



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

TESIS

**IDENTIFICACIÓN DE LA VARIABLE CLIMÁTICA
QUE CONTROLA EL CRECIMIENTO DE, Cedrela
sp., Cedrela nebulosa T.D. y Cedrela angustifolia
C.DC.; EN LOS BOSQUES MONTANOS DEL
PERÚ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR LA BACHILLER:
ACEVEDO VEGA, INGRITH MAYUMI**

**ASESOR:
Dra. GALIA MANYARI CERVANTES**

HUANCAYO – PERÚ

2018

ASESOR:

Dra. GALIA MANYARI CERVANTE

COASESORES:

Dra. Maria Eugenia Ferrero

Mg. Edilson Requena Rojas

CERTIFICADO DE CO-ASESORIA

Huancayo, 13 de setiembre de 2019

Doctora

MARÍA EUGENIA FERRERO

Investigadora

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Argentina.-

De acuerdo al ACTA DE TÍTULOS PROFESIONALES DE INGENIERO AMBIENTAL, con fecha 07 de Noviembre del 2018, INGRITH MAYUMI ACEVEDO VEGA sustentó la tesis Titulada "IDENTIFICACIÓN DE LA VARIABLE CLIMÁTICA QUE CONTROLA EL CRECIMIENTO DE, Cedrela sp., Cedrela nebulosa T.D. y Cedrela angustifolia C.DC.; EN LOS BOSQUES MONTANOS DEL PERÚ", para optar el Título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL, otorgado por la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, bajo la modalidad de sustentación de tesis. En marco del proyecto de investigación HELVETAS SWISS INTERCOOPERATION "Crecimiento del bosque montano en respuesta a la variabilidad climática de largo plazo. Estudios en gradientes ambientales de los ecosistemas de las Yungas de Perú y Argentina", la bachiller fue asesorada por los directores del proyecto.

Por lo cual es grato dirigirme a la **Dra. MARÍA EUGENIA FERRERO (CONICET, ARGENTINA)** y al **Mg. EDILSON JIMMY REQUENA ROJAS (UNIVERSIDAD CONTINENTAL, HUANCAYO, PERÚ)**, para saludarlos cordialmente a nombre del Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Emprendimiento; y de la Dirección Ejecutiva de investigación de la Universidad Alas Peruanas, asimismo hacerle llegar las felicitaciones por sus contribuciones científicas, orientaciones y dedicación en su labor como **CO-ASESORES** de la BACHILLER INGRITH MAYUMI ACEVEDO VEGA durante la ejecución de su tesis Titulada "IDENTIFICACIÓN DE LA VARIABLE CLIMÁTICA QUE CONTROLA EL CRECIMIENTO DE, Cedrela sp., Cedrela nebulosa T.D. y Cedrela angustifolia C.DC.; EN LOS BOSQUES MONTANOS DEL PERÚ",

Agradeciéndole por el apoyo, aprovecho la oportunidad para expresarle las consideraciones de mi especial deferencia.

Atentamente,



UAP | UNIVERSIDAD
ALAS PERUANAS
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN,
INNOVACIÓN Y EMPRENDIMIENTO
DRA. FELIPA ALVIRA MUÑOZ CCURO
Directora de Investigación

 ComunidadUAP.Oficial

 Av. San Felipe 1109 Jesús María

 (01) 266 0195 Anexos 127 / 153

www.uap.edu.pe

DEDICATORIA

Dedico esta investigación, a Dios, por haberme bendecido y acompañado siempre, a mis generosos padres Enedina y Sergio, a mis queridos hermanos y hermanas; Dennis, Irvin, Joel, Erika, Guisela, Rosario, y Sheilita por haberme apoyado, dándome inspiración, fuerza, amor y paciencia para continuar cada día, también dedico esta investigación a mis tres hermosas sobrinas; Sayuri, Xiomara e Itzel, por regalarme tanta ternura, y de antemano deseándoles lo mejor en sus futuras vidas profesionales. Por último con la misma importancia a todos mis amigos y amigas, por haberme regalado una sonrisa, un buen consejo y amistad sincera.

AGRADECIMIENTOS

- Agradezco a Dios, por la sabiduría brindada, por los momentos de felicidad los cuales me lleno de fe y amor, por los malos momentos los cuales me hizo fuerte y mejor persona. También por haberme dado la oportunidad y hacer posible este reto.
- Agradezco a la Dra. Eugenia Ferrero (Investigadora en el laboratorio de Dendrocronología e Historia Ambiental, Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) – Mendoza, Argentina). Por la oportunidad brindada de poder desarrollar esta investigación con el financiamiento de Bosques Andinos, por su valioso apoyo, constancia y asesoramiento durante la ejecución de la presente tesis.
- Al Ing. Edilson Requena (Investigador en el Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad Continental – Huancayo, Perú). Por facilitarme el laboratorio de dendrocronología de la Universidad Continental, por su apoyo durante la investigación, por su paciencia y perseverancia en el proceso de tratamiento de muestras, sobre todo en el Cofechado.
- A la Dra. Galia Manyari, por haberme apoyado en la representación de la presente tesis ante la Universidad Alas Peruanas – Huancayo y haberme guiado en el desarrollo de la presente tesis.
- A la Ing. Eva Laime e Ing. Jesús Miguel, por apoyarme en la extracción y recolección de las muestras de la presente investigación, con 15 días de internamiento en los bosques montanos de la selva central.
- A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Alas Peruanas - Huancayo, que me guiaron a lo largo de mi formación profesional.
- A la Señora, Raquel Palacios Orihuela y señor Angel, por habernos brindado hospitalidad durante la extracción y recolección de las muestras del presente trabajo de investigación.
- A mis padres y hermanos por su apoyo y confianza puesta en mí.
- Y por último, con la misma importancia, a todos mis amigos y amigas, por su amistad incondicional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
INDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN.....	xvii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1	Caracterización del Problema.	1
1.2	Formulación del Problema.....	3
1.2.1	Problema General.....	3
1.2.2	Problemas Específicos.	3
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Objetivo General.....	3
1.3.2	Objetivos Específicos.	4
1.4	Justificación e Importancia de la Investigación	4
1.4.1	Justificación.	4
1.4.2	Importancia.	5
1.5	Limitaciones de la Investigación.....	6

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1	Marco Referencial.	7
2.1.1	Antecedentes de la Investigación.	7
2.1.2	Referencias Teóricas.....	12
2.2	Marco Legal.....	13
2.3	Marco Conceptual.	13

2.3.1	Definiciones.....	13
2.4	Marco Teórico.....	15
2.4.1	La yunga o selva alta.....	15
2.4.2	Condiciones climáticas de los Bosques Montanos:.....	16
2.4.3	Descripción de las especies arbóreas identificadas	18
2.4.4	Anillos de crecimiento en los bosques tropicales.	20
2.4.5	Anomalías en el crecimiento radial.....	22
2.4.6	Dendrocronología	23
2.4.7	Incremento del Área Basal	27

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

3.1	Metodología.....	28
3.1.1	Esquema de Investigación.....	28
3.1.2	Método.....	29
3.1.3	Tipo de Investigación.....	43
3.1.4	Nivel de Investigación.....	43
3.2	Diseño de la Investigación.....	43
3.3	Hipótesis de la Investigación	44
3.3.1	Hipótesis General	44
3.3.2	Hipótesis Específicas.....	44
3.4	Variables.....	45
3.4.1	Variable Independiente (X).	45
3.4.2	Variable Dependiente (Y).	45
3.5	Cobertura de Estudio.....	45
3.5.1	Universo.....	45
3.5.2	Población	45
3.5.3	Muestra.....	46

3.6	Técnicas e Instrumentos	47
3.6.1	Técnicas de la Investigación.....	47
3.6.2	Instrumentos	47
3.7	Procesamiento Estadístico de la Información	48
3.7.1	Estadísticos	48
3.7.2	Representaciones.....	48
3.7.3	Técnicas de Comprobación de la Hipótesis	48
 CAPÍTULO IV 		
ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS		
4.1	Resultados.....	50
4.1.1	Presencia y anualidad de los anillos de crecimiento radial.	50
4.1.2	Resultado de la correlación de las variables meteorológicas con el crecimiento radial.	56
4.1.3	Resultado del Incremento del Área Basal.	60
4.2	Discusión de resultados	61
4.2.1	Descripción de la presencia y anualidad los anillos de crecimiento de <i>Cedrela sp.</i> , <i>C. nebulosa</i> y <i>C. angustifolia</i>	62
4.2.2	Análisis de correlación con precipitación y temperatura de <i>Cedrela sp.</i> , <i>C. nebulosa</i> y <i>C. angustifolia</i>	64
4.2.3	Análisis del Incremento del Área Basal de <i>Cedrela sp.</i> , <i>Cedrela</i> <i>nebulosa</i> y <i>Cedrela angustifolia</i>	66
4.3	Contrastación de Hipótesis.....	67
CONCLUSIONES.....		77
RECOMENDACIONES		79
BIBLIOGRAFÍA.....		80

