de *Eugenia* sp. y los valores de la TSM de la zona 3 de El Niño se obtuvieron correlaciones positivas débiles en los meses de mayo ($r = 0.184$), junio ($r = 0.240$), julio ($r = 0.216$), agosto ($r = 0.195$), septiembre ($r = 0.171$), octubre ($r = 0.174$) y enero ($r = 0.166$). Las correlaciones de Pearson fueron semejantes entre el crecimiento actual de la especie y las anomalías de la región Niño 3 (Figura 30)

Figura 30

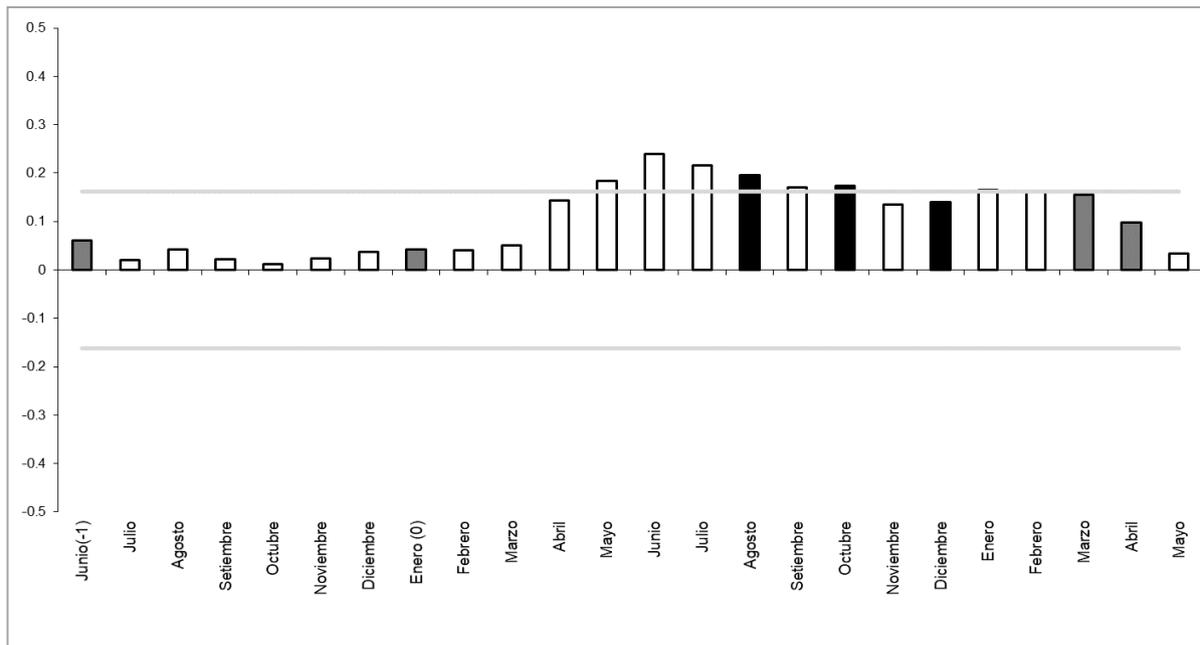
Influencia entre los valores de la TSM de la zona Niño 3 y Eugenia sp.



Nota. Se muestran correlaciones positivas entre la TSM Niño 3 y *Eugenia* sp

Figura 31

Influencia entre las anomalías de la zona Niño 3 y Eugenia sp.

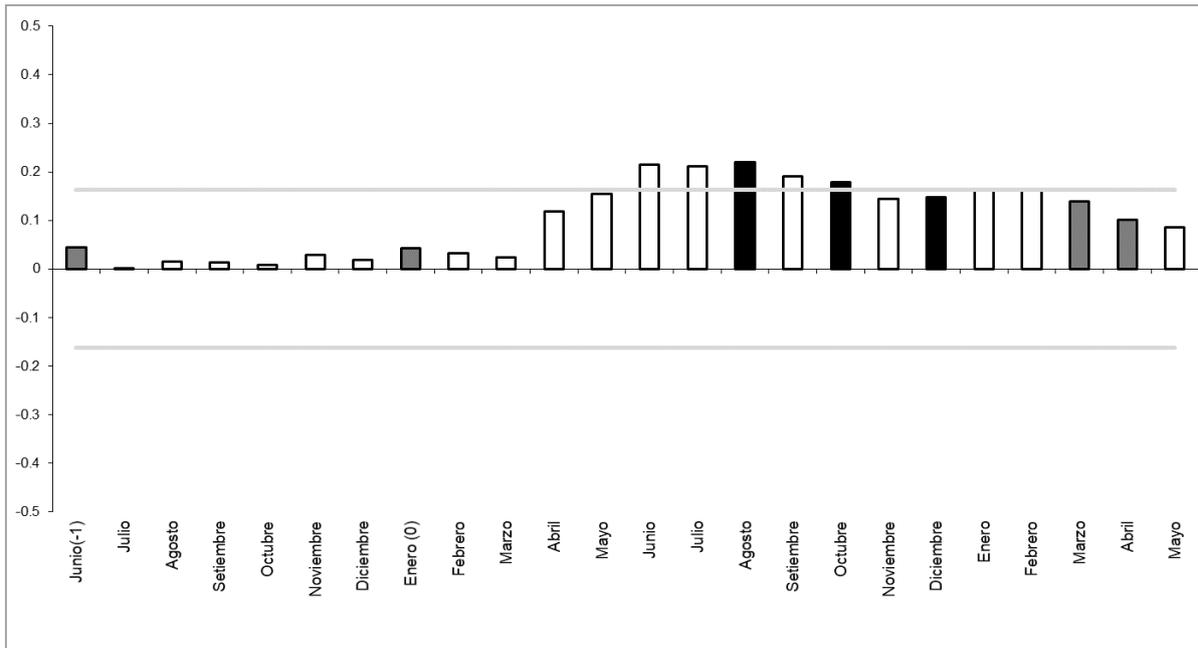


Nota. Se muestran correlaciones positivas entre las anomalías de Niño 3 y *Eugenia* sp.

En el período de crecimiento actual de la cronología estándar de *Eugenia* sp., y los valores de la TSM de la zona 3.4 de El Niño se obtuvieron correlaciones positivas débiles ($p < 0.01$) en los meses de junio ($r = 0.214$), julio ($r = 0.211$), agosto ($r = 0.220$), septiembre ($r = 0.191$), octubre ($r = 0.179$) y febrero ($r = 0.165$). Las correlaciones de Pearson fueron semejantes entre el crecimiento actual de la especie y las anomalías de la región Niño 3.4.

Figura 32

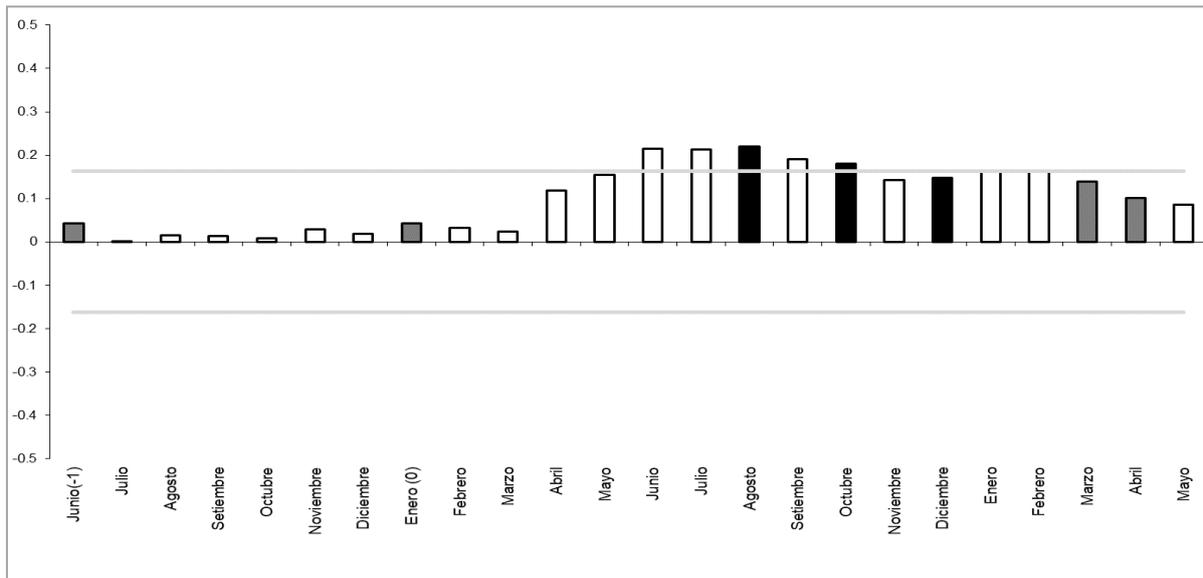
Asociación entre los valores de la TSM de la zona Niño 3.4 y Eugenia sp.



Nota. Se muestran correlaciones positivas entre la TSM Niño 3.4 y *Eugenia sp.*

Figura 33

Asociación entre las anomalías de la región Niño 3.4 y Eugenia sp.



Nota. Se muestran correlaciones positivas entre las anomalías Niño 3.4 y *Eugenia sp.*

4.1.2.4. Influencia de la sequía en el crecimiento de las especies utilizando los índices SPEI (Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración) y SPI (Índice Estandarizado de Precipitación)

a) *Cedrela angustifolia*

SPI

En el análisis de correlaciones en los Índices Estandarizados de Precipitación (SPI) de 3, 4, 6, 9 y 12 meses, no se observaron resultados significativos, considerando que el mayor valor significativo fue una correlación positiva baja de $r = 0.11$.

SPEI

En el análisis de correlación entre la cronología estándar y el SPEI a diversas escalas temporales, se encontraron resultados significativos. En el crecimiento previo, para el SPEI de 3 meses, se destacaron correlaciones positivas en junio ($r = 0.299$), julio ($r = 0.304$), agosto ($r = 0.247$), enero ($r = 0.281$), febrero ($r = 0.264$). Durante el crecimiento actual, se observaron correlaciones positivas en junio ($r = 0.300$), julio ($r = 0.310$), agosto ($r = 0.250$), septiembre ($r = 0.242$), diciembre ($r = 0.221$), enero ($r = 0.300$), febrero ($r = 0.26$) (Figura 34).

Para el SPEI de 4 meses en el crecimiento previo, se registraron correlaciones positivas en julio ($r = 0.298$) y agosto ($r = 0.305$). En el inicio de la primavera austral, en septiembre, se observó una correlación positiva ($r = 0.273$), y al finalizar el verano austral, diciembre ($r = 0.252$), enero ($r = 0.265$) y febrero ($r = 0.283$) (Figura 34).

En el crecimiento actual, se encontraron correlaciones positivas en julio ($r = 0.299$), agosto ($r = 0.310$), septiembre ($r = 0.274$), noviembre ($r = 0.230$), diciembre ($r = 0.254$), enero ($r = 0.270$) y febrero ($r = 0.300$) (Figura 34).

Para el SPEI de 6 meses, tanto en el crecimiento previo como en el actual, se obtuvieron correlaciones positivas significativas en septiembre ($r = 0.317$), octubre ($r = 0.304$), noviembre ($r = 0.266$), diciembre ($r = 0.264$), enero ($r = 0.297$), febrero ($r = 0.296$), abril ($r = 0.258$) y mayo ($r = 0.268$) (Figura 34).

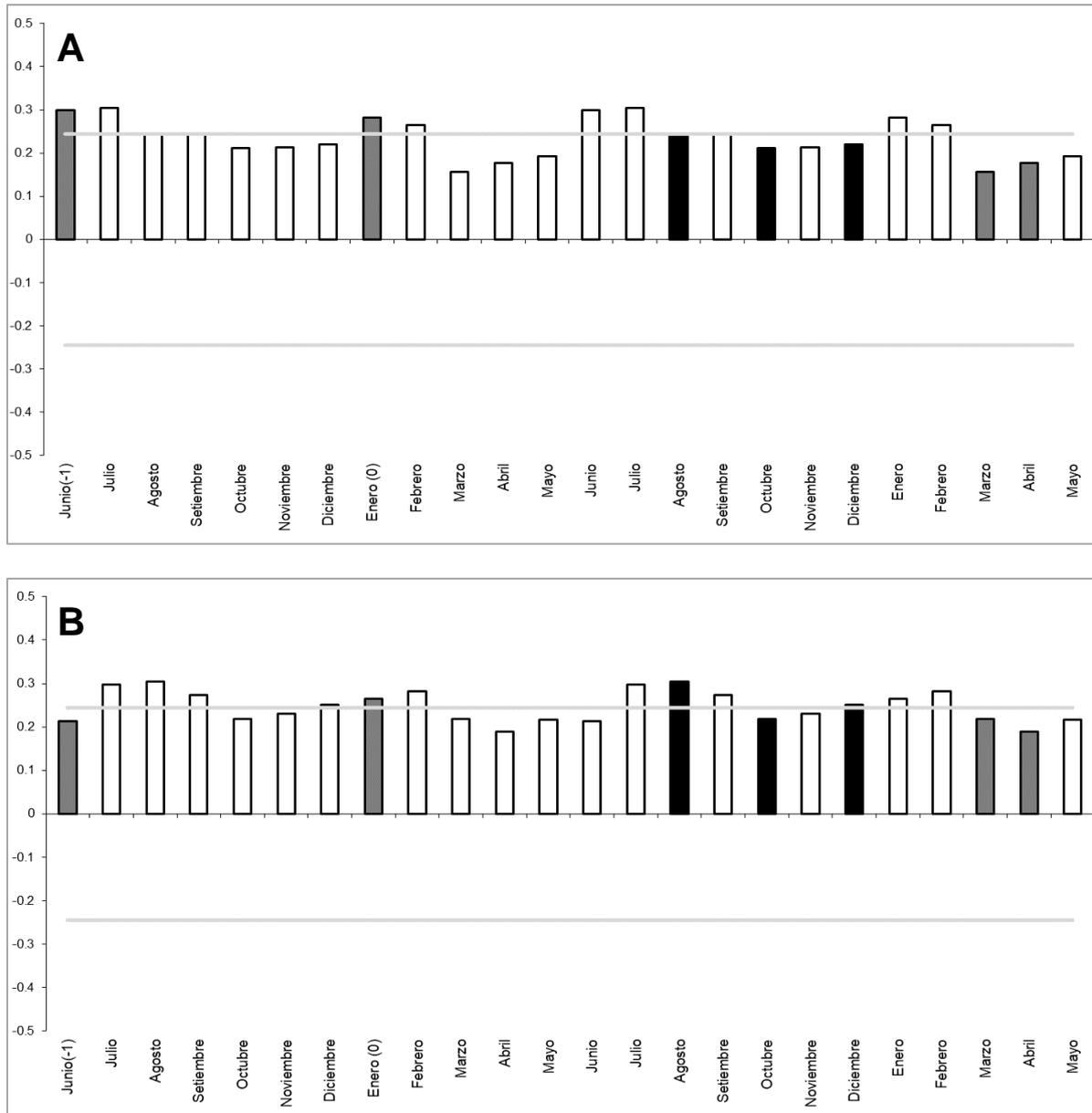
Con respecto al SPEI de 9 meses, se observaron correlaciones positivas en junio ($r = 0.259$), julio ($r = 0.263$), agosto ($r = 0.262$), octubre ($r = 0.250$), noviembre ($r = 0.254$),

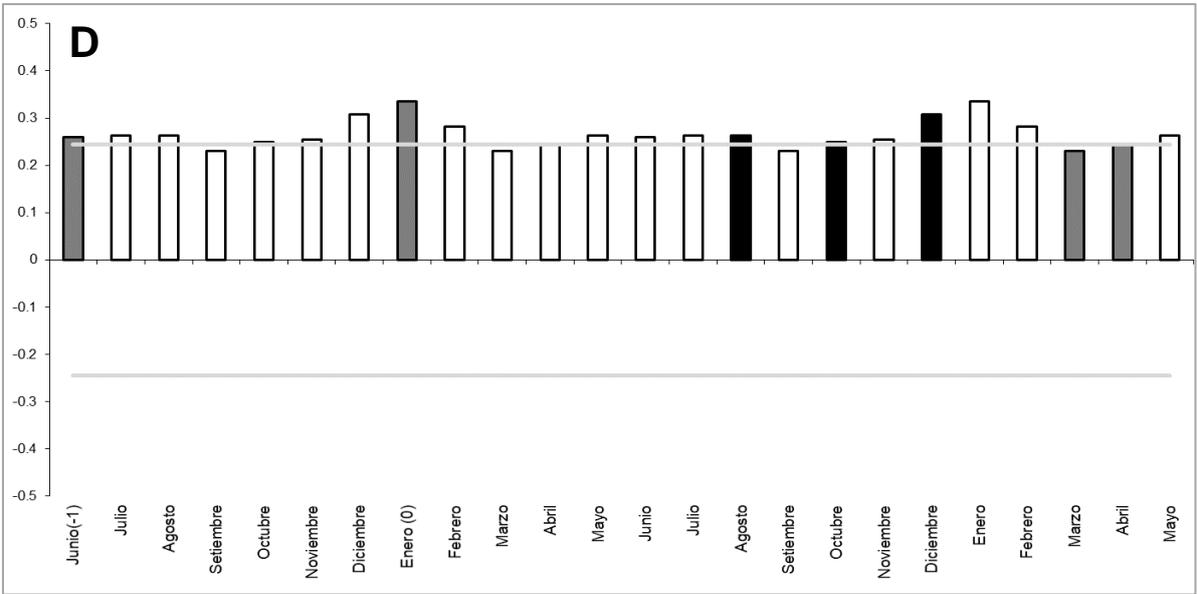
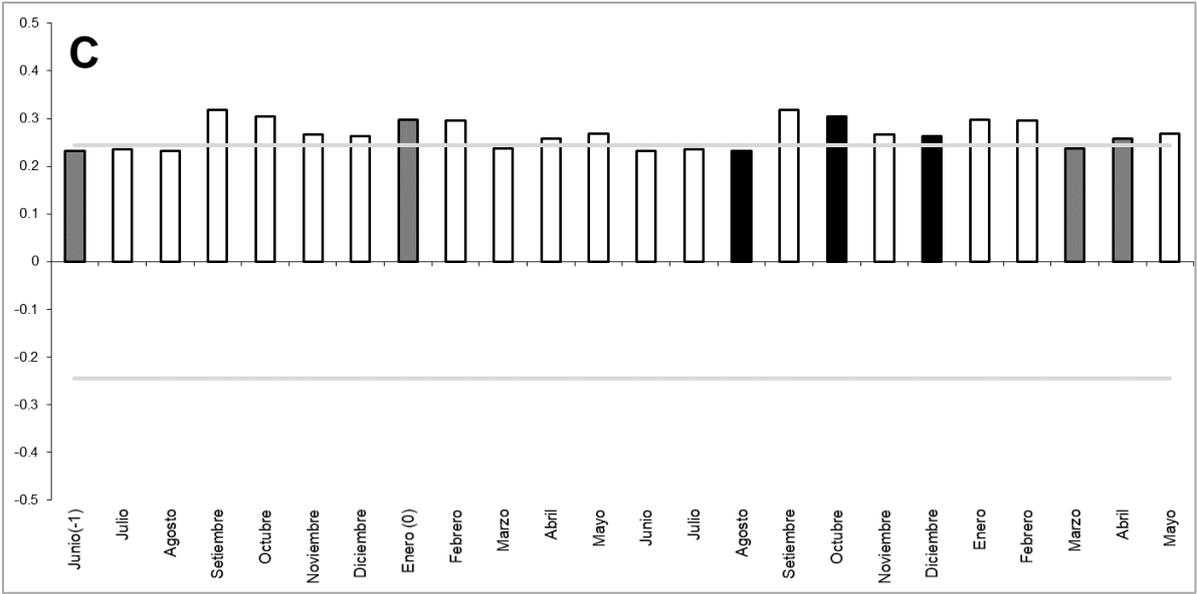
diciembre ($r = 0.309$), enero ($r = 0.336$), febrero ($r = 0.282$), abril ($r = 0.244$) y mayo ($r = 0.262$) durante el crecimiento previo. En el crecimiento actual, persistieron correlaciones positivas en los mismos meses (Figura 34).

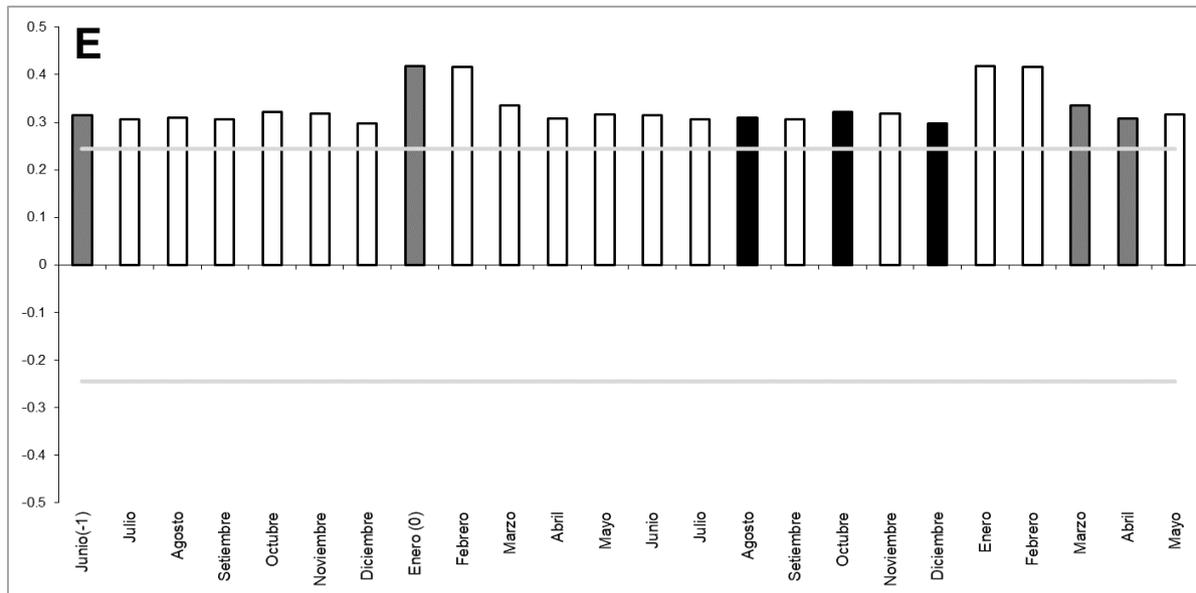
La correlación de Pearson ($p < 0.01$) entre la cronología estándar y el SPEI de 12 meses fue significativamente positiva en ambos periodos de crecimiento, con correlaciones más elevadas en comparación con otros SPEI. Durante el crecimiento previo, se presentaron en junio ($r = 0.315$), julio ($r = 0.306$), agosto ($r = 0.309$), septiembre ($r = 0.307$), octubre ($r = 0.321$), noviembre ($r = 0.319$), diciembre, enero ($r = 0.418$), febrero ($r = 0.416$) y marzo ($r = 0.336$), abril ($r = 0.308$) y mayo ($r = 0.316$). De manera similar, durante el crecimiento actual, se registraron correlaciones significativas en los mismos meses. En resumen, se observaron correlaciones consistentes y significativas entre la cronología estándar y el SPEI en diferentes periodos y fases de crecimiento de la especie *Eugenia* sp (Figura 34).

Figura 34

Correlación de Pearson $p < 0.01$ entre IAA std *Cedrela angustifolia* y SPEI







Nota. A: Correlación de Pearson al 99 % de confianza $p < 0.01$ entre el Índice de ancho de anillo estándar (IAAstd) de *Cedrela angustifolia* y el SPEI 3 meses. B: Correlación de Pearson $p < 0.01$ entre el Índice de ancho de anillo estándar (IAAstd) de *Cedrela angustifolia* y el SPEI 4 meses. C: Correlación de Pearson $p < 0.01$ entre el Índice de ancho de anillo estándar (IAAstd) de *Cedrela angustifolia* y el SPEI 6 meses. D: Correlación de Pearson $p < 0.01$ entre el Índice de ancho de anillo estándar (IAAstd) de *Cedrela angustifolia* y el SPEI 9 meses. E: Correlación de Pearson $p < 0.01$ entre el Índice de ancho de anillo estándar (IAAstd) de *Cedrela angustifolia* y el SPEI 12 meses.

b) *Eugenia* sp.

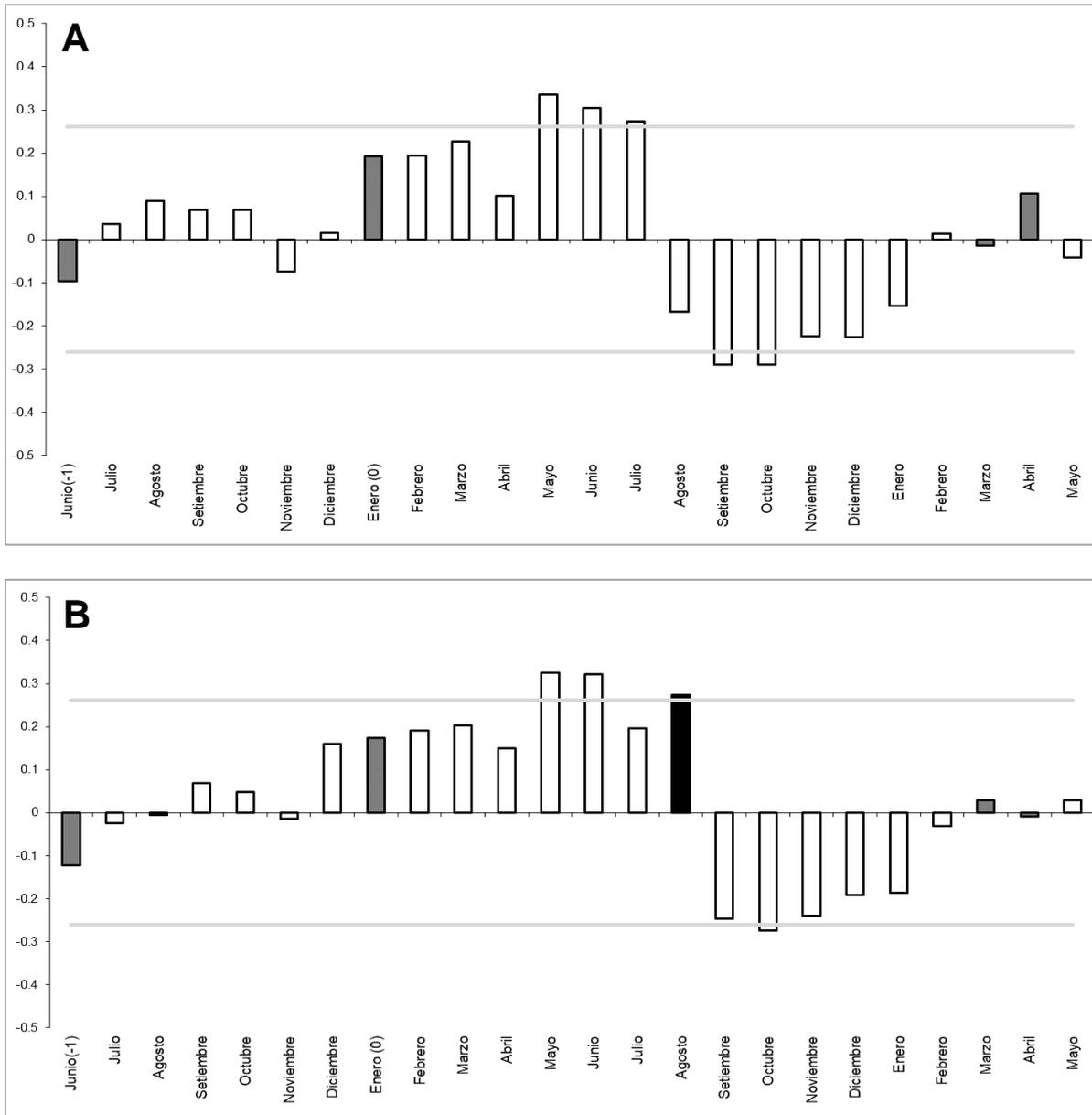
SPI

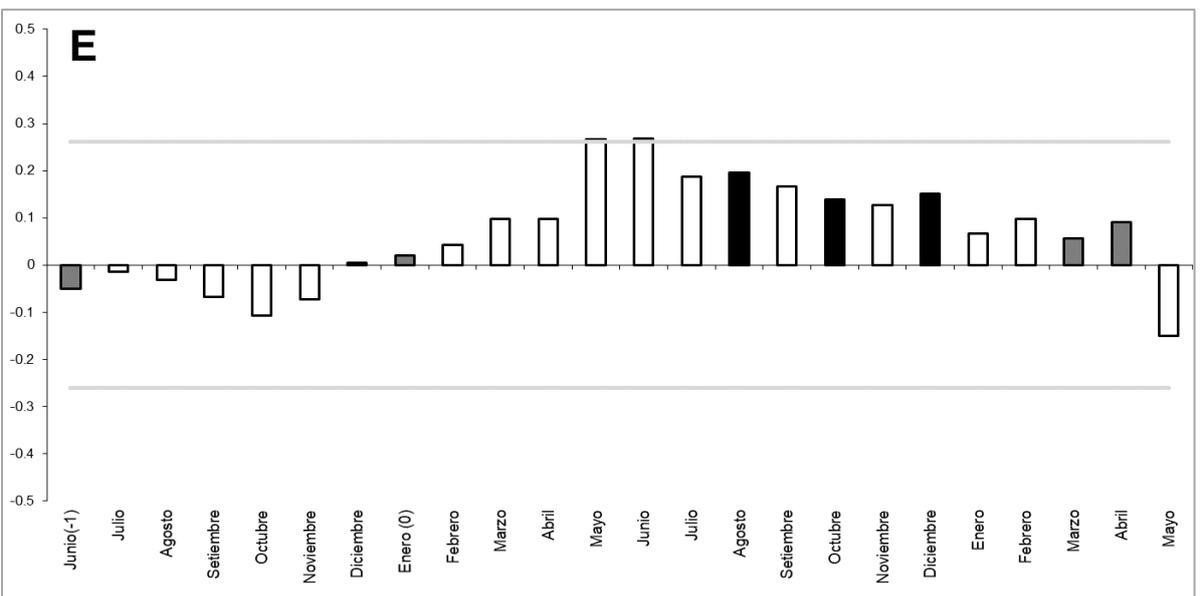
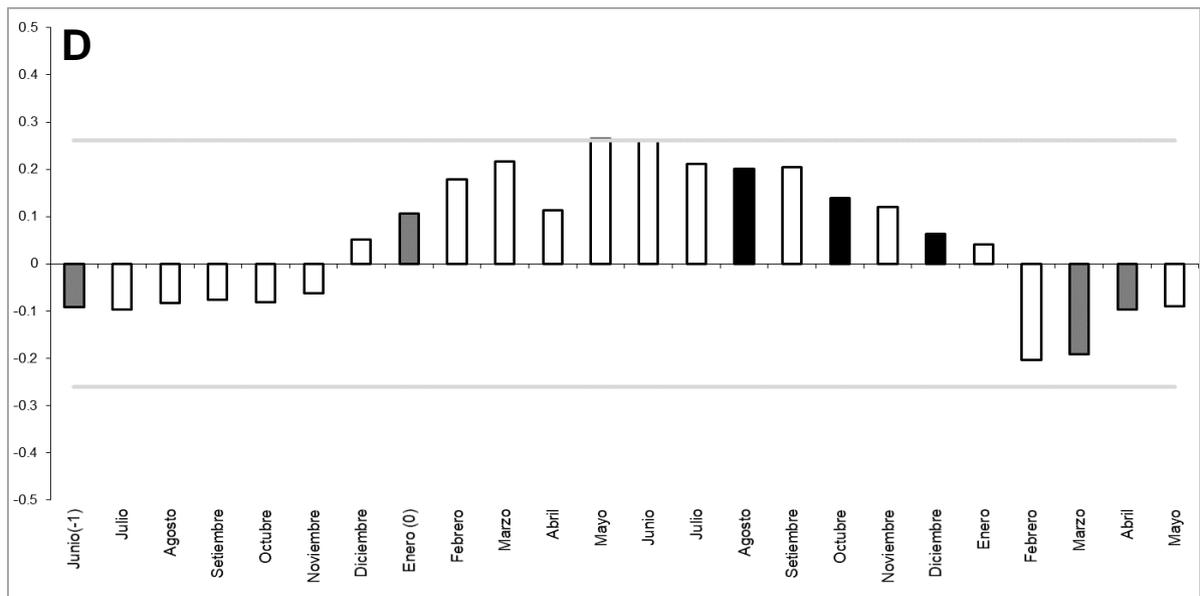
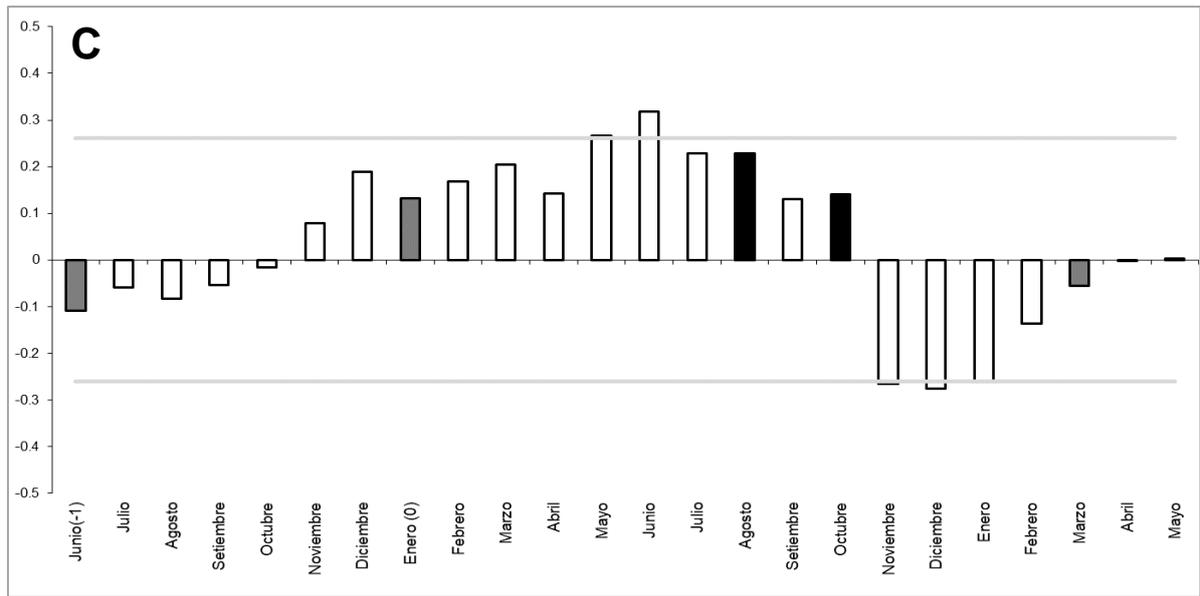
En el análisis de correlaciones para el crecimiento de *Eugenia* sp., basado en los Índices Estandarizados de Precipitación (SPI) de 3, 4, 6, 9 y 12 meses, se observaron patrones interesantes. Durante el periodo de crecimiento previo, se registraron correlaciones positivas significativas en mayo ($r = 0.335$), junio ($r = 0.304$) y julio ($r = 0.274$) para el SPI de 3 meses. En el crecimiento actual, se encontraron correlaciones negativas en la primavera austral, especialmente en septiembre ($r = -0.273$) y octubre ($r = -0.273$), también asociadas con el SPI de 3 meses. Destacan correlaciones positivas significativas en mayo ($r = 0.325$) y

junio ($r = 0.321$), mientras que se observaron correlaciones negativas poco significativas en septiembre (-0.246), octubre ($r = -0.273$) y noviembre ($r = -0.240$), relacionadas con el SPI de 6 meses. Durante el crecimiento actual, se evidenciaron correlaciones positivas en mayo ($r = 0.266$) y junio ($r = 0.319$), asociadas al SPI de 9 meses. Además, se observaron correlaciones positivas poco significativas en mayo ($r = 0.265$) y junio ($r = 0.263$), mientras que se registraron correlaciones negativas con escasa significancia en febrero ($r = -0.204$) y marzo ($r = -0.227$), relacionadas con el SPI de 12 meses. En general, durante el crecimiento actual, se presentaron correlaciones positivas poco significativas, destacando en mayo ($r = 0.266$), junio ($r = 0.268$), julio ($r = 0.187$), agosto ($r = 0.195$), septiembre ($r = 0.167$), octubre ($r = 0.139$), noviembre ($r = 0.128$) y diciembre ($r = 0.150$), con diferentes periodos del SP (Figura 35).