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

- ARSTAN: (Auto Regressive Standarization), programa para establecer cronología dendrocronológicas.
- COFECHA: Programa para realizar control de calidad de fechado.
- COPANT: Comisión Panamericana de Normas Técnicas.
- ENSO: El Niño – Oscilación del Sur.
- EPS: Señal expresada en población.
- IAB: Incremento del Área Basal.
- IGP: Instituto Geofísico del Perú.
- IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático).
- MEI: Índice Multivariado del ENSO.
- NTP: Norma Técnica Peruana.
- ONI: Índice Oceánico El niño.
- P: Precipitación.
- DPL: Librería de Programas Dendrocronológicos.
- R-BAR: Running - Bar
- T: Temperatura.
- UDEP: Universidad de Piura.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 3.1 Ubicación de los Sitios de Muestreo.....	30
Tabla N° 3.2 Ubicación de las Estaciones Meteorológicas.....	30
Tabla N° 4.1 Valores estadísticos asociados a la datación cruzada de las muestras de <i>Cedrela sp.</i> - APL	50
Tabla N° 4.2 Valores estadísticos asociados a la datación cruzada de las muestras de <i>Cedrela nebulosa</i> - AGN	51
Tabla N° 4.3 Valores estadísticos asociados a la datación cruzada de las muestras de <i>Cedrela angustifolia</i> - SAL	52
Tabla N° 4.4 Valores estadísticos relacionado a la cronología de muestras de <i>Cedrela sp.</i> - APL	54
Tabla N° 4.5 Valores estadísticos relacionados a la cronología de muestras de <i>Cedrela nebulosa</i> - AGN	55
Tabla N° 4.6 Valores estadísticos relacionados a la cronología de las muestras de <i>Cedrela angustifolia</i> - SAL	56
Tabla N° 4.7 Comparación de resultados.....	63
Tabla N° 4.8 Comparación de estadísticos adicionales.....	63
Tabla N° 4.9 Comparación de Función de Correlación	66
Tabla N° 4.10 Intercorrelación de las series de <i>Cedrela sp.</i>	68
Tabla N° 4.11 Intercorrelación de las series de <i>Cedrela nebulosa</i>	69
Tabla N° 4.12 Intercorrelación de series de <i>Cedrela angustifolia</i>	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1 Climograma de precipitación para bosque montano	17
Figura N° 2.2 Climograma de temperatura mensual para bosque montano	18
Figura N° 3.1 Sitios de Muestreo	29
Figura N° 3.2 Climograma de Precipitación y Temperatura.....	31
Figura N° 4.1 Ancho de anillos de las muestras de <i>Cedrela sp.</i> – APL.....	51
Figura N° 4.2 Ancho de anillos de las muestras de <i>Cedrela nebulosa</i> - AGN ..	52
Figura N° 4.3 Ancho de anillos de las muestras de <i>Cedrela angustifolia</i> - SAL	53
Figura N° 4.4 Cronología estándar de muestras de <i>Cedrela sp.</i> – APL.....	53
Figura N° 4.5 Cronología estándar de muestras de <i>Cedrela nebulosa</i> – AGN.	54
Figura N° 4.6 Cronología estándar de las muestras de <i>Cedrela angustifolia</i> – SAL.....	55
Figura N° 4.7 Función de correlación de la cronología de <i>Cedrela sp.</i> (APL) con precipitación y temperatura.....	57
Figura N° 4.8 Función de correlación de la cronología de <i>C. nebulosa</i> (AGN) con precipitación y temperatura	58
Figura N° 4.9 Función de correlación de la cronología de <i>C. angustifolia</i> (SAL) con precipitación y temperatura	59
Figura N° 4.10 Incremento del Área Basal de las muestras de <i>Cedrela sp.</i> - APL.....	60
Figura N° 4.11 Incremento del Área Basal de las muestras de <i>Cedrela nebulosa</i> - AGN	60
Figura N° 4.12 Incremento del Área Basal de las muestras de <i>Cedrela</i> <i>angustifolia</i> - SAL.....	61
Figura N° 4.13 Índice del incremento del área basal	61
Figura N° 4.14 Muestra de <i>Cedrela sp.</i>	67
Figura N° 4.15 Muestra de <i>Cedrela nebulosa</i>	69
Figura N° 4.16 Muestra de <i>Cedrela angustifolia</i>	70
Figura N° 4.17 Correlación de la precipitación con la cronología de <i>Cedrela sp.</i>	71

Figura N° 4.18 Correlación de la precipitación con la cronología de <i>Cedrela</i> <i>nebulosa</i>	71
Figura N° 4.19 Correlación de la precipitación con la cronología de <i>Cedrela</i> <i>angustifolia</i>	72
Figura N° 4.20 Correlación entre la temperatura y la cronología de <i>Cedrela</i> <i>sp.</i>	73
Figura N° 4.21 Correlación entre la temperatura y la cronología de <i>Cedrela</i> <i>nebulosa</i>	73
Figura N° 4.22 Correlación entre la temperatura y la cronología de <i>Cedrela</i> <i>angustifolia</i>	74
Figura N° 4.23 Diferencia de medias del IAB (<i>Cedrela</i> <i>sp.</i> , <i>C. nebulosa</i> y <i>C.</i> <i>angustifolia</i>)	76
Figura N° 4.24 Valores individuales del IAB (<i>Cedrela</i> <i>sp.</i> , <i>C. nebulosa</i> y <i>C.</i> <i>angustifolia</i>)	76

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Mapa de Ubicación.....	84
ANEXO 2. Ubicación de los sitios de Muestreo.....	85
ANEXO 3. Ejemplares de cedro en las localidades de Mamac y Agua de Nieve.	86
ANEXO 4. Procesamiento en campo.....	87
ANEXO 5. Montaje de muestras (tarugos) en el laboratorio de Dendrocronología.	88
ANEXO 6. Pulido de las muestras de cedro (tarugos).....	89
ANEXO 7. Prefechado o datación de las muestras de cedro (tarugos)	90
ANEXO 8. Ficha de datos.....	100

RESUMEN

La Yunga es una provincia fitogeográfica, caracterizados por bosques de montañas nubosos, lluviosos y tropicales con alta diversidad biológica. Es considerado ecosistema frágil y vulnerable frente a cambios globales como; el cambio climático y dinámicas de cambios de cobertura y uso de tierra, su importancia radica en que ofrecen muchos servicios ecosistémicos como; captura de CO₂, abastecimiento de agua y sostenimiento del clima a escala regional. El crecimiento de los bosques (y por lo tanto la biomasa acumulada) se encuentra modulado por las variaciones climáticas y los disturbios tanto naturales como antrópicos. Las variaciones en la precipitación y la temperatura se encuentran a su vez modificadas por las características topográficas, alterándose entonces los patrones en las respuestas de la vegetación al clima. Por lo tanto, el manejo sostenible del paisaje boscoso requiere contar con información de las variaciones pasadas y presentes del crecimiento radial arbóreo a fin de identificar las respuestas al clima en los diferentes sitios. Para ello se aplicó la dendrocronología (datación precisa de los anillos de crecimiento de los árboles) la cual es una herramienta ampliamente usada para estudiar las variaciones interanuales del crecimiento arbóreo. Encontrándose que 41 series de *Cedrela sp.*(APL) muestran una alta correlación de 0.413 (P-valor = 0.01) entre ellas, con una sensibilidad media de 0.491 en un periodo de 120 años (1897-2016). La cronología generada expresa buena señal común ($R\text{-bar} = 0.193$ y un $\text{EPS} = 0.796$) entre ellas. Correlacionando positivamente con la precipitación ($r = 0.52$, P-valor = 0.016) y negativamente con la temperatura ($r = -0.66$, P-valor = 0.001). Las 28 series de *Cedrela nebulosa* (AGN) presentan alta correlación ($r = 0.491$, P-valor = 0.01) entre ellas, con una sensibilidad media de 0.363 en un periodo de 58 años (1959-2016). La cronología generada para *C. nebulosa* presenta buena señal común ($R\text{-bar} = 0.207$ y un $\text{EPS} = 0.787$) entre ellas. Correlacionando negativamente con la precipitación ($r = -0.54$, P-valor = 0.015) y positivamente con la temperatura ($r = 0.71$, P-valor = 0.001). Las 17 series de *Cedrela angustifolia* (SAL), presentan alta correlación ($r = 0.567$, P-valor = 0.01), con una sensibilidad media de 0.351, en un periodo de 93 años (1924-2016). La cronología generada presenta buena señal común ($R\text{-bar} = 0.420$ y un

EPS = 0.781) entre ellas. Correlacionando negativamente con la precipitación ($r = -0.44$, P-valor = 0.095) y positivamente con la temperatura ($r = 0.49$, P-valor = 0.029). En cuanto a la evaluación del crecimiento de cada especie, se obtuvo que en el periodo común entre las especies (1959–2011) el incremento del área basal de *Cedrela sp.* es distinta al incremento del área basal de *Cedrela nebulosa* y *Cedrela angustifolia*, siendo estadísticamente iguales el incremento del área basal de *Cedrela nebulosa* y *Cedrela angustifolia* (P-valor<0.001).

Palabras Clave: *Dendrocronología, Relación clima-crecimiento, Cedrela sp., Andes Centrales.*

ABSTRACT

The Yunga is a phytogeography province, characterized by forests of cloud, rainy and tropical mountains with high biological diversity. It is considered a fragile and vulnerable ecosystem in the face of global changes such as; climate change and dynamics of changes in coverage and land use, likewise this ecosystem offers many ecosystem services such as; capture of CO₂, water supply and climate support at a regional scale. The growth of the forests (and therefore the accumulated biomass) is modulated by climatic variations and natural and anthropogenic disturbances. The variations in the precipitation and the temperature are modified in turn by the topographic characteristics, altering the patterns in the responses of the vegetation to the climate. Therefore, the sustainable management of the forest landscape requires information on the past and present variations of tree radial growth in order to identify the responses to climate in the different sites. To this end, dendrochronology (precise dating of tree growth rings) was applied, which is a widely used tool to study interannual tree growth variations. Finding that 41 series of *Cedrela* sp. (APL) show a high correlation of 0.413 (P-value = 0.01) between them, with an average sensitivity of 0.491 in a period of 120 years (1897-2016). The generated chronology expresses good common signal ($R\text{-bar} = 0.193$ and an $\text{EPS} = 0.796$) among them. Correlating positively with precipitation ($r = 0.52$, P-value = 0.016) and negatively with temperature ($r = -0.66$, P-value = 0.001). The 28 series of *Cedrela nebulosa* (AGN) presented high correlation ($r = 0.491$, P-value = 0.01) among them, with an average sensitivity of 0.363 in a period of 58 years (1959-2016). The chronology generated for *C. nebulosa* presents a good common signal ($R\text{-bar} = 0.207$ and an $\text{EPS} = 0.787$) among them. Correlating negatively with precipitation ($r = -0.54$, P-value = 0.015) and positively with temperature ($r = 0.71$, P-value = 0.001). The 17 series of *Cedrela angustifolia* (SAL) have a high correlation ($r = 0.567$, P-value = 0.01), with an average sensitivity of 0.351, over a period of 93 years (1924-2016). The generated chronology presents good common signal ($R\text{-bar} = 0.420$ and an $\text{EPS} = 0.781$) between them. Correlating negatively with precipitation ($r = -0.44$, P-value = 0.095) and positively with temperature ($r = 0.49$, P-value = 0.029). Regarding the evaluation of the growth

of each species, it was obtained that in the common period between the species (1959 - 2011) the increase of the basal area of *Cedrela sp.* is different to the increase of the basal area of *Cedrela nebulosa* y *Cedrela angustifolia*, being statistically equal the increase of the basal area of *Cedrela nebulosa* y *Cedrela angustifolia*, (P-value <0.001).

Key Words: *Dendrochronology, Climate-growth relationship, Cedrela sp., Central Andes.*

INTRODUCCIÓN

Las Yungas es una provincia fitogeográfica que se extiende por las laderas húmedas de los Andes, formando una angosta faja desde Venezuela hasta el noroeste de la Argentina. En su extremo norte está separada de la provincia Amazónica por los llanos de Venezuela y Colombia, y en su extremo sur limita con la provincia Chaqueña, pero en su mayor parte limita al este con la provincia Amazónica (Cabrera, 1973). El clima de este territorio es fresco y muy húmedo a causa de las precipitaciones y neblinas que cubren continuamente las montañas. Altitudinalmente la Provincia biogeográfica de las Yungas se extiende entre los 500 y los 2500 a 3500 m.s.n.m. Los datos sobre su clima son escasos y tanto la precipitación como la temperatura disminuyen rápidamente a medida que aumenta la altura sobre el mar. La vegetación predominante es de la selva nublada, muy rica en lauráceas y mirtáceas, que asciende hasta 1800 a 2500 m.s.n.m. Por encima de esta selva hay bosques caducifolios de *Alnus acuminata*, bosques de *Podocarpus* y praderas. Es imposible establecer distritos en el conjunto de la provincia, ya que las selvas varían en su composición a lo largo de tan extenso territorio. En el Perú según Weberbauer (1945), existen especies de *Cedrela*, *Cabralea weberbaueri*, *Weirmannia nebulorum*, *W. microphylla*, *Persea crassifolia* y muchas más (Cabrera, 1973).

Las Yungas se caracterizan por ser una región de bosques de montaña nubosos, lluviosos y tropicales. Son ecosistemas frágiles que tienen una diversidad biológica con alto grado de singularidad y rareza. El alto nivel de vulnerabilidad frente a cambios globales como el cambio climático y dinámicas de cambios de cobertura y uso de tierra, requiere de acciones urgentes para promover su conservación (Cuesta, Peralvo, & Velarezo, 2009). La importancia de los bosques montanos radica en los muchos servicios ecosistémicos que ofrecen, tales como captura de CO₂, abastecimiento de agua y sostenimiento del clima a escala regional ya que fácilmente captan una gran cantidad de bancos de nubes que precipitan por efecto de la orografía. Como contribución a la investigación climática y ecológica se realizó el presente estudio bajo los principios y métodos de la dendrocronología, con el objetivo principal de caracterizar las variaciones de crecimiento radial de *Cedrela angustifolia*, *Cedrela nebulosa* y *Cedrela sp.*, y

su relación con el clima a lo largo de bosques montanos de la selva central del Perú. La meta es caracterizar cómo (y en qué medida) el clima controla el crecimiento en diferentes ambientes con el fin de identificar cambios futuros del crecimiento del bosque montano de la selva central del Perú y promover pautas para su conservación.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Caracterización del Problema

Los modelos del (IPCC, 2013) sugieren que en los próximos años aumentaran las precipitaciones extremas con el calentamiento global y la evidencia de la influencia antropogénica en varios aspectos del ciclo hidrológico global. Así mismo es muy probable que la precipitación media zonal aumente en latitudes elevadas y en algunas zonas de latitudes medias, siendo más probable que disminuya en las zonas subtropicales, lo cual a escala regional las precipitaciones podrán estar dominados por una combinación de variabilidad interna natural y los efectos de los gases de efecto invernadero de origen antrópico. Se espera retracción de los glaciares en gran parte de los Andes, e incremento de la temperatura. Es esperable entonces que ciertas regiones presenten una disminución en la escorrentía superficial, y por lo tanto menor disponibilidad de agua para las diversas actividades, tales como riego de sembradíos, consumo humano, entre otros.

Los bosques montanos de América del Sur son ecosistemas que se distribuyen en las laderas húmedas orientales de la Cordillera de Los Andes. Esta ecorregión fue generada por la combinación de una compleja topografía, clima e historia biogeográfica, lo que ha creado una red de hábitats distintivos y comunidades con una enorme diversidad biológica vegetal y animal. Asimismo, los bosques montanos son ecosistemas frágiles que se encuentran amenazados en toda su

distribución. El alto nivel de vulnerabilidad frente al cambio global, requiere de acciones urgentes para promover su conservación, no solo debido a su riqueza biológica, sino porque juegan un papel fundamental en el mantenimiento y abastecimiento de agua de la cual dependen más de 40 millones de personas en los Andes Tropicales (Cuesta, Peralvo, & Velarezo, 2009). Así mismo la importancia de los bosques montanos en América del Sur radica en el sostenimiento del clima a escala regional y continental, facilitando muchos de los procesos de circulación atmosférica global y captando grandes cantidades de agua en forma de nube que precipita por efectos de la orografía andina (Cuesta, Peralvo, & Velarezo, 2009). Siendo otra de sus funciones importantes el balance de CO₂ en la atmósfera, pues son importantes sumideros de carbono llegando acumular entre 20 y 40 toneladas de carbono por hectárea, (Cuesta, Peralvo, & Velarezo, 2009).

A fin de elaborar planes de adaptación y mitigación que se basen en información más específica a escala local y en un rango de años más amplio, es necesario estudiar la influencia de las variables climáticas sobre las especies representativas de los ecosistemas montanos. Una manera de disminuir la incertidumbre es contando con información de largo plazo de la variabilidad de la precipitación y temperatura, lo cual es posible mediante el empleo de la dendrocronología. La dendrocronología es la ciencia que fecha los anillos anuales de crecimiento de los arboles analizando la información registrada en la madera, para luego analizar las respuestas de las especies arbóreas frente a las variaciones del clima (Fritts, 1976). Estos datos a la vez, pueden ser utilizados para mejorar las prácticas forestales y servir como referencia para otros estudios climáticos. Estudios previos determinaron el potencial dendrocronológico de *Cedrela angustifolia* (Villalba R. , 1995) en las montañas del Noroeste de Argentina, *Cedrela nebulosa* (Huaman, Ferrero, Lazaro, & Rojas, 2018) en la selva central del Perú. Este género es común en toda la biorregión de las Yungas, por lo que en base a estos antecedentes y con las ventajas que ofrece la

dendrocronología para estudios y reconstrucción de variables ambientales a resolución anual, se pretende realizar la siguiente investigación.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema General

- ¿Cuál será la variable climática que controla el crecimiento radial anual de las especies arbóreas, *Cedrela sp.*, *Cedrela nebulosa*, y *Cedrela angustifolia*, en los bosques montanos del Perú?

1.2.2 Problemas Específicos

- ¿Tienen las especies *Cedrela sp.*, *Cedrela nebulosa*, y *Cedrela angustifolia*, en los bosques montanos del Perú, anillos claramente marcados que permitan utilizarlas en dendrocronología?
- ¿Cuál es la influencia de la precipitación en el crecimiento radial anual de las especies arbóreas *Cedrela sp.*, *Cedrela nebulosa*, y *Cedrela angustifolia*, en los bosques montanos del Perú?
- ¿Cuál es la influencia de la temperatura en el crecimiento radial anual de las especies arbóreas *Cedrela sp.*, *Cedrela nebulosa*, y *Cedrela angustifolia*, en los bosques montanos del Perú?
- ¿Existe diferencia en el crecimiento radial anual de las especies arbóreas *Cedrela sp.*, *Cedrela nebulosa* y *Cedrela angustifolia*, en los distintos sitios de muestreo, dentro del bosque montano del Perú?

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo General

- Determinar la variable climática que controla el crecimiento radial anual de las especies arbóreas *Cedrela sp.*, *Cedrela nebulosa* y *Cedrela angustifolia*, mediante las respuestas individuales de las cronologías de ancho de anillos, a las

variaciones locales de temperatura y precipitación en los bosques montanos del Perú.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar la presencia y anualidad de los anillos de crecimiento de *Cedrela sp.*, *Cedrela nebulosa* y *Cedrela angustifolia*, en los bosques montanos del Perú.
- Determinar la influencia de la precipitación en el crecimiento radial anual de las especies arbóreas *Cedrela sp.*, *Cedrela nebulosa* y *Cedrela angustifolia*, en los bosques montanos del Perú.
- Determinar la influencia de la temperatura en el crecimiento radial anual de las especies arbóreas *Cedrela sp.*, *Cedrela nebulosa* y *Cedrela angustifolia*, en los bosques montanos del Perú.
- Comparar el crecimiento radial anual de las especies arbóreas *Cedrela sp.*, *Cedrela nebulosa* y *Cedrela angustifolia*, en los diferentes sitios de estudio, dentro de los bosques montanos del Perú.