Figura 35

Correlación de Pearson $p < 0.01$ entre IAA std de Eugenia sp. y el SPI





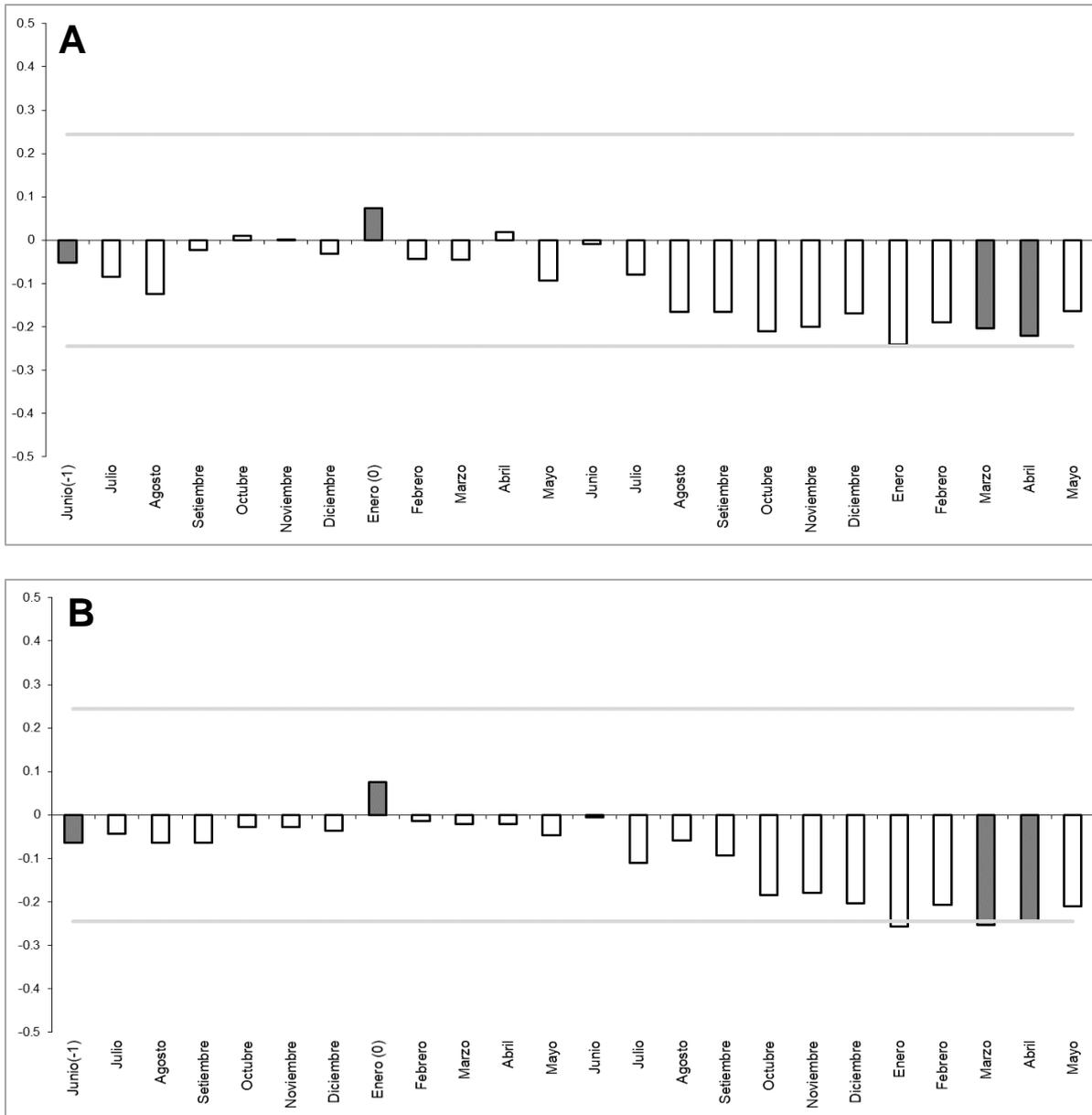
Nota. A: Correlación de Pearson $p < 0.01$ entre el Índice de ancho de anillo estándar (IAAstd) de *Eugenia* sp. y el SPI 3 meses. B: Correlación de Pearson $p < 0.01$ entre el Índice de ancho de anillo estándar de *Eugenia* sp (IAAstd) y el SPI 4 meses. C: Correlación de Pearson $p < 0.01$ entre el Índice de ancho de anillo estándar de *Eugenia* sp (IAAstd) y el SPI 6 meses. D: Correlación de Pearson $p < 0.01$ entre el Índice de ancho de anillo estándar de *Eugenia* sp (IAAstd) y el SPI 9 meses. E: Correlación de Pearson $p < 0.01$ entre el Índice de ancho de anillo estándar de *Eugenia* sp. (IAAstd) y el SPI 12 meses.

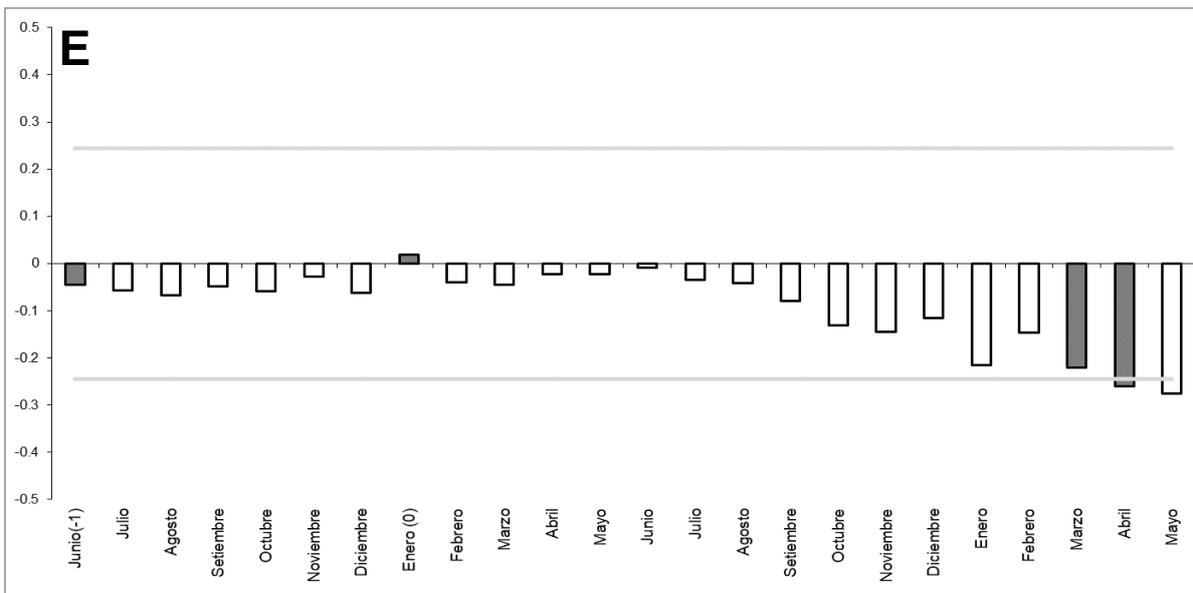
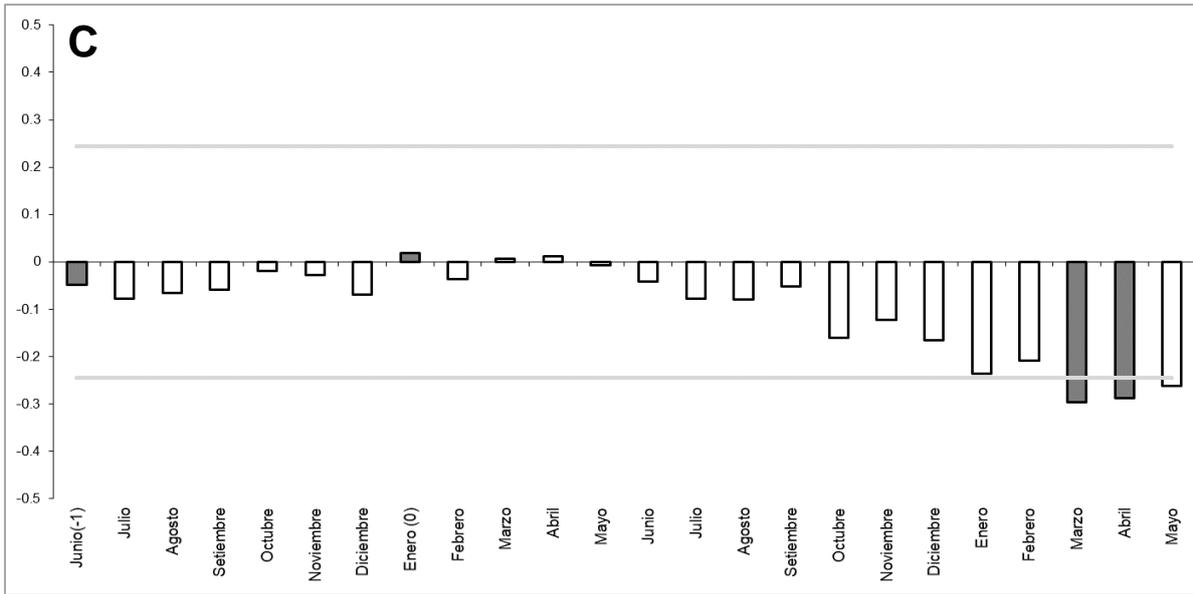
SPEI

En el análisis de correlaciones del SPEI con períodos de 4, 6, 9 y 12 meses para el crecimiento de *Eugenia* sp, se observaron correlaciones negativas poco significativas en varios meses. Para el SPEI de 4 meses, se destacan los meses de agosto ($r = -0.165$), septiembre (-0.166), octubre ($r = -0.210$), noviembre ($r = 0.200$), diciembre ($r = -0.169$), enero ($r = -0.241$), febrero ($r = -0.189$), marzo ($r = -0.204$), abril ($r = -0.222$) y mayo ($r = -0.164$). Asimismo, para los periodos de 6 meses, octubre ($r = -0.184$), noviembre ($r = -0.179$), diciembre ($r = -0.204$), enero ($r = -0.256$), febrero ($r = -0.207$), marzo ($r = -0.254$), abril ($r = -0.244$) y mayo ($r = -0.211$) mostraron correlaciones negativas. En los análisis de 9 y 12 meses, los meses de octubre ($r = -0.161, -0.132$), noviembre ($r = -0.122, -0.146$), diciembre ($r = -0.165, -0.115$), enero ($r = -0.236, -0.217$), febrero ($r = -0.209, -0.148$), marzo ($r = -0.297, -0.220$), abril ($r = -0.288, -0.261$) y mayo ($r = -0.262, -0.277$) presentaron correlaciones negativas poco significativas, respectivamente (Figura 36).

Figura 36

Correlación de Pearson $p < 0.01$ IAA std de Eugenia sp. y SPEI





Nota. A: Correlación de Pearson $p < 0.01$ entre el Índice de ancho de anillo estándar de *Eugenia* sp. (IAAstd) y el SPEI 4 meses. B: Correlación de Pearson $p < 0.01$ entre el Índice de ancho de anillo estándar de *Eugenia* sp (IAAstd) y el SPEI 6 meses. C: Correlación de Pearson $p < 0.01$ entre el Índice de ancho de anillo estándar de *Eugenia* sp. (IAAstd) y el SPEI 9 meses. D: Correlación de Pearson $p < 0.01$ entre el Índice de ancho de anillo estándar de *Eugenia* sp (IAAstd) y el SPEI 12 meses.

4.1.2.5. Coincidencias / comparación entre los eventos ENSO y las cronologías de las especies estudiadas, usando los índices SOI, ONI, ICEN; valores de la TSM y anomalías de la TSM en las zonas de El Niño

A) Índice de Ancho de Anillo estándar de *Cedrela angustifolia* vs Índices SOI, ONI e ICEN

No existieron correlaciones positivas o negativas entre la cronología estándar de *Cedrela angustifolia* con los índices SOI, ONI e ICEN, por ese motivo no se logró identificar coincidencias entre los valores registrados por los índices y la IAA de *Cedrela angustifolia*. No se logró registrar los eventos de El Niño.

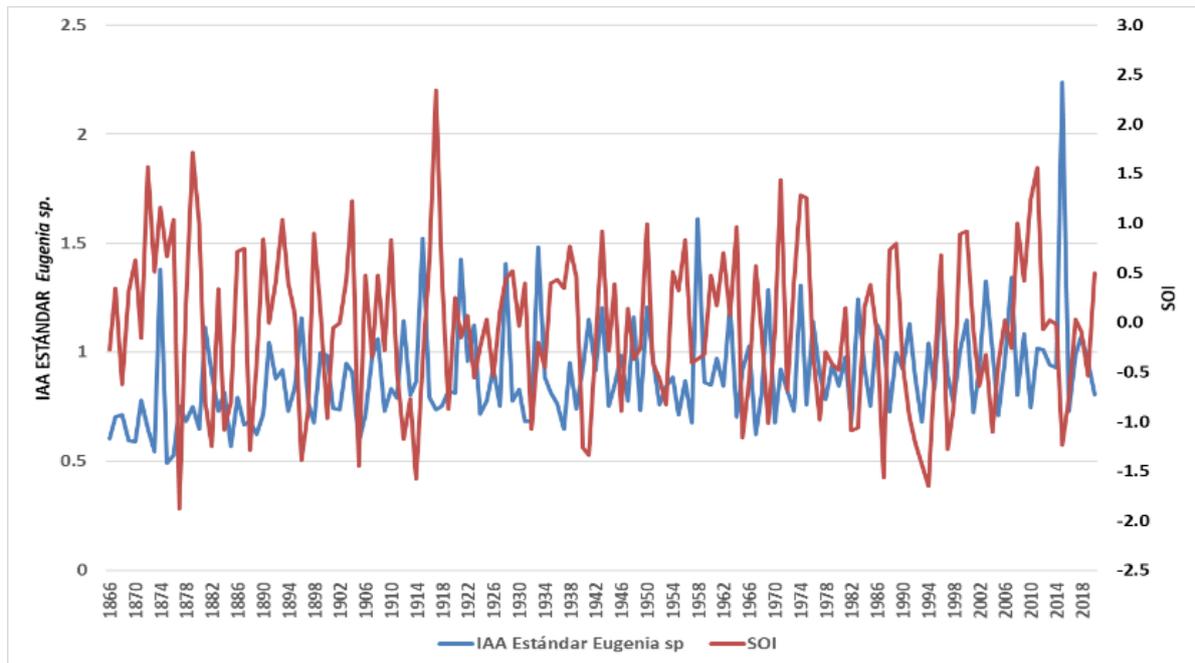
B) Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia* sp vs Índices SOI, ONI e ICEN

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia* sp vs Índice SOI

En la cronología estándar de *Eugenia* sp. se identificaron decrecimiento en la anchura de los anillos anuales, y fueron los valores más bajos encontrados en la cronología que corresponde a los años más secos (sequías) registrados en 1870, 1896, 1902, 1906, 1918, 1932, 1936, 1960, 2014 (Figura 37) debido a los eventos severos de El Niño (Portal, 2019). El índice de Oscilación Sur (SOI) los meses que se utilizaron fueron los que tuvieron mayor correlación con la IAA estándar: agosto, septiembre, enero y abril; obteniendo una correlación negativa ($r = -0.197$). Se observaron dos picos moderados en los años 1933 y 1983 coincidiendo con el crecimiento de la especie y el SOI.

Figura 37

Correlación entre el Índice de Ancho de Anillo estándar *Eugenia* sp (IAA std) y el Índice de Oscilación Sur (SOI)



Nota. La correlación entre ambos índices se hizo durante el período de 1866 - 2020

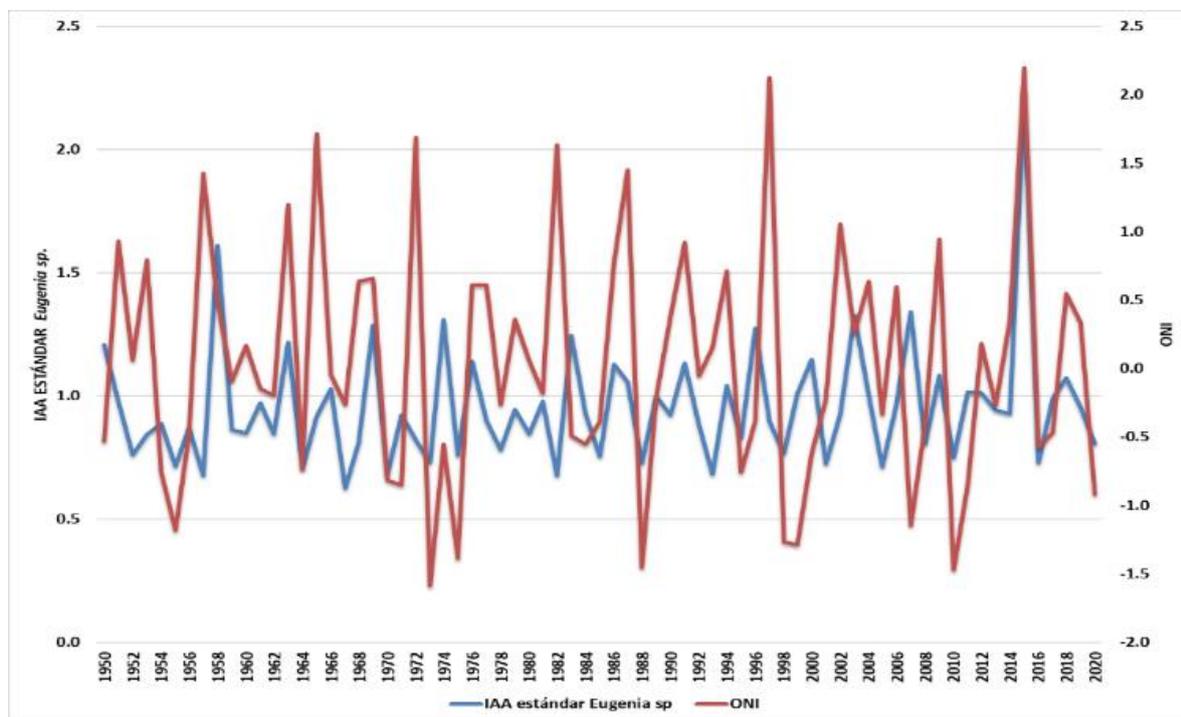
Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia* sp. vs Índice ONI

En la (figura 38) se muestra la correlación de la especie de *Eugenia* sp con el Índice Niño Oceánico (ONI) en los meses de junio a diciembre, identificándose episodios que influyeron en la disminución de los anillos de la especie. Obteniendo una correlación positiva significativa ($r = 0.308$). Los anillos de crecimiento de menor dimensión se determinaron en los años 1960, 1987, 2014, 2019; estos fueron causados por los eventos severos de El Niño (Portal, 2019).

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia* sp. vs Índice ICEN

Figura 38

Correlación entre el ONI y la cronología estándar de la especie *Eugenia* sp durante el período de 1950 – 2020.

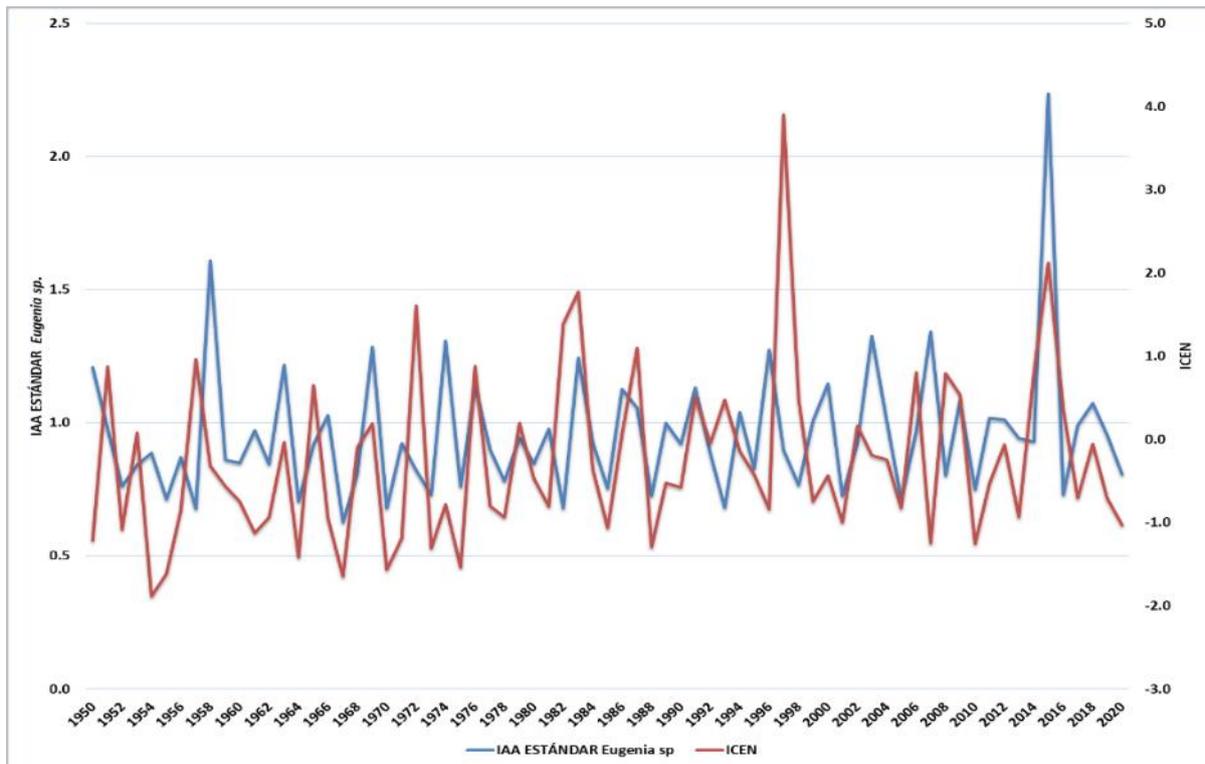


Nota. La correlación entre ambos índices se hizo durante el período de 1950 - 2020.

Se identificaron coincidencias entre los picos de tendencias del Índice de Ancho de Anillo Estándar de *Eugenia* sp y el índice ICEN en los años 1969, 1976, 1979, 1991, 2015. Utilizando el trimestre de agosto, septiembre y octubre se obtuvo una correlación de ($r = 0.281$) entre ambos índices.

Figura 39

Correlación entre el ICEN y la cronología estándar de la especie *Eugenia sp.*



Nota. La correlación entre ambos índices se hizo durante el período de 1950 - 2020.

C) Índice de Ancho de Anillo estándar de *Cedrela angustifolia* vs valores de la TSM en las regiones de El Niño

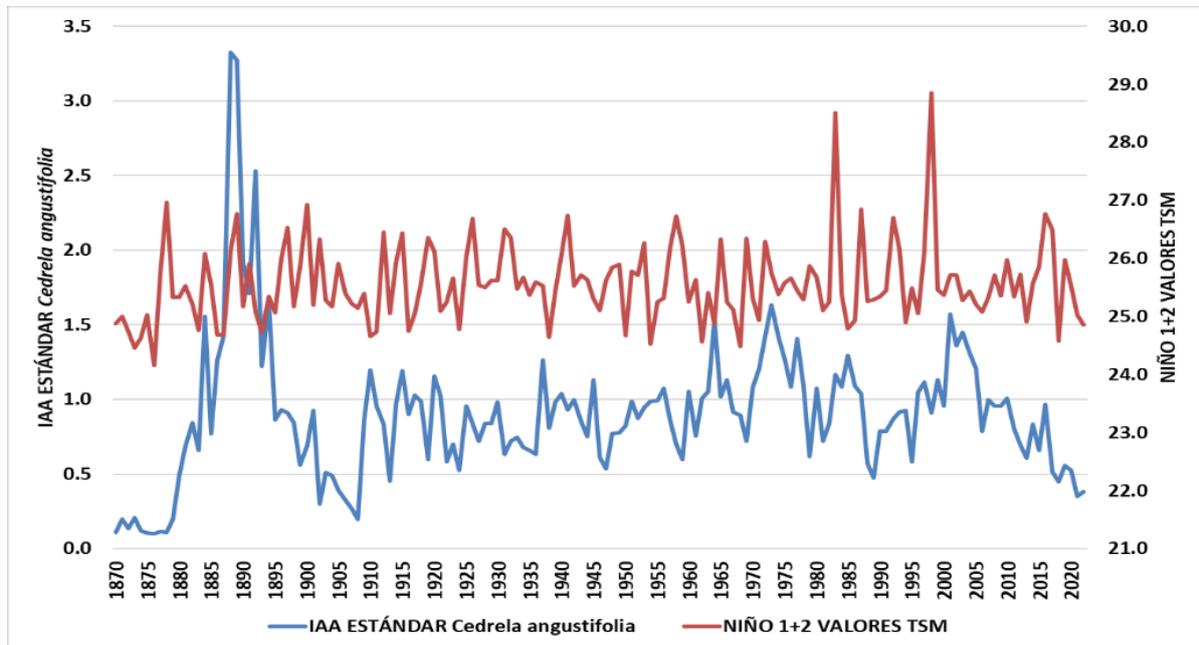
No se encontraron correlaciones positivas o negativas entre la cronología estándar de *Cedrela angustifolia* y los valores de la TSM en las zonas 3 y 3.4. Por lo tanto, no se pudo verificar la coincidencia entre ambos índices.

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Cedrela angustifolia* vs Valores de la TSM de El Niño 1+2

Hubo una correlación positiva poco significativa entre el IAA de *Cedrela angustifolia* y los valores TSM de la zona de el Niño 1+2. A partir de los meses enero, marzo y abril se calculó una correlación de ($r = 0.281$) entre ambos índices. Se observaron coincidencias entre los índices en los años 1889, 1890, 1894, 1920, 1973.

Figura 40

Correlación entre los valores de la zona niño 1+2 y la cronología estándar de la especie *Cedrela angustifolia*



Nota. La correlación entre ambos índices se hizo durante el período de 1870 - 2020.

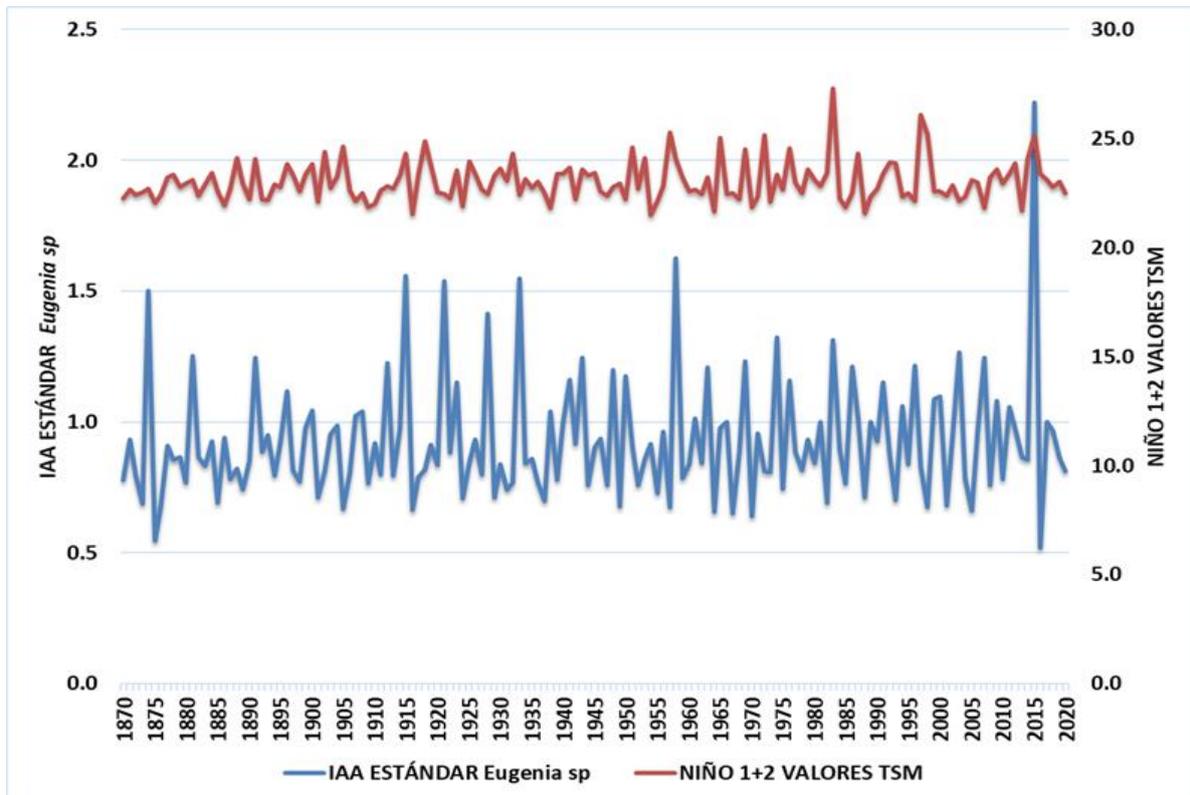
D) Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia* sp vs Valores de la TSM en las regiones de El Niño

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia* sp. vs valores de la TSM de El Niño 1+2.

Se observaron similitudes en los puntos álgidos de las tendencias del Índice de Ancho de Anillo Estándar de *Eugenia* sp. y los valores TSM de la zona del Niño 1+2 en los años 1891, 1915, 1958, 1993 y 2015. Al analizar el trimestre comprendido por los meses de mayo, junio y julio; se determinó una correlación de ($r = 0.2014$) entre ambas métricas.

Figura 41

Correlación entre los valores de la zona niño 1+2 y la cronología estándar de la especie *Eugenia* sp.



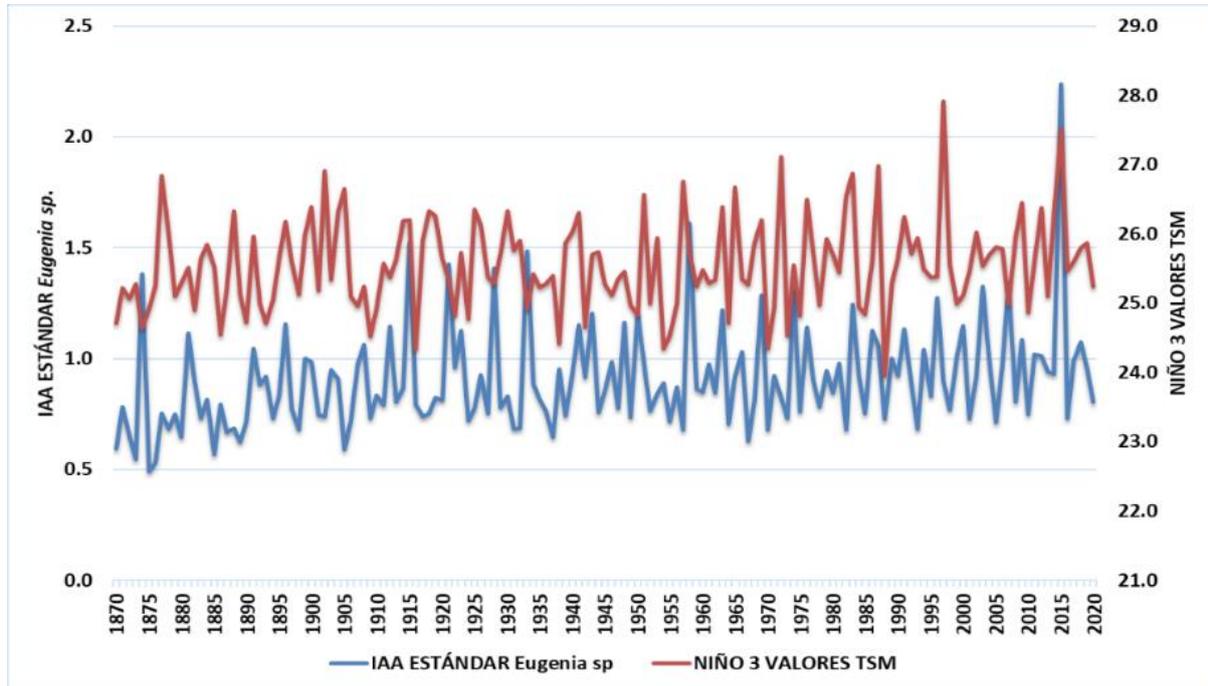
Nota. La correlación entre ambos índices se hizo durante el período de 1870 - 2020

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia* sp. vs Valores de la TSM de El Niño 3

Se notaron semejanzas entre los picos de tendencia del Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia* sp. y los picos de tendencia de los valores de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) de la región de El Niño 3 durante los años 1915, 1959, 1974, 2015. Considerando el semestre (mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre) se encontró una correlación positiva de ($r = 0.230$) entre ambos índices.

Figura 42

Relación entre los valores de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) de la región Niño 3 y la cronología master de la especie Eugenia sp.



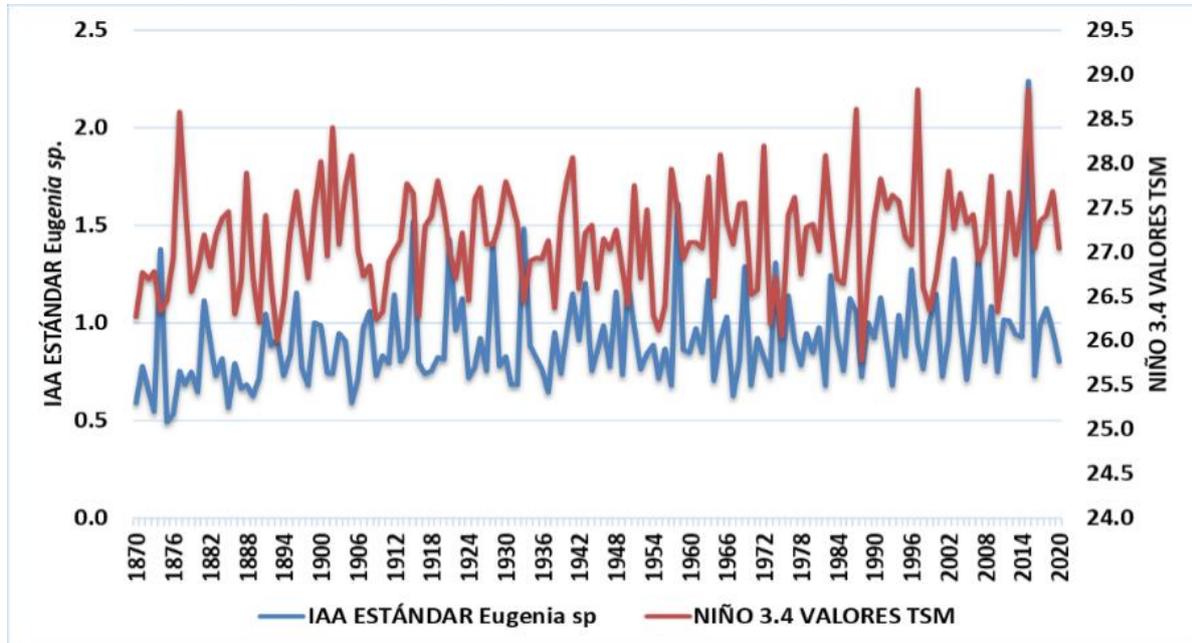
Nota. La correlación entre ambos índices se hizo durante el intervalo de 1870 - 2020

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia* sp vs Valores de la TSM de El Niño 3.4

Se evidenciaron puntos coincidentes en las tendencias del Índice de Ancho de Anillo Estándar (IAA std) de *Eugenia* sp y los valores de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) del área Niño 3.4 durante los años 1913, 1914, 1959, 1974, 2015 y 2016. Basado en el trimestre de agosto, septiembre y octubre se logró una correlación de ($r = 0.226$) entre ambos ejes.

Figura 43

Correlación entre los valores de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) de la región Niño 3.4 y la cronología master de la especie Eugenia sp



Nota. La correlación entre ambos índices se hizo durante el intervalo de 1870 - 2020

E) Índice de Ancho de Anillo estándar de *Cedrela angustifolia* vs Anomalías de la TSM en las regiones de El Niño

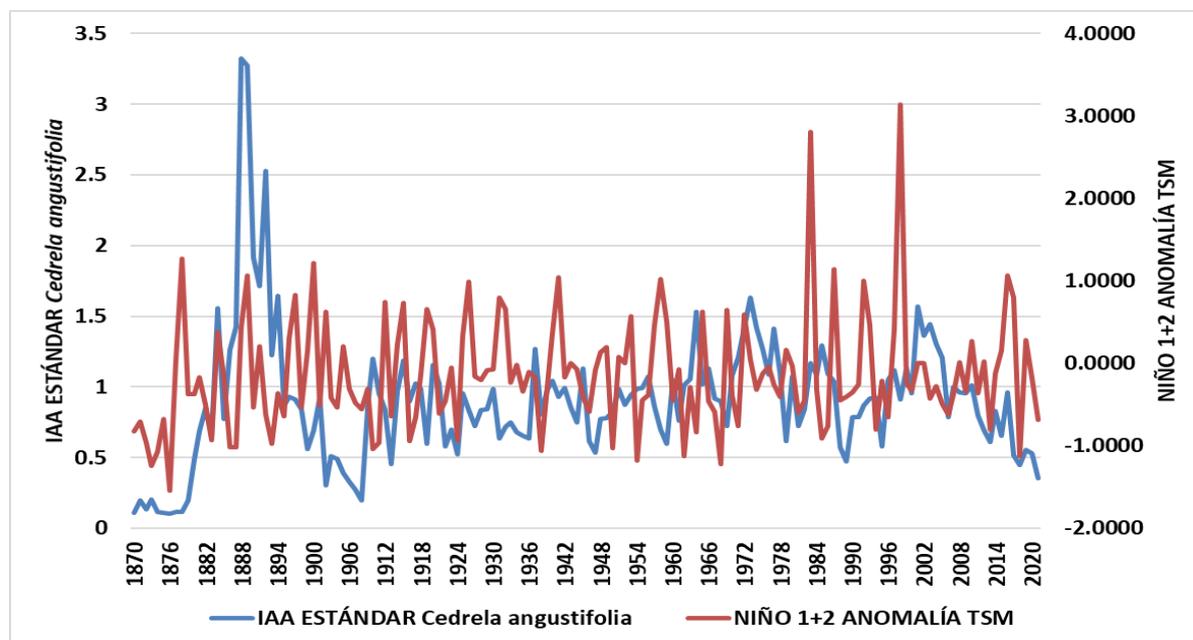
No se encontraron correlaciones positivas o negativas entre la cronología estándar de *Cedrela angustifolia* y las anomalías de TSM en las zonas 3 y 3.4. Por lo tanto, no se pudo verificar la coincidencia entre las anomalías de estas regiones y la especie *Cedrela angustifolia*.

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Cedrela angustifolia* vs Anomalías de la TSM de El Niño 1+2

Se identificaron puntos coincidentes en las tendencias del Índice de Ancho de Anillo estándar de *Cedrela angustifolia* y las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en la región 1+2 durante los años 1884, 1916, 1921, 1981 y 1984. Utilizando los meses de enero, marzo y abril se logró una correlación de ($r = 0.129$) entre el IAA de la especie y las anomalías de la TSM de la zona del Niño 1+2.

Figura 44

Correlación entre las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) de la región Niño 1+2 y la cronología master de la especie *Cedrela angustifolia*



Nota. La correlación entre ambos índices se hizo en período de 1870 – 2020

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia* sp. vs Anomalías de la TSM de El Niño 1+2

Se identificaron puntos coincidentes en las tendencias del Índice de Ancho de Anillo Estándar de *Eugenia* sp y las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) de la región Niño 1+2 durante los años 1884, 1891, 1896, 1916, 1941, 1969, 1976, 1979, 1984, 2015. Mediante el trimestre de mayo, junio y julio se obtuvo una correlación de ($r = 0.202$) entre la IAA de la especie y las anomalías de la TSM de la zona Niño 1+2.

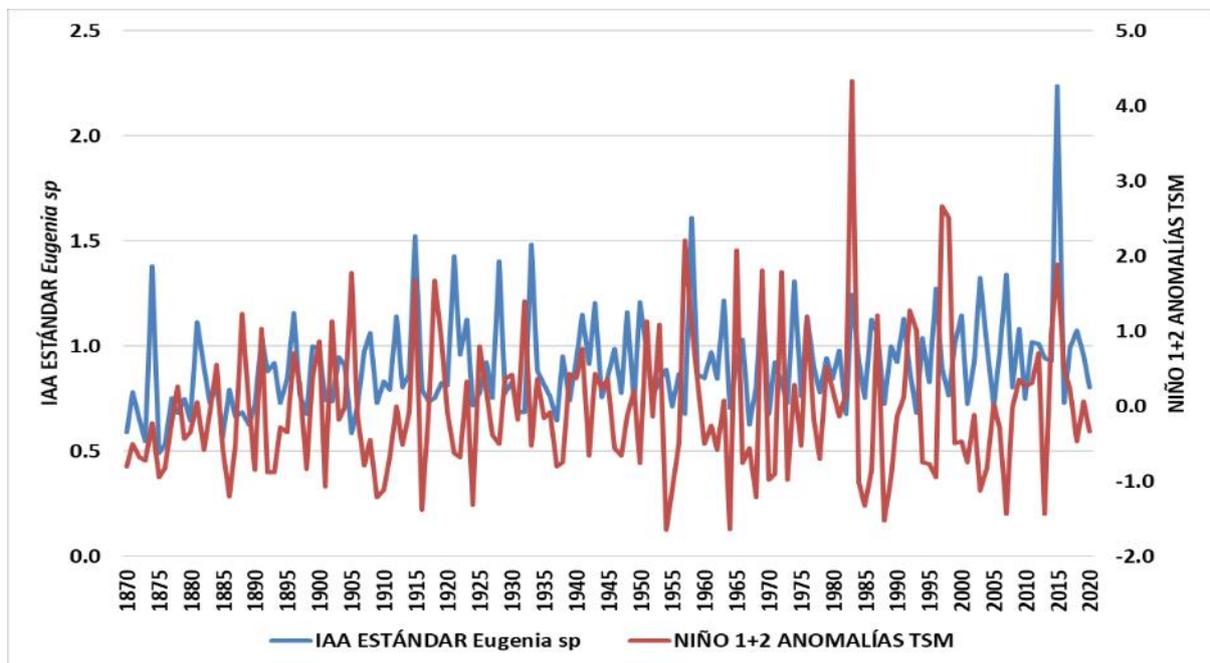
Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia* sp. vs Anomalías de la TSM de El Niño 3

Se observaron similitudes en las tendencias del Índice de Ancho de Anillo Estándar de *Eugenia* sp y las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en la región de El Niño 3 en los años 1881, 1891, 1897, 1914, 1948, 1957, 1964, 1969, 1974, 1976, 1983, 1984, 1988, 2010, 2015, 2018. Se determinó la correlación de IAA estándar de la especie y

las anomalías TSM de la zona Niño utilizando los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre ($r = 0.281$).

Figura 45

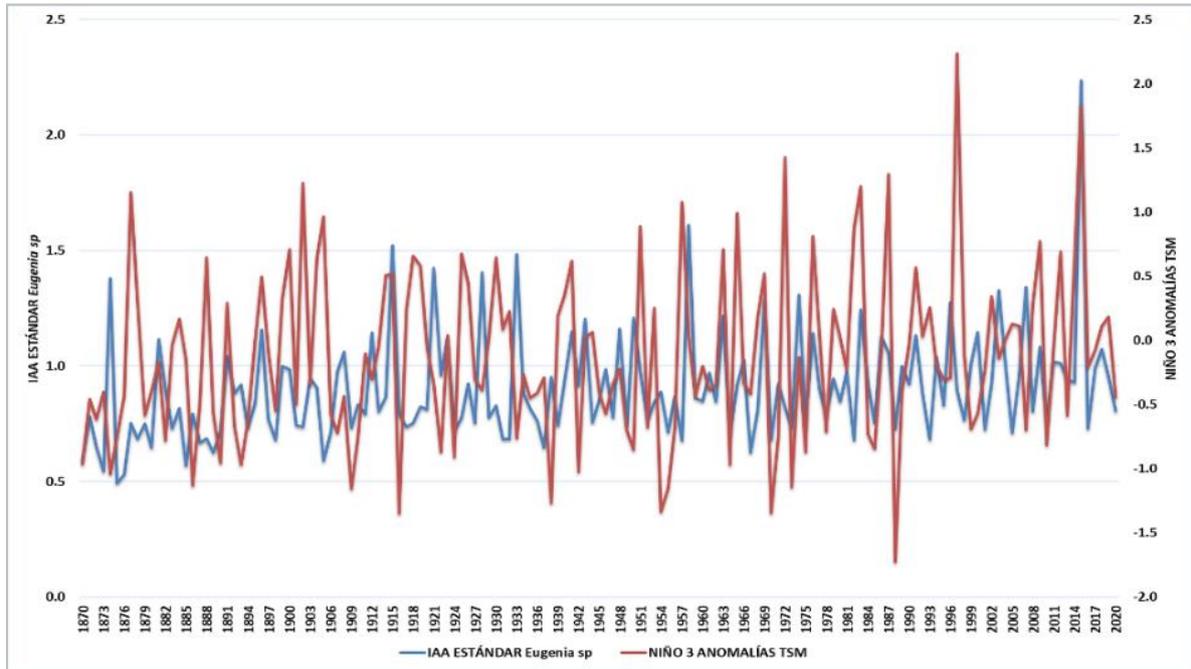
Correlación entre las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) de la región Niño 1+2 y la cronología master de la especie Eugenia sp.



Nota. La correlación entre ambos índices se hizo en período de 1870 – 2020

Figura 46

Correlación entre las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) de la región Niño 3 y la cronología master de la especie *Eugenia sp.*



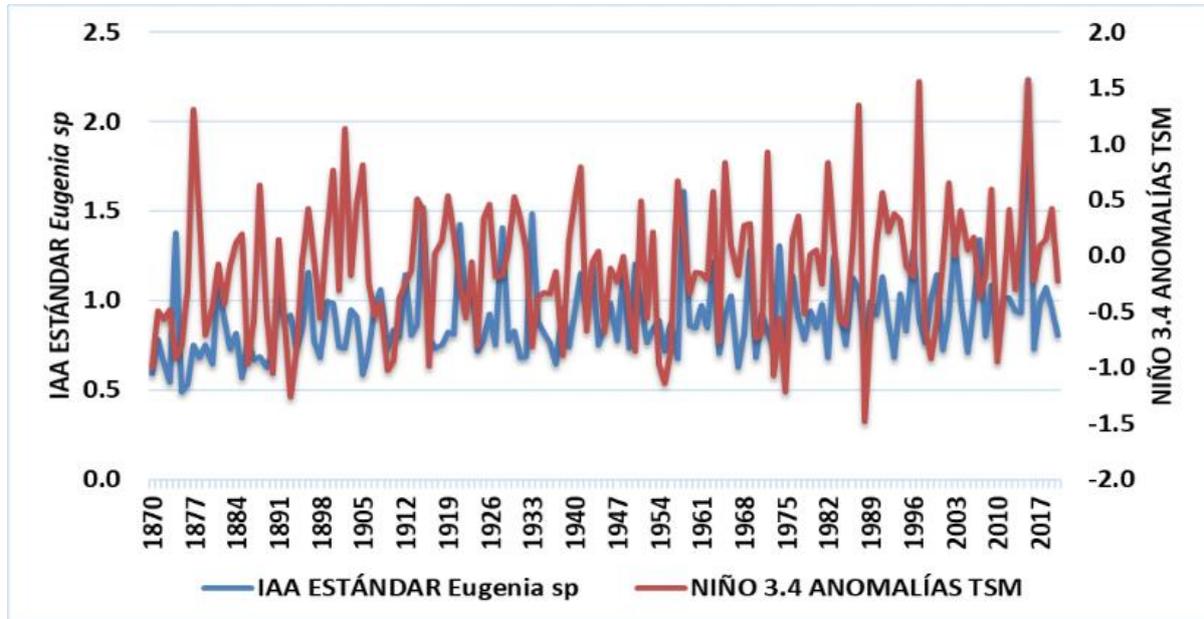
Nota. La correlación entre ambos índices se hizo en período de 1870 – 2020

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia sp.* vs Anomalías de la TSM de El Niño 3.4

Fueron identificados similitudes entre las líneas de tendencia de la cronología estándar de *Eugenia sp.* y las líneas pertenecientes a las anomalías de TSM de la región 3.4 en los años 1881, 1892, 1896, 1908, 1923, 1957, 1964, 1984, 2015. Se realizó la correlación entre ambos ejes a partir de los meses de junio a octubre obteniendo como resultado ($r = 0.230$) (Figura 47).

Figura 47

Relación entre los valores de la cronología estándar de la especie *Eugenia sp* y las anomalías de la TSM de la zona 3.4



Nota. La correlación entre ambos índices se hizo en período de 151 desde 1870 - 2020

4.1.2.6. Coincidencias / comparación entre los índices de sequía SPI y SPEI y los anillos de crecimiento de *Cedrela angustifolia* y *Eugenia sp*.

A) Índice de Ancho de Anillo estándar de *Cedrela angustifolia* vs Índices SPI

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Cedrela angustifolia* vs Índices SPI 3 meses

Mediante la figura A. Se puede observar que existen coincidencias entre la IAA estándar de *Cedrela angustifolia* y el SPI de tres meses en los años 1958 y 2022. Además, existe intersección entre ambos índices, los años que lo comprenden son: 1967, 1982, 1989, 1992, 1995, 2000, 2008, 2019. Como resultado se obtuvo una correlación de 0.128 utilizando los índices correspondientes, comprendiendo los meses de abril, agosto y septiembre.

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Cedrela angustifolia* vs Índices SPI 4

meses

Se observaron coincidencias en las líneas de tendencia entre el IAA estándar de *Cedrela angustifolia* y el índice SPI de cuatro meses, se tuvo similitud en el año 1984 e intersecciones en ambos índices en los años 1967, 1968, 1969, 1981, 1990, 2000, 2009, 2013, 2014, 2015. Obteniendo una correlación negativa de ($r = -0.150$) utilizando los datos de los índices del gráfico. Se tomaron los meses de octubre, diciembre y enero para obtener una correlación negativa de ($r = -0.150$) entre ambos índices.

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Cedrela angustifolia* vs Índices SPI 6 meses

Se detectaron similitudes en las líneas de tendencia entre el IAA estándar de *Cedrela angustifolia* y el índice SPI de seis meses. Se encontraron coincidencias en los años 1984, 1999 e intersecciones en 1967, 1981, 1988, 1989, 2008, 2009, 2013, 2015 en ambos índices. Se consideraron los meses de enero, febrero y octubre para obtener una correlación negativa de ($r = -0.144$) entre los dos índices.

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Cedrela angustifolia* vs Índices SPI 9 meses

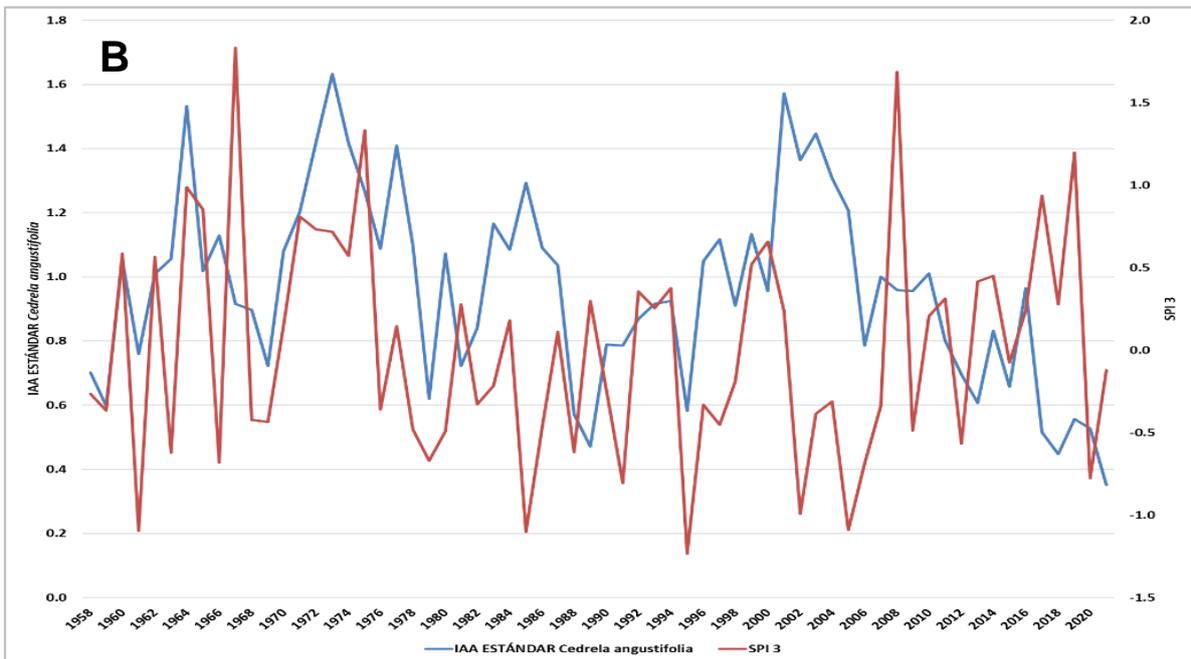
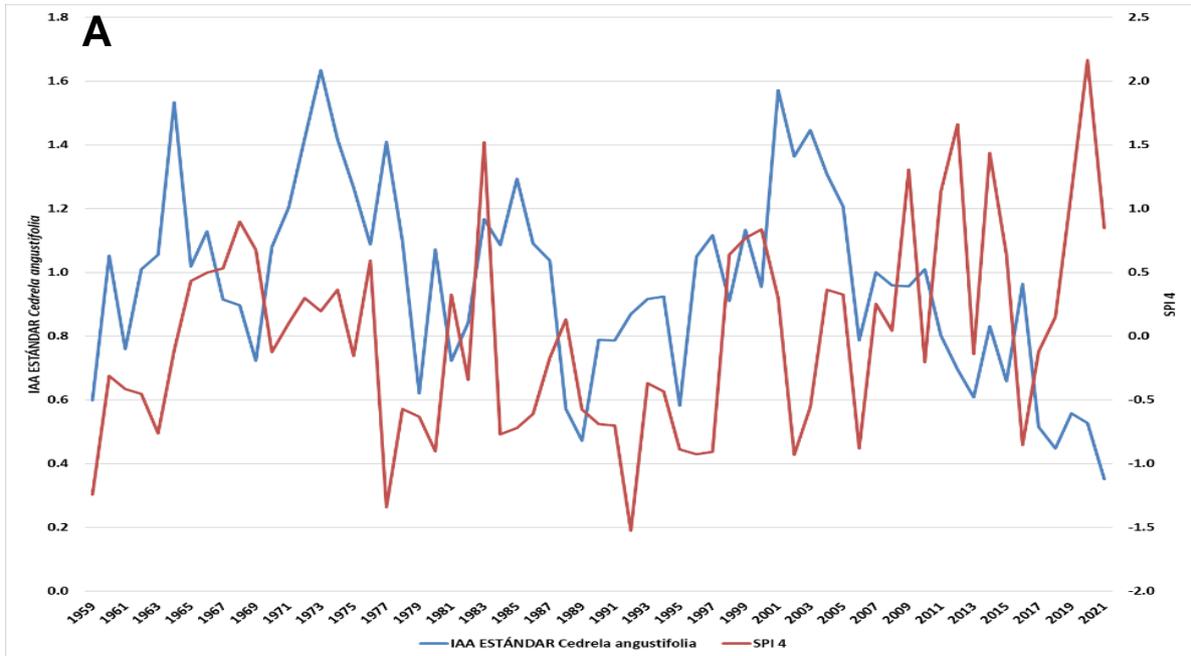
Se evidenciaron en las líneas de tendencia similitudes entre el IAA estándar de *Cedrela angustifolia* y el índice SPI de nueve meses, en el año 1984 y 1999 y puntos de intersección en ambos índices durante los años 1967, 1969, 1988, 1989, 2000, 2008, 2009, 2011, 2014, 2015 y 2020. Se obtuvo una correlación negativa de ($r = -0.121$) considerando los meses de enero, marzo y mayo.

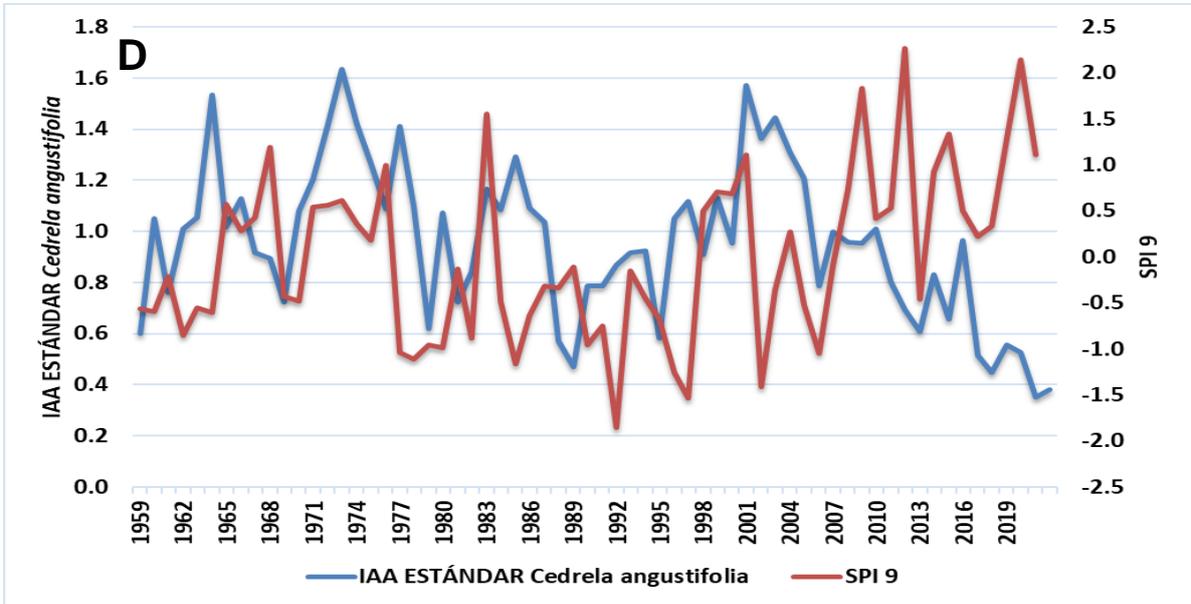
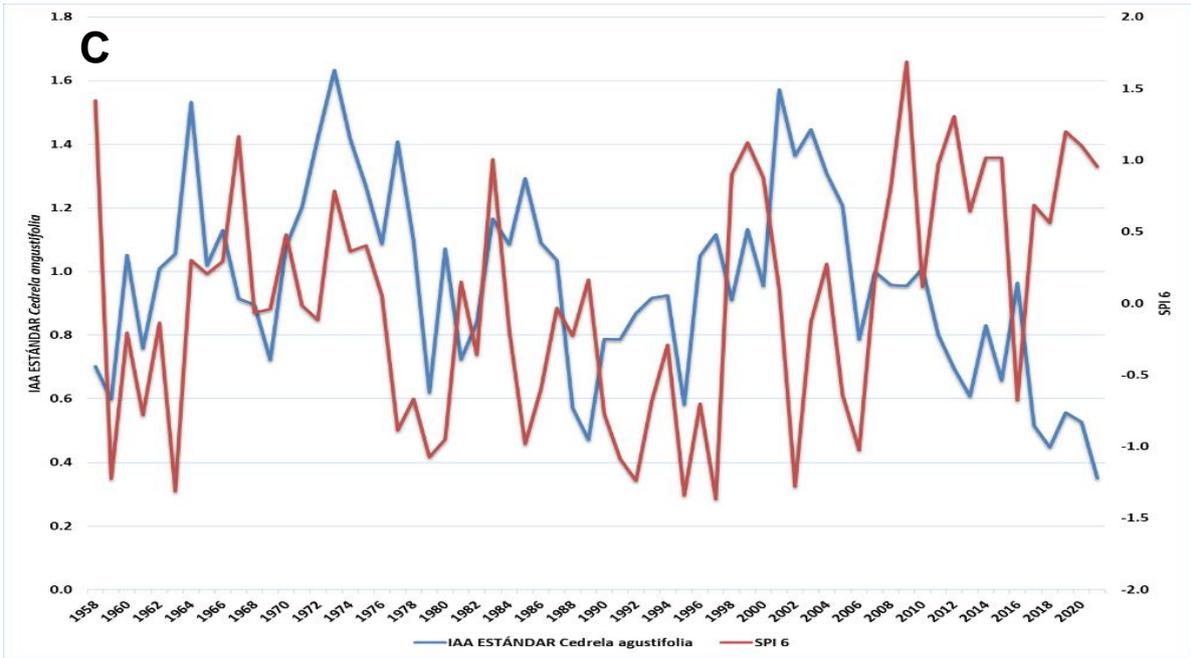
Índice de Ancho de Anillo estándar de *Cedrela angustifolia* vs Índices SPI 12 meses

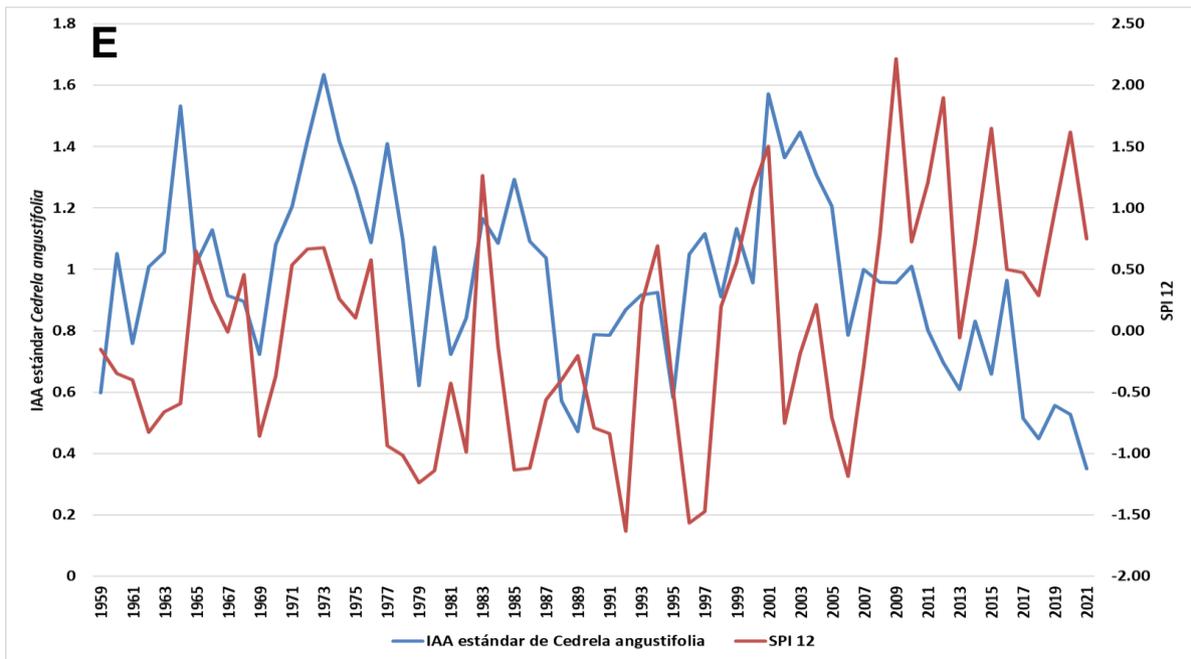
Se pudo observar un punto de coincidencia entre las líneas de tendencia de ambos índices en el año 1983. En los años 1969, 1988, 1989, 2000, 2009, 2011, 2012, 2015 y 2020 se muestra una disminución en el ancho de los anillos de crecimiento de la especie con respecto al SPI de 12 meses. El cálculo de la correlación se realizó a partir de los meses de enero, marzo, mayo y junio, obteniendo un valor negativo de baja significancia ($r = -0.083$).

Figura 48

Relación entre la cronología estándar de Cedrela angustifolia y SPI







Nota. A: Relación entre la cronología estándar de *Cedrela angustifolia* y SPI 3 meses desde 1958 – 2022. B: Relación entre la cronología estándar de *Cedrela angustifolia* y SPI 4 meses desde 1959 – 2022. C: Relación entre la cronología estándar de *Cedrela angustifolia* y SPI 9 meses desde 1959 – 2022. D: Relación entre la cronología estándar de *Cedrela angustifolia* y SPI 12 meses desde 1959 – 2022.

B) Índice de Ancho de Anillo estándar de *Cedrela angustifolia* vs Índices SPEI Índice de Ancho de Anillo estándar de *Cedrela angustifolia* vs Índices SPEI 3 meses

Se encontraron similitudes en las líneas de tendencia de ambos índices, en los años 1960, 1983, 1994 y 1999. Se determinó una correlación positiva ($r = 0.341$) a partir de los meses enero, febrero, junio, julio y agosto.

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Cedrela angustifolia* vs Índices SPEI 4 meses

Se hallaron semejanzas entre los picos de tendencia de la cronología estándar de *Cedrela angustifolia* y el SPEI de 4 meses en los años 1960, 1980, 1999 y 2007; logrando una correlación positiva significativa ($r = 0.338$) mediante los meses julio, agosto, septiembre,

diciembre, enero, febrero. Además, existieron intersecciones entre ambos índices, los años que lo conformaron fueron 1952, 1966, 1983 y 1993.

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Cedrela angustifolia* vs Índices SPEI 6 meses

Se visualizaron similitudes en las líneas de tendencia del IAA estándar de *Cedrela angustifolia* y el SPEI de 6 meses; consiguiendo una correlación positiva significativa de ($r = 0.359$) empleando los meses de septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, abril y mayo. Los años que coincidieron fueron 1956, 1960, 1980, 1999, 2007, 2010.

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Cedrela angustifolia* vs Índices SPEI 9 meses

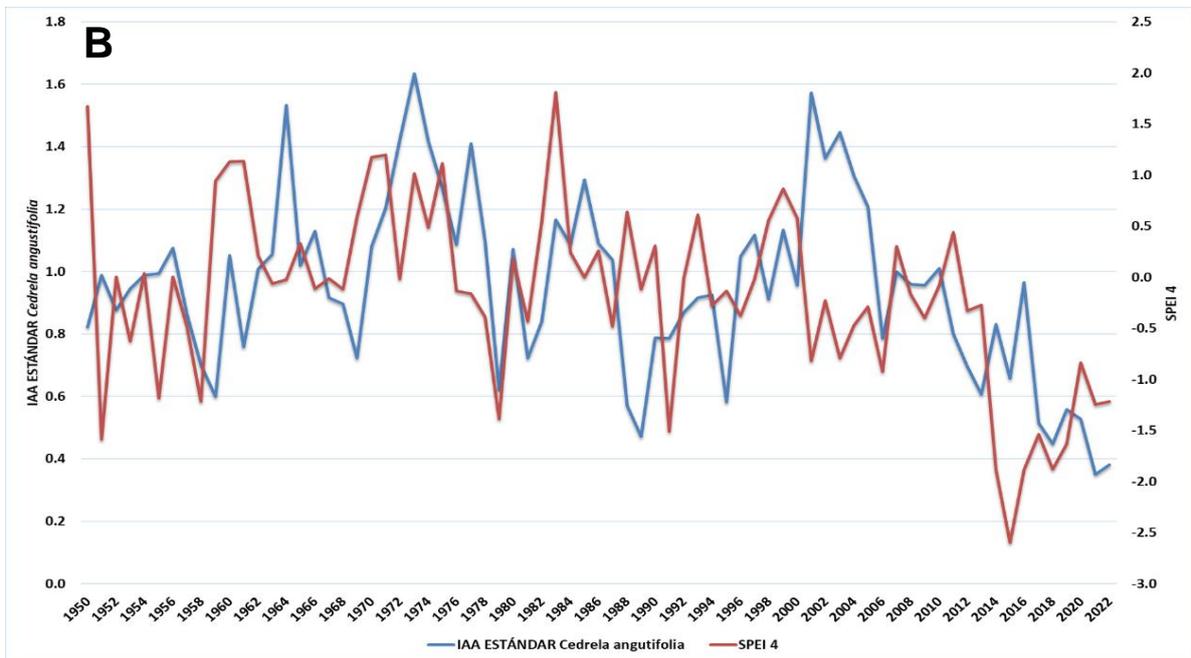
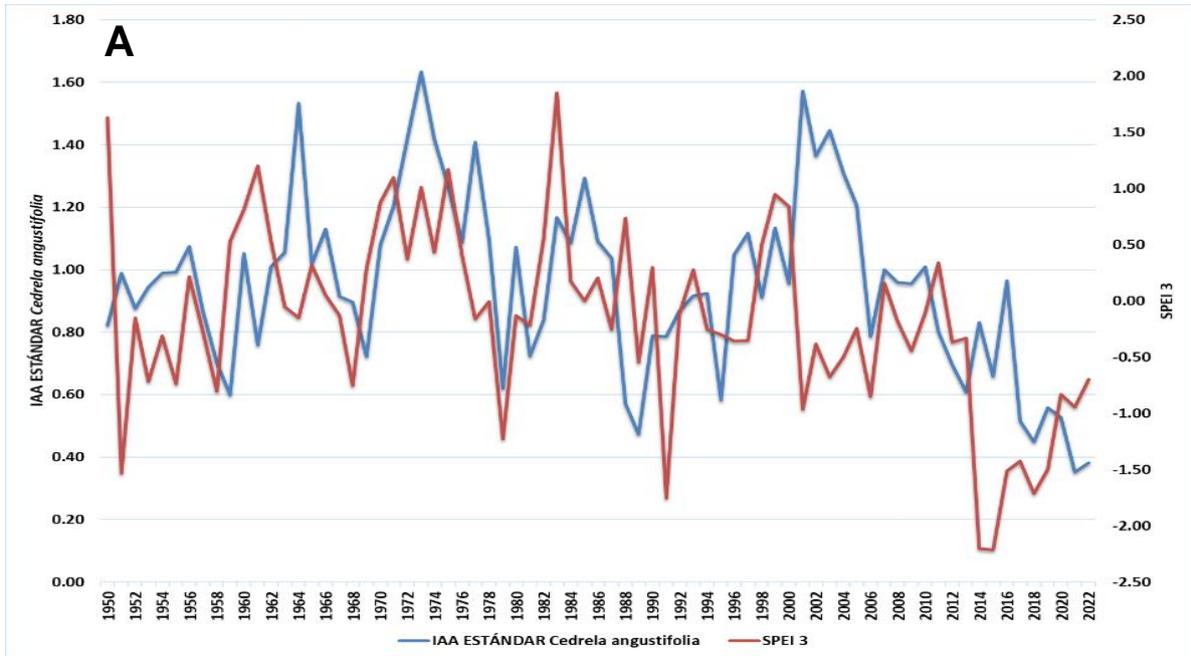
Fueron identificadas semejanzas en las tendencias entre el IAA estándar de *Cedrela angustifolia* y el SPEI de 9 meses, obteniendo una correlación positiva significativa de ($r = 0.327$) durante los meses de junio, julio, agosto, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, abril, mayo. Los años que coincidieron fueron 1956, 1960, 1983, 1994, 1999. Asimismo, hubo intersecciones entre ambos índices, los años que lo conformaron fueron 1952, 1966, 1967, 1993, 1994, 2007 y 2008.