1.4 Justificación e Importancia de la Investigación

1.4.1 Justificación

A pesar de que existen muchas especies arbóreas que forman parte de los bosques montanos, en zonas tropicales es muy difícil identificar especies con valor dendrocronológico, ya que los árboles están expuestos a temporadas climáticas no muy marcadas, es así que para la presente investigación se utilizó especies de cedro, con valor dendrocronológico reconocido en Perú y en otros países, además los cedros son especies que están ampliamente distribuida en el Neotrópico, lo cual ayuda a que se realice comparaciones en su crecimiento. Para estudiar las influencias de las variables climáticas sobre el crecimiento radial anual de especies forestales, se aplicó la DENDROCRONOLOGÍA, ya que nos ofrece una resolución anual de registro a largo plazo. Considerando a los anillos

de crecimiento, como los archivos naturales de las diversas condiciones medioambientales en que se desarrolla el árbol, tal como temperatura, precipitación, composición química de aire o del agua, erupciones volcánicas, variaciones geomorfológicas, actividad solar y rayos cósmicos entre otros. Además la falta de registros de datos meteorológicos instrumentales, hace de la dendrocronología una herramienta imprescindible para caracterizar las variaciones climáticas de un sitio en particular durante las últimas décadas, inclusive siglos.

1.4.2 Importancia

Considerando que el ambiente es un sistema abierto, compuesto de elementos sociales, económicos, culturales, bióticos y abióticos que interactúan en un espacio y tiempo determinado (Westreicher, 2013); la presente investigación es un inicio de como caracterizar las respuestas de los bosques montanos a la variabilidad climática, dado que el crecimiento de los bosques (y por lo tanto la biomasa acumulada) se encuentra modulado por las variaciones climáticas y los disturbios tanto naturales como antrópicos. Las variaciones en la precipitación y la temperatura se encuentran a su vez modificadas por las características topográficas, alterándose entonces los patrones en las respuestas de la vegetación al clima. Explicar la influencia de la precipitación y temperatura en el crecimiento radial de las especies arbóreas *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia* y verificar si existen diferencias en el crecimiento radial de los árboles entre los sitios de muestreo, ayudará a entender cómo responde la vegetación a las variaciones climáticas en diferentes sitios pertenecientes a un mismo ecosistema, en este caso a bosques montanos del Perú. Así mismo nos ayuda a entender la importancia de las especies de cedro, y su contribución en estudios climáticos y ecológicos, contar con la información de las variaciones pasadas y presentes del crecimiento radial anual de las especies de cedro, ayudara al manejo sostenible de bosques montanos.

Así mismo, también contribuye al aumento de registros dendrocronológicos en el Perú, con énfasis en los bosques montanos, lugares que no han sido anteriormente estudiados desde el punto de vista dendrocronológico, lo cual será útil en futuras investigaciones climáticas y ecológicas. La presente investigación fue financiada por el Fondo Económico de Bosques Andinos, Helvetas Swiss Intercooperation, como parte del proyecto denominado “Crecimiento del bosque montano en respuesta a la variabilidad climática de largo plazo. Estudios en gradientes ambientales de los ecosistemas de las Yungas de Perú y Argentina”.

1.5 Limitaciones de la Investigación

- Un factor limitante en la investigación, es que no todas las muestras recolectadas sirvieron para hacer datación anual y explicar los objetivos de la presente investigación, ya que muchos de ellos presentaban paquetes de anillos no muy claros.
- Otro factor limitante, fue de no contar con datos instrumentales climáticos completos y lo suficientemente extensos para hacer comparaciones con el crecimiento arbóreo.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Marco Referencial

2.1.1 Antecedentes de la Investigación

PRESENTADO POR: Eva LAYME HUAMAN, María Eugenia FERRERO, Kenia PALACIOS LAZARO, Edilson REQUENA ROJAS, “*Cedrela nebulosa*: UNA NUEVA ESPECIE PARA ESTUDIOS DE DENDROCLIMATOLOGIA EN LOS TROPICOS MONTAÑOSOS DE AMERICA DEL SUR” – PERÚ. Hasta ahora, el desarrollo de registros dendrocronológicos de regiones tropicales en Sudamérica se ha limitado a las tierras bajas con énfasis en la cuenca del Amazonas. En esta contribución, en la investigación se desarrolló la primera cronología de *Cedrela nebulosa*, una especie que se desarrolla en las regiones montañosas de Sudamérica tropical. En la cual recolectaron muestras de árboles en el distrito de Monobamba en Perú, analizaron las características anatómicas que determinan los anillos de crecimiento, y procesaron siguiendo los métodos comúnmente usados en dendrocronología. La cronología cubre el periodo de 133 años considerando como el año de inicio 1883 y el año final de 2015, esta cronología mostró gran correlación y fuerte señal entre series. Para determinar las variables climáticas que controlar el crecimiento del árbol, realizaron análisis de correlación entre el crecimiento radial del árbol y la precipitación local y regional, y registros de temperatura. Encontraron que la temperatura actúa como control del crecimiento anual durante la temporada de verano. Además, la cronología de *C. nebulosa* presenta variaciones coherentes con el Índice ENSO Multivariado

(MEI) y el Océano Pacífico las temperaturas de la superficie del mar durante los meses de verano. Este nuevo registro de anillo de árbol sensible al clima indica un buen potencial para los estudios dendroclimáticos y brinda la oportunidad de reconstruir las variaciones climáticas en los escasos estudios de bosques montanos de los Andes tropicales (Huaman, Ferrero, Lazaro, & Rojas, 2018).

PRESENTADO POR: Kathelyn PAREDES VILLANUEVA, Lidio LÓPEZ y Rafael María NAVARRO CERRILLO, “CRONOLOGIA REGIONAL DE *Cedrela fissilis* Y *Cedrela angustifolia* EN TRES TIPOS DE BOSQUES Y SU RELACION CON EL CLIMA” – BOLIVIA. En este estudio se utilizó métodos dendrocronológicos para analizar las relaciones del crecimiento de dos especies de cedro con la precipitación, procedentes de tres sitios con diferentes condiciones ambientales; Chiquitano seco (Concepción), Chiquitano de transición amazónica (Guarayos), y bosques montañosos de Bolivia – Tucumán (Postrervalle). La temporada de lluvia en todas las ubicaciones se extiende de octubre a abril y la estación seca se extiende de mayo a septiembre. Se tomaron 12 muestras de *Cedrela fissilis* de Chiquitano seco, 11 especímenes de *Cedrela fissilis* de Chiquitano de transición amazónica y 30 especímenes de *Cedrela angustifolia* de los bosques montanos de Bolivia – Tucumán. Las muestras fueron cosechadas y exhibieron una señal común entre los árboles de los tres sitios, a pesar de que los anillos de los árboles del bosque Chiquitano de transición amazónica eran más estrechas y se visualizaban bandas borrosas de parénquima en los límites de los anillos. Así mismo las muestras de *C. fissilis* mostraron una significativa intercorrelación de serie, en Chiquitano seco, mostró un $r = 0.261$ (P-valor = 0.01), y en el bosque Chiquitano de transición amazónica un $r = 0.284$ (P-valor = 0.01), y las muestras de *C. angustifolia* del bosque montano boliviano – Tucumán mostró un $r =$

0.374 (P-valor = 0.01). El crecimiento anual promedio fue de 2.07, 1.92 y 2.82 mm por año en los tres sitios respectivamente. Las muestras de *Cedrela* de Chiquitano seco y de los bosques montanos de bolivianos – tucumanos eran sensibles a la precipitación de octubre a abril del año actual de crecimiento (estación más húmeda) y a las bajas temperaturas de mayo a julio del año actual de crecimiento (estación más seca), mientras que las muestras de Chiquitano de transición amazónica eran más sensibles a la precipitación durante el final de la temporada de lluvias (marzo, abril, mayo del año actual de crecimiento) y a las altas temperaturas durante los meses de lluvia (noviembre – diciembre) (Villanueva, López, & Cerrillo, 2016).

PRESENTADO POR: Manuel Jesús PEREYRA ESPINOZA, Gaby Janet INGA GUILLEN, Mariano SANTOS MORALES y Rodolfo RODRIGUEZ ARISMÉNDIZ, “POTENCIALIDAD DE *Cedrela odorata* (Meliaceae) PARA ESTUDIOS DENDROCRONOLÓGICOS EN LA SELVA CENTRAL DEL PERÚ”. En este estudio analizaron las características anatómicas que definen los anillos de crecimiento, desarrollaron una cronología de ancho de anillos y relacionaron el crecimiento de los árboles con los registros de precipitación. La cronología de ancho de anillos estuvo compuesta por 47 series de 27 árboles que cubre el periodo 1795 – 2009. Los anillos están claramente delimitados por porosidad semicircular, asociados a bandas de parénquima marginal y paratraqueal. El crecimiento de los árboles estuvo relacionado con las precipitaciones de la estación de lluviosa previa y con las de finales de estación seca del corriente periodo de crecimiento. Así mismo, observaron una estrecha relación entre el crecimiento y las precipitaciones totales, considerando el ciclo hidrológico de diciembre a setiembre, para el periodo 1990 – 2009 (Espinoza, Guillen, Morales, & Arisméndiz, 2014).

PRESENTADO POR: FERRERO, María Eugenia, VILLALBA, Ricardo, DE MEMBIELA, Mónica, RIPALTA, Alberto, DELGADO, Silvia y PAOLINI, Leonardo “RESPUESTA DE CRECIMIENTO ARBÓREO EN GRADIENTES AMBIENTALES EN BOSQUES SUBTROPICALES DE ARGENTINA”. Los bosques subtropicales en ecosistemas montanos, crecen bajo una amplia gama de condiciones ambientales. Sin embargo, se sabe poco sobre las respuestas de crecimiento de los árboles subtropicales al clima a lo largo de los gradientes ecológicos. Para determinar cómo y en qué medida el clima controla el crecimiento de los árboles, analizaron respuestas climáticas para 15 cronologías de cuatro (4) especies diferentes (*Schinopsis lorentzii*, *Juglans australis*, *Cedrela lilloi*, *Alnus acuminata*) creciendo en diversos ambientes en los bosques subtropicales del Noreste de Argentina, (22-28°S, 64-66°W). El crecimiento de los árboles en respuesta a la precipitación y temperatura se determinaron a lo largo de la gradiente de elevación, desde los bosques bajos, secos y cálidos del Chaco hasta el bosque montano de altura húmedo y frío de las Yungas Argentinas. Para ello se utilizaron funciones de correlación y análisis de componentes principales. Los resultados que obtuvieron muestran que las respuestas de las especies difieren según la intensidad de las condiciones climáticas a lo largo del gradiente de elevación. En los sitios con condiciones no favorables, principalmente localizados en los extremos de la gradiente ambiental, las respuestas de las diferentes especies a las variaciones climáticas son similares entre ellas, en contrastes en sitios con condiciones relativamente suaves, el crecimiento de los árboles tienen gran variedad de respuestas que se reflejan en las diferencias de las condiciones ambientales y fisiología de las especies (Ferrero, y otros, 2013).

PRESENTADO POR: Ricardo VILLALBA; "ESTUDIOS DENDROCRONOLÓGICOS EN LA SELVA SUBTROPICAL DE MONTAÑA, IMPLICANCIAS PARA SU CONSERVACIÓN Y DESARROLLO". En cuanto a las aplicaciones de la dendrocronología desarrollado en ecosistemas de la Selva Subtropical de Montaña. En el Noroeste Argentino se han desarrollado 12 cronologías de anillos de árboles empleando tres especies: *Cedrela angustifolia*, *Cedrela lilloi* y *Juglans australis*, con la finalidad de determinar las implicaciones para la conservación y desarrollo del ecosistema mencionado, estableciéndose relaciones entre las fluctuaciones climáticas regionales y las variaciones en el espesor de los anillos de crecimiento fueron establecidas para cada sitio de muestreo. Teniendo en cuenta que en los ambientes relativamente xéricos de la Selva de Montaña, el crecimiento arbóreo está fuertemente controlado por la precipitación de primavera y de comienzos del verano y que las relaciones positivas con las temperaturas de primavera y de verano fueron observadas en aquellos rodales creciendo muy próximos al límite superior del bosque. El análisis espacial conjunto de las variaciones de la precipitación anual y del crecimiento arbóreo muestra que las cronologías de anchos de anillos pueden ser usadas para reconstruir los principales patrones de variaciones climáticas regionales. A partir de cuatro cronologías efectuaron una extensión del registro de la precipitación (junio a noviembre) para la ciudad de Jujuy hasta el año 1788. Esta reconstrucción de la precipitación de Jujuy fue usada para discutir la frecuencia de las grandes sequías en el noroeste argentino bajo una perspectiva temporal de más de 200 años. También calcularon las curvas de incremento radial, incremento basal y los turnos teóricos de cortabilidad de *Cedrela lilloi*, con fines ecológicos y silvícolas. Finalmente mencionan la potencialidad de los estudios dendrocronológicos para definir pautas de manejo y conservación de los recursos naturales (Villalba R. , 1995).

2.1.2 Referencias Teóricas

El inicio de los estudios dendrocronológicos en el Perú, fueron realizados en la Universidad de Piura (UDEP) a finales de la década de 1980, en colaboración con la Universidad de Colorado, (USA) y del Instituto Geofísico del Perú (IGP). El objetivo fue encontrar el registro natural del fenómeno de El Niño en *Prosopis pallida* especie predominante del bosque seco de la costa norte. Este estudio inicial consistió en observaciones fenológicas de árboles, control de crecimiento radial y caracterización del crecimiento mediante anillos de crecimiento (Rodríguez, y otros, 2012).

Instalándose el primer laboratorio de Dendrocronología del Perú en la Universidad de Piura en el año 2001, como parte de un proyecto internacional para las reconstrucciones climáticas de América del sur a partir de anillos de crecimiento de árboles. En este laboratorio se obtuvo las primeras series dendrocronológicas de *Prosopis pallida* con las cuales se han reconstruido algunos eventos del El Niño. Extendiéndose estos estudios en el año 2010 a especies del ecosistema de montañas altas de la región Junín, en el año 2011 en ecosistemas de Manglares del litoral norte del Perú y a maderas encontradas en sitios arqueológicos de la región norte del país desde el 2002 (Rodríguez, y otros, 2012).

El ancho de los anillos de crecimiento es el parámetro dendrocronológico que tradicionalmente se emplea para inferir cambios en la historia de vida de los árboles y la relación con su entorno. Las distintas etapas de crecimiento y los factores ambientales, actúan modificando el número, tamaño y disposición de los elementos constitutivos del xilema. Por lo tanto, existe un gran potencial para derivar información silvícola y ambiental a partir de otros caracteres anatómicos de la madera (Villalba, Delgado, De Membiela, & Mendoza, 2005).

La formación de anillos de crecimiento, está determinado por el cámbium, el cual forma xilema secundario y floema durante el

periodo de crecimiento de un árbol. Por lo tanto los elementos de mayor diámetro son producidos por el cámbium en primavera (leño temprano) y de menor diámetro y paredes más gruesas en finales de verano (leño tardío); esta actividad producida año a año forma los anillos de crecimiento. El inicio de la formación de los anillos está relacionada con la disponibilidad fotosintética al comienzo de la estación de crecimiento y presencia de auxinas en el árbol. Al final de la estación de crecimiento, los factores tales como escasa disponibilidad hídrica, menor insolación, disminución de temperatura, reducen la concentración de auxinas y por lo tanto fomentan la producción de células de diámetros pequeños; mientras tanto, la acumulación de inhibidores de crecimiento causa reducción en el ritmo de producción de nuevas células, terminando a su vez el crecimiento de nuevos brotes y desarrollos de nuevas hojas (Vera, Ortega, Pérez, Rosero, & Chavesta, 2011).

2.2 Marco Legal.

- Norma Técnica Peruana N° 251 – 008 para la recolección de muestras.
- Norma COPANT N° 3:1- 019 para la observación macroscópica de los anillos de árboles.

2.3 Marco Conceptual.

2.3.1 Definiciones.

- **Ancho de anillos:** Medida del espesor de un anillo anual de crecimiento, medido a lo largo de un radio. Esta medida se realiza por el equipo de medición Velmex con ayuda de un estereoscopio.
- **Auxinas:** Son fitohormonas que actúan como reguladoras del crecimiento vegetal provocando principalmente la elongación de las células.
- **Cambium:** Tejido vegetal, encargado del crecimiento del diámetro del árbol.

- **Cofechado:** Control de calidad estadístico sobre medidas de ancho de anillos de un conjunto de muestras de árboles, verificando la sincronización entre las diferentes series de medidas a fechar y a la serie maestra.
- **Coluviales:** Materiales que recubren el fondo de un valle y que han descendido de las vertientes.
- **Dendrocronología:** Es la ciencia que estudia los anillos de crecimiento de los árboles, para reconstruir con resolución anual, eventos ambientales pasados.
- **Dendroclimatología:** Analiza los anillos de los arboles datados para reconstruir y estudiar el clima del presente y del pasado.
- **Dominante:** Estado en el que un individuo, sobresale o prevalece.
- **Elongación:** Distancia angular entre dos cosas, puede ser entre ramas.
- **Fuste:** Término utilizado para nombrar troncos de madera.
- **Glabras:** Desprovisto absolutamente de pelo o vello.
- **Lenticeldas o lenticelar:** Que presenta lenticelas (protuberancias visibles a simple vista y con una abertura de forma lenticular).
- **Oblongo:** Más largo que ancho y con los lados casi paralelos en la mayor parte de su extensión.
- **Serie maestra:** Una serie maestra es un patrón que permite la interdatación de las series individuales de crecimiento radial.
- **Velmex:** Equipo especializado, para pedir los anchos de anillo de las muestras de madera.
- **Xilema:** Porción leñosa de un haz conductor; se compone de vasos leñosos, parénquima xilemático y fibras leñosas.
- **Xéricos:** Relativo o pertenece a un hábitat con un suministro bajo de humedad, o relativo a un organismo que viva.

2.4 Marco Teórico

Según la clasificación de cobertura vegetal desarrollado por el Ministerio del Ambiente bajo criterios geográficos, climáticos, fisonómicos y fisiográficos, el Perú se clasifica en cuatro regiones naturales, como son Amazonia tropical o selva baja, yungas o selva alta, andina o sierra y costa.

2.4.1 La yunga o selva alta

Constituye una ecorregión, ubicada en el flanco oriental de los Andes peruanos, desde los 800 m.s.n.m., hasta los 3600 m.s.n.m., limita con el pajonal andino por el sur y centro y con jalca o páramo por el norte. Presenta vegetación densa desarrollada sobre montañas empinadas y escarpadas con presencia de altas precipitaciones pluviales anuales, que van desde los 2000 mm hasta más de los 8000 mm y temperaturas promedios por debajo de los 24°C. Geológicamente, está conformada por rocas metamórficas, rocas ígneas, limolitas y lodolitas (MINAM, 2015). Así mismo los bosques de las yunga, bajo criterios bioclimáticos está dividida en tres pisos altitudinales; basimontano (800 a 2000 m.s.n.m.), montano (2000 a 3000 m.s.n.m.) y altimontano (3000 a 3600 m.s.n.m.) de acuerdo a su gradiente térmico. La vegetación expresa en estos niveles, características florísticas distintas, aunque manteniendo la misma humedad (MINAM, 2015)

Los bosques montanos ocupan una superficie de 30723.87 km² que representa el 2,39 % del área nacional peruano (MINAM, 2015). Se desarrollan sobre laderas empinadas cubiertas de material coluvial, con pendiente mayores a 50 % en donde se originan muchas quebradas debido a la erosión ocasionada por la alta precipitación pluvial (MINAM, 2015).

Las comunidades de árboles alcanzan alturas máximas de hasta 20 m a 25 m en el nivel inferior y hasta 10 m a 15 m en el límite altitudinal superior (MINAM, 2015).