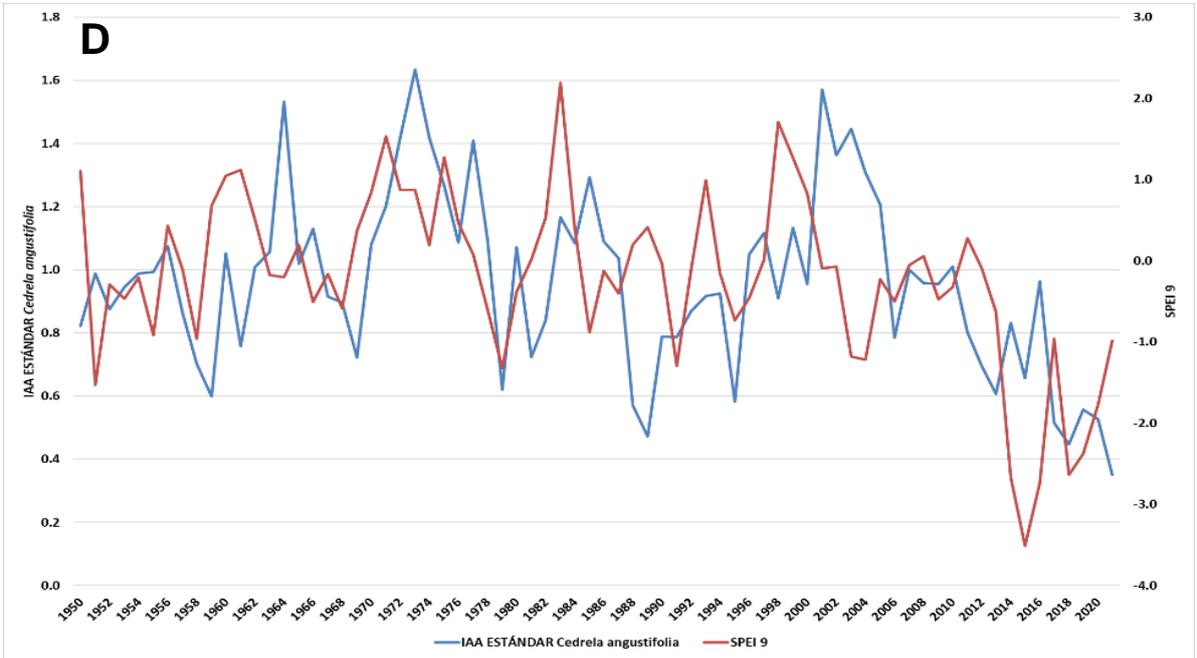
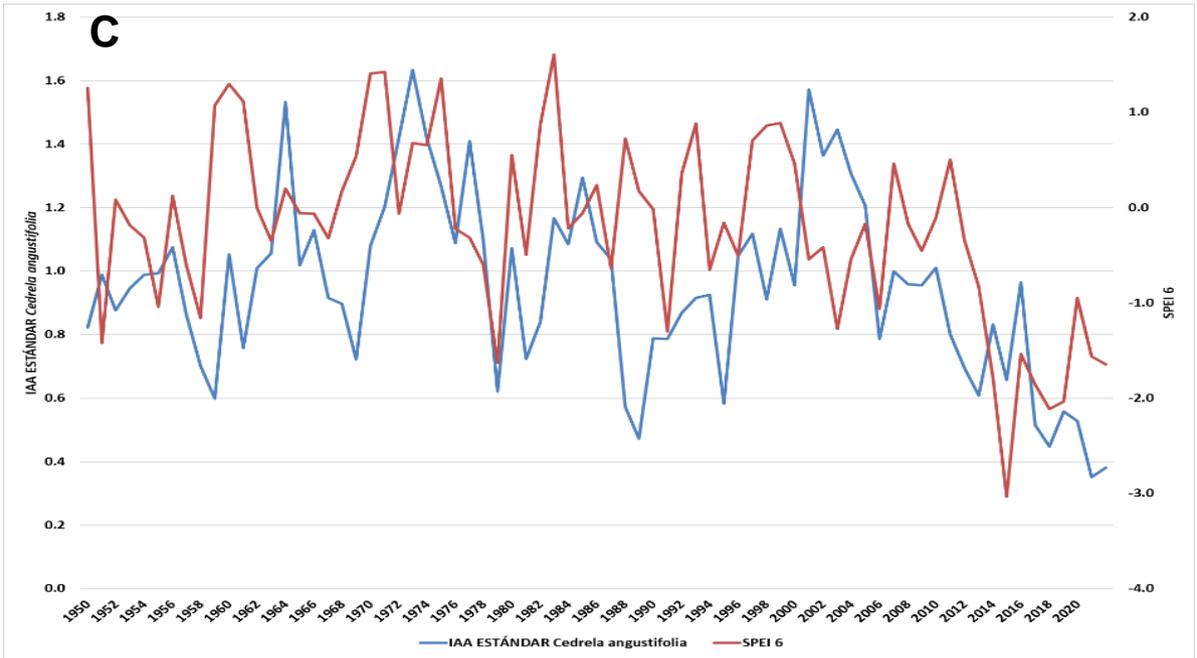
Índice de Ancho de Anillo estándar de *Cedrela angustifolia* vs Índices SPEI 12 meses

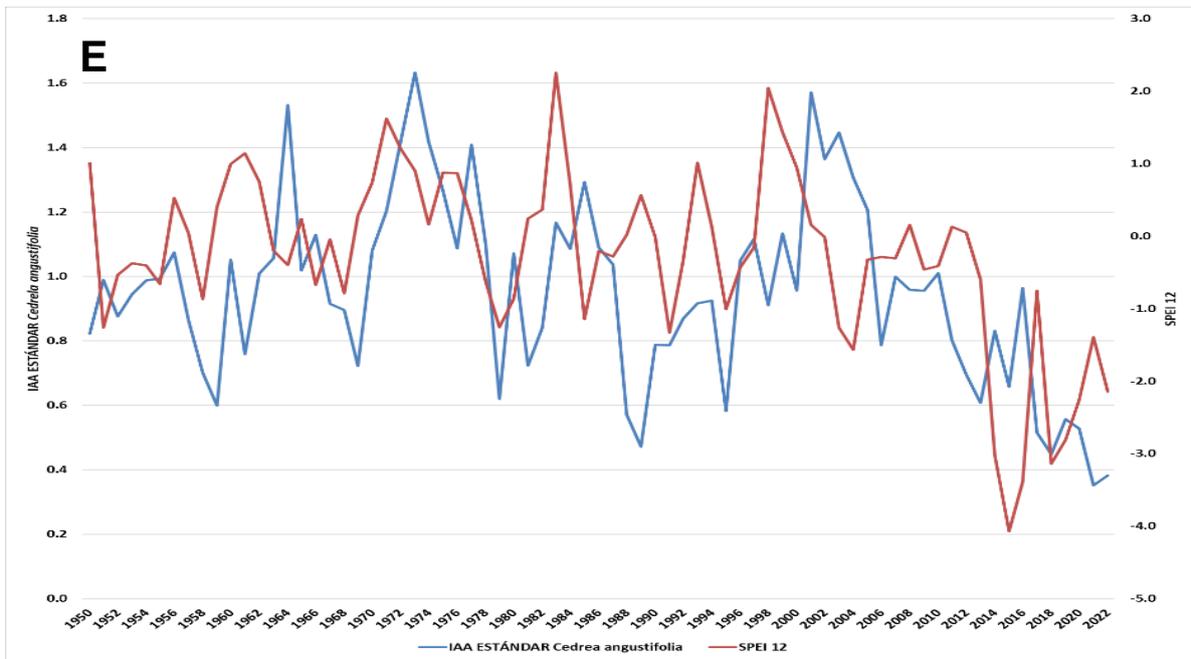
Se observaron concordancias en las líneas de tendencia entre el IAA estándar de *Cedrela angustifolia* y el SPEI de 12 meses, generando una correlación positiva significativa de ($r = 0.3402$) al utilizar los meses de meses agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo. Los años que coincidieron fueron 1956, 1960, 1983, 1997, 1998, 1999.

Figura 49

Correlación entre la cronología estándar de Cedrela angustifolia y SPEI







Nota. A: Correlación entre la cronología estándar de *Cedrela angustifolia* y SPEI 3 meses en un período de 73 años (1950 - 2022). B: Correlación entre la cronología estándar de *Cedrela angustifolia* y SPEI 4 meses en un período de 73 años (1950 - 2022). C: Correlación entre la cronología estándar de *Cedrela angustifolia* y SPEI 6 meses en un período de 73 años (1950 - 2022). D: Correlación entre la cronología de *Cedrela angustifolia* y SPEI 9 meses en un período de 73 años (1950 - 2022). E: Correlación estándar entre la cronología de *Cedrela angustifolia* y SPEI 12 meses en un período de 73 años (1950 - 2022).

C) Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia* sp. vs Índices SPI

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia* sp vs Índices SPI 3 meses

Mediante la visualización de la Figura 50. Se puede observar que existen coincidencias entre la IAA estándar de *Eugenia* sp y el SPI de tres meses en los años 1958 - 2022.

Hubo coincidencias de ambos índices en los años 1972, 1983, 1990, 2000, 2009, 2011, 2016.

Además, hubo intersecciones en los años 1967, 1982, 1989, 1992, 1995, 2000, 2008, 2019. Como resultado se obtuvo una correlación de ($r = 0.334$) utilizando los índices correspondientes, comprendiendo los meses de mayo, junio, julio (Figura 50).

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia* sp vs Índices SPI 4 meses

Se observaron coincidencias en las líneas de tendencia entre el IAA estándar de *Eugenia* sp y el índice SPI de cuatro meses, se tuvo similitud en los años 1971, 1983, 1990, 2000, 2001, 2009 y 2015 e intersecciones en ambos índices en los años 1963, 1965, 1994 y 2011. Se tomaron los meses de mayo, junio y agosto, como resultado se obtuvo una correlación positiva de ($r = 0.343$) entre ambos índices (Figura 50).

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia* sp vs Índices SPEI 6 meses

Se detectaron similitudes en las líneas de tendencia entre el IAA estándar de *Eugenia* sp y el índice SPI de seis meses. Se encontraron coincidencias en los años 1984, 1999 e intersecciones en 1967, 1981, 1988, 1989, 2008, 2009, 2013, 2015 en ambos índices. Se consideraron los meses de enero, febrero y octubre para obtener una correlación negativa de ($r = -0.144$) entre los dos índices (Figura 50).

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia* sp vs Índices SPI 9 meses

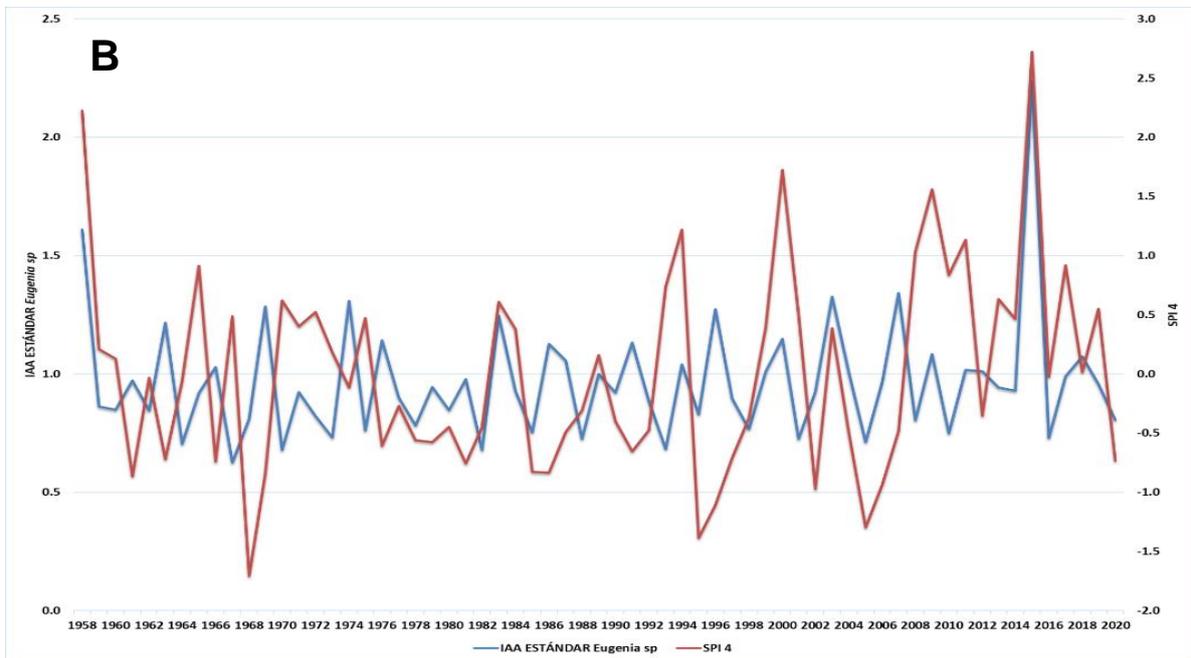
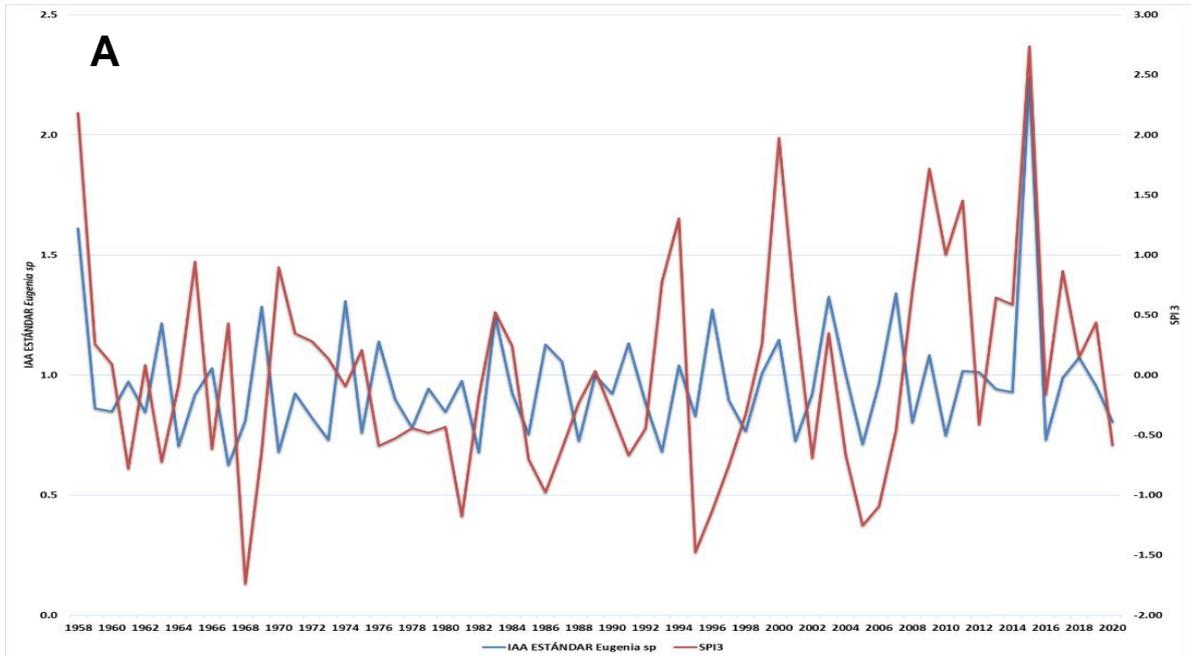
Se evidenciaron en las líneas de tendencia similitudes entre el IAA estándar de *Eugenia* sp y el índice SPI de nueve meses, en los años 1982, 1983, 1989, 1994, 1999, 2000, 2003, 2009, 2015 y puntos de intersección en ambos índices durante los años 1962, 1965, 1971. Se calculó una correlación negativa de ($r = -0.121$) al analizar los datos de los índices presentes en el gráfico, considerando los meses de enero, marzo y mayo (Figura 50).

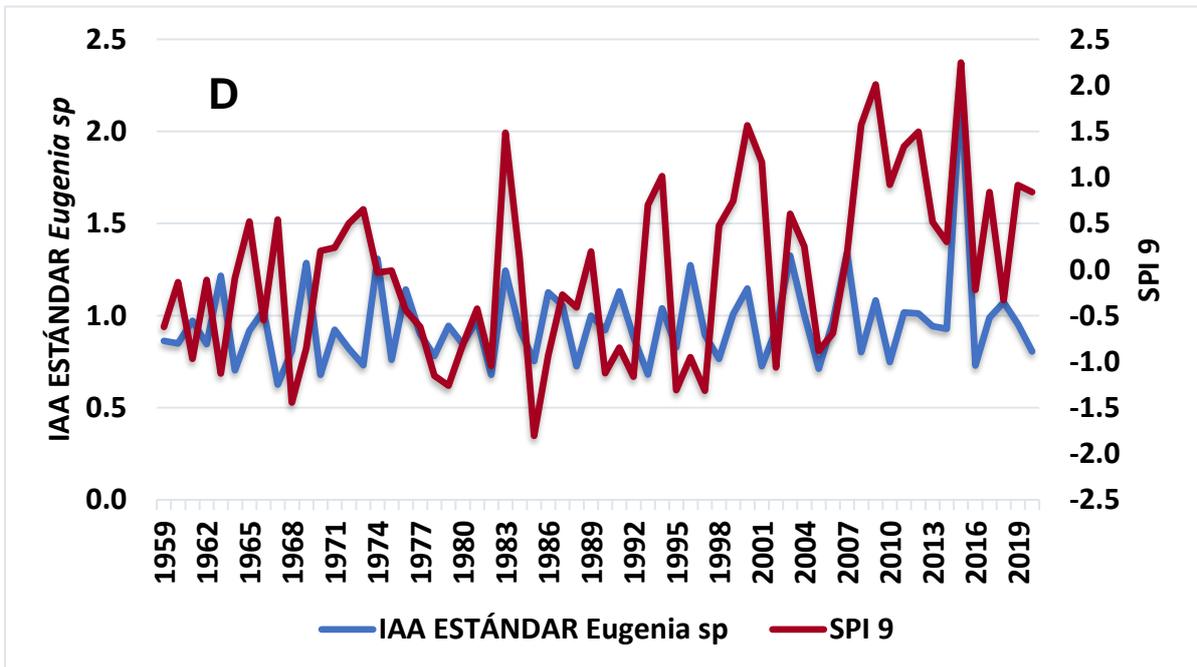
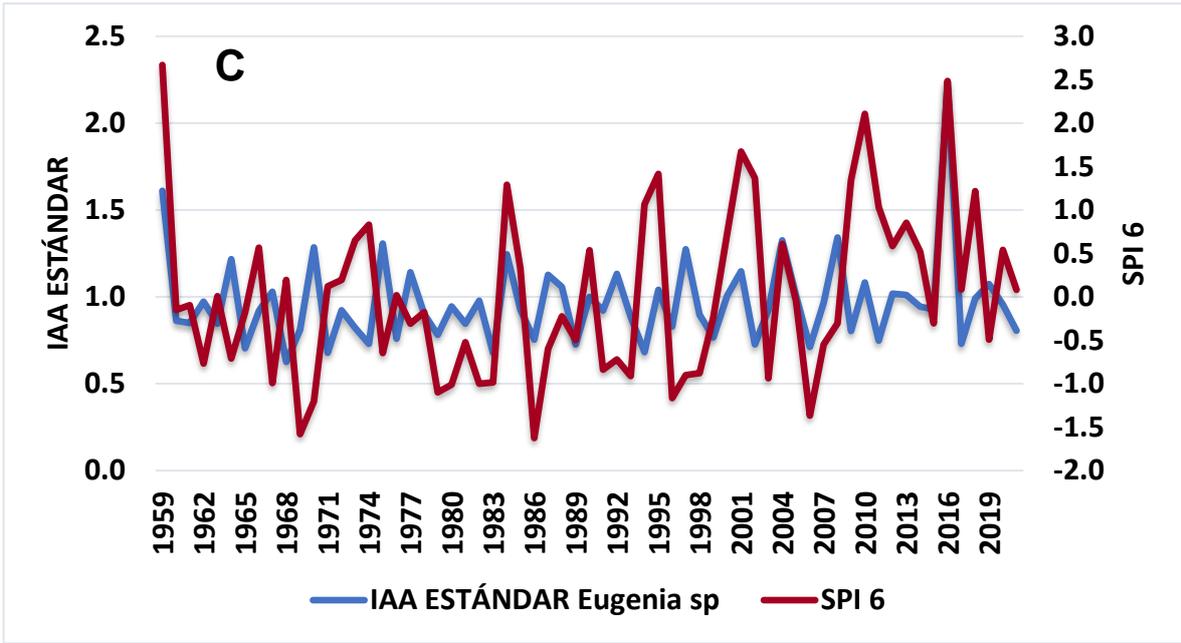
Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia* sp vs Índices SPI 12 meses

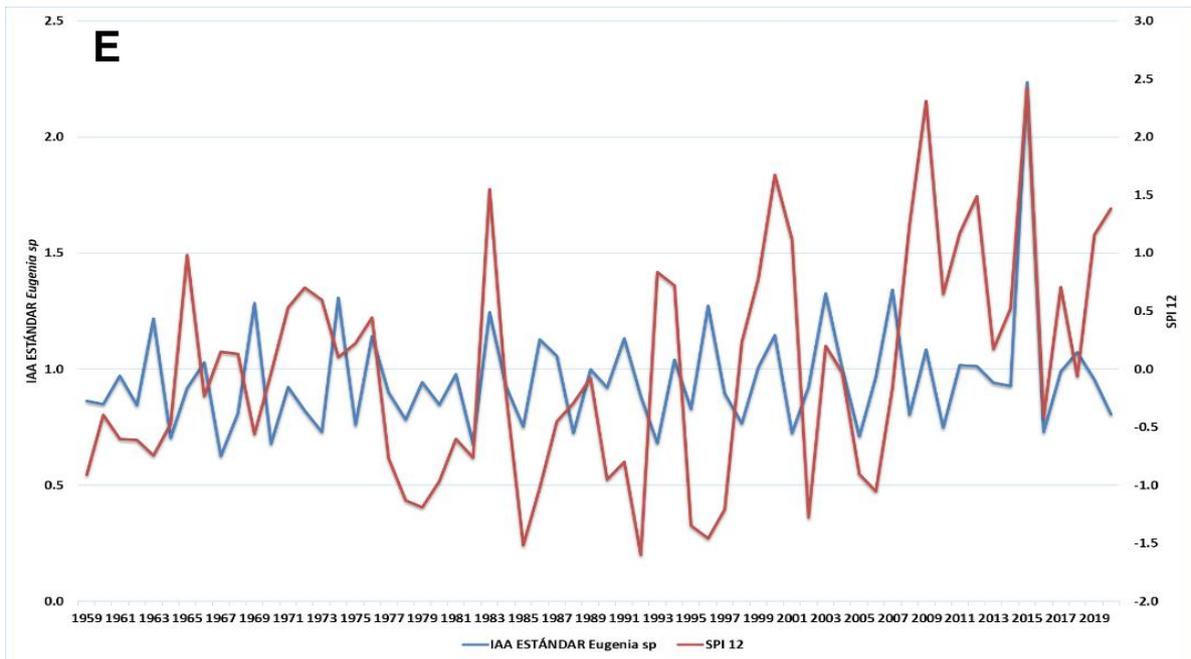
Se pudo observar un punto de coincidencia entre las líneas de tendencia de ambos índices en los años 1971, 1983, 2000, 2015 y puntos de intersección en ambos índices durante los años 1965, 1977, 1989, 1995, 2017. El cálculo de la correlación se realizó a partir de los meses de mayo, junio y julio; obteniendo un valor positivo ($r = 0.269$).

Figura 50

Relación entre la cronología estándar de Eugenia sp y SPI







Nota. A: Relación entre la cronología estándar de *Eugenia* sp y SPI 3 meses desde 1958 – 2022. B: Relación entre la cronología estándar de *Eugenia* sp y SPI 4 meses desde 1959 – 2020. C: Relación entre la cronología estándar de *Eugenia* sp y SPI 6 meses desde 1958 – 2020. D: Relación entre la cronología estándar de *Eugenia* sp y SPI 9 meses desde 1959 – 2020. E: Relación entre la cronología estándar de *Eugenia* sp y SPI 12 meses desde 1959 – 2020.

D) Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia* sp vs Índices SPEI

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia* sp vs Índices SPEI 3 meses

Se encontraron similitudes en las líneas de tendencia de ambos índices, en los años 1960, 1983, 1994 y 1999. Se determinó una correlación negativa ($r = -0.25$) a partir de los meses octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo (Figura 51).

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia* sp vs Índices SPEI 4 meses

Se hallaron semejanzas entre los picos de tendencia de la cronología estándar de *Eugenia* sp y el SPEI de 4 meses en los años 1969, 1974, 1984, 1996, 2007; logrando una correlación negativa ($r = -0.246$) mediante los meses octubre, noviembre y diciembre.

Además, existieron intersecciones entre ambos índices, los años que lo conformaron fueron 1981, 2011 y 2013 (Figura 51).

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia* sp vs Índices SPEI 6 meses

Se visualizaron similitudes en las líneas de tendencia del IAA estándar de *Eugenia* sp y el SPEI de 6 meses; consiguiendo una correlación positiva significativa de ($r = -0.252$) empleando los meses de diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo. Los años que coincidieron fueron 1956, 1961, 1963, 1966, 1969, 1974, 1984, 1996 y 2007. Asimismo, se encontraron intersecciones entre los índices en los años 1980, 2011 y 2012 (Figura 51).

Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia* sp vs Índices SPEI 9 meses

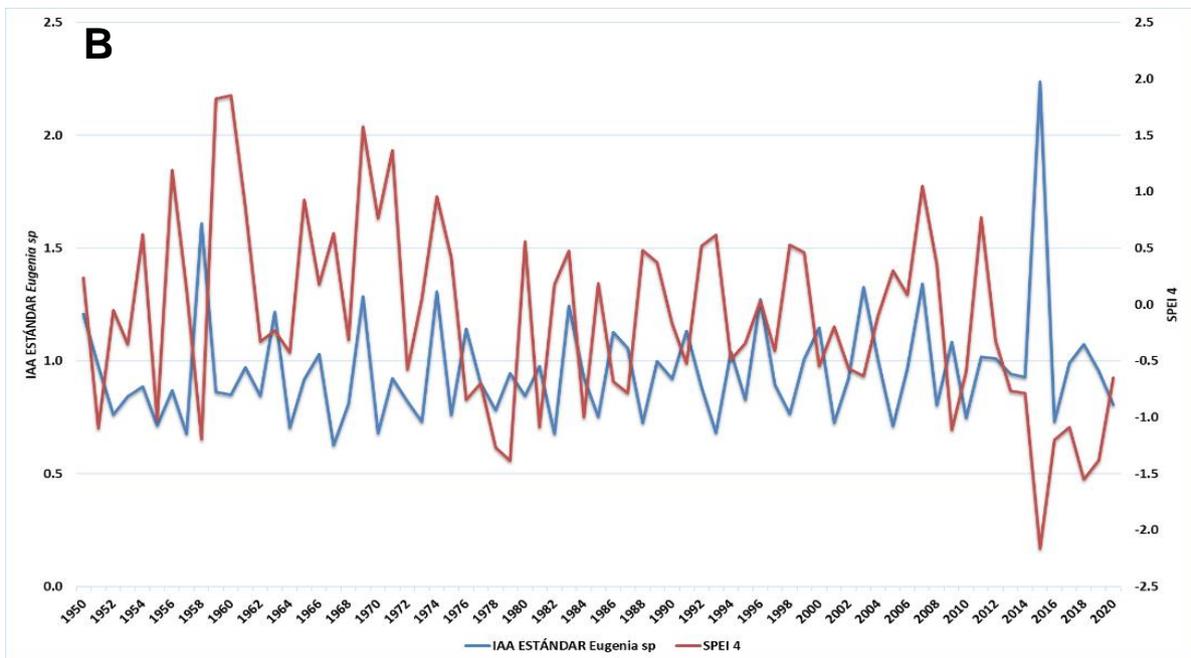
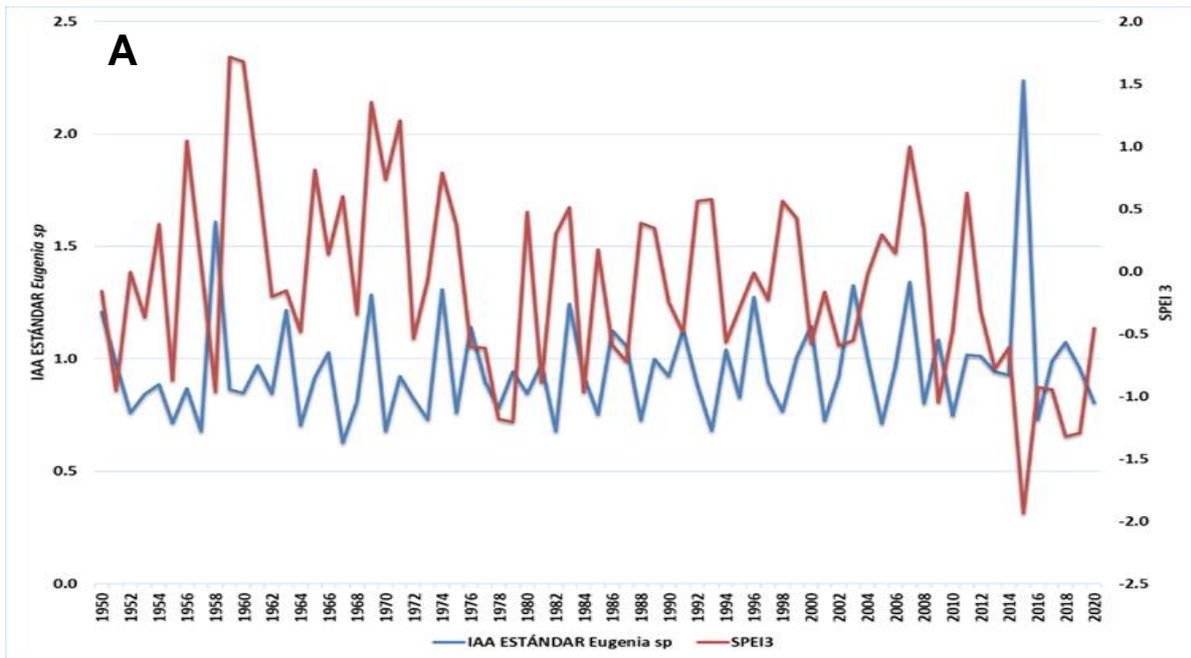
Fueron identificadas semejanzas en las tendencias entre el IAA estándar de *Eugenia* sp y el SPEI de 9 meses, obteniendo una correlación negativa de ($r = -0.2570$) durante los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo. Los años que coincidieron fueron 1969, 1974, 2007, 2000, 1996 y 1983 (Figura 51).