En los bosques montanos se encuentra el “bosque de neblina” o el “bosque nublado”, ubicado aproximadamente entre los 2 000 y 2 800 m de altitud, caracterizado por la presencia de nubes casi permanentes lo que conlleva a una frecuente garúa o llovizna. En este bosque se puede encontrar las siguientes familias de vegetación: Lauraceae (con los géneros: *Aniba*, *Beilshmiedia*, *Endlicheria*, *Licania* y *Nectandra*), Rubiaceae (con los géneros: *Cinchona micrantha* “cascarilla”, *C. officinalis* y *C. pubescens*), Podocarpaceae (*Podocarpus* con 7 especies; *Prumnopitys* con 2 especies y *Retrophyllum* o *Nageia*), Juglandaceae (***Juglans***), Meliaceae (***Cedrela*** y *Ruagea*), Moraceae (*Ficus*), Cunoniaceae (*Weinmannia*), Clusiaceae (*Clusia*), Myrsinaceae (*Myrsine*), Myrtaceae (*Calyptanthus*), Rutaceae (*Zanthoxylum*), entre otras (MINAM, 2015).

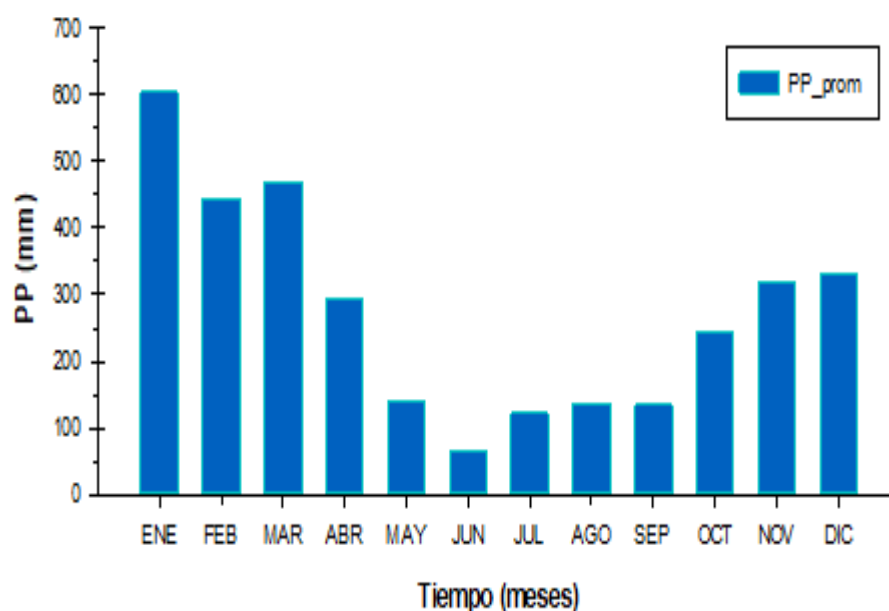
2.4.2 Condiciones climáticas de los Bosques Montanos

Para estimar las condiciones climáticas de los bosques montanos del Perú, se tiene en cuenta el estudio desarrollado por (Catchpole, 2012) el cual analizó el clima en los gradientes orográficos de la cordillera de Yanachaga Chemillén, Oxapampa, recogiendo datos meteorológicos de San Alberto desde el año 1983 hasta el 2007 a una altitud de 1830 m.s.n.m. Para complementar más detalladamente los registros instalaron una estación meteorológica automática a una distancia de 5 km del sitio de la estación de San Alberto. La estación meteorológica automática se ubicó en un bosque a sotavento (orientado hacia oeste) y se recolectaron datos meteorológicos desde el año 2003 al 2011.

En referencia al estudio desarrollado por Catchpole (2012), se describe la precipitación y temperatura en los bosques montanos, teniendo en cuenta que los datos son promedios entre los datos reportados por la Estación Meteorológica de San Alberto y la estación instalada por Catchpole.

- **Precipitación:** La precipitación mínima en los bosques montanos es de 537,7 mm, mientras que la precipitación máxima es de 3300,47 mm y por lo tanto la precipitación promedio anual es de 1919,08 mm. Mientras tanto en el siguiente histograma, se expresa el promedio mensual de precipitación en el bosque montano.

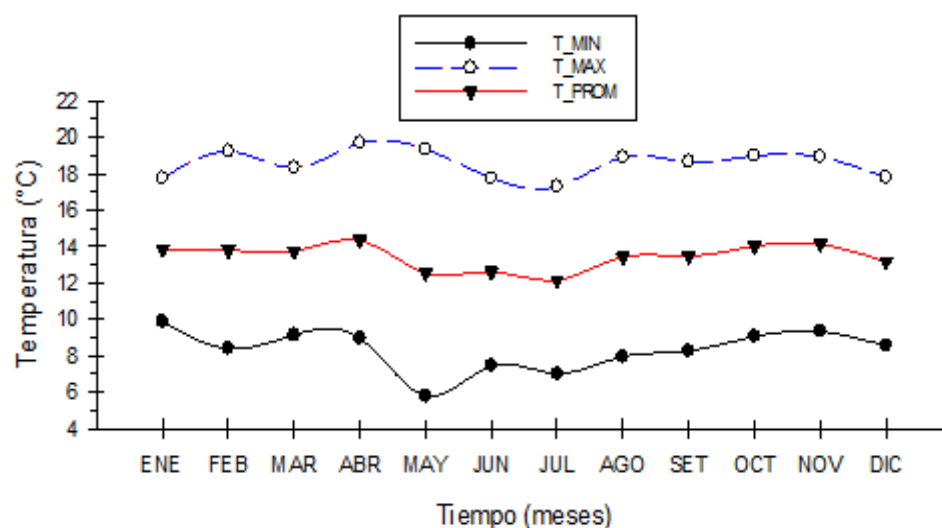
Figura N° 2.1 Climograma de precipitación para bosque montano



Fuente: Elaboración propia

- **Temperatura:** La temperatura máxima alcanzada en un año, en el bosque montano es de 18,56 °C, alcanzando una mínima temperatura de 8,32 °C, siendo la temperatura promedio anual de 13,44 °C, como se expresa en el siguiente climograma (figura 2.2).

Figura N° 2.2 Climograma de temperatura mensual para bosque montano



Fuente: Elaboración propia

2.4.3 Descripción de las especies arbóreas identificadas

A. Descripción de *Cedrela nebulosa*

- **Taxonomía:**

Reino: Plantae

Familia: Meliaceae

Género: Cedrela

Especie: *Cedrela nebulosa*

Nombre común: Cedro rojo de altura

Según (Layme & Palacios, 2017), los anillos de crecimiento de *cedrela nebulosa* presentan porosidad semicircular a circular y delimitan por parénquima marginal paratraqueal y apotraqueal.

Dentro del límite geográfico del Perú, se pueden encontrar ejemplares de *C. nebulosa* en los departamentos: Junín, Pasco, Cajamarca y entre Amazonas y San Martín (Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de la Fauna Silvestre - OSINFOR, 2015).

B. Descripción de *Cedrela angustifolia*

- **Taxonomía**

Reino: Plantae

Familia: Meliaceae

Género: Cedrela

Especie: *Cedrela angustifolia* (s. lilloi)

Nombre Común: Cedro Rosado

Cedrela angustifolia es una especie que esta confinada a Sud América, encontrándose en; Bolivia, Perú, Brasil y Argentina. En Bolivia y Argentina (EcuRed, 2012), esta corresponde a bosques montano húmedos (Villalobos, 2011), aunque también se encuentra en bosques nublados y bosques caduco tropical (Pennington & Muellner, 2010), en altitudes de 1000 m.s.n.m. a 3400 m.s.n.m. pero también se han reportado en altitudes de 800 m.s.n.m (EcuRed, 2012). En Perú, se encuentra en valles altos en donde forma bosques extensos y es cultivada como árbol de sombra; es una especie resistente al frío y tiene importancia local como maderable (EcuRed, 2012).

El término *angustifolia* proviene de un epíteto latino que significa “con hojas estrechas” lo cual caracteriza a la especie, siendo sus ramas relativamente delgadas y dispuestas horizontalmente, con corteza delgada y gris. Se ubican en zonas con precipitación anual de 1500 mm a 5000 mm, con temperatura ambiente entre los 14 °C y 26 °C, tolerando incluso una temperatura máxima de 42.5 °C a sombra y sequías prolongadas, en su hábitat natural, de hasta 5 meses en lugares con alta humedad relativa (EcuRed, 2012).

Los árboles de esta especie pueden llegar a crecer hasta 28 m de alto, y tener un diámetro mayor a 44 cm, su corteza externa es profundamente fisurada, gruesa y grisácea con ramas terminales ocráceas a pardas, glabras, indumento caduco, lenticeladas, con flores glabras y semillas aladas (Pennington & Muellner, 2010) se reconoce por la forma de los folíolos, notablemente asimétricos aovados, nunca

netamente oblongos como en las otras dos especies de *Cedrela* (Pennington & Muellner, 2010), la forma depende de la profundidad del suelo, pues en suelos poco profundos desarrolla un extenso sistema radical superficial y aletones bien desarrollados, mientras que en suelos profundos y fértiles las raíces son profundas y el tronco recto. (EcuRed, 2012).

Dentro del límite geográfico del Perú se puede encontrar ejemplares de *C. angustifolia* en los departamentos: Cuzco, Apurímac, norte de Lima, Ancash y entre Cajamarca y Piura (Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de la Fauna Silvestre - OSINFOR, 2015).

2.4.4 Anillos de crecimiento en los bosques tropicales

Los anillos de crecimiento son denominados también capas de crecimiento de xilema secundarios, el cual es un manto continuo de células que, con la forma de un cono, se superpone a los anillos ya existentes (Díaz-vaz & Olmedo, 2003).