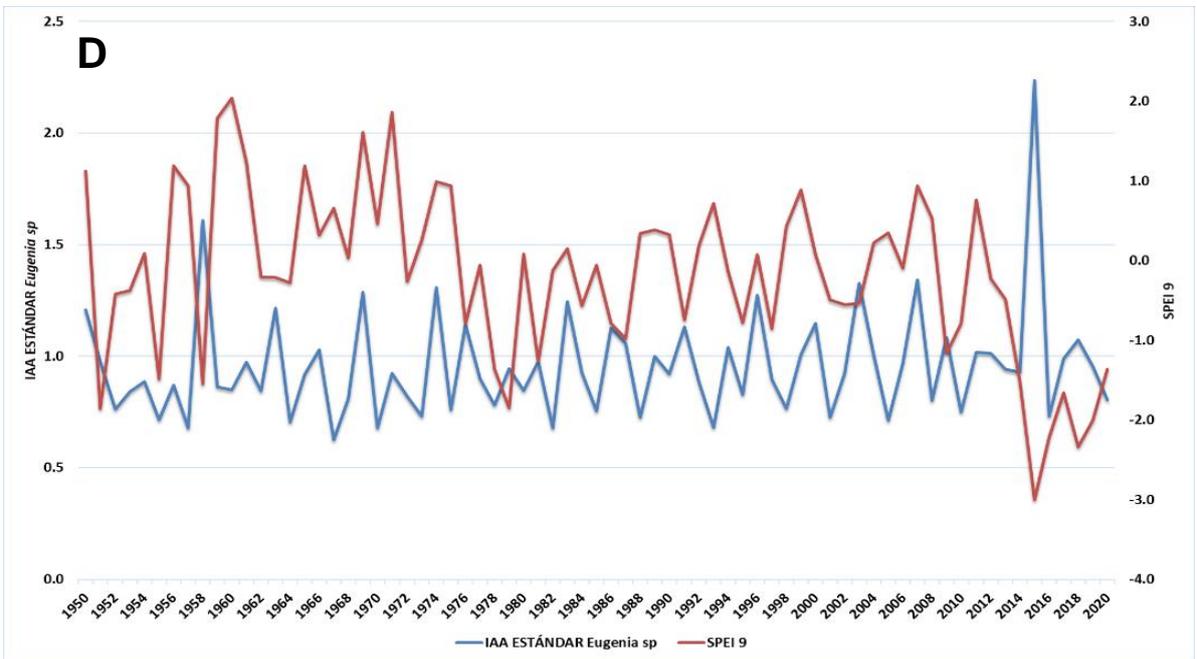
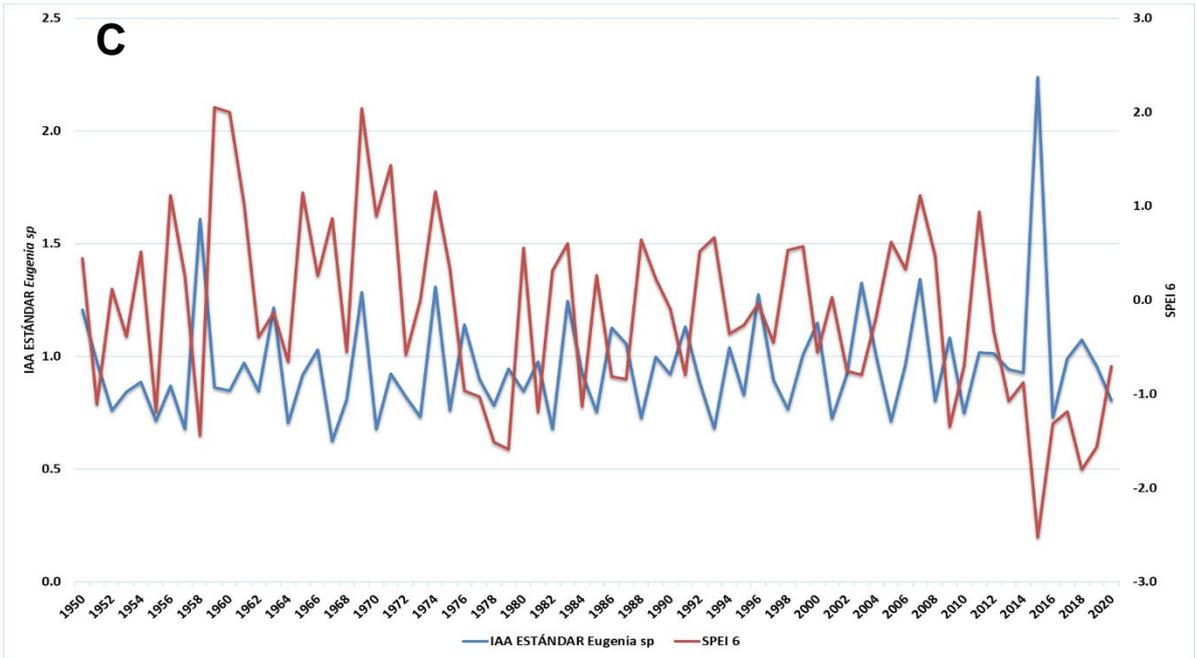
Índice de Ancho de Anillo estándar de *Eugenia* sp vs Índices SPEI 12 meses

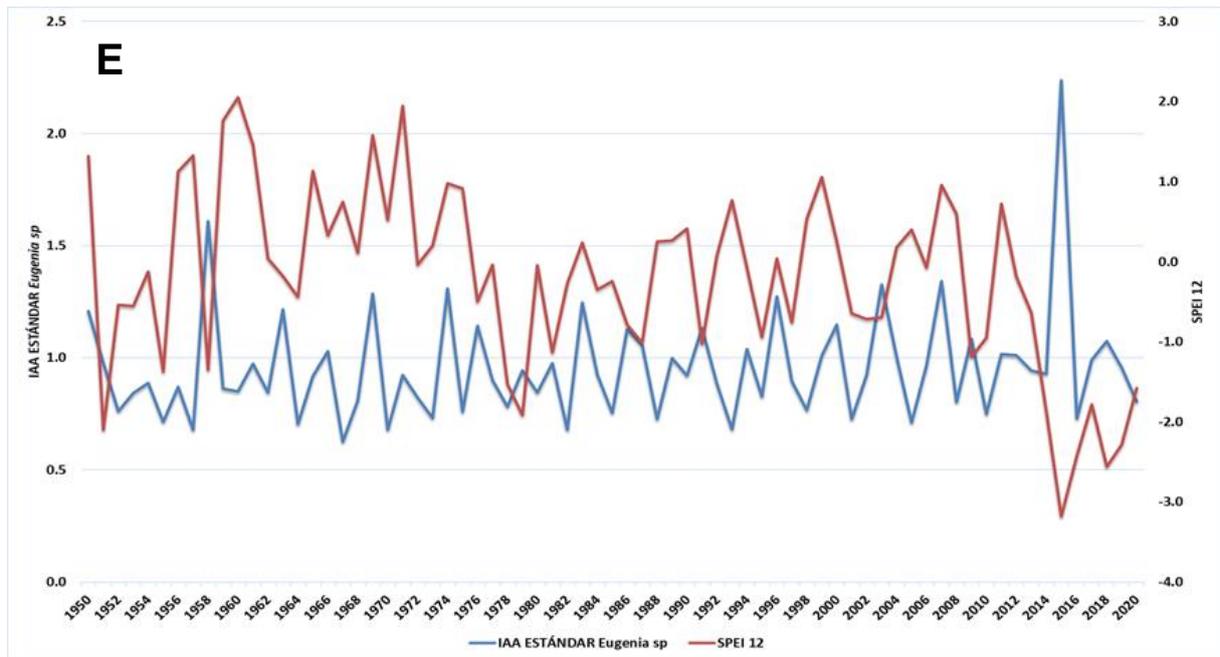
Se observaron concordancias en las líneas de tendencia entre el IAA estándar de *Eugenia* sp y el SPEI de 12 meses, generando una correlación negativa ($r = -0.242$) al utilizar los meses de diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo. Los años que coincidieron fueron 1969, 1976, 1983, 1994, 1996 y 2008

Figura 51

Correlación entre la cronología estándar de Eugenia sp y SPEI







Nota. A: Correlación entre la cronología estándar de *Eugenia* sp y SPEI 3 meses en un período de 73 años (1950 - 2022). B: Correlación entre la cronología estándar de *Eugenia* sp. y SPEI 4 meses en un período de 73 años (1950 - 2020). C: Correlación entre la cronología estándar de *Eugenia* sp. y SPEI 6 meses en un período de 73 años (1950 - 2020). D: Correlación entre la cronología estándar de *Eugenia* sp. y SPEI 9 meses en un período de 73 años (1950 - 2020). E: Correlación entre la cronología estándar de *Eugenia* sp. y SPEI 12 meses en un período de 73 años (1950 - 2022).

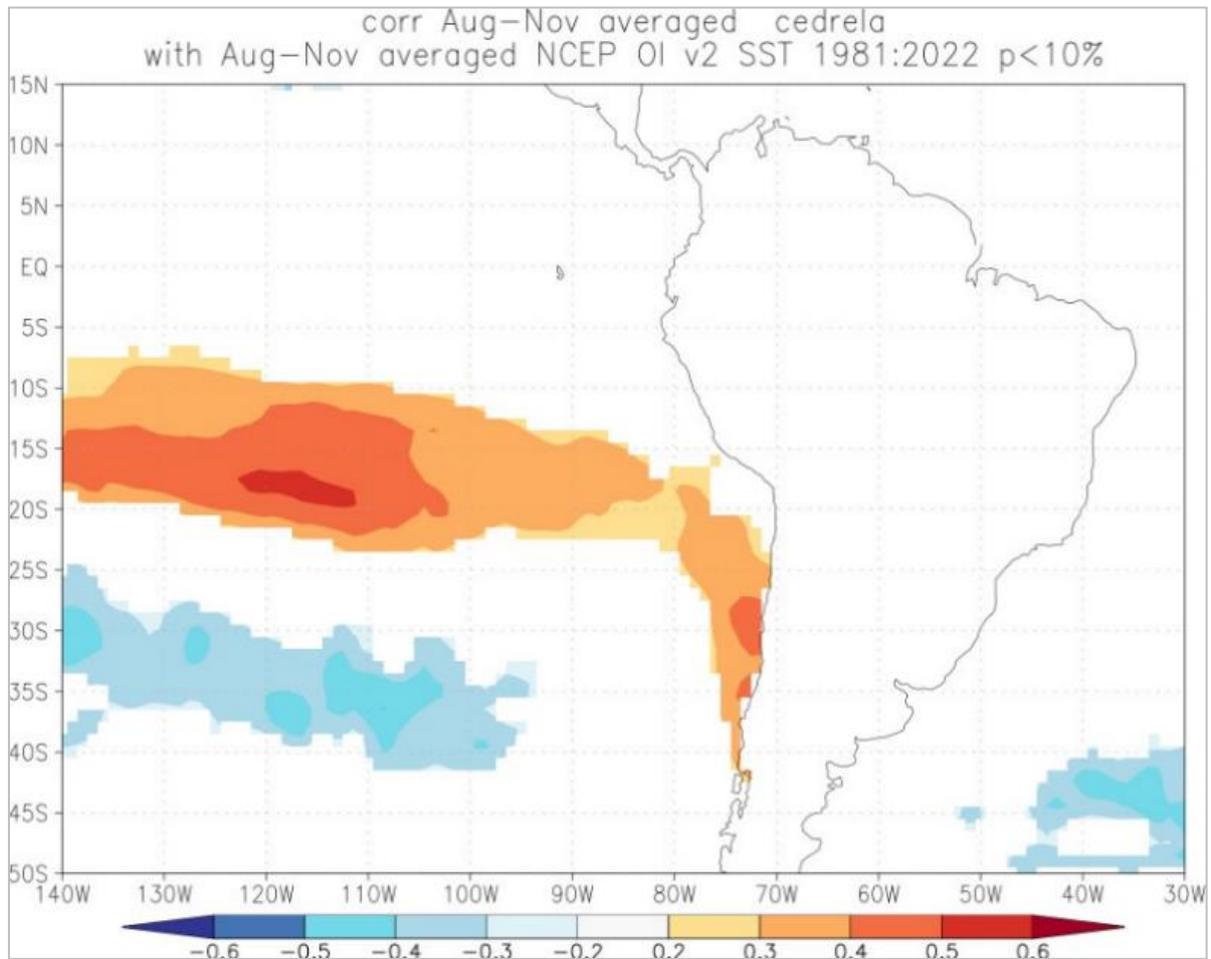
4.1.2.7. Influencia de la TSM en el crecimiento de las especies mediante análisis espacial

A) *Cedrela angustifolia* y la TSM

Los patrones de correlación espacial entre la Temperatura Superficial del Mar (TSM) del océano pacífico y la cronología de *Cedrela angustifolia* mostraron resultados de correlación de Pearson positiva ($p < 0.1$) para el periodo cuatrimestral de agosto a noviembre entre los años 1981 - 2022, además de interpretar la influencia del clima moderada escala en el crecimiento de la especie.

Figura 52

Patrones de correlación espacial entre la cronología estándar de *Cedrela angustifolia* y la TSM en un período de 42 años

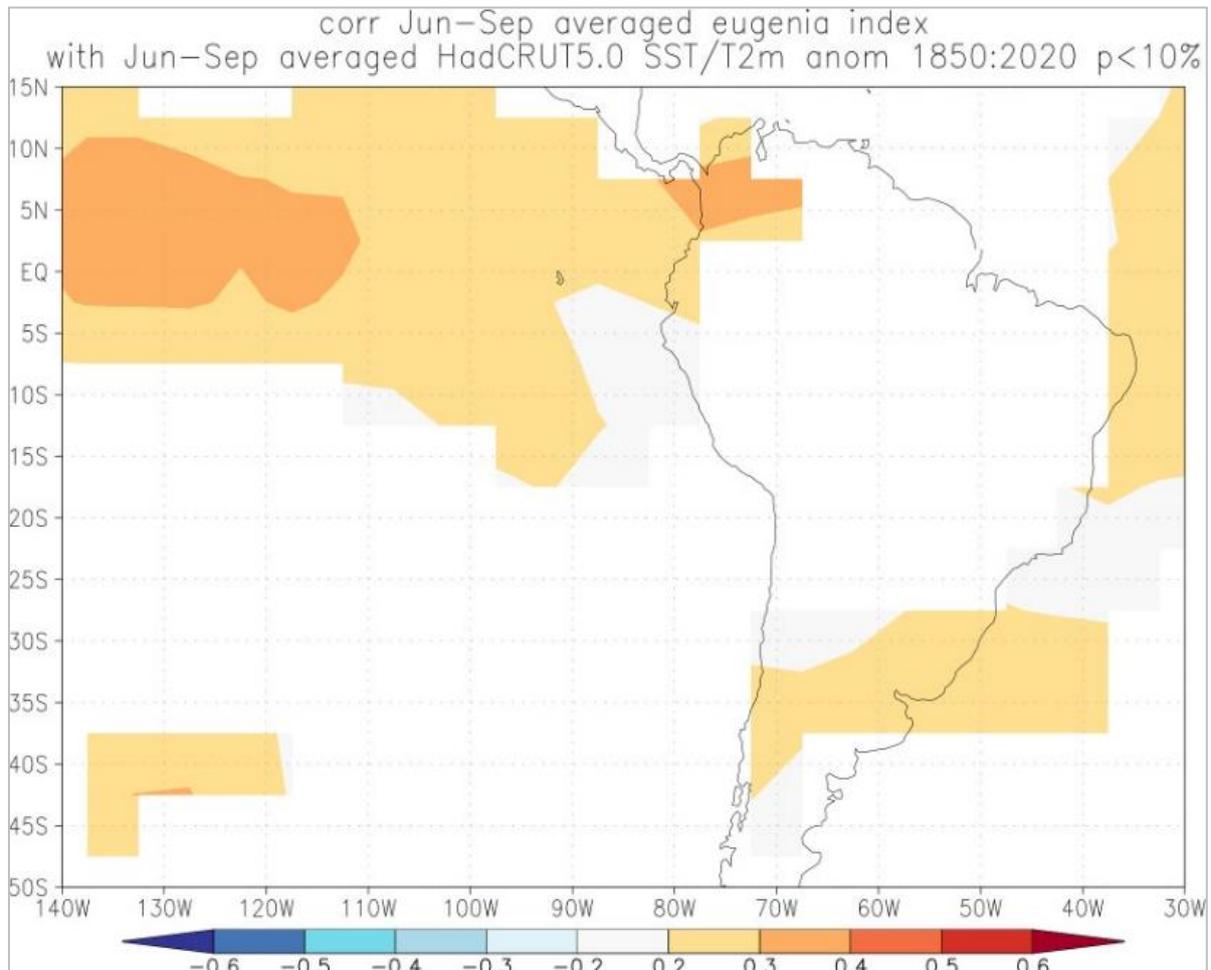


B) *Eugenia* sp. y la TSM

Los patrones de la figura presentan una correlación espacial entre la cronología de *Eugenia* sp y la TSM del pacífico sur mostraron que el crecimiento de la especie se correlaciona positivamente ($p < 0.1$) entre el cuatrimestre de junio - septiembre entre los años del análisis (1850 - 2020). Coincidiendo con las correlaciones positivas significativas obtenidas entre El Índice Niño Oceánico (ONI) y la cronología estándar de la especie en los meses de junio a septiembre.

Figura 53

Patrones de correlación espacial entre la cronología estándar de *Eugenia* sp. y la TSM en un período de 171 años



4.2. Discusión

La visibilidad y definición de los anillos de crecimiento son fundamentales para determinar el potencial dendrocronológico de una especie (Roig et al., 2005). Esta investigación confirma que las especies *Cedrela angustifolia* y *Eugenia* sp. presentan anillos de crecimiento anuales. En el caso de *Cedrela angustifolia*, se observa una delimitación clara del parénquima marginal y una distribución particular de los vasos en el leño. Villalba et al. (1985) respaldan esta observación, señalando que los vasos en bandas circulares en el leño de primavera facilitan la formación de anillos diferenciados. Este hallazgo también es corroborado por otros autores (Tomazello et al., 2001; Marcelo et al., 2020; Sidán, 2011).

Por otro lado, la identificación de los anillos de crecimiento en *Eugenia* sp. también se ha logrado, evidenciando la presencia de anillos anuales leñosos. Esto ha sido confirmado por diversos estudios (Marchiori y Dos Santos, 2009; Dos Santos y Marchiori, 2011; De Moura, 2012; Rebollar & Tapia, 2010).

Los resultados de esta investigación indican que la frecuencia de sequías ha aumentado en la segunda mitad del siglo XX. Según Gómez-Guerrero et al. (2021), el impacto del cambio climático influye directamente en el crecimiento de los ecosistemas, evidenciando una relación entre los anillos anuales de crecimiento y las sequías inducidas por el cambio climático.

En el análisis de los anillos de crecimiento de las especies *Cedrela angustifolia* y *Eugenia* sp., se identificaron los años marcados por sequías utilizando los índices de sequía SPEI y SPI. Para *Cedrela angustifolia*, con el índice SPI, se registraron los años 1987, 1990, 2010, 2011 y 2016; mientras que, con SPEI, los años fueron 1982, 1985, 1987, 1990 y 2011. En el caso de *Eugenia* sp., con el índice SPI, se identificaron los años 1982, 1985, 1990, 1992, 2004, 2010, 2011, 2013, 2014 y 2016; y con SPEI, los años fueron 1982, 1985, 1987, 1990, 1992, 2004, 2005, 2010 y 2013.

Las sequías registradas en los anillos de *Cedrela angustifolia* y *Eugenia* sp. coinciden con lo señalado por Endara et al. (2019), quienes caracterizaron sequías meteorológicas en 20 departamentos del Perú utilizando la base de datos de PISCO y el índice SPI. En su estudio, identificaron los años 1987, 1990 y 2016 para *Cedrela angustifolia*, y 1982, 1985, 1990, 1992, 2004 y 2016 para *Eugenia* sp. Cabe destacar que en 1992 también se produjo un evento de El Niño, que afectó a 16 departamentos del Perú, incluido el norte del país. Además, en 2011 se registraron sequías en Cajamarca (Vega, 2015). Endara (2019) también mencionó períodos de escasez de agua en el norte del Perú durante los primeros tres meses de 1982 y un evento de El Niño en 2015-2016.

Al comparar los datos climáticos extraídos de la plataforma Terraclimate, se evidencia la eficacia de los análisis de correlación de Pearson con los índices de ancho del anillo

estándar de ambas especies. Esto subraya la utilidad de la dendroclimatología para comprender la influencia de las variables climáticas en los bosques estacionalmente secos y pre-montanos del norte del Perú.

El cambio climático ha intensificado la frecuencia y gravedad de las sequías, especialmente en los Andes peruanos, generando un impacto profundo en la vegetación y su capacidad de adaptación (Endara & Lavado-Casimiro, 2023). Estas sequías prolongadas provocan un estrés hídrico considerable en las plantas, alterando su desarrollo, aumentando la evapotranspiración y reduciendo la disponibilidad de agua (Vega-Jácome, 2019). Estas condiciones adversas afectan la fenología, estructura y composición de las especies leñosas, incrementando la mortalidad de las plantas y reduciendo el reclutamiento de nuevos individuos.

Además, el ciclo hidrológico se ve alterado, generando desequilibrios en el balance hídrico entre las lluvias y la evapotranspiración. Dichos desequilibrios no solo afectan a la vegetación, sino que también deterioran la estructura y composición del suelo, aumentando la probabilidad de extinción de especies (Cruz et al., 2023). Los bosques tropicales son particularmente vulnerables a estos cambios, ya que la degradación y fragmentación de sus ecosistemas limitan su capacidad de adaptación (Sullivan et al., 2020). Las actividades humanas, como los incendios forestales y la tala indiscriminada, agravan estas amenazas, lo que hace crucial la conservación de estos bosques para facilitar una adaptación a largo plazo.

Asimismo, el cambio climático altera la dinámica y distribución de la cobertura vegetal, impactando especialmente a la flora en los bosques estacionalmente secos. Las especies que habitan en estos ecosistemas son particularmente sensibles a estos desequilibrios, lo que podría resultar en extinciones (Aide et al., 2019; Giamminola et al., 2020). El aumento de la temperatura y las sequías pueden afectar la fotosíntesis, limitando el crecimiento de las plantas forestales y causando daños en el cambium vascular (Camel, 2024; Pires et al., 2018). Este fenómeno puede conducir a la formación de embolias debido a la distribución inadecuada del agua durante épocas críticas (Lamarque et al., 2018; Camel, 2024).

Sin embargo, algunas especies han mostrado adaptaciones significativas frente a estas condiciones adversas. Por ejemplo, *Caryocar glabrum* ajusta sus características anatómicas para optimizar el abastecimiento hídrico, mientras que ciertas especies del género *Cedrela*, como *Cedrela montana*, presentan respuestas favorables a la sequía al modificar sus vasos xilemáticos, aumentando así su seguridad hidráulica (Ascue, 2021; Rodríguez et al., 2022; Jaurapoma, 2022). Estas adaptaciones son vitales para la resiliencia de las especies ante los cambios ambientales inducidos por el cambio climático y destacan la importancia de comprender cómo los ecosistemas pueden responder a estos desafíos

Las investigaciones sobre reconstrucciones climáticas utilizando especies de bosques tropicales en el norte de Perú son mínimas en comparación con las de ecosistemas del hemisferio norte (Andreu-Hayles et al., 2023). Esta investigación proporciona una base para futuros estudios que consideren la influencia del cambio climático en los eventos del Fenómeno de El Niño.

Se identificaron y registraron eventos de precipitación y sequías en el norte de Perú, utilizando cronologías que superan los 150 años: *Cedrela angustifolia* tiene 154 años y *Eugenia* sp, 216 años. Por lo tanto, estos eventos están condicionados por el efecto del Fenómeno de El Niño en Perú (Lagos et al., 2008).

El análisis del RWI de *Eugenia* sp. y los índices de ENSO, como SOI, ONI e ICEN, reveló sucesos de El Niño que afectaron al norte de Perú. Los años identificados con eventos de El Niño utilizando el índice SOI son 1891, 1925, 1930, 1992 y 2016. Con el índice ONI, se destacan 1957, 1992, 2004 y 2016; y con ICEN, los años más relevantes son 1951, 1953, 1982 y 2016. En el caso de *Cedrela angustifolia* y las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) de la zona Niño 1+2, los años relevantes son 1878, 1884, 1932 y 1942. Estos hallazgos coinciden con la investigación de Endara et al. (2019).

Uno de los eventos más significativos fue el de 1925. Según Takahashi (2017), se debió a la interacción de bajas temperaturas y sequías en el Pacífico ecuatorial central, junto con un aumento de la humedad en la región occidental, lo que favoreció el surgimiento del fenómeno. Los eventos del Niño que fueron cruciales y comparables a los de 1997-1998 son

1891 y 1925, impactando significativamente en todo Perú (Woodman, 1985; Eguiguren, 1894).

La investigación de Tapia (2022) determinó tendencias de precipitación y temperatura en Arequipa, revelando que en 1951 hubo precipitaciones altas y moderadas, y que en 2016 se registraron altas temperaturas. Lavado-Casimiro y Espinoza (2014) describieron los impactos de la TSM en las precipitaciones en Perú, mostrando que se desarrollaron eventos fuertes de El Niño en 1982 y 1992.

A través de la dendrocronología y la dendroclimatología, las primeras investigaciones sobre eventos de El Niño en la costa norte del Perú, que utilizaron cronologías de *Prosopis pallida* y *Bursera graveolens*, encontraron similitudes entre los eventos del ENSO y el ancho de los anillos en los años 1982-1983 (López et al., 2005; Rodríguez et al., 2005; Rodríguez et al., 2018). Estos hallazgos fueron respaldados por Tedeschi (2017) y Wang et al. (2017), quienes también destacaron los eventos de 1982-1983. Además, Zegarra (2024) identificó eventos de El Niño en 1932, 1942, 1951, 1953, 1957 y 1982 al correlacionar cronologías de *Bursera graveolens*, *Cedrela kuelapensis* y *Eriotheca peruviana* con el índice ICEN.

La asociación entre el ancho de los anillos de crecimiento de *Cedrela angustifolia* y *Eugenia* sp y la variabilidad climática destaca estas especies como indicadores valiosos para analizar el impacto del cambio climático en los ecosistemas y su relación con el fenómeno de El Niño.

La información recopilada sugiere la necesidad de desarrollar alternativas y herramientas técnicas para implementar planes de conservación y restauración de bosques estacionalmente secos y premontanos, que han sufrido un impacto significativo por actividades antrópicas, especialmente la ganadería y la agricultura (Villanueva-Díaz et al., 2021).

Además, es fundamental utilizar modelos climáticos para proyectar los efectos del Fenómeno de El Niño en los ecosistemas del norte de Perú. Esta aproximación no solo contribuiría a la comprensión de los cambios climáticos, sino que también facilitaría la planificación de estrategias de manejo sostenible en estas áreas vulnerables.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Los hallazgos obtenidos demuestran la formación de anillos de crecimiento anuales en *Cedrela angustifolia* y *Eugenia* sp., lo que consolida su relevancia en estudios dendrocronológicos y sugiere su potencial para investigaciones futuras en esta área. La clara delimitación anatómica del parénquima marginal y la disposición de los vasos en *Cedrela angustifolia*, junto con la identificación de anillos leñosos en *Eugenia* sp., validan su utilidad para reconstrucciones climáticas precisas y análisis de patrones de crecimiento a largo plazo. Estos resultados refuerzan la aplicabilidad de ambas especies en la investigación dendroclimatológico proporcionando una base sólida para la evaluación del cambio ambiental a lo largo del tiempo y su impacto en los ecosistemas forestales.

La presente investigación demuestra que la frecuencia de sequías ha aumentado durante la segunda mitad del siglo XX, afectando directamente el crecimiento de *Cedrela angustifolia* y *Eugenia* sp, lo cual es observable en sus anillos de crecimiento. La aplicación de los índices SPI y SPEI permitió identificar años críticos de sequía, validando el uso de la dendrocronología como herramienta precisa para evaluar la influencia de las condiciones climáticas en los ecosistemas forestales secos del norte del Perú. Estos resultados resaltan la importancia de continuar monitoreando estos cambios para mejorar las estrategias de conservación y adaptación ante el cambio climático.

La reconstrucción del índice ENSO a lo largo de 150 años, basada en el análisis dendrocronológico de *Cedrela angustifolia* y *Eugenia* sp, evidencia la estrecha correlación entre los eventos de El Niño y las variaciones en los anillos de crecimiento, proporcionando una visión detallada de la influencia climática en los ecosistemas del norte de Perú. El uso de índices climáticos como SOI, ONI e ICEN ha permitido identificar episodios históricos de sequía y precipitación, validando la capacidad de estas especies como bioindicadores clave en estudios dendroclimáticos. Estos resultados subrayan la importancia de integrar enfoques

dendrocronológicos en la planificación de estrategias de conservación y manejo forestal frente a la creciente variabilidad climática inducida por el ENSO.

5.2. Recomendaciones

Para identificar de manera precisa las características anatómicas de los anillos anuales de las especies, es necesario equipos de mayor precisión como estetoscopios, o un sistema de medición de velmex para la medición del ancho de los anillos. En el proceso de extracción de leño mediante el método destructivo, se sugiere que las superficies sean planas, de no lograrse este propósito, es importante tener precisión en el lijado, evitando perder calidad en las imágenes en el escaneo de muestras. Con la finalidad de visualizar de manera prolija la sección transversal, sin la dificultad de identificar los anillos anuales.

En el proceso de lijado y pulido, es crucial usar lijas con granos del 80 al 600 para obtener un acabado que permita la mejor visualización de los anillos de crecimiento y radios leñosos antes de escanear la superficie transversal de las muestras y contar los anillos.

Es necesario para próximas investigaciones recurrir a una data climática *in situ* o como mínimo cerca del lugar evitando exceder las distancias de la selección de muestreo y la estación meteorológica. De esta forma se impide generar discrepancia entre los datos reales de los sitios de investigación.

Es recomendable realizar nuevos estudios de *Cedrela angustifolia*, existiendo la posibilidad de que futuras investigaciones puedan encontrar influencia de los eventos de El Niño con individuos de mayor longevidad. También es importante utilizar barrenos de Pressler de mayor longitud, evitando perder anillos que se encuentren cerca de la médula.

Para futuros estudios, se recomienda priorizar la selección de muestras de leño con edades homogéneas, ya sean longevas o juveniles, para la construcción de cronologías maestras (RWI). Esta práctica permitirá obtener series temporales más robustas y confiables, lo que a su vez fortalecerá los análisis estadísticos dendrocronológicos, y ampliará el alcance de investigaciones enfocadas en reconstrucciones climáticas.

Es recomendable realizar estudios sobre especies endémicas o introducidas, comparando su crecimiento con la variabilidad climática local. Es fundamental evaluar cómo

las condiciones climáticas influyen en su desarrollo tanto en su hábitat de origen como en el nuevo entorno, para entender mejor su capacidad de adaptación.

Se sugiere realizar la identificación de especies en futuras investigaciones mediante el uso de calendarios fenológicos, lo que permitirá un seguimiento más preciso de los patrones de crecimiento y desarrollo estacional de las mismas.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abatzoglou, J. T., Dobrowski, S. Z., Parks, S. A., & Hegewisch, K. C. (2018). TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. *Scientific data*, 5(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.191>
- Aide, T. M., Grau, H. R., Graesser, J., Andrade-Nuñez, M. J., Aráoz, E., Barros, A. P., ... & Zimmerer, K. S. (2019). Woody vegetation dynamics in the tropical and subtropical Andes from 2001 to 2014: Satellite image interpretation and expert validation. *Global change biology*, 25(6), 2112-2126
- Alcocer, F. (2001). Probanzas de indios y españoles referentes a las catastróficas lluvias de 1578, en los corregimientos de Trujillo y Saña. In *Diluvios Andinos a Través de las Fuentes Documentales*, comp. L. Huertas. Fondo Ed. Pontif. Univ. Catól. Perú. Lima. pp. 71–279.
- Allen, CD, Breshears, DD y McDowell, NG (2015). Sobre la subestimación de la vulnerabilidad global a la mortalidad de árboles y la extinción de bosques debido a sequías más cálidas en el Antropoceno. *Ecosfera* , 6 (8), 1-55.
- Allen, K., Dupuy, J. M., Gei, M. G., Hulshof, C., Medvigy, D., Pizano, C., Salgado-Negret, B., Smith, C. M., Trierweiler, A., & Van Bloem, S. J. (2017). Will seasonally dry tropical forests be sensitive or resistant to future changes in rainfall regimes? *Environmental Research Letters*, 12, 023001
- Alves Ferreira, C., & Inga Guillen, J. G. (2022). Guía de anatomía e identificación de 50 especies maderables comerciales en Selva Central, Perú.
- Andreacci, F., Botosso, P. C., & Galvão, F. (2017). Fenología vegetativa e crescimento de *Cedrela fissilis* na Floresta Atlântica, Paraná, Brasil. *Floresta e Ambiente*, 24.

- Andreu-Hayles, L., Tejedor, E., D'arrigo, R., Locosselli, G. M., Rodríguez-Catón, M., Daux, V., ... & Rodríguez-Morata, C. (2023). Dendrochronological advances in the tropical and subtropical Americas: Research priorities and future directions. *Dendrochronologia*, 126124.
- Aquino Ramírez, M. (2019). Análisis dendrocronológico e influencia climática en el crecimiento de tres especies de oyamel en Oaxaca, México. http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/3583/Aquino_Ramirez_M_DC_Ciencias_Forestales_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Aragão, J. R. V., Zuidema, P. A., & Groenendijk, P. (2022). Climate-growth relations of congeneric tree species vary across a tropical vegetation gradient in Brazil. *Dendrochronologia*, 71, 125913.
- Arana Ruedas, D. P. R., Soto Guerra, L., Popli, K., & Madaki, S. G. (2023). Evaluación Espacio-Temporal de Sequías Usando el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) en el Valle del Mantaro, Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 25(3), 159-170.
- Arroyo, S., Rodríguez, E., Leiva, S., Zapata, M., & Mora, M. (2008). El bosque relicto de Cachil (Provincia Gran Chimú, Departamento La Libertad, Perú), un ecosistema que necesita planes de conservación urgente. *Arnaldoa*, 15(2), 289-296.7
- Ascue Miranda, B. S. (2021). Evaluación de la influencia de sequías en las características anatómicas de *Caryocar glabrum* (Aubl.) Pers, Satipo, Junín, 2021.
- Beltrán Gutiérrez, L. A., & Valencia Ramos, G. M. (2013). Anatomía de anillos de crecimiento de 80 especies arbóreas potenciales para estudios dendrocronológicos en la Selva Central, Perú. *Revista de Biología Tropical*, 61(3), 1025-1037.

- Bennett, A. C., Rodrigues de Sousa, T., Monteagudo-Mendoza, A., Esquivel-Muelbert, A., Morandi, P. S., Coelho de Souza, F., ... & Phillips, O. L. (2023). Sensitivity of South American tropical forests to an extreme climate anomaly. *Nature Climate Change*, 13(9), 967-974. <https://www.nature.com/articles/s41558-023-01776-4>
- Bitrán, D. (1998). El fenómeno del Niño: su naturaleza y los riesgos asociados a su presencia recurrente. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/313f1398-62f3-44dc-95b4-fa7030282c47/content>
- Boninsegna, J. A., Argollo, J., Aravena, J. C., Barichivich, J., Christie, D., Ferrero, M. E., ... & Villalba, R. (2009). Dendroclimatological reconstructions in South America: A review. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281(3-4), 210-228.
- Brienen, R. J. W., & Zuidema, P. A. (2005). Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. *Oecologia*, 146(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0160-y>
- Brienen, R. J., Schöngart, J., & Zuidema, P. A. (2016). Tree rings in the tropics: insights into the ecology and climate sensitivity of tropical trees. *Tropical tree physiology: adaptations and responses in a changing environment*, 439-461.
- Brienen, R.J.W., Zuidema, P.A. 2003. Anillos de crecimiento de árboles maderables en Bolivia: su potencial para el manejo de bosques y una guía metodológica (Informe técnico No. 7), PROMAB / IGEMA. Riberalta, Bolivia.
- Bunn, A. G. (2008). A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia*, 26(2), 115-124.
- Bunn, A., Korpela, M., Biondi, F., Campelo, F., Mérian, P., Qeadan, F., & Zang, C. (2023). dplR: Dendrochronology Program Library in R. R package version 1.7. 5.