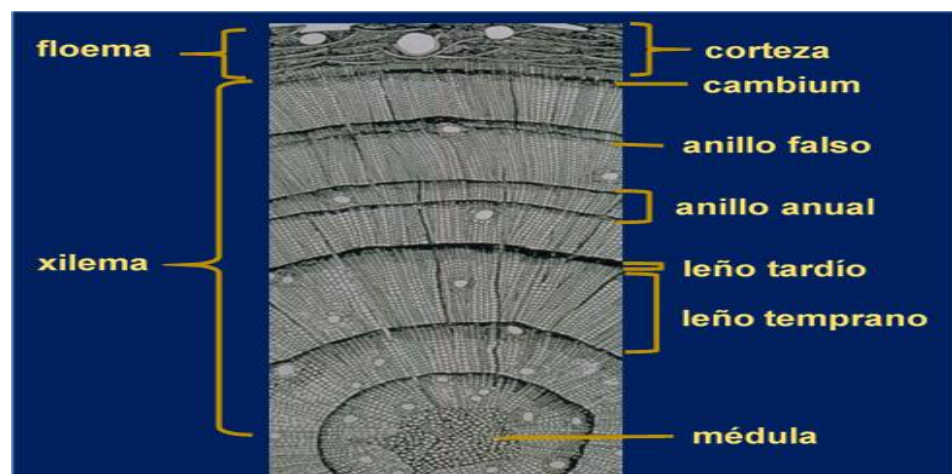
En la mayoría de las especies, el ancho de los anillos tiene un patrón de variación más o menos común. Los primeros años de formación de madera correspondiente al periodo juvenil, contiene anillos anchos y a medida que el árbol crece, tiene que colocar la misma cantidad de madera en un diámetro mayor, por eso los anillos se vuelven más finos (Díaz-vaz & Olmedo, 2003) y por ello el crecimiento idealmente está representado por una curva exponencial negativa. Los anillos de crecimiento de madera latifoliadas; como los cedros, están caracterizados por la presencia de una faja de células parenquimáticas que limita dos anillos de crecimiento (parénquima marginal), que aparece macroscópicamente como una línea tenue de tejido más claro y por una concentración o una dimensión especial de los poros en el inicio del periodo vegetativo; en un análisis microscópico se puede ver, en ciertos casos, un alargamiento de los radios fuera de los límites de

los anillos de crecimiento, también estratos de fibra con paredes engrosadas (Gimenez, Moglia, Hernandez, & Gerez, 2005).

Para la formación y ocurrencia de los anillos anuales es necesario la existencia de condiciones favorables y desfavorables para el crecimiento. En regiones tropicales los factores que causan estas alteraciones pueden ser: una distintiva estación seca anual o las inundaciones anuales a las que están sujetas los árboles por periodos largos. La carencia de agua en la época seca o las condiciones anóxicas de las raíces en las áreas inundadas, ocasionan el reposo (dormancia) del tejido cambial y a la formación de bordes de anillos distinguibles (Worbes, 1995). La tasa de actividad es la relación de intercambio que existe entre los árboles y ambiente, por ejemplo, entre las principales variables climáticas (precipitación y temperatura) con los procesos fisiológicos de los árboles (la respiración, la fotosíntesis, la savia del caudal y las paredes celulares orgánicas), y como resultado de esta actividad se forma anualmente los anillos de crecimiento en los árboles (Koloski, 2003).

Entre condiciones favorable y/o desfavorables pueden ocurrir dos o más veces en un año, generándose anillos falsos (Gimenez, Moglia, Hernandez, & Gerez, 2005).

Figura N° 2.3 Delimitaciones De Anillos de Crecimiento



Fuente: (Speer, 2010)

2.4.5 Anomalías en el crecimiento radial

Las anomalías en el crecimiento radial, son ocasionadas, cuando las condiciones favorables y/o desfavorables para la formación de los anillos de crecimiento, ocurren dos o más veces al año, generándose anillos ausentes y anillos falsos.

A. Anillos ausentes:

Una de las complicaciones que a veces se presenta en el análisis de muestras (tarugos), es la ausencia de un anillo anual en la altura del árbol dónde fue tomada la muestra. Esto se debe a que el espesor de cada anillo no es uniforme ni en la circunferencia ni a lo largo de cualquier línea del tallo; y por lo cual, el ancho relativo de los anillos en cualquier lugar en que se tome la muestra variará ligeramente.

Por otro lado, podemos encontrar problemas cuando se trata de un año con condiciones no favorables para el crecimiento, ocasionando que el crecimiento pueda ser sumamente pequeño y no diferenciarse en la circunferencia del tronco (Speer, 2010).

Los anillos ausentes pueden ser detectados al cotejar varias muestras de un lugar, haciendo coincidir las secuencias de los anillos de tales muestras se notará la ausencia del anillo en una de las muestras (Speer, 2010).

B. Anillos Falsos:

La presencia de anillos falsos, es otra de las complicaciones que se encuentra durante el análisis de los anillos de crecimiento de las muestras de madera (tarugos), cuya formación puede atribuirse a causas externas como heladas tardías, caída temporal de hojas, defoliación y fluctuaciones climáticas en general que alteran el funcionamiento normal del cambium. (Gimenez, Moglia, Hernandez, & Gerez, 2005).

Algunas de las formas de reconocer los anillos falsos son: la observación de la marca final (delineación) de un leño tardío, la cual en especies de cedro deben estar compuestas por poros de mayor tamaño y parénquima marginal. Adicionalmente si se tuviera

muestras de secciones transversales, el anillo en cuestión podría ser trazado alrededor de toda la circunferencia, entonces; si el anillo en cuestión es discontinuo, se trata de un anillo falso. Así mismo pueden detectarse los anillos falsos al comparar varias muestras de un mismo lugar (Speer, 2010).

2.4.6 Dendrocronología

La palabra *dendrocronología* proviene del griego *dendros* que significa árbol, *cronos* tiempo y *logos* conocimiento. Según (Fritts, 1976) la dendrocronología es el estudio de eventos pasados a través del análisis de los anillos de crecimiento de los árboles exactamente datados al año de su formación.

A. Condiciones de la Dendrocronología

Para hacer uso de la dendrocronología en estudios climáticos, ecológicos y otros, deben cumplirse las siguientes condiciones.

- **Primera condición:** Los árboles usados para el estudio deben presentar crecimiento anual (Fritts, 1976).
- **Segunda condición:** Solo un factor ambiental debe ser predominante en limitar el crecimiento de dicho árbol, sin dejar de considerar que el crecimiento total de una especie durante una estación es el resultado de muchos factores como genéticos y ambientales. (Fritts, 1976).
- **Tercera Condición:** El factor limitante del crecimiento anual debe variar en intensidad de año a año y que el anillo anual resultante refleje tal variación en su ancho. Aunque el ancho del anillo no sea exactamente igual al factor limitante (Fritts, 1976).
- **Cuarta Condición:** El factor limitante del crecimiento, debe ser uniforme sobre un área geográfica grande (Fritts, 1976).

B. Principios de la dendrocronología

Como cualquier otra ciencia, la Dendrocronología desde el año 1785 se rige por un conjunto de principios o reglas científicas. Algunos de estos principios se aplican específicamente para estudios

dendrocronológicos, mientras que otros son comunes a muchas disciplinas (Fritts, 1976).

- **Principio de Uniformidad de la respuesta:** Este principio establece que muchos de los procesos físicos y biológicos que rigen los actuales procesos ambientales, se han relacionado siempre con los patrones de crecimiento de los árboles, es decir, "el presente es la clave del pasado" (original de James Hutton, 1785). Sin embargo, dendrocronológicamente hablando a este principio, se le ha adicionado: "el pasado es la clave del futuro", en otras palabras, modelando las condiciones ambientales que operaron en el pasado, podemos predecir y administrar aquellas que se presentarán en el futuro (Fritts, 1976).
- **Principio de Factor Limitante:** Se fundamenta que la tasa de crecimiento de un árbol se encuentra condicionada por un factor limitante. Incluso, podemos decir que dicho factor limitante frecuentemente actúa sobre otros factores no climáticos. Así tenemos por ejemplo, que en las regiones áridas y semiáridas la precipitación es a menudo es el factor más limitante para el crecimiento de arbustos y árboles, y por tanto, para la formación de anillos. Mientras que en las latitudes altas la temperatura es el factor limitante que afecta la tasa de crecimiento de los árboles (Fritts, 1976).
- **Principios de agregación de los factores ambientales:** Este principio establece que cualquier serie individual que modela el anillo de crecimiento en el tiempo puede ser "descompuesta" en un conjunto de factores ambientales. De modo que, podemos expresar en términos matemáticos el crecimiento radial del árbol (R) en un año "t" cualquiera, apreciando que está compuesto por varios factores, entre los que podemos mencionar (Fritts, 1976).

$$R_t = A_t + C_t + \delta D_{1t} + \delta D_{2t} + E_t \dots\dots\dots(1)$$

R_t = Grosor de anillo de crecimiento en un año determinado (t).

A_t = La tendencia de la edad relativa de crecimiento debido al proceso de envejecimiento fisiológico normal.

C_t = Efectos del clima, que ocurrió previo o durante la formación del anillo de crecimiento.

D_{1t} = La ocurrencia de factores de disturbio dentro del rodal (disturbios endógenos), es decir, relativos únicamente al propio árbol como individuo, Como por ejemplo, la caída de árboles debido a un ventarrón, disturbios que disminuye la competencia y favorece el crecimiento de los individuos remanentes que permanecieron en pie.

D_{2t} = La ocurrencia de factores de disturbio fuera del rodal (disturbios exógenos), es decir aquel disturbio externo que afecta a todos o un grupo importante de individuos, como por ejemplo, la presencia de una plaga, que al defoliar los árboles originan una reducción en su crecimiento; incendios de alta intensidad con impactos en la cantidad de área foliar remanente y daños físicos al organismo, que promueven una reducción en crecimiento después del incendio y una liberación posterior en crecimiento, derivado de un incremento en las fertilidad del suelo.

E_t = Error o variabilidad no explicada por los otros procesos, incluido contaminación.

La letra griega δ delante de D_1 y D_2 asume el valor de "0" o "1" según indique ausencia o presencia de la señal de disturbio, en las series de crecimiento. Por consiguiente, para maximizar la señal deseada, los otros factores deben ser minimizados (Fritts, 1976).