- Camel Paucar, V. F. (2024). Fenotipado fotosintético, evolución estructural de rubisco y transcriptómica de *Calycophyllum spruceanum* y *Guazuma crinita*.
- Chave, J., Muller-Landau, H. C., Baker, T. R., Easdale, T. A., Steege, H. T., & Webb, C. O. (2006). Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. *Ecological applications*, 16(6), 2356-2367. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[2356:RAPVOW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[2356:RAPVOW]2.0.CO;2)
- Comisión Multisectorial Temporal, adscrita al Ministerio del Ambiente - MINAM. SERFOR. (2016)
- Comisión Multisectorial Temporal, adscrita al Ministerio del Ambiente - MINAM. SERFOR. (2016). HACIA UNA ESTRATEGIA NACIONAL SOBRE BOSQUES Y CAMBIO CLIMÁTICO. <https://www.serfor.gob.pe/pdf/ENBCC%20-%20DOCUMENTO%20EN%20CONSULTA.pdf>
- Cook, E. R. (1985). A time series analysis approach to tree ring standardization. Tesis doctoral. University of Arizona, School of Renewable Natural Resources. Tucson, AZ, USA. Disponible en: <https://lrr.arizona.edu/content/time-series-analysis-approach-tree-ring-standardization>
- Cook, E. R. (1987). The decomposition of tree-ring series for environmental studies.
- Cook, E. R., & Holmes, R. L. (1986). Users Manual for Program ARSTAN. Laboratory of Tree-Ring Research. *Tucson, USA: University of Arizona*.
- Cook, E., Briffa, K., Shiyatov, S., Mazepa, V., & Jones, P. D. (1990). Data analysis. In *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences* (pp. 97-162). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Cook, E.R., Kairiukstis, L. 1990. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Kluwer, Dordrecht, Países Bajos

- Costa, C. M., Pagotto, M. A., Aragão, J. R. V., & Lisi, C. S. (2023). Differences in climate-growth relationships between two tree species that co-occur in a seasonally dry tropical forest in Northeastern Brazil. *Dendrochronologia*, 79(126072), 126072. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2023.126072>
- Crispin De La Cruz, D. B. (2021). Influencia de la variabilidad climática en el crecimiento radial de POLYLEPIS TARAPACANA PHILL. En Chiluyo-Tacna.
- Crispín-DelaCruz, D. B., Morales, M. S., Andreu-Hayles, L., Christie, D. A., Guerra, A., & Requena-Rojas, E. J. (2022). High ENSO sensitivity in tree rings from a northern population of *Polylepis tarapacana* in the Peruvian Andes. *Dendrochronologia*, 71, 125902.
- Crispín-DelaCruz, D. B., Morales, M. S., Andreu-Hayles, L., Christie, D. A., Guerra, A., & Requena-Rojas, E. J. (2022). High ENSO sensitivity in tree rings from a northern population of *Polylepis tarapacana* in the Peruvian Andes. *Dendrochronologia*, 71(125902), 125902. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125902>
- da Silva, C. J., do Vale, A. T., & Miguel, E. P. (2015). Densidade básica da madeira de espécies arbóreas de Cerradão no estado de Tocantins. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 35(82), 63-75. <https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.82.822>
- de Moura Seabra, L. (2012). Anatomia ecológica e dendrologia de *Eugenia sonderiana* O. Berg e *Eucalyptus saligna* sm. na Serra do Cipó MG.
- Dechamps, R. (1985). Etude anatomique de bois d'Amerique du Sud. Musee Royal de l'Afrique Centrale. Belgique. Annales. Serie [N-8. N 14,471 p.
- Del Piero, R., Guerra, L. S., Popli, K., & Madaki, S. G. Evaluación Espacio-Temporal de Sequías Usando el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) en el Valle del Mantaro, Perú.

- Domínguez Varas, J. C. (2014). Evaluación de la influencia de la precipitación y temperatura en el crecimiento de *Pinus patula* y *Pinus muricata* en plantaciones de la Granja Porcón (Perú) a través de técnicas dendrocronológicas.
- dos Santos, S. R., & Marchiori, J. N. C. (2011). Estudo anatômico do lenho de *Eugenia hiemalis* Cambess.(Myrtaceae). *Balduinia*, (31), 27-32.
- Dünisch, O., Montóia, V. R., & Bauch, J. (2003). Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L.(Meliaceae) in the central Amazon. *Trees*, 17, 244-250.
- Endara Huanca, S. M. (2019). Monitoreo de sequía para Sistemas de Alerta Temprana: descripción de índices para el monitoreo de sequía hidrológica implementado en el SENAMHI.
- Endara Huanca, S. M., & Lavado-Casimiro, W. (2023). Impacto del cambio climático y uso del suelo en la propagación de la sequía meteorológica a la hidrológica en cuencas amazónicas del Perú.
- Endara Huanca, S. M., Acuña, D., Vega-Jácome, F., Febre, C., Correa, K., & Avalos, G. (2019a). Caracterización espacio temporal de la sequía en los departamentos altoandinos del Perú (1981-2018).
- Endara Huanca. Repositorio Institucional SENAMHI. (2019b). Monitoreo de sequía para Sistemas de Alerta Temprana <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-83.pdf>
- ENFEN, 2012: Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú, Nota Técnica.

- Enquist, B.J., Leffler, A.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. doi: 10.1017/S0266467401001031
- Farfán, R.W. (2019). Forest Responses to Climate Along an Andes-To-Amazon Elevational Gradient. A Dissertation Submitted to the Graduate Faculty of the Wake Forest University Graduate School of Arts and Science. For the Degree of Doctor of Philosophy
- Fenomeno Niño y Niña - IDEAM. (s/f). Gov.co. Recuperado el 28 de diciembre de 2023, de <http://www.ideam.gov.co/web/siac/ninoy Nina>
- FRITTS HC (1976) Tree rings and climate. Academic Press, New York. 576 pp
- Fritts, H. (2012). Anillos de árboles y clima . Elsevier.
- Fritts, H. C. (1976). Tree rings and climate Academic Press. New York.
- Fritts, H.C. 2001. Tree Rings and Climate. Blackburn Press, Cadwell, Estados Unidos.
- Gentry, AH (1995). Diversidad y composición florística de los bosques secos neotropicales. *Bosques tropicales estacionalmente secos*, 1, 146-194. <https://www.cambridge.org/core/books/abs/seasonally-dry-tropical-forests/diversity-and-floristic-composition-of-neotropical-dry-forests/4482CBC6F9FD8E01E0F6D30E9B7156A4>
- Giamminola, E. M., Urtasun, M. M., Lamas, C. Y., & De Viana, M. L. (2020). Will global change modify the distribution of the *Anadenanthera colubrina* (Fabales: Fabaceae) plant, a key species in dry tropical forest?. *Revista de Biología Tropical*, 68(2), 517-527.
- Gómez-Guerrero, A., Correa-Díaz, A., & Castruita-Esparza, L. U. (2021). Cambio climático y dinámica de los ecosistemas forestales. *Revista fitotecnica mexicana*, 44(4), 673-682

- Grissino-Mayer, H. D. (2001). Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA.
- Gutiérrez, E. (2009). La dendrocronología: métodos y aplicaciones. En "Arqueología nautica mediterrània ". Universidad de Barcelona. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/228769173_La_dendrocronologia_metodos_y_aplicaciones.
- Guttman, N. B. (1994). On the sensitivity of sample L moments to sample size. *Journal of climate*, 1026-1029.
- Harris, I. C., Jones, P. D., & Osborn, T. (2017). CRU TS4. 01: Climatic Research Unit (CRU) Time-Series (TS) version 4.01 of high-resolution gridded data of month-by-month variation in climate (Jan. 1901–Dec. 2016). Centre for Environmental Data Analysis, 25.
- Hocquenghem, A. M., & Ortlieb, L. (1990). Pizarre n'est pas arrive au Perou durant une annee El Nino. *Bulletin de l'Institut français d'Études Andines*, 19(2), 327-334.
- Hocquenghem, A. M., & Ortlieb, L. (1992). Eventos El Niño y lluvias anormales en la costa del Perú: siglos XVI-XIX. *Bulletin de l'Institut français d'études andines*, 21(1), 197-278. https://www.persee.fr/doc/bifea_0303-7495_1992_num_21_1_1060
- Hocquenghem, AM y Ortlieb, L. (1992). Registro histórico de los eventos de El Niño en el Perú (siglos XVI-XVIII): Revisión de la cronología de Quinn et al. (1987). En *Paleo ENSO Records*, Pasante. Simposio, Lima. http://sinpad.indeci.gob.pe/UploadPortalSINPAD/Informacion_Fenomeno_Ni%C3%B1o/pdf/eng/doc9247/doc9247-contenido.pdf
- Holdridge, L. R. (1987). Ecología basada en zonas de vida (No. 83). Agroamérica.

- Holmes, R. L. 1983. Computer-assited quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Buletin* 43: 69-78. https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO-GWP_Manual-de-indicadores_2016
- Humanes-Fuente, V., Ferrero, M. E., Muñoz, A. A., González-Reyes, Á., Requena-Rojas, E. J., Barichivich, J., ... & Layme-Huaman, E. T. (2020). Two centuries of hydroclimatic variability reconstructed from tree-ring records over the Amazonian Andes of Peru. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(18), e2020JD032565.
- IPCC. 2014. "Summary for Policymakers." In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, by C.D. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, et al., 1–32. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Jaurapoma Condori, T. M. (2022). Influencia climática en las características de los vasos de xilema en *Cedrela montana* Moritz ex Turcz en un bosque nublado andino del Perú.
- Jiménez Córdova, A., Vargas Tristán, V., Salinas Castillo, W. E., Aguirre Bortoni, M. D. J., & Rodríguez Cabrera, D. (2004). Aptitud agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el sur de Tamaulipas, México. *Investigaciones geográficas*, (53), 58-74.
- Jiménez, C., Prigent, C., Mueller, B., Seneviratne, S. I., McCabe, M. F., Wood, E. F., ... & Wang, K. (2011). Global intercomparison of 12 land surface heat flux estimates. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D2).
- Jiménez-Carrión, M., Gutiérrez-Segura, F., & Celi-Pinzón, J. (2018). Modelado y Predicción del Fenómeno El Niño en Piura, Perú mediante Redes Neuronales Artificiales usando Matlab. *Información tecnológica*, 29(4), 303-316.

- Kaennel, M., & Schweingruber, F. H. (1995). Multilingual glossary of dendrochronology. WSL FNP, Haupt, 133, 162-184.
- Krottenthaler, S., Pitsch, P., Helle, G., Locosselli, G. M., Ceccantini, G., Altman, J., ... & Anhof, D. (2015). A power-driven increment borer for sampling high-density tropical wood. *Dendrochronologia*, 36, 40-44.
- Lagos, P., Silva, Y., Nickl, E., & Mosquera, K. (2008). El Niño–related precipitation variability in Perú. *Advances in Geosciences*, 14, 231-237.
- Larsson, L. (2013). Coorecorder and Cdendro programs of the Coorecorder /Cdendro package version 7.8. Cybis Dendrochronology: Home of CDendro & Coorecorder. Recuperado de: <http://www.cybis.se/forfun/dendro/>
- Larsson, L. Å. C. (2013). CDendro Programs of the Coorecorder/CDendro Package Version 8.1. Saltsjöbaden, Sweeden. <http://www.cybis.se/forfun/dendro>
- Lavado-Casimiro, W., & Espinoza, J. C. (2014). Impacts of El Niño and La Niña in the precipitation over Perú (1965-2007).
- Layme-Huaman, E. T., Ferrero, M. E., Palacios-Lazaro, K. S., & Requena-Rojas, E. J. (2018). *Cedrela nebulosa*: A novel species for dendroclimatological studies in the montane tropics of South America. *Dendrochronologia*, 50, 105-112.
- Le Quesne, C., Stahle, D. W., Cleaveland, M. K., Therrell, M. D., Aravena, J. C., & Barichivich, J. (2006). Ancient Austrocedrus tree-ring chronologies used to reconstruct central Chile precipitation variability from AD 1200 to 2000. *Journal of Climate*, 19(22), 5731-5744.
- Leandro, L. (2009). Revisión bibliográfica de las densidades de especies maderables del proyecto TROPI-DRY. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal.

- Lebacqz, L. (1973). Classification de bois de l'Amazonie péruvienne: Caractères anatomiques et physiques (Vol. 3). Musée royal de l'Afrique centrale.
- Linares-Palomino, R., & Alvarez, S. I. P. (2005). Tree community patterns in seasonally dry tropical forests in the Cerros de Amotape Cordillera, Tumbes, Peru. *Forest Ecology and Management*, 209(3), 261-272.
- Llerena, C.A. 2014. Morir por el bosque. *Xilema* 27: 15-16.
- Llorente, C. (2012). La historia que nos explican los árboles. *Biol. On-line*, 1(2).
- Locosselli, G. M., Brienen, R. J., Leite, M. D. S., Gloor, M., Krottinger, S., Oliveira, A. A. D., ... & Buckeridge, M. (2020). Global tree-ring analysis reveals rapid decrease in tropical tree longevity with temperature. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(52), 33358-33364.
- López Callejas, L., & Villalba, R. (2011). Una aproximación dendrocronológica a la ecología y el manejo de los bosques tropicales secos del cerrado boliviano.
- López, B. C., Sabaté, S., Gracia, C. A., & Rodríguez, R. (2005). Wood anatomy, description of annual rings, and responses to ENSO events of *Prosopis pallida* HBK, a widespread woody plant of arid and semi-arid lands of Latin America. *Journal of Arid Environments*, 61(4), 541-554.
- López, L., Giménez, M., & Villalba, R. (2023). La dendrocronología como herramienta útil para evaluar la variabilidad del crecimiento radial en 11 especies tropicales de Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 58(1), 7-14.
- Lugo, A. E., & Murphy, P. G. (1986). Nutrient dynamics of a Puerto Rican subtropical dry forest. *Journal of Tropical Ecology*, 2(1), 55-72.

- Luna Robles, A. A. (2020). *Aplicación de técnicas dendrocronológicas en Pinus teocote Schiede ex Schltdl para la reconstrucción climática en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León). <http://eprints.uanl.mx/20019/1/1080313953.pdf>
- Macharé, J., & Ortlieb, L. (1993). Registros del fenómeno El Niño en el Perú. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 22(1), 35-52.
- Mamani Jiménez, L.C. (2019). Variabilidad hidroclimática espacio-temporal en la cuenca andina del Río Beni. [Tesis de pregrado, Universidad Mayor De San Andrés]. https://www.researchgate.net/publication/354700261_VARIABILIDAD_HIDROCLIMATICA_ESPACIO-TEMPORAL_EN_LA_CUENCA_ANDINA_DEL_RIO_BENI
- Marcelo-Peña, J.L. (2008). Vegetación leñosa, endemismos y estado de conservación en los bosques estacionalmente secos de Jaén, Perú. *Revista peruana de biología*, 15(1), 43-52. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1727-99332008000100007&script=sci_arttext
- Marcelo-Peña, J.L., Huamantupa, I., Särkinen, T., & Tomazello, M. (2016). Identifying conservation priority areas in the Marañón valley (Peru) based on floristic inventories. *Edinburgh Journal of Botany*, 73(1), 95-123.
- Marcelo-Peña, J.L., Roig, F. A., Goodwin, Z. A., & Tomazello-Filho, M. (2020). Characterizing growth rings in the trees of Perú: A wood anatomical overview for potential applications in dendroecological-related fields. *Dendrochronologia*, 62, 125728.
- Marcelo-Peña, J.L., Tomazello-Filho, M. *Dendrología y Anatomía de la Madera de Árboles de los Bosques Estacionalmente Secos del Valle del Marañón Perú*. (2020). Universidad Nacional Agraria La Molina.

Marcelo-Peña, J.L. & M. Tomazello - Filho. Dendrología y anatomía de la madera de árboles de los bosques estacionalmente secos del valle del Marañón. Perú. Editado por la Universidad Nacional Agraria la Molina. ISBN: N° 978-612-4387-42-5. Hecho el primer depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N°2020 - 00120. Primera edición: Dic 2019 Tiraje: 500 ejemplares. Impreso en Perú. QyP Impresores SRL. Lima 2020; 172 p.

Marchiori, J. N. C., & dos Santos, S. R. (2009). Anatomia do xilema secundário de *Eugenia mansoi* O. Berg (Myrtaceae). *Balduinia*, (16), 06-12.

Maruyama, A. S. de C. (2023). Flora de Myrtaceae en los remanentes de Cerrado y Mata Atlántica en el municipio de Cunha, SP, Brasil (tesis de maestría, Universidade Federal de São Carlos). Tomado de [https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/18356/DISSERTA%
c3%87%83O_VERS%
c3%83O_FINAL_AM._P%
c3%93S_DEFESA.doc_com_ficha_catalogr%
c3%a1fica.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/18356/DISSERTA%c3%87%83O_VERS%c3%83O_FINAL_AM._P%c3%93S_DEFESA.doc_com_ficha_catalogr%c3%a1fica.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Matskovsky, V., Venegas-González, A., Garreaud, R., Roig, FA, Gutiérrez, AG, Muñoz, AA, ... & Canales, C. (2021). Disminución del crecimiento de los árboles como respuesta al cambio climático proyectado en el siglo XXI en los bosques montañosos mediterráneos de Chile. *Cambio global y planetario*, 198, 103406. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921818120302976>

McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, 17 a 22 de enero de 1993. American Meteorological Society, Boston, 179–184.

Melandri, J. L., Dezzeo, N., & Espinoza de Pernía, N. (2007). Periodicidad de los anillos de crecimiento en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* proveniente de una plantación del

estado Mérida, Venezuela. Revista Forestal Venezolana, 51(1), 57-66.
<https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-forestal-venezolana/articulo/periodicidad-de-los-anillos-de-crecimiento-en-pinus-caribaea-var-hondurensis-proveniente-de-una-plantacion-del-estado-merida-venezuela>

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, H. A., Camarero, J. J., & Gutiérrez, E. (2016). Dendrocronología en bosques neotropicales secos: métodos, avances y aplicaciones. *Ecosistemas*, 25(2), 66-75. Doi.: 10.7818/ECOS.2016.25-2.08

Menezes, I. R. N., Aragao, J. R. V., Pagotto, M. A., & Lisi, C. S. (2022). Teleconnections and edaphoclimatic effects on tree growth of *Cedrela odorata* L. in a seasonally dry tropical forest in Brazil. *Dendrochronologia*, 72, 125923.

Merino, E. G. (2009). La dendrocronología: métodos y aplicaciones. X. Nieto & MA Cau, *Arqueología náutica mediterránea*, 309-322.

Missouri Botanical Garden. (2024). Tropicos: Base de datos sobre la flora vascular . Recuperado de <https://www.tropicos.org>

Monteagudo, A., Villalba, M., Pallqui, N., Phillips, O., Baker, T., Lopez-Gonzalez, G., ... & Marca-Zevallos, M. J. (2023). La impresionante diversidad y estructura del bosque tropical a través de una gradiente altitudinal en la selva central del Perú. *Q'EUÑA*, 14(1), 7-27.

- Morales, M. S. Duncan A. C. Neukom, R., Rojas, F. Villalba, R. (2018). Variabilidad hidroclimática en el sur del Altiplano: pasado, presente y futuro. Serie Conservación de la Naturaleza 24: La Puna argentina: naturaleza y cultura. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/99110/CONICET_Digital_Nro.6e4e3802-630b-4a51-89e9-74933920533f_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Morales, M. S., Cook, E. R., Barichivich, J., Christie, D. A., Villalba, R., LeQuesne, C., ... & Boninsegna, J. A. (2020). Six hundred years of South American tree rings reveal an increase in severe hydroclimatic events since mid-20th century. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(29), 16816-16823.
- Moya, J., & Lara, A. (2011). Cronologías de ancho de anillos de queñoa (*Polylepis tarapacana*) para los últimos 500 años en el Altiplano de la región de Arica y Parinacota, Chile. *Bosque (valdivia)*, 32(2), 165-173.
- MUÑOZ, E. L. S. Variación interanual en la estructura vertical de las ondas de Kelvin ecuatoriales y su impacto en las ondas atrapadas a la mar frente a Perú y Chile.
- Nash, S. E. (2002). Archaeological tree-ring dating at the millennium. *Journal of Archaeological Research*, 10, 243-275. <https://doi.org/10.1023/A:1016024027669>
- National Centers for Environmental Information (NCEI). Southern Oscillation Index (SOI). www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/ENSO/soi.
- NOAA Climate.gov. Climate Variability: Oceanic Niño Index. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-oceanic-nino-index>.
- Oelkers, R. C., Andreu-Hayles, L., D'Arrigo, R., Pacheco-Solana, A., Rodriguez-Caton, M., Fuentes, A., ... & Maldonado, C. (2023). Recent growth increase in endemic *Juglans boliviana* from the tropical Andes. *Dendrochronologia*, 79, 126090.

Oliveira, D. M. (2019). Descrição e anatomia ecológica do xilena secundário de *Eugenia inundata* DC.(Myrtaceae) sob influência da inundação do lago Tefé, Amazonas.

Olmedo, G. M., Fontana, C., & Oliveira, J. M. (2022). Primary and secondary growth phenology of *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake at different time scales. *Dendrochronologia*, 72, 125921.

OMM-No 1173 Aspirar a Un Mundo Con Seguridad Hídrica TIEMPO CLIMA AGUA . Programa de Gestión Integrada de Sequías. Manual de Indicadores e Índices de Sequía. Disponible en:

Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Asociación Mundial para el Agua (2016): Manual de indicadores e índices de sequía (M. Svoboda y B.A. Fuchs). Disponible en : https://library.wmo.int/?lvl=notice_display&id=19617#.YW4ShhrMLIU

Ortiz, E., Ghezzi, I., Salazar, P., & Rodríguez, R. (2018). Identificación y caracterización de los anillos de crecimiento en *Prosopis* sp de la costa norte del Perú. *Naturaleza y Sociedad*, 1(1).

Palacios-Hernández, E., Carrillo, L., Tereshchenko, I., Ortiz-Bañuelos, A. D., & Ávalos-Cueva, D. (2017). Análisis de datos meteorológicos a lo largo de la costa del Océano Pacifico mexicano (anomalías: Parte II). *Ra Ximhai*, 13(3), 223-241. <https://www.redalyc.org/pdf/461/46154070013.pdf>

Pallqui Camacho, N. C. (2013). Dinámica de un bosque tropical: Biomasa aérea y análisis en parcelas permanentes a largo plazo, Reserva Nacional Tambopata-Madre de Dios. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/885>Pallqui, C.N. (2019). Response of Andes -Amazon Forests to Environmental Change. Submitted in accordance with the requirements for the degree of Masters by Research The University of Leeds School of Geography.

- Paredes-Villanueva, K, R. Sánchez-Salguero, R.D. Manzanedo, R.Q. Sopepi, G. Palacios, R.M. Navarro-Cerrillo. Growth rate and climatic response of *Machaerium scleroxylon* in a dry tropical forest in southeastern Santa Cruz, Bolivia. *Tree-Ring Res.*, 69 (2013), pp. 63-79
- Paredes-Villanueva, K., López, L., & Navarro Cerrillo, R. M. (2016). Regional chronologies of *Cedrela fissilis* and *Cedrela angustifolia* in three forest types and their relation to climate. *Trees*, 30, 1581-1593.
- Pennington, R. T., Lavin, M., & Oliveira-Filho, A. (2009). Woody plant diversity, evolution, and ecology in the tropics: perspectives from seasonally dry tropical forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 437-457. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120327>
- Peña Moreno, K. Y., & Ruiz Barzola, O. H. D. (2022). Reconstrucción de datos climáticos e hidrológicos a través de la dendrocronología en el sur del Ecuador (Doctoral dissertation, ESPOL. FCNM).
- Peña, J. L. M. (2017). Diversidade florística, dendrologia e dendroecologia em florestas estacionais decíduas do Centro e Norte do Peru (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Peralta, K. M. C. (2022). Caracterización de la madera de 95 especies forestales del sur de Ecuador con base a sus propiedades físicas, organolépticas y anatómicas. Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. Recuperado de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/24554>.
- Pereyra Espinoza, M. J., Inga Guillen, G. J., Santos Morales, M., & Arisméndiz, R. (2014). Potencialidad de *Cedrela odorata* (Meliaceae) para estudios dendrocronológicos en la selva central del Perú. *Revista de Biología Tropical*, 62(2), 783-793.

- Pinto, C. A. L., Paredes, S. R. Y., & Espinoza, E. S. (2016). Los bosques y el cambio climático en el Perú: situación y perspectivas.
- Pires, H. R. A., Franco, A. C., Piedade, M. T. F., Scudeller, V. V., Kruijt, B., y Ferreira, C. S. (2018). Flood tolerance in two tree species that inhabit both the Amazonian 147 floodplain and the dry Cerrado savanna of Brazil. *AoB PLANTS*, 10(6), 1–15.
- Pizarro Tapia, M. R., Hernández Gentina, I. R., Muñoz Rodríguez, J., Torres Godoy, H., & Torres Miranda, G. (1988). Elementos técnicos de hidrología II. Proyecto regional mayor sobre uso y conservación de recursos hídricos en áreas rurales de América Latina y El Caribe.
- Pizarro, R., Ausensi, P., Aravena, D., Sangüesa, C., León, L., & Balocchi, F. (2009). Evaluación de Métodos Hidrológicos para la Completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la Región del Maule, Chile. *Aqua-Lac*, 1(2), 172-184.
- 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
- Portal Amaya, M. B. (2019). Procesamiento digital de imágenes aplicado al análisis dendrocronológico en Algarrobo.
- Portal Cahuana, L. A. (2019). Potencial dendrocronológico de la especie *Tachigali vasquezii* Pipoly y la relación con el cambio climático, en un bosque de terraza baja en el sur oriente del Perú.

- Portal-Cahuana, L. A., Huamán-Guevara, R. M., & Colina-Nano, H. C. (2023). *Zanthoxylum rhoifolium* y su potencial para estudios dendrocronológicos en la Amazonía peruana. *Ciência Florestal*, 33, e67592. <https://doi.org/10.5902/1980509867592>
- Póvoa M, P; Muñoz B, E. 2012. Anais da reuniao técnica temática: aneis de crescimento e clima. Colombo, PR, Brasil.
- Prendin, A. L., Petit, G., Carrer, M., Fonti, P., Björklund, J., & von Arx, G. (2017). New research perspectives from a novel approach to quantify tracheid wall thickness. *Tree physiology*, 37(7), 976-983.
- 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.
- Purca Cuicapusa, S. (2005). Variabilidad temporal de baja frecuencia en el Ecosistema de la Corriente Humboldt frente a Perú. <https://biblioimarpe.imarpe.gob.pe/bitstream/20.500.12958/2108/1/Purca%20Cuicapusa%2c%20Sara.pdf>
- Quesada-Román, A., Ballesteros-Cánovas, J. A., Granados-Bolaños, S., Birkel, C., & Stoffel, M. (2020). Dendrogeomorphic reconstruction of floods in a dynamic tropical river. *Geomorphology*, 359, 107133.
- Rasal-Sánchez, M., Troncos-Castro, J., Lizano-Durán, C., Parihuamán-Granda, O., Quevedo-Calle, D., Rojas-Idrogo, C., & Delgado-Paredes, G. E. (2012). La vegetación terrestre del bosque montano de Lanchurán (Piura, Perú). *Caldasia*, 34(1), 1-24. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0366-52322012000100001&script=sci_arttext

- Rebollar, S., & Quintanar, A. (2000). Anatomía y usos de la madera de siete árboles tropicales de México. *Revista de biología tropical*, 48(2-3), 569-578.
- Rebollar-Domínguez, S., & Tapia-Torres, N. A. (2010). Anatomía de la madera de dos especies de *Eugenia* (Myrtaceae) de Quintana Roo, México. *Madera y bosques*, 16(1), 85-98.
- Reyes, G. (1992). Wood densities of tropical tree species (Vol. 88). US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station.
- Reynel, C., Kometter, R., Chavesta, M., Vargas, C., Palacios, S., Montenegro, R., ... & Nuñez, N. F. R. (2017). Evaluación dendrológica y anatómica de las especies del género *Cedrela*.
- Reynolds, R. W., Rayner, N. A., Smith, T. M., Stokes, D. C., & Wang, W. (2002). An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *Journal of climate*, 15(13), 1609-1625.
- Rodríguez, D. R. O., Hevia, A., Sánchez-Salguero, R., Santini, L., de Carvalho, H. W. P., Roig, F. A., & Tomazello-Filho, M. (2022). Exploring wood anatomy, density and chemistry profiles to understand the tree-ring formation in Amazonian tree species. *Dendrochronologia*, 71, 125915.
- Rodríguez, R., Mabres, A., Luckman, B., Evans, M., Masiokas, M., & Ektvedt, T. M. (2005). "El Niño" events recorded in dry-forest species of the lowlands of northwest Peru. *Dendrochronologia*, 22(3), 181-186.
- Rodríguez, R., Mabres, A., Palacios, E., & Salazar, P. (2018). El Niño registrado en especies arbóreas del bosque seco de la costa norte del Perú. *BOLETÍN TÉCNICO*, 5(4).
- Rodríguez-Caton, M., Andreu-Hayles, L., Daux, V., Vuille, M., Varuolo-Clarke, A. M., Oelkers, R., ... & Villalba, R. (2022). Hydroclimate and ENSO variability recorded by oxygen

isotopes from tree rings in the South American Altiplano. *Geophysical Research Letters*, 49(4), e2021GL095883.

Rodríguez-Morata, C., Pacheco-Solana, A., Ticse-Otarola, G., Espinoza, T. B., Crispín-DelaCruz, D. B., Santos, G. M., ... & Andreu-Hayles, L. (2022). Revealing *Polylepis microphylla* as a suitable tree species for dendrochronology and quantitative wood anatomy in the Andean montane forests. *Dendrochronologia*, 76, 125995.

Rodríguez-Ramírez, EC, Ferrero, ME, Acevedo-Vega, I. *et al.* Ajustes plásticos en las características de los vasos xilemáticos ante eventos de sequía en tres especies de *Cedrela* de los bosques tropicales andinos peruanos. *Sci Rep* **12** , 21112 (2022).

Rodwell, M. J., Rowell, D. P., & Folland, C. K. (1999). Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate. *Nature*, 398(6725), 320-323. <https://www.nature.com/articles/18648>

Roig, F. A., Osornio, J. J. J., Diaz, J. V., Luckman, B., Tiessen, H., Medina, A., & Noellemeyer, E. J. (2005). Anatomy of growth rings at the Yucatán Peninsula. *Dendrochronologia*, 22(3), 187-193.

Romero, A. E. L., & Casimiro, W. S. L. (2015). Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la cuenta Jetepeque, Perú. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 28(3).

Rosa, S. A. (2013). Aspectos dendroecológicos e dendroclimatológicos de *Calophyllum brasiliense* Cambess.(Calophyllaceae) ocurriendo em diferentes tipologias de áreas úmidas no Brasil.

Rosero, J. 2009. Dendrocronologia de árboles de mogno, *Swietenia macrophylla* King., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica do Departamento de Madre de

Dios, Peru. Universidad de Sao Paulo. Recuperado de:
<https://teses.uspbr/teses/disponiveis/11/11150/tde-18052009-165913/pt-br.php>

Ryan Hills (Botanic Gardens Conservation International (BGCI)). (2021). IUCN Red List of Threatened Species: *Cedrela angustifolia*. IUCN Red List of Threatened Species.
<https://www.iucnredlist.org/es/species/61794858/61794860>

Sarmiento, V. (2018). Estructura, composición florística y diversidad funcional del bosque seco tropical (Bs-T) de Cúcuta, Colombia.

Schulman, E. (1956). Cambios dendroclimáticos en la América semiárida. Cambios dendroclimáticos en la América semiárida.

Sección 6. Explicaciones sobre el desarrollo de la planta. (s/f). Fao.org. Recuperado el 28 de diciembre de 2023, de <https://www.fao.org/3/x8234s/x8234s0b.htm>

SERFOR 2020. Estado situacional del género *Cedrela* en Perú. Lima, Perú. 130 pp

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). 2021h. Avalos, G., Correa, K., Quevedo, K., Tello, C., Endara, S., Acuña, J., ... & Cristóbal, K. (2021). Glosario de términos relacionados a sequías, gestión de riesgo y cambio climático 2021. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01405SENA-7.pdf>.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). 2014. El fenómeno EL NIÑO en el Perú. https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final_web.pdf. El Niño/ Oscilación del Sur. (s/f). Wmo.int.

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). 2021. Cuenta de Bosques del Perú. Lima, 78 pp.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1811/libro.pdf.

- Sidán, O. M. (2011). Crecimiento de *Cedrela lilloi* (Meliaceae) en áreas de Yungas cercanas a Los Toldos (Salta, Argentina). *Lilloa*, 205-216.
- Speer, J. H. (2010). *Fundamentals of tree-ring research*. University of Arizona Press.
- Stokes, M. A., & Smiley, T. L. (1968). *An introduction to tree-ring dating*. Illinois: The University of Press
- Sullivan, M. J., Lewis, S. L., Affum-Baffoe, K., Castilho, C., Costa, F., Sanchez, A. C., ... & Vargas, P. N. (2020). Long-term thermal sensitivity of Earth's tropical forests. *Science*, 368(6493), 869-874.
- Sun, C., Zhu, L., Liu, Y., Hao, Z., & Zhang, J. (2021). Changes in the drought condition over northern East Asia and the connections with extreme temperature and precipitation indices. *Global and Planetary Change*, 207, 103645.
- Surayothee, W., Buajan, S., Fu, P., Pumijumnong, N., Fan, Z., Panthi, S., ... & Brockelman, W. Y. (2021). Growth-Climate Relationships and Long-Term Growth Trends of the Tropical Forest Tree *Choerospondias axillaris* (Anacardiaceae) in East-Central Thailand. *Forests*, 12(12), 1655.
- Svoboda, Mark; Hayes, Michael; Wood, Deborah A.; Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2012). Índice Normalizado de Precipitación. World Metreological Organization. Recuperado 14 de agosto de 2023, de <https://library.wmo.int/idurl/4/31495>
- SVS. "NASA Scientific Visualization Studio | the Oceanic Niño Index." SVS, 23 June 2023, svs.gsfc.nasa.gov/30847/. Accessed 28 Dec. 2023. <https://svs.gsfc.nasa.gov/30847/>
- Takahashi, K. (2017). Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño: Boletín técnico.

- Tapia Ramos, A. B. (2022). Tendencia de la precipitación y temperatura debido al cambio climático observados en dos estaciones meteorológicas de la región de Arequipa 1965-2020.
- Tarazona Reyes, RR (2020). Estado situacional del género *Cedrela* spp. en el Perú. Presentación en PowerPoint. Recuperado 14 de agosto de 2023 <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1252008/Estado%20situacional%20de%20g%C3%A9nero%20Cedrela%20spp.%20en%20el%20Per%C3%BA.pdf>
- Tello, S. S. (2011). Zonas de vida de Cajamarca.
- Ticahuanca, R. C. A., Jihuallanca, E. Á. C., & Cahuana, L. A. P. (2020). Características anatómicas y propiedades físicas de la madera de *Cedrela odorata* L., de 22 años, San Gabán–Perú. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 4(3), 8-19.
- Toby Pennington, R., Prado, D. E., & Pendry, C. A. (2000). Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. *Journal of Biogeography*, 27(2), 261-273. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2000.00397.x>
- Tomazello F, M., Botosso, P. C., Lisi, C. S., & Spathelf, P. (2001). *Cedrela angustifolia* Ses. et Moc. ex Dc., Meliaceae: Potential species for tropical dendrochronology. <https://jpsonline.co.in/index.php/jop/article/view/1804>
- Tomazello Filho, M., Lisi, C. S., Hansen, N., & Cury, G. (2004). Anatomical features of increment zones in different tree species in the State of São Paulo, Brazil. *Scientia Forestalis*, 66, 46-55. <https://www.fao.org/3/XII/0218-B4.htm>
- Toro Trujillo, A. M., Arteaga Ramírez, R., Vázquez Peña, M. A., & Ibáñez Castillo, L. A. (2015). Relleno de series diarias de precipitación, temperatura mínima, máxima de la región norte del Urabá Antioqueño. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(3), 577-588.

- Trenberth, K. E. (1997). The definition of el nino. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(12), 2771-2778.
- Trenberth, K. E., & Stepaniak, D. P. (2001). Indices of el Niño evolution. *Journal of climate*, 14(8), 1697-1701.
- Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 13 Nov 2023 <<https://tropicos.org>>. TROPICOS. 2023. Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. [http:// www.tropicos.org](http://www.tropicos.org) (consultado junio de 2023)
- Trouet V. & Van Oldenborgh, G.J., 2013. KNMI climate explorer: a web-based research tool for high resolution paleoclimatology. *Tree - Ring Research* 69, 3-13. <https://doi.org/10.3959/1536-1098-69.1.3>
- Trouet, V., & Van Oldenborgh, G. J. (2013). KNMI Climate Explorer: a web-based research tool for high-resolution paleoclimatology. *Tree-Ring Research*, 69(1), 3-13.
- Trouet, V., & Van Oldenborgh, G. J. (2013). KNMI Climate Explorer: a web-based research tool for high-resolution paleoclimatology. *Tree-Ring Research*, 69(1), 3-13. <https://doi.org/10.3959/1536-1098-69.1.3>
- Van Oldenborgh, G. J., & Burgers, G. (2005). Búsqueda de variaciones decenales en las teleconexiones de precipitación ENOS. *Geophysical Research Letters*, 32(15).
- Vega, J. D., & Suirezs, T. M. (2009). Densidad de Cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) y Rabo Itá (*Lonchocarpus leucanthus* Burk.) en función del ancho de anillos y porosidad. *Revista de Ciencia y Tecnología*, (11), 47-54.
- Vega, R. R., & Saab, H. P. (2020). Diversidad florística del bosque seco tropical en las subregiones bajo y medio Sinú, Córdoba, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 68(1), 167-179.

- Vega-Jácome, F. (2015). Regionalización y caracterización de sequias en el Perú.
- Vega-Jácome, F. Repositorio Institucional SENAMHI. (2016). Análisis del riesgo de sequía en el sur del Perú. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-78.pdf>
- Venegas González, A. D. (2013). Dendrocronología de árboles de *Tectona grandis* L. e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf de plantação da Mata da Pedreira, Campus da ESALQ-USP, Piracicaba, SP (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Venegas-González, A., Juñent, F. R., Gutiérrez, A. G., & Peña-Rojas, K. (2018). Efecto de la variabilidad climática sobre los patrones de crecimiento y establecimiento de *Nothofagus macrocarpa* en Chile central. *Bosque (valdivia)*, 39(1), 81-93.
- Venegas-González, A., Roig, F. A., Lisi, C. S., Junior, A. A., Alvares, C. A., & Tomazello-Filho, M. (2018). Drought and climate change incidence on hotspot *Cedrela* forests from the Mata Atlântica biome in southeastern Brazil. *Global Ecology and Conservation*, 15(e00408), e00408. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00408>
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscale drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*, 23(7), 1696-1718.
- Vicente-Serrano, S. M., Gouveia, C., Camarero, J. J., Beguería, S., Trigo, R., López-Moreno, J. I., ... & Sanchez-Lorenzo, A. (2013). Response of vegetation to drought time-scales across global land biomes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(1), 52-57.
- Vicuña-Miñano, E. E. (2005). Las Podocarpaceas de los bosques montanos del noroccidente peruano. *Revista Peruana de Biología*, 12(2), 283-288. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332005000200011

- Vigilancia, O. M. M. (2006). alerta temprana de la sequía: Conceptos, progresos y desafíos futuros. OMM, (1006), 31006-8. WMO_drought_monitoring_early_warning_es_2006.pdf (droughtmanagement.info).
- Villalba, R., Boninsegna, J. A., & Holmes, R. L. (1985). *Cedrela angustifolia* and *Juglans australis*: two new tropical species useful in dendrochronology.
- Villanueva Díaz, J. Cerano Paredes J., Constante García, V., Peter Z. Fulé., Cornejo Oviedo, E. (2009). Variabilidad hidroclimática histórica de la sierra de Zapalinamé y disponibilidad de recursos hídricos para Saltillo, Coahuila. *Madera y Bosques* 15(3), 45-64.
- Villanueva Díaz, J., Cerano Paredes, J., Rosales Matta, S., Arroccena López, J.C., Stahle, D. W., Ruiz Corral, J. A. y Martínez Sifuentes, A. R. (2014). Variabilidad hidroclimática reconstruida con anillos de árboles para la cuenca alta del Río Mezquital, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(10), 1897-1912. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i10.1025>
- Villanueva Diaz, J., Peter Z., Fulé., Cerano Paredes, J., Estrada Ávalos, J. y Sánchez Cohen, I. (2009). Reconstrucción de la precipitación estacional para el barlovento de la Sierra Madre Occidental con anillos de crecimiento de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. *Revista Ciencia Forestal en México*, 34(105), 39-71.
- Villanueva-Díaz, J., Martínez-Sifuentes, A. R., Reyes-Camarillo, F. D. R., & Estrada-Ávalos, J. (2021). Reconstruction of precipitation and temperature with annual growth rings of the cypress *Taxodium mucronatum* (Taxodiaceae) in Coahuila, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 69(1), 302-316.
- Villanueva-Díaz, J., Stahle, D. W., Therrell, M. D., Beramendi-Orosco, L., Estrada-Ávalos, J., Martínez-Sifuentes, A. R., ... & Cerano-Paredes, J. (2020). The climatic response of

- baldcypress (*Taxodium mucronatum* Ten.) in San Luis Potosi, Mexico. *Trees*, 34, 623-635.
- Villanueva-Díaz, J., Stahle, D. W., Therrell, M. D., Beramendi-Orosco, L., Estrada-Ávalos, J., Martínez-Sifuentes, A. R., ... y Cerano-Paredes, J. (2020). La respuesta climática del ciprés calvo (*Taxodium mucronatum* Ten.) en San Luis Potosí, México. *Árboles*, 34, 623-635.
- Vizarreta Alvarez Calderon, A. E. (2023). Influencia climática en la anatomía de la madera de *Juglans neotropica* en un bosque de montaña montano, Chanchamayo-Perú. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12793/2/IV_FIN_107_T_E_Vizarreta_Alvarez_Calderon_2023.pdf
- Von Arx, G., & Carrer, M. (2014). ROXAS—A new tool to build centuries-long tracheid-lumen chronologies in conifers. *Dendrochronologia*, 32(3), 290-293.
- Wang, G., Cai, W., Gan, B., Wu, L., Santoso, A., Lin, X., ... & McPhaden, M. J. (2017). Continued increase of extreme El Niño frequency long after 1.5 C warming stabilization. *Nature Climate Change*, 7(8), 568-572.
- Weigend, M., Rodríguez, E. F., & Arana, C. (2005). Los bosque relictos del noroeste de Perú y del sureste de Ecuador. *Revista Peruana de Biología*, 12(2), 185-194. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/rpb/article/view/2390>
- Wheeler, E. A., Baas, P., & Rodgers, S. (2007). Variations in dieot wood anatomy: a global analysis based on the Insidewood database. *Iawa Journal*, 28(3), 229-258.
- Woodman, R. (1985) "Recu-rrencia del Fenómeno El Niño con intensidad comparable a la del Niño 1982-83" En: CONCYTEC, Ciencia, Tecnología y Agresión Ambiental, Lima, CONCYTEC, pp. 301-332

- World Meteorological Organization. (2012). Standardized precipitation index user guide. World Meteorological Organization, 1090.
- Zamora, C. (2009). Diagrama Bioclimático de zonas de vida del sistema Holdridge. Perú. Recuperado de: <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39027>.
- Zegarra Agüero, L. E. (2018). Caracterización anatómica y dendrocronológica de *Guatteria hyposericea*, *Jacaranda copaia* y *Pourouma minor* de Junín Perú.
- Zegarra Agüero, L. E. (2024). Dendroclimatología de *Bursera graveolens*, *Cedrela kuelapensis* y *Eriotheca peruviana* de los bosques estacionalmente secos del valle del Marañón, Perú.
- Zepner, L., Karrasch, P., Wiemann, F., & Bernard, L. (2021). ClimateCharts.net—an interactive climate analysis web platform. *International journal of digital Earth*, 14(3), 338-356.
- Zuidema, P. A., Baker, P. J., Groenendijk, P., Schippers, P., van der Sleen, P., Vlam, M., & Sterck, F. (2013). Tropical forests and global change: filling knowledge gaps. *Trends in plant science*, 18(8), 413-419.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1. Glosario de términos básicos

Año calendario

Para la asignación del año calendario en especies tropicales se sigue la convención de Schulman donde explica que el crecimiento de los árboles en el hemisferio austral es muy diferente al hemisferio boreal. Esto se debe a que los árboles comienzan su crecimiento en épocas lluviosas, desde el último trimestre del año hasta el primer cuatrimestre del año siguiente (Schulman, 1956; Mendivelso, 2016 p. 66).

Cofecha

Es un software utilizado para la ejecución de estudios de dendrocronología. Se encarga del control de calidad del ancho y fechado de los de los anillos anuales de los árboles. Pertenece a la librería de programas dendrocronológicos de la Universidad de Arizona (Holmes, 1983, p. 26).

Cofechado

También conocido como crossdating o datación cruzada, es uno de los principios fundamentales de la dendrocronología. Este método permite comparar los anillos de crecimiento de árboles ubicados en la misma área de estudio, lo que permite detectar patrones comunes entre ellos. De esta manera, cada anillo de crecimiento puede ser asignado a su año correspondiente (Luna, 2020, p. 23).

CooRecorder y C Dendro

Son programas utilizados en el campo de la dendrocronología, el CooRecorder realiza el conteo y medición del ancho de los anillos de crecimiento. El software C dendro se encarga de traslapar las series anuales, verificar y mejorar las correlaciones entre las series de un mismo árbol o de diferentes árboles de una misma especie (Ortiz et al. 2018, p. 5; Portal, 2019, p. 22; Larsson, 2013, p. 1).

dpIR

Es una librería de dendrocronología en R Studio, donde se cargan archivos TUCSON en formato txt o excel, facilitando el análisis de la data. Con el propósito de eliminar tendencias biológicas y convertir las series anuales en índices de ancho de anillo y finalmente obtener un archivo de salida con las cronologías residual y estándar de la especie (Bunn, 2008, p. 120).

Estandarización

Sirve para eliminar tendencias de los factores climáticos de las series anuales de los árboles, enfocándose en eliminar los factores endógenos que influyen en el crecimiento de los árboles, como resultado nos entrega los índices de ancho de anillos (Fritts, 2012 p. 24 y 33).

GIk (Gleichläufigkeit)

Es un coeficiente de similitud que verifica que todas las series de anillos anuales del árbol coinciden con un patrón común. De igual manera para comprobar si la sincronía de los anillos es correcta (Peña, 2022, p. 20 - 21).

Rbar

El Rbar indica en la cronología la señal común en el crecimiento de los árboles, sus valores numéricos están entre 0 - 1. Mientras más se acerque el valor a uno, existe menos varianza (Aquino, 2009, p. 57).

Variables climáticas

Las variables climáticas son factores que influyen en el clima, abarcando elementos como la temperatura, la precipitación, la presión atmosférica, humedad, evapotranspiración, entre otros; afectando de manera directa el desarrollo de los árboles tropicales (Enquist y Leffer, 2001, p. 55). En la dendroclimatología, las variables más representativas y utilizadas son la precipitación y la temperatura, mediante la correlación de estas variables se realiza un análisis estadístico determinando cuál es la variable que más influye en el crecimiento de los árboles (Paredes-Villanueva et al. 2013, p. 64).

Anexo 2. Constancia de identificación de especies y depósito de las especies de *Cedrela angustifolia* y *Eugenia* sp.



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"



Jaén, 02 de febrero de 2024

Herbario ISV

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

CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN BOTÁNICA N°01-2024

Por medio de la presente se da constancia de la identificación de 02 muestras botánicas, a solicitud de la Bach. Ingrid Magaly Alberca Marcelo, de la Universidad Nacional de Cajamarca, en el marco de proyecto de tesis titulado "*Impacto del cambio climático en la frecuencia de sequías y fenómeno de El Niño revelada en los anillos de crecimiento de árboles de dos biomas del norte de 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	11213 A	MYRTACEAE	<i>Eugenia</i>	sp.	
2	1	11214 A	MELIACEAE	<i>Cedrela</i>	<i>angustifolia</i>	DC.

Atentamente,

Dr. José Luis Marcelo Peña

Responsable del Laboratorio de Plantas Vasculares y
Herbario ISV
Universidad Nacional de Jaén



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

Anexo 3. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 12

Matriz de variables

Variables	Operacionalización	Dimensión	Indicador
Cambio climático	Patrones de circulación atmosféricos	Temperatura media anual Precipitación anual Eventos ENSO Temperatura Superficial del Mar	C°, mm, correlación de Pearson ($p < 0.01$), índice SOI, ICEN, ONI e índices de sequía SPEI y SPI
Anillos de crecimiento	Ancho de los anillos	Variabilidad hidroclimática Sequías	mm, C°, correlación de Pearson ($p < 0.01$), splines cúbicos, correlación de spearman

Anexo 4. Matriz de consistencia

Tabla 13

Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Metodología	Población
¿Cómo influye la variabilidad climática en el crecimiento de los árboles analizando anillos de crecimiento, eventos de sequía y fenómeno El Niño en los últimos 150 años?	Evaluar cómo el cambio climático influye en la frecuencia de las sequías y fenómeno de El Niño a través del análisis de los anillos de crecimiento de árboles de los bosques del norte de Perú.	Los bosques del norte del Perú tuvieron sucesos frecuentes de sequías y fenómeno de El Niño, debido a una directa influencia del cambio climático	Tipo de investigación: Básica Método de investigación: Descriptiva Diseño de la investigación: No experimental	Población. Selección de 21 árboles para la especie de <i>Cedrela angustifolia</i> y 15 muestras transversales de <i>Eugenia sp</i> Muestra: De cada individuo de la especie de <i>Cedrela angustifolia</i> se obtendrán dos radios de leño.
Problemas específicos ¿Cuál es la estructura anatómica de los anillos de crecimiento de <i>Cedrela angustifolia</i> , <i>Eugenia sp</i> ?	Objetivos específicos Evaluar la estructura anatómica de los anillos de crecimiento de <i>Cedrela angustifolia</i> , <i>Eugenia sp</i>	Hipótesis específicas La estructura anatómica de los anillos de crecimiento de <i>Cedrela angustifolia</i> son visibles a simple vista, semiporoso y con bandas de parénquima (Marcelo y Tomazello, 2020), <i>Eugenia sp</i> presenta anillos visibles	Técnicas mecánicas en la en la obtención de muestras de leño. Recolección de datos de campo. Recolección de datos de estaciones meteorológicas.	En el caso de <i>Eugenia sp</i> se trazaron 4 secciones de cada rodaja desde la corteza hasta la médula.

sequías durante la mitad del siglo XX registradas en los anillos de crecimiento de las especies seleccionadas?	sequías registradas en los anillos de crecimiento de los árboles seleccionados se ha intensificado en la mitad del siglo XX	con poros difusos (revisar en la discusión de <i>Eugenia</i> en la discusión). La frecuencia de sequías fue constante desde 1981 – 2018 resaltando que fueron entre moderadas y extremadamente secas.	Mediciones de anillos de crecimiento. Técnicas de análisis: Prefechado, programa COFECHA, ARSTAN, CooRecorder 7.8 y CDendro 7.8
¿Cuánta similitud hay entre la reconstrucción climática del índice ENOS con la información histórica sobre los episodios de sequía y lluvias intensas?	Reconstruir el índice ENOS para al menos los últimos 150 años y validar con información histórica sobre episodios de sequía y grandes precipitaciones	Las especies seleccionadas mostraron una alta similitud entre los eventos provocados por el índice ENOS y la información histórica sobre los episodios de sequía y lluvias.	

Anexo 5. Datos de precipitación extraída de Terraclimate para San Felipe

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1958	307.3	146.7	308.2	85.1	276.4	10.9	0	8.1	8.1	78.6	9	10.1
1959	25.3	82.1	197.3	87.6	61.2	26.3	0	6.1	8.6	49.9	25.1	40.9
1960	53.2	101	44	88.6	39.4	7.7	0.3	26.4	13.1	19	41.9	18.8
1961	56.6	26.3	96.5	53.7	20.7	10.8	0	4.1	12.2	76	19.4	28.2
1962	114.3	76.3	77	87.9	55.2	3.1	1.3	4.1	18.7	24.9	26.2	11
1963	31.8	46.9	115.9	77.7	16.2	12.4	0	6.1	9.1	81.1	41.3	40.6
1964	105.3	78	48.4	122.1	25.9	15.5	0.2	24.4	35.2	72.1	30.1	34.5
1965	41.5	38.9	315	124.4	43.8	24.7	0.1	8.1	33.9	49.8	101.8	54.4
1966	46	26.7	41.1	51.3	35.3	7.7	0	14.2	11.8	136.1	36.1	19.3
1967	154.7	93.3	84.5	58.4	30.9	17	1.6	14.2	18	170.7	13.8	22.9
1968	36.7	39.7	51.3	17.4	10.3	6.2	0.1	12.2	67.9	128.4	53.7	18.2
1969	37.7	27	31.9	106.9	14.2	21.7	0	14.2	12.6	38.6	47.8	38.1
1970	60.3	18.6	46	43	69.8	113.7	0.1	8.1	23.2	133.8	35.3	40.8
1971	37	64.1	218.9	169.1	27.2	13.9	0.2	12.2	23	84	27.1	41.7
1972	47.8	31.7	465.8	81.5	25.7	12.4	0.1	12.2	32	21.7	29	67.3
1973	232.3	228.2	52.5	82.4	24.1	32.5	0.1	8.1	24.8	73.5	168.5	30.7
1974	35.3	104.7	67.8	41	17.8	46.4	0.1	14.2	29.7	32.2	30.6	25.6
1975	60.4	130.1	138.9	61.5	34.7	20.1	0.4	46.8	22.5	144.8	29.8	4.5
1976	148.8	75.1	61.6	105.4	23.5	21.7	0	16.2	11.3	22.4	29	15.3
1977	37.5	192	128.1	44.2	32.6	15.5	0.1	8.1	50.3	36.8	43.4	13
1978	24.6	42.8	116.1	23.7	69.3	7.7	0.1	6.1	25.2	36.8	18	20.1
1979	29.5	17.7	99	42.2	89	6.2	0.1	8.1	21.4	20.1	31.4	14.3
1980	41.1	42.6	96.5	156.2	18.8	17	0	10.1	6.2	57.9	113.5	57.4
1981	34	69.8	109.2	35.6	11.1	15.5	0.1	57.2	3.8	55.6	25.1	23.9
1982	23.1	25.1	61.2	60.2	27.9	21.7	0.1	2	28.2	175.6	35.2	122
1983	200.4	145.2	280	113.1	78.6	24.9	0.1	8.1	7	20.6	58.1	88.6
1984	18.8	212.5	120.3	39.2	79.7	18.6	0	14.3	27.8	66.1	20.9	15.4
1985	16.2	33.1	52	15.8	54.2	9.3	0	20.4	19.5	28.8	22.3	42.7
1986	86.5	69.8	105.6	71.5	28.9	3.1	0	18.3	16.9	42.2	65.6	18.3
1987	164.5	179.6	202.5	102.8	21.5	6.2	0.1	14.2	14.9	69.9	80.7	19
1988	53.3	66.4	48	48.4	64.9	13.9	0	12.2	15	27.2	27.9	29.7
1989	22.2	74.7	87.9	62.9	19.9	12.4	0	6.1	9.2	20.3	30.7	24.5
1990	33.1	52	130.9	68.4	23.2	10.8	0.2	4.1	78.8	15.3	36.4	13.9
1991	22.2	74.7	87.9	62.9	19.9	12.4	0	6.1	9.2	20.3	30.7	24.5
1992	33.1	52	130.9	68.4	23.2	10.8	0.2	4.1	78.8	15.3	36.4	13.9
1993	38.4	47.5	259.7	322.1	16.9	10.8	0	4	9.6	57.4	13.9	32.2
1994	69.1	45.4	229.1	204.3	116	20.1	0	8.1	11.6	11.7	36.2	52
1995	33.1	111.7	94.1	25.9	21.8	4.6	0.1	10.2	5.8	16.1	36.1	71.8
1996	52	69.4	63.6	54	16.9	7.7	0.1	12.2	8.7	49.9	9.5	13.8
1997	20.1	98.2	94.1	134.6	19.5	7.7	0	12.1	10.1	27.6	200.8	48.7
1998	108.4	80.4	128.9	52.2	29.5	18.5	0	6.1	77.3	108.3	26	64.6
1999	94.2	223.5	120.6	38.4	60.9	12.4	0.1	6.1	118.2	78.5	13.5	117.5
2000	51.6	56.4	66.7	357	137.9	35.7	0.1	8.1	36.1	18	35.7	167.3
2001	154	99.3	250.3	320	18.4	12.4	0	6.1	7.9	23.6	28.4	57.3
2002	22.9	65.4	51.8	108.7	14.2	21.7	0	2	4.9	18.7	137.7	29.2
2003	77.8	152.9	182	127.4	64.7	26.4	0.1	2	13.2	70.7	54.3	139.6
2004	24.9	191.9	128.9	59.8	16	13.9	0	4	14.2	126.9	53.9	40.6
2005	18.3	47.1	106.4	34.1	6.7	17	0	2	6.3	38.3	37.6	10.5
2006	68.5	114.9	182.7	43.3	7.3	17	0	2	11.8	35.2	112.6	134.8
2007	75.8	48.9	65.6	85	20.5	17	0	16.2	11.9	16.1	112.2	26
2008	114	291.3	261.1	262.6	15.5	9.3	0.9	10.1	5.8	113.9	63.2	13.4
2009	332.8	170.2	49.6	71.5	273.4	10.8	0	8.1	11.7	18.5	67.3	111.8
2010	23.6	159.1	99.8	339.6	69.2	18.5	0	6.1	12.3	180.7	196.6	12.9
2011	30.8	38.8	37	256.3	135	12.4	0.1	6.1	18.6	63	125	164.6
2012	136.7	142.6	159.6	99.2	18.2	13.9	0	4.1	8.1	62.5	56.6	17.7
2013	43.3	142	151.2	117.1	95.1	12.4	0	6.1	83.7	220.6	18	31.6
2014	46.6	44	74.6	48.7	91.2	18.5	0.3	10.1	5.4	48.4	13.6	154.1
2015	40.6	136.9	277.3	31.2	348.8	20.1	0	2	7.8	60.5	47.3	10
2016	71.6	170.3	155.7	104.9	24.2	21.8	9.9	13.7	39.6	40.2	11.1	67.7
2017	130.6	127.3	144.8	94.8	71	42.9	19	20.3	2579.9	31.2	54.2	36.7
2018	78.4	62.7	81.1	50.8	45.6	140.4	146.6	17.9	15	1743.9	196.9	96.6
2019	61.3	162.7	163.9	116.1	40.6	25.6	31.7	13.8	17.8	48.7	64.3	78.5
2020	46.2	84.1	134.2	125.6	32.6	17.8	0.1	20	25	30	59.2	70.3
2021	91.5	88.9	183.7	76.2	47.6	20.5	0.1	9.6	15.8	78.9	95.1	54.2

Anexo 6. Datos de temperatura máxima extraída de Terraclimate para San Felipe

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1958	24.63	24.09	24.33	24.33	24.49	23.99	22.94	23.61	24.14	23.19	24.04	24.26
1959	24.12	23.3	23.84	23.76	23.86	23.74	23.31	24.58	24.91	24.51	25.32	25
1960	23.51	23.04	23.64	23.32	23.34	23.44	22.57	23.22	23.09	22.97	23.53	24.13
1961	23.92	22.7	23.42	22.79	24.02	22.93	22.26	23.07	23.09	22.67	23.52	24.01
1962	23.14	22.67	22.71	22.62	23.03	22.62	21.72	23.05	23.21	22.06	23.73	24.29
1963	23.31	22.49	23.21	22.65	23.55	23.01	22.2	23.39	23.38	22.76	23.46	24.23
1964	23.71	23.63	23.71	23.19	23.14	22.65	21.28	22.29	22.38	21.88	23.5	23.16
1965	23.2	23.44	23.61	23.61	24.43	24.24	22.93	23.68	23.7	22.91	23.9	24.5
1966	24.04	23.29	23.55	23.53	23.81	23.42	22	22.92	23.39	22.99	23.67	23.65
1967	23.12	22.54	22.96	23.09	23.51	22.63	21.97	22.59	23.14	22.22	23.21	23.33
1968	23.22	22.96	23.07	22.46	21.81	22.28	21.88	23.13	23.28	23.22	23.76	24.58
1969	23.88	23.52	24.6	24.56	24.99	24.63	22.7	23.51	24.01	23.36	24.3	24.78
1970	23.8	23.77	23.5	23.78	23.91	23.51	22.09	23.12	23.42	23.15	23.43	24.15
1971	23.21	22.35	22.85	22.7	23.2	23.5	22.67	23.11	22.99	22.5	23.71	24.17
1972	23.31	23.8	23.75	23.67	24.86	25.25	24.26	24.61	24.03	23.99	24.9	25.4
1973	24.62	24.25	24.39	23.67	24.07	23.55	22.22	22.67	22.75	21.99	23.39	23.06
1974	22.61	22.58	22.74	22.87	23.79	23.49	22.07	22.8	22.59	22.24	23.97	23.91
1975	23.11	22.87	23.36	23.54	23.37	23.28	22.48	23.43	23.45	22.9	23.51	23.84
1976	23.51	22.92	23.15	22.91	23.65	24.06	22.65	23.64	23.67	22.98	24.3	24.82
1977	24.49	23.39	23.87	23.54	23.81	23.6	23.02	23.18	23.42	23.07	24.13	25.01
1978	24.06	24.23	23.72	23.56	23.82	23.61	22.81	22.77	23.41	22.89	24.92	24.86
1979	24.27	23.89	23.92	23.6	24.2	23.67	23.31	24.4	24.45	23.62	24.64	24.74
1980	24.6	23.75	24.17	24.13	24.59	24.71	23.27	23.76	23.78	23.32	24.47	24.6
1981	23.83	23.22	23.93	23.77	24.23	23.98	22.49	23.16	23.47	23.42	24.49	24.85
1982	23.82	23.79	23.53	23.26	24.19	24.06	23.62	23.81	24.24	23.91	25.78	26.23
1983	25.42	25.31	25.09	24.97	26.36	26.58	25.24	25.28	24.92	24.13	25.12	25.13
1984	23.74	23.7	23.58	23.52	23.9	24.28	23.32	24.2	23.91	23.47	24.3	24.83
1985	23.72	23.6	24.24	23.12	23.15	22.45	22.1	23.3	23.28	22.97	23.88	24.51
1986	24.17	23.65	23.41	23.66	24.18	23.29	22.25	23.84	23.91	23.07	24.56	25.1
1987	25.05	24.76	25.11	25.01	24.84	25.01	24.36	24.48	24.7	23.98	25.4	25.54
1988	24.49	24.61	23.96	23.76	24.85	23.96	22.58	23.52	23.72	23.45	24.52	24.47
1989	23.95	23.66	23.53	23.83	23.75	24.28	23.21	24.52	24.24	23.7	25.05	25.13
1990	24.34	24.12	24.33	24.04	25.12	24.81	23.68	24.03	24.46	24.1	25.24	25.5
1991	24.58	24.49	24.79	24.71	25.6	25.29	23.64	23.49	24.26	23.64	24.61	25.44
1992	24.9	24.34	25.3	24.81	26.06	24.81	23.24	23.94	23.89	24.1	25.16	24.69
1993	24.26	23.94	24	24.32	25.29	25.06	24.03	24.01	24.26	23.88	24.36	25.01
1994	24.16	24.05	24.01	24.1	24.82	24.01	23.04	23.58	24.02	23.5	24.65	25.23
1995	24.83	23.65	23.63	23.84	24.41	24.67	23.74	24.04	23.8	23.4	24.25	24.04
1996	23.36	23.39	23.48	23.01	23.84	23.45	22.23	23.07	23.01	22.55	23.54	23.95
1997	23.06	23.13	24.09	23.86	25.41	25.7	24.72	25.11	25.65	24.91	26.13	26.38
1998	25.4	25.12	25.19	25.45	25.65	24.8	23.74	23.88	24.33	24.3	24.54	24.36
1999	23.4	23.35	23.66	23.31	23.3	23.29	22.3	22.96	22.98	22.85	24.02	24.16
2000	23.33	23.22	23.36	23.56	24.03	23.61	22.47	23.38	23.46	23.24	23.9	24.43
2001	24.03	23.87	24.09	24.17	24.24	22.88	22.84	23.18	23.25	23.22	24.35	24.81
2002	23.81	24.54	24.78	24.37	24.87	23.61	22.9	23.45	23.85	23.9	24.48	25.34
2003	24.65	24.47	24.44	23.68	23.97	23.74	22.61	23.03	23.25	23.45	24.57	25.14
2004	24.3	24.68	24.75	24.11	23.93	22.98	22.85	23.49	23.83	23.47	24.43	24.85
2005	24.37	24.27	23.99	24.15	23.74	23.44	22.43	23.35	23.55	23.03	23.87	24.17
2006	23.98	24.48	24.19	23.39	23.42	23.71	23.39	23.93	23.79	23.75	24.72	24.89
2007	25.2	24.72	24.54	24.04	23.43	22.47	22.26	22.98	23.16	22.12	23.64	23.86
2008	24.02	24.05	24.3	23.46	23.42	23.77	23.45	24.5	24.3	23.18	23.88	24.11
2009	24.06	23.72	23.84	23.59	24.33	24.1	23.77	24.14	24.54	23.79	24.86	25.08
2010	25.13	24.67	24.8	24.67	24.69	24.01	23.13	23.54	23.44	22.86	23.54	23.79
2011	23.39	23.16	23.16	23.51	24.19	24.55	23.19	23.82	23.54	22.44	24.87	24.7
2012	23.83	22.92	23.5	23.63	24.54	24.88	24.3	24.43	24.58	24.09	25.37	25.08
2013	24.22	23.51	23.77	23.57	24.53	24.59	23.47	24.08	24.59	24.04	25.02	25.15
2014	23.5	23.22	23.35	23.55	25.1	25.32	24.46	24.55	24.79	24.51	25.43	25.22
2015	24.07	23.85	23.9	23.78	25.2	25.54	24.87	25.39	26.1	25.27	26.28	26.38
2016	26.1	25.1	24.7	24.5	25.5	24	24.2	24.6	24	23.4	25.9	24.1
2017	22.8	23	23.3	23.6	23.2	23.4	23.2	23.8	23.1	22	24.4	25.4
2018	23.5	24.9	25.5	23.5	23.5	23.7	23.2	22.9	24	21.9	23.7	24.7
2019	24.6	24.9	24.6	24.2	25	24.4	23.3	23.3	23.8	23.7	24.9	25.3
2020	24.5	24.5	24.5	24	24.8	24.4	24	24.1	24.2	24	25.1	25.1
2021	24	24.1	23.6	23.6	23.9	24.2	23.2	23.9	24.1	24.2	24.3	25.2

Anexo 7. Datos de temperatura mínima extraída de Terraclimate para San Felipe

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1958	12.73	12.69	12.63	12.73	11.09	10.09	10.74	10.91	11.74	10.69	10.94	10.96
1959	12.22	11.9	12.14	12.16	10.46	9.84	11.11	11.88	12.51	12.01	12.22	11.7
1960	11.61	11.64	11.94	11.72	9.94	9.54	10.37	10.52	10.69	10.47	10.43	10.83
1961	12.02	11.3	11.72	11.19	10.62	9.03	10.06	10.37	10.69	10.17	10.42	10.71
1962	11.24	11.27	11.01	11.02	9.63	8.72	9.52	10.35	10.81	9.56	10.63	10.99
1963	11.41	11.09	11.51	11.05	10.15	9.11	10	10.69	10.98	10.26	10.36	10.93
1964	11.81	12.23	12.01	11.59	9.74	8.75	9.08	9.59	9.98	9.38	10.4	9.86
1965	11.3	12.04	11.91	12.01	11.03	10.34	10.73	10.98	11.3	10.41	10.8	11.2
1966	12.14	11.89	11.85	11.93	10.41	9.52	9.8	10.22	10.99	10.49	10.57	10.35
1967	11.22	11.14	11.26	11.49	10.11	8.73	9.77	9.89	10.74	9.72	10.11	10.03
1968	11.32	11.56	11.37	10.86	8.41	8.38	9.68	10.43	10.88	10.72	10.66	11.28
1969	11.98	12.12	12.9	12.96	11.59	10.73	10.5	10.81	11.61	10.86	11.2	11.48
1970	11.9	12.37	11.8	12.18	10.51	9.61	9.89	10.42	11.02	10.65	10.33	10.85
1971	11.31	10.95	11.15	11.1	9.8	9.6	10.47	10.41	10.59	10	10.61	10.87
1972	11.41	12.4	12.05	12.07	11.46	11.35	12.06	11.91	11.63	11.49	11.8	12.1
1973	12.72	12.85	12.69	12.07	10.67	9.65	10.02	9.97	10.35	9.49	10.29	9.76
1974	10.71	11.18	11.04	11.27	10.39	9.59	9.87	10.1	10.19	9.74	10.87	10.61
1975	11.21	11.47	11.66	11.94	9.97	9.38	10.28	10.73	11.05	10.4	10.41	10.54
1976	11.61	11.52	11.45	11.31	10.25	10.16	10.45	10.94	11.27	10.48	11.2	11.52
1977	12.59	11.99	12.17	11.94	10.41	9.7	10.82	10.48	11.02	10.57	11.03	11.71
1978	12.16	12.83	12.02	11.96	10.42	9.71	10.61	10.07	11.01	10.39	11.82	11.56
1979	12.37	12.49	12.22	12	10.8	9.77	11.11	11.7	12.05	11.12	11.54	11.44
1980	12.7	12.35	12.47	12.53	11.19	10.81	11.07	11.06	11.38	10.82	11.37	11.3
1981	11.93	11.82	12.23	12.17	10.83	10.08	10.29	10.46	11.07	10.92	11.39	11.55
1982	11.92	12.39	11.83	11.66	10.79	10.16	11.42	11.11	11.84	11.41	12.68	12.93
1983	13.52	13.91	13.39	13.37	12.96	12.68	13.04	12.58	12.52	11.63	12.02	11.83
1984	11.84	12.3	11.88	11.92	10.5	10.38	11.12	11.5	11.51	10.97	11.2	11.53
1985	11.82	12.2	12.54	11.52	9.75	8.55	9.9	10.6	10.88	10.47	10.78	11.21
1986	12.27	12.25	11.71	12.06	10.78	9.39	10.05	11.14	11.51	10.57	11.46	11.8
1987	13.15	13.36	13.41	13.41	11.44	11.11	12.16	11.78	12.3	11.48	12.3	12.24
1988	12.59	13.21	12.26	12.16	11.45	10.06	10.38	10.82	11.32	10.95	11.42	11.17
1989	12.05	12.26	11.83	12.23	10.35	10.38	11.01	11.82	11.84	11.2	11.95	11.83
1990	12.44	12.72	12.63	12.44	11.72	10.91	11.48	11.33	12.06	11.6	12.14	12.2
1991	12.68	13.09	13.09	13.11	12.2	11.39	11.44	10.79	11.86	11.14	11.51	12.14
1992	13	12.94	13.6	13.21	12.66	10.91	11.04	11.24	11.49	11.6	12.06	11.39
1993	12.36	12.54	12.3	12.72	11.89	11.16	11.83	11.31	11.86	11.38	11.26	11.71
1994	12.26	12.65	12.31	12.5	11.42	10.11	10.84	10.88	11.62	11	11.55	11.93
1995	12.93	12.25	11.93	12.24	11.01	10.77	11.54	11.34	11.4	10.9	11.15	10.74
1996	11.46	11.99	11.78	11.41	10.44	9.55	10.03	10.37	10.61	10.05	10.44	10.65
1997	11.16	11.73	12.39	12.26	12.01	11.8	12.52	12.41	13.25	12.41	13.03	13.08
1998	13.5	13.72	13.49	13.85	12.25	10.9	11.54	11.18	11.93	11.8	11.44	11.06
1999	11.5	11.95	11.96	11.71	9.9	9.39	10.1	10.26	10.58	10.35	10.92	10.86
2000	11.43	11.82	11.66	11.96	10.63	9.71	10.27	10.68	11.06	10.74	10.8	11.13
2001	12.13	12.47	12.39	12.57	10.84	8.98	10.64	10.48	10.85	10.72	11.25	11.51
2002	11.91	13.14	13.08	12.77	11.47	9.71	10.7	10.75	11.45	11.4	11.38	12.04
2003	12.75	13.07	12.74	12.08	10.57	9.84	10.41	10.33	10.85	10.95	11.47	11.84
2004	12.4	13.28	13.05	12.51	10.53	9.08	10.65	10.79	11.43	10.97	11.33	11.55
2005	12.47	12.87	12.29	12.55	10.34	9.54	10.23	10.65	11.15	10.53	10.77	10.87
2006	12.08	13.08	12.49	11.79	10.02	9.81	11.19	11.23	11.39	11.25	11.62	11.59
2007	13.3	13.32	12.84	12.44	10.03	8.57	10.06	10.28	10.76	9.62	10.54	10.56
2008	12.12	12.65	12.6	11.86	10.02	9.87	11.25	11.8	11.9	10.68	10.78	10.81
2009	12.16	12.32	12.14	11.99	10.93	10.2	11.57	11.44	12.14	11.29	11.76	11.78
2010	13.23	13.27	13.1	13.07	11.29	10.11	10.93	10.84	11.04	10.36	10.44	10.49
2011	11.49	11.76	11.46	11.91	10.79	10.65	10.99	11.12	11.14	9.94	11.77	11.4
2012	11.93	11.52	11.8	12.03	11.14	10.98	12.1	11.73	12.18	11.59	12.27	11.78
2013	12.32	12.11	12.07	11.97	11.13	10.69	11.27	11.38	12.19	11.54	11.92	11.85
2014	11.6	11.82	11.65	11.95	11.7	11.42	12.26	11.85	12.39	12.01	12.33	11.92
2015	12.17	12.45	12.2	12.18	11.8	11.64	12.67	12.69	13.7	12.77	13.18	13.08
2016	13.5	14.3	13.7	13.6	12.8	11.5	12.5	12.2	13	11.5	11.3	11.9
2017	12.2	12.9	12.8	12.7	11.6	11	12	12.2	12.7	11.5	11.1	11.9
2018	12	12.7	12.9	12.4	11.6	10.7	11.8	11.7	12	10.8	12.2	11.6
2019	12.7	13.5	12.9	12.6	11.6	10.5	11.1	10.6	11.4	11.2	11.8	12
2020	12.6	13.1	12.8	12.4	11.4	10.5	11.8	11.4	11.8	11.5	12	11.8
2021	12.1	12.7	11.9	12	10.5	10.3	11	11.2	11.7	11.7	11.2	11.9

Anexo 8. Datos de precipitación extraída de Terraclimate para Santa de La Yunga

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1958	339	114	250.3	154.4	479	49.8	32.3	44.6	19.7	128.3	42.6	34.2
1959	49.3	90.1	154.7	137.9	129.3	124.6	36.5	19.9	32.5	124.5	87.9	114.3
1960	88.9	110.6	66.2	160.5	143.4	50.7	111.6	102.2	46.6	50.2	128.6	67.2
1961	95.6	42.9	131.7	105.1	79.3	70.1	14.3	23.9	44.9	132.3	61.3	69.8
1962	158.3	96.5	90.9	148.2	132.4	23.1	201.4	19.2	58.8	71.1	72.7	37.5
1963	80.8	79.9	129.6	130.7	65.2	57.7	49.6	26	29.5	127.5	112.6	89.7
1964	137	97.1	67	153	92.8	84.6	141.3	95.8	119.1	126.7	95.4	66.6
1965	72.5	63.7	200.9	218.4	138.4	136.8	94.2	37	93.9	98.4	191.4	88.4
1966	92.9	42.4	62.2	88.4	132.4	46	45.6	73	43.9	200.3	91.6	45.2
1967	209.8	99.8	120.6	102.7	111.7	89.4	371.3	61	50.2	201.4	44.8	78.7
1968	97.9	61.7	74.8	61	39.2	40	67.8	43.2	133.4	196.3	94.9	49.7
1969	78.8	41.4	44.7	148.7	55.1	115.8	33.4	59.3	44.8	97.7	122.6	95.2
1970	140.8	34.7	83.5	76.7	152.3	334	53.5	34.8	60.7	157.4	99.9	73.5
1971	88.5	69.2	189.1	192.2	96.5	78.9	127	48	74.2	126.2	85	101.4
1972	115.3	47	295.4	178.7	90.6	75.7	74.6	54.5	106.1	59.7	91.2	105.7
1973	251.1	167.5	74.9	144.3	84.1	168.5	98.9	39.7	77.6	79.2	241	59.3
1974	85.7	84.2	92.4	91.6	56.7	217.5	88.5	57.7	80.1	76.7	98.5	93.6
1975	106.4	115.3	127.4	94.3	125.4	118.6	152.2	145.2	65.5	160.2	91.7	19.2
1976	199.2	71.7	77.9	124.4	80.6	91.3	33.9	69.8	32.6	52.5	89	49.6
1977	74.7	161.7	148.2	106.4	75	87.4	48.9	42.7	81.9	93.2	97.9	49.1
1978	62.1	51.1	99.3	60.9	149	40.7	84.9	34.1	81	90.2	59.1	70.1
1979	65.1	24.8	132.6	68.7	142.4	27.6	74.2	32.7	63.4	49.9	109.5	50
1980	93.7	59.5	127.5	143.6	74.4	89.5	30.5	48.2	22.5	135.6	201.5	107.9
1981	73.8	86.6	109.6	79.5	42.8	76.3	54.9	144.6	14.8	131.8	78	69.3
1982	53.1	40.1	85.3	111.6	100.4	122.8	71.2	12.5	76.8	234	100.4	188.5
1983	205.5	109.2	200.8	151.2	175.1	81.7	40.3	35.3	23.6	54.5	99.4	162.8
1984	44.4	176.6	118.5	87	183.7	99.9	48.7	47.9	88.5	105.1	66.7	47.9
1985	31.9	50.1	54.8	34.8	173.4	36.7	27.4	68.8	65.5	72.2	76.8	82.4
1986	122.6	78.9	100	109.6	92.7	19.3	39.3	76.4	50.7	92.7	135.2	58.1
1987	148.7	110.4	106.3	129.2	82.4	38.6	90	61.5	48.9	119.9	154.9	58.8
1988	91.1	80.4	73.8	113.1	154.3	61.1	26.8	59	48.9	73.1	89.9	71.1
1989	185.6	142.9	140.5	103.8	109.6	142.4	46.9	40.9	89	129.7	43.6	11.1
1990	97.4	74.8	77.5	97.5	98.2	124.9	58.7	53.7	29.2	73.9	125.8	78.7
1991	55	84.4	123.6	107.3	82.3	80.2	19.9	33	34.7	59.6	90.4	48
1992	57.8	60.2	132.6	116.7	76.7	61.7	115.3	30.1	137.8	49.7	99.3	49.6
1993	91.2	74.6	236.8	379.1	71.5	79.6	52.9	17.1	35.9	109.5	55.5	103.6
1994	165.3	61.9	192.5	294.5	188.1	111.5	56.2	37.6	37.9	38.9	109.3	120.4
1995	63.6	89.3	96.9	60.7	73.1	29.3	35.7	32.7	21.6	34.5	119.2	138.8
1996	96	77.2	79.7	105.2	50.6	48	80.9	51.4	33.4	124	40	49.8
1997	48.6	98.9	81.1	147.7	84.8	37.3	37.1	60.8	44.9	68.7	328.8	102.7
1998	118.7	76.5	122.8	92	108.5	107.7	26.9	29.9	138.1	176.8	81.5	95.6
1999	154.5	195.3	113.2	91.5	198.6	67.7	73.7	37.2	184.4	103.5	54.9	200
2000	98.5	73.1	87.8	367.2	291.3	126.7	51.9	43.1	95.8	43.1	72.3	242.8
2001	167.8	82.5	181.5	331.6	74.8	78.4	54.3	33.2	33.1	43.1	113.2	115
2002	59.3	67.2	49.7	158.4	63.6	78.1	41.9	14.2	21.9	58.5	212.8	62.6
2003	121	136.7	174.7	140.2	154.5	94.1	41.5	9.7	34.4	121.4	126.5	239
2004	36.9	168.7	118	109.7	67.6	87.4	45.9	25.2	38.3	189.8	137.9	87.3
2005	34.8	71.7	112.6	85.4	27.4	100	20.9	12.5	34.7	88.1	128.4	38.1
2006	123.1	102.6	162.8	79.6	31.8	89.8	38.9	14.2	31	60	224	210.2
2007	101.2	48.2	88.7	123.9	96.9	94.8	14.7	84.9	51.5	51.7	261.8	57.2
2008	131.4	230.7	220.1	280.5	66	66.2	200.5	49.9	29.5	179	161.5	48.9
2009	381.5	138.2	70.1	102.4	459.8	64.5	41	41.3	50.7	52.4	123.7	198
2010	51.3	121.1	82	357.3	151.4	95.3	38.9	35.2	50.8	188	321.6	51.3
2011	64.9	58.9	61.7	280.9	268	80	95.4	28.8	73.2	101.4	268.7	267.1
2012	190.2	139.9	131.1	154.9	77.1	81.4	24.9	20.9	37.1	134	139.5	73.6
2013	101.4	144.8	115.3	121.5	224.4	80.7	75.9	32.1	153.7	283.2	82.4	75.7
2014	82	50.1	110.5	74	201.2	107.8	171.2	55.6	24.4	124.4	53.9	232.8
2015	98.3	139	240.5	77.2	601.1	112.2	61	12.6	28.4	98.8	97.6	46.9
2016	100.8	138	149.4	135.6	90.8	100.5	46.2	39.3	99.2	68.2	37.9	142.5
2017	200.5	129.4	146.2	140.3	194	148.7	66.7	57.7	171.4	57.8	117.4	71.2
2018	115.6	60.3	77.3	74.1	117.3	190.2	108.4	59.6	38.5	206.7	139.2	131.7
2019	126.5	142.6	118.1	152.9	127.4	112.3	144.9	73.7	105.7	175.5	175	293.4
2020	139.2	54.2	96.2	141.3	97.1	42.8	41.2	28.7	55.8	68.5	287	188
2021	155.8	126.6	190	111.9	116	61.8	44.4	40.5	57.1	119.3	195.1	101.4

Anexo 9. Datos de Temp. máx extraída de Terraclimate para Santa de La Yunga

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1958	28.51	27.79	28.04	28.75	27.77	26.77	25.79	27	27.82	27.12	27.78	28.67
1959	28.4	27.17	27.82	28.48	26.71	26.42	26.79	29.1	30.07	29.57	30.27	29.79
1960	28.84	28.12	28.51	28.14	26.86	26.56	25.96	27.06	26.23	27.37	27.57	28.51
1961	28.34	26.84	27.59	27.45	27.29	25.65	25.6	26.42	26.94	27.07	27.7	28.09
1962	27.41	27.03	26.97	27.09	26.23	25.49	24.43	26.49	26.69	26.06	27.52	28.71
1963	28.14	26.82	26.93	27.14	26.6	25.82	25.23	26.37	26.71	26.8	27.26	28.03
1964	27.77	28.36	27.84	27.74	26.65	25.71	24.46	25.85	25.94	26.07	27.41	27.46
1965	27.48	27.78	27.47	27.54	27.31	26.49	25.57	26.48	27.01	27.17	27.97	28.5
1966	27.97	27.42	27.34	28.03	27.46	26.87	25.21	26.3	26.94	27.58	28.11	27.81
1967	27.44	26.75	27.2	27.61	26.91	25.77	25.39	26.04	26.73	26.41	27.99	27.45
1968	27.05	27.73	27.36	27.16	25.21	25.63	25.26	26.7	26.5	27.19	28.07	29.49
1969	28.31	28.11	29.04	29.22	28	27.47	25.5	27.1	27.35	27.41	28.4	29.13
1970	27.98	28.12	27.43	28.23	27.66	26.96	25.79	27.05	27.37	27.69	27.74	28.57
1971	27.69	26.77	26.99	27.01	26.55	26.59	26.19	26.7	26.55	26.69	27.64	28.22
1972	27.45	27.81	27.45	27.84	28.03	27.82	26.92	27.64	27.13	27.91	28.6	28.8
1973	28.16	28.11	28.53	28.24	27.79	27.22	26.02	26.7	26.33	26.59	27.47	27.21
1974	26.65	26.68	26.71	26.83	26.81	26.6	25.18	25.89	25.85	26.18	27.84	27.66
1975	27.03	27.07	27.01	28.01	26.81	26.25	25.77	27.07	27.09	27.09	27.57	27.98
1976	27.63	27.11	27.04	27.11	26.72	26.46	25.25	26.7	26.41	26.81	27.72	28.39
1977	28.3	27.29	27.41	27.61	27	26.58	26.32	26.95	26.87	26.95	27.91	28.82
1978	28.17	28.61	27.73	27.87	27.31	26.87	26.39	25.93	27.04	27	28.83	28.57
1979	28.34	28.27	27.66	27.81	27.74	26.55	26.51	27.84	27.65	27.59	28.64	28.71
1980	28.69	27.93	27.68	28.05	27.83	27.54	26.44	27.39	27.15	27.32	28.57	29
1981	28.38	27.49	28.06	28.3	27.9	27.1	25.72	26.97	26.89	27.71	28.68	28.9
1982	27.96	28.2	27.67	27.68	27.62	26.89	26.66	26.79	27.4	27.52	28.84	29.32
1983	28.75	28.77	28.52	28.57	28.88	28.56	27.59	27.83	28.05	27.65	28.6	28.76
1984	27.5	27.65	27.67	27.96	27.72	27.49	26.64	27.3	27.19	27.59	28.65	28.82
1985	28.02	27.61	28.07	27.79	26.44	24.89	25.2	26.52	26.81	26.99	27.73	28.49
1986	27.93	27.57	27.2	27.97	27.77	26.12	24.93	27.09	26.73	26.78	27.98	28.57
1987	28.57	28.33	28.44	28.72	27.76	27.34	27.42	27.56	27.97	27.78	28.89	29.07
1988	28.31	28.59	27.66	28.28	28.28	27.19	26.16	27.5	27.5	27.76	28.34	28.33
1989	27.72	27.39	27.18	27.96	27.2	27.32	26.27	27.91	27.52	27.33	28.98	29.37
1990	28.15	28.38	28.11	28.32	28	27.12	26.6	27.04	27.37	28.31	28.91	28.98
1991	28.58	28.45	28.39	28.61	28.68	28.12	26.84	26.65	27.49	27.27	28.51	29.27
1992	28.88	28.3	28.64	28.67	29.26	27.55	26.17	26.96	27.1	28.1	29.23	28.7
1993	28.12	27.77	27.45	28.21	28.56	27.53	26.94	26.84	27.53	27.76	28.1	29
1994	28.13	27.88	27.93	28.31	28.39	26.89	26.25	26.91	27.18	27.46	28.43	28.85
1995	28.58	28.27	27.48	28.29	27.8	27.57	27.32	28.08	27.23	27.76	28.11	28.2
1996	27.63	27.49	27.34	27.46	27.52	26.67	25.74	26.86	26.51	26.53	27.63	27.67
1997	27.26	26.95	27.65	27.94	27.74	28.15	26.75	27.02	28.19	28.25	29.22	28.97
1998	28.64	28.74	28.49	29.34	28.42	26.97	26.63	27.44	27.74	28	28.12	28.49
1999	27.35	27.34	27.35	27.26	26.45	26.42	25.29	26.13	26.53	26.58	27.78	28.01
2000	27.13	26.91	27.02	27.38	27.19	26.48	25.4	26.37	26.6	26.86	27.77	28.09
2001	27.58	27.38	27.5	28.07	27.86	25.58	26.05	26.19	26.51	27.11	28.13	28.52
2002	27.55	28.19	28	28.29	27.8	26.2	25.92	26.4	26.84	27.48	27.61	28.79
2003	28.24	28.18	27.92	27.59	26.76	26.61	25.58	25.93	26.22	27.17	28.07	28.48
2004	28.13	28.44	28.13	28.41	27.15	25.48	26.06	26.24	26.64	27.15	27.82	28.3
2005	28.35	28.12	27.71	27.93	27.04	26.14	25.2	26.46	26.64	27.25	27.78	27.93
2006	27.5	28.11	27.67	27.47	26.34	26.38	26.25	26.7	26.51	27.44	28.06	28.17
2007	28.5	28.59	28.11	28.15	26.74	25.26	25.44	26.55	26.4	26.19	27.18	27.88
2008	27.76	27.83	27.66	27.59	26.49	26.24	26.25	27.7	26.9	26.67	27.57	27.85
2009	27.62	27.43	27.42	27.35	27.46	26.35	26.47	27.12	27.3	27.29	28.65	28.67
2010	29	28.31	28.33	28.77	27.93	26.88	26.64	27.13	27.12	27.22	27.55	27.84
2011	27.35	27.08	26.86	27.61	27.3	27.14	26.29	27.15	26.57	26.6	28.38	28.22
2012	27.51	26.72	26.82	27.5	27.3	27.01	26.77	27.27	27.25	27.68	29	28.75
2013	27.82	27.4	27.57	27.9	28.12	27.47	26.41	27.31	27.48	27.74	28.66	28.83
2014	27.56	27.17	27.05	27.38	28.07	27.58	26.86	27.33	27.74	27.81	28.84	28.53
2015	27.28	27.59	27.39	27.49	27.78	27.37	27.26	28.25	28.67	28.66	29.54	29.27
2016	30.7	28	27.3	27.3	26.9	25.7	26.5	27	25.4	26.6	30.1	27.5
2017	26.1	27.2	27.3	27.2	26.8	26.3	25.1	27.2	25	24.7	28.6	29.8
2018	26.4	27.9	27.8	26.2	25.6	25.8	25.6	24.7	26.3	25.2	27.4	26.8
2019	27.6	27.7	27.7	28.2	27.9	27.1	26.1	26.2	26.4	26.2	27.5	27.5
2020	27.5	28.2	28.6	28.2	28.1	27.8	27.1	28.1	27.8	27.9	28.5	28.1
2021	27.6	28.8	26.8	27.5	27.6	27.2	26.6	27.6	27.3	28.2	28.5	29.3

Anexo 10. Datos de Temp. mín extraída de Terraclimate para Santa de La Yunga

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1958	17.61	17.19	17.74	17.95	16.67	15.87	15.59	15.8	17.32	16.12	16.18	16.67
1959	17.5	16.57	17.52	17.68	15.61	15.52	16.59	17.9	19.57	18.57	18.67	17.79
1960	17.94	17.52	18.21	17.34	15.76	15.66	15.76	15.86	15.73	16.37	15.97	16.51
1961	17.44	16.24	17.29	16.65	16.19	14.75	15.4	15.22	16.44	16.07	16.1	16.09
1962	16.51	16.43	16.67	16.29	15.13	14.59	14.23	15.29	16.19	15.06	15.92	16.71
1963	17.24	16.22	16.63	16.34	15.5	14.92	15.03	15.17	16.21	15.8	15.66	16.03
1964	16.87	17.76	17.54	16.94	15.55	14.81	14.26	14.65	15.44	15.07	15.81	15.46
1965	16.58	17.18	17.17	16.74	16.21	15.59	15.37	15.28	16.51	16.17	16.37	16.5
1966	17.07	16.82	17.04	17.23	16.36	15.97	15.01	15.1	16.44	16.58	16.51	15.81
1967	16.54	16.15	16.9	16.81	15.81	14.87	15.19	14.84	16.23	15.41	16.39	15.45
1968	16.15	17.13	17.06	16.36	14.11	14.73	15.06	15.5	16	16.19	16.47	17.49
1969	17.41	17.51	18.74	18.42	16.9	16.57	15.3	15.9	16.85	16.41	16.8	17.13
1970	17.08	17.52	17.13	17.43	16.56	16.06	15.59	15.85	16.87	16.69	16.14	16.57
1971	16.79	16.17	16.69	16.21	15.45	15.69	15.99	15.5	16.05	15.69	16.04	16.22
1972	16.55	17.21	17.15	17.04	16.93	16.92	16.72	16.44	16.63	16.91	17	16.8
1973	17.26	17.51	18.23	17.44	16.69	16.32	15.82	15.5	15.83	15.59	15.87	15.21
1974	15.75	16.08	16.41	16.03	15.71	15.7	14.98	14.69	15.35	15.18	16.24	15.66
1975	16.13	16.47	16.71	17.21	15.71	15.35	15.57	15.87	16.59	16.09	15.97	15.98
1976	16.73	16.51	16.74	16.31	15.62	15.56	15.05	15.5	15.91	15.81	16.12	16.39
1977	17.4	16.69	17.11	16.81	15.9	15.68	16.12	15.75	16.37	15.95	16.31	16.82
1978	17.27	18.01	17.43	17.07	16.21	15.97	16.19	14.73	16.54	16	17.23	16.57
1979	17.44	17.67	17.36	17.01	16.64	15.65	16.31	16.64	17.15	16.59	17.04	16.71
1980	17.79	17.33	17.38	17.25	16.73	16.64	16.24	16.19	16.65	16.32	16.97	17
1981	17.48	16.89	17.76	17.5	16.8	16.2	15.52	15.77	16.39	16.71	17.08	16.9
1982	17.06	17.6	17.37	16.88	16.52	15.99	16.46	15.59	16.9	16.52	17.24	17.32
1983	17.85	18.17	18.22	17.77	17.78	17.66	17.39	16.63	17.55	16.65	17	16.76
1984	16.6	17.05	17.37	17.16	16.62	16.59	16.44	16.1	16.69	16.59	17.05	16.82
1985	17.12	17.01	17.77	16.99	15.34	13.99	15	15.32	16.31	15.99	16.13	16.49
1986	17.03	16.97	16.9	17.17	16.67	15.22	14.73	15.89	16.23	15.78	16.38	16.57
1987	17.67	17.73	18.14	17.92	16.66	16.44	17.22	16.36	17.47	16.78	17.29	17.07
1988	17.41	17.99	17.36	17.48	17.18	16.29	15.96	16.3	17	16.76	16.74	16.33
1989	16.82	16.79	16.88	17.16	16.1	16.42	16.07	16.71	17.02	16.33	17.38	17.37
1990	17.25	17.78	17.81	17.52	16.9	16.22	16.4	15.84	16.87	17.31	17.31	16.98
1991	17.68	17.85	18.09	17.81	17.58	17.22	16.64	15.45	16.99	16.27	16.91	17.27
1992	17.98	17.7	18.34	17.87	18.16	16.65	15.97	15.76	16.6	17.1	17.63	16.7
1993	17.22	17.17	17.15	17.41	17.46	16.63	16.74	15.64	17.03	16.76	16.5	17
1994	17.23	17.28	17.63	17.51	17.29	15.99	16.05	15.71	16.68	16.46	16.83	16.85
1995	17.68	17.67	17.18	17.49	16.7	16.67	17.12	16.88	16.73	16.76	16.51	16.2
1996	16.73	16.89	17.04	16.66	16.42	15.77	15.54	15.66	16.01	15.53	16.03	15.67
1997	16.36	16.35	17.35	17.14	16.64	17.25	16.55	15.82	17.69	17.25	17.62	16.97
1998	17.74	18.14	18.19	18.54	17.32	16.07	16.43	16.24	17.24	17	16.52	16.49
1999	16.45	16.74	17.05	16.46	15.35	15.52	15.09	14.93	16.03	15.58	16.18	16.01
2000	16.23	16.31	16.72	16.58	16.09	15.58	15.2	15.17	16.1	15.86	16.17	16.09
2001	16.68	16.78	17.2	17.27	16.76	14.68	15.85	14.99	16.01	16.11	16.53	16.52
2002	16.65	17.59	17.7	17.49	16.7	15.3	15.72	15.2	16.34	16.48	16.01	16.79
2003	17.34	17.58	17.62	16.79	15.66	15.71	15.38	14.73	15.72	16.17	16.47	16.48
2004	17.23	17.84	17.83	17.61	16.05	14.58	15.86	15.04	16.14	16.15	16.22	16.3
2005	17.45	17.52	17.41	17.13	15.94	15.24	15	15.26	16.14	16.25	16.18	15.93
2006	16.6	17.51	17.37	16.67	15.24	15.48	16.05	15.5	16.01	16.44	16.46	16.17
2007	17.6	17.99	17.81	17.35	15.64	14.36	15.24	15.35	15.9	15.19	15.58	15.88
2008	16.86	17.23	17.36	16.79	15.39	15.34	16.05	16.5	16.4	15.67	15.97	15.85
2009	16.72	16.83	17.12	16.55	16.36	15.45	16.27	15.92	16.8	16.29	17.05	16.67
2010	18.1	17.71	18.03	17.97	16.83	15.98	16.44	15.93	16.62	16.22	15.95	15.84
2011	16.45	16.48	16.56	16.81	16.2	16.24	16.09	15.95	16.07	15.6	16.78	16.22
2012	16.61	16.12	16.52	16.7	16.2	16.11	16.57	16.07	16.75	16.68	17.4	16.75
2013	16.92	16.8	17.27	17.1	17.02	16.57	16.21	16.11	16.98	16.74	17.06	16.83
2014	16.66	16.57	16.75	16.58	16.97	16.68	16.66	16.13	17.24	16.81	17.24	16.53
2015	16.38	16.99	17.09	16.69	16.68	16.47	17.06	17.05	18.17	17.66	17.94	17.27
2016	18.3	18.7	18.5	18.2	17.5	17	17.5	16.4	17.5	16.5	16.7	16.7
2017	16.9	17.5	17.8	17.3	17.3	17.3	16.8	17.2	17.4	16.2	16.7	17.1
2018	16.9	17.7	17.6	17.1	17	16.4	16.8	16.1	16.8	16.6	17.4	16.2
2019	16.7	17.1	17.4	17.4	16.8	16.2	15.9	15	15.9	15.2	15.9	15.5
2020	16.6	17.6	18.3	17.4	17	16.9	16.9	16.9	17.3	16.9	16.9	16.1
2021	16.7	18.2	16.5	16.7	16.5	16.3	16.4	16.4	16.8	17.2	16.9	17.3

Anexo 11. Procedimiento de la ejecución de tesis

Figura 54

Extracción de muestras de leño de Cedrela angustifolia y Eugenia sp



Figura 55

Protección de muestras de leño para Cedrela angustifolia y Eugenia sp



Figura 56

Encolado y pegado de muestras de leño de Cedrela angustifolia en soportes de madera



Figura 57

Secado de muestras de leño de Cedrela angustifolia a temperatura ambiente



Figura 58

Lijado y pulido de muestras de leño de Cedrela angustifolia y Eugenia sp.



Figura 59

Escaneado de muestras de leño de Cedrela angustifolia y Eugenia sp.

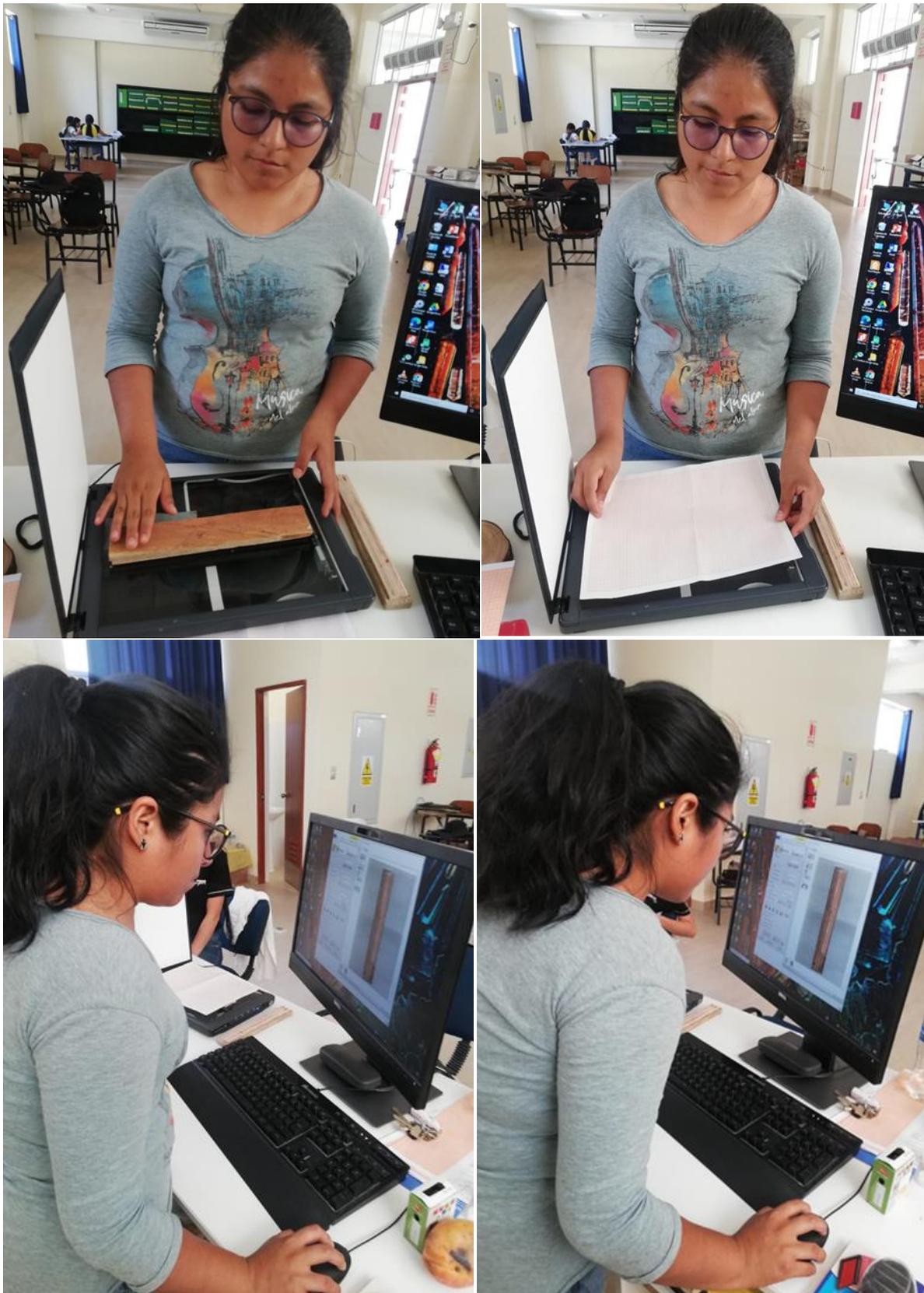


Figura 60

Conteo de anillos de crecimiento de Eugenia sp.

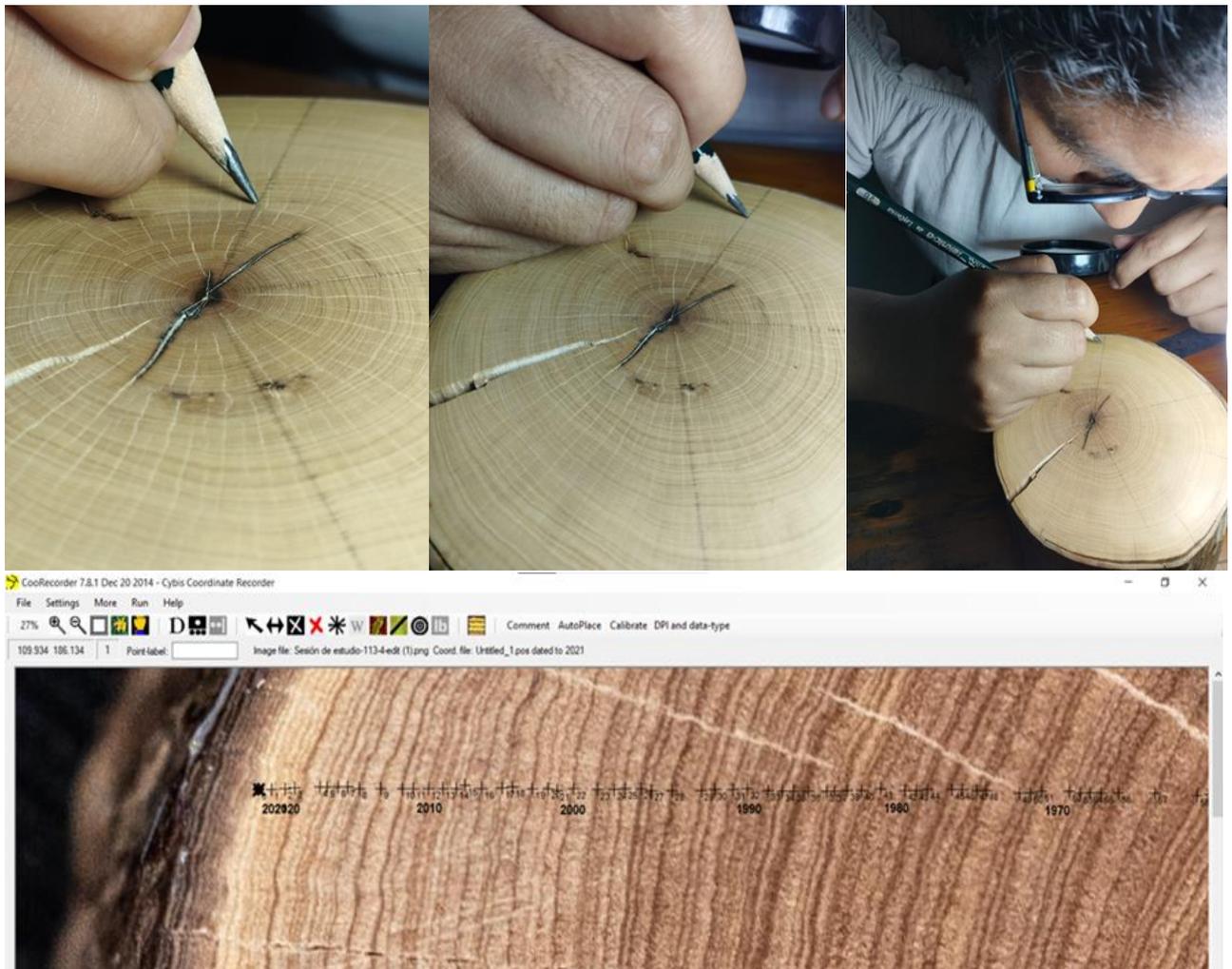


Figura 61

Conteo de anillos de crecimiento de *Cedrela angustifolia*