- **Principio de Amplitud Ecológica:** Este principio está basado en la ubicación latitudinal de la especie que presenta crecimiento radial anual, en la cual se determina que una especie es más

sensible a los factores ambientales en los límites latitudinales y de elevación de su rango de hábitat.

Este principio es importante porque frecuentemente las especies de árboles utilizados en dendrocronología se encuentran en los límites de su rango natural.

- **Principio de Lugar de Selección:** Este principio establece que para fines de estudios dendrocronológicos se debe identificar y seleccionar aquellos lugares que produzcan series de anillos sensibles a los cambios ambientales que están siendo examinados, a fin de maximizar dichas señales ambientales (Fritts, 1976).
- **Principio de Datación Cruzada o Cofechado:** Este principio es considerado fundamental para la dendrocronología; ya que sin la precisión que de ella se obtiene, la información sobre las series de anillos de los árboles no sería más que un simple recuento de anillos (Fritts, 1976).

El cofechado se basa en que los cambios anuales que se producen en el clima, inciden en el crecimiento, por lo que la secuencia de anillos reflejará esos cambios. De tal manera que, si se hace coincidir la secuencia de los anillos entre muchas series de crecimiento de árboles de un mismo sitio sujetos a las variaciones ambientales, se puede identificar el año exacto en el cual cada anillo fue formado. Una aplicación de esto, es que es posible fechar (conocer el año) la construcción de una casa antigua, comparando los patrones de crecimiento de los árboles a partir de madera tomada de la casa con patrones de crecimiento de árboles vivientes en bosques circundantes (Fritts, 1976). Adicionalmente, el cofechado nos permite detectar la ausencia en la formación de un anillo o anillos falsos, producto de un periodo no favorables para su formación correcta (Fritts, 1976).

- **Principio de Replicación:** El fin de este principio es, maximizar la señal medioambiental que se está investigando, reduciendo al mínimo la cantidad de "disturbio". Para ello, se toman al menos dos muestras por árbol y se muestrea más de un árbol por sitio, es decir diferentes réplicas (Fritts, 1976).

2.4.7 Incremento del Área Basal

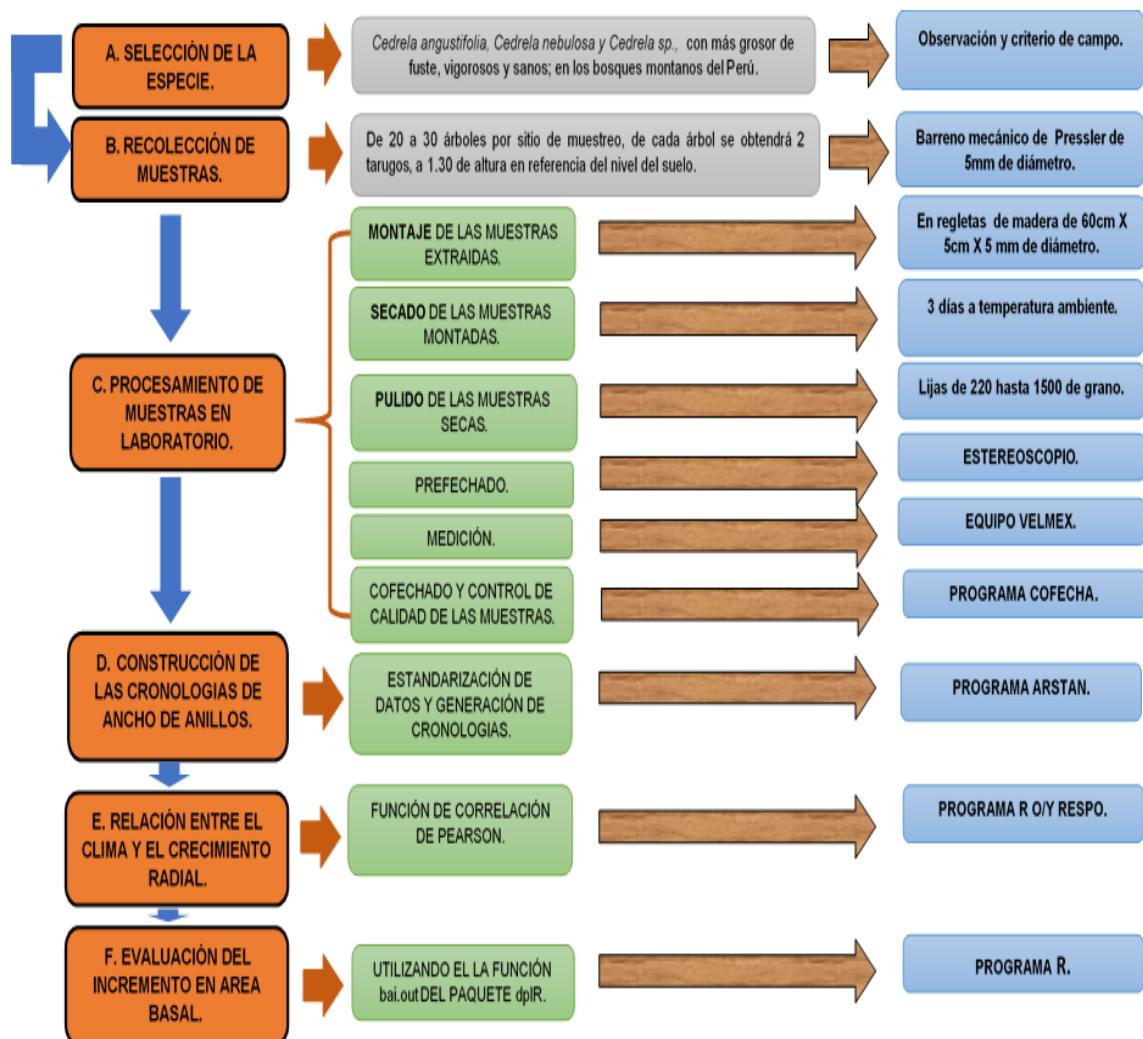
Es un indicador ecológico, que se utiliza para evaluar el vigor y la sanidad de los árboles en términos de tasa de declinación (Duchesne, Ouimet, & Morneau, 2003). En bosques sanos las tendencias negativas en las series de ancho de anillos de árboles maduros están relacionadas comúnmente al aumento en el diámetro del fuste. Sin embargo, estos mismos árboles sanos presentan tendencias positivas o estables en el BAI y tendencias negativas en el BAI indicarían pobre estado sanitario o senescencia (Rodríguez, Villalba, Srur, & Morales, 2016)

CAPÍTULO III

3. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

3.1 Metodología

3.1.1 Esquema de Investigación



Fuente: Elaboración propia

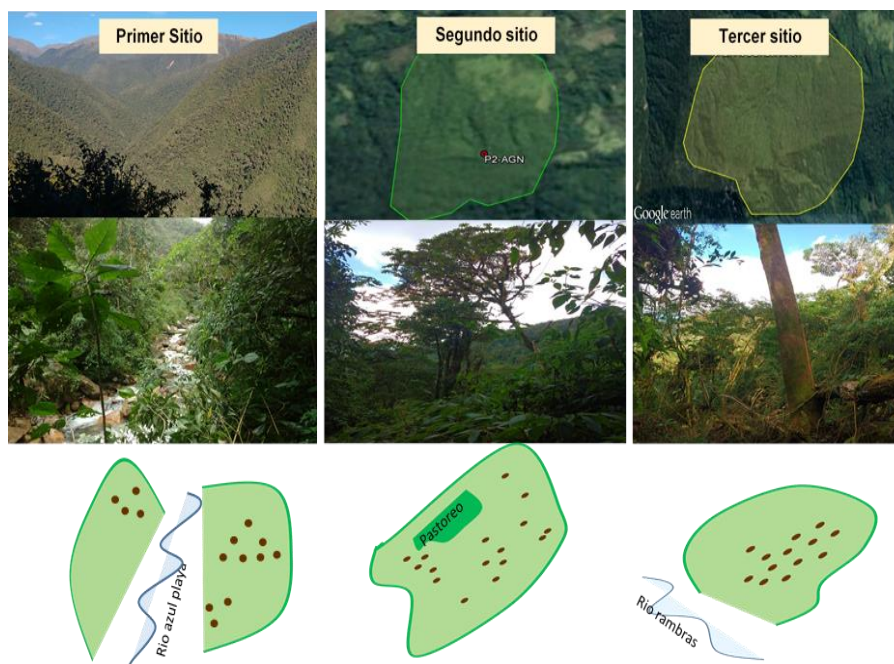
3.1.2 Método

A. Ubicación Geográfica

- **Ubicación de los Sitios de Muestreo**

La recolección de muestras para desarrollar el presente estudio se realizó en tres sitios de muestreo del departamento de Junín.

Figura N° 3.1 Sitios de Muestreo



El primer sitio de muestreo, se ubicó en la provincia de Concepción, distrito de Mariscal Castilla, en una quebrada denominada Azul Playa (APL) del centro poblado Mamac, caracterizada por presentar dos laderas de pendiente promedio de 35 grados de inclinación donde la orientación de la ladera es de este a sur este, siendo la zona de difícil acceso. El segundo sitio de muestreo, se ubicó en la provincia de Jauja, distrito de Monobamba, centro poblado de Agua de Nieve (AGN) y está caracterizada por presentar una pendiente promedio de 15 grado de inclinación donde la orientación del filo es del este a oeste, con terreno relativamente plano y de fácil acceso y existiendo muy cerca una zona de pastoreo de reses. Y el tercer sitio de muestreo, estuvo ubicada en la provincia de Jauja, distrito de Monobamba, centro poblado de Agua de Nieve y

sector Salinas de Alcanfor (SAL), está caracterizada por presentar una ladera con 20 grado de inclinación en promedio, con una orientación de este a oeste y de fácil acceso (anexo 1).

Tabla N° 3.1 Ubicación de los Sitios de Muestreo

Sitio	Latitud	Longitud	Altitud
<i>Azul Playa (APL)</i>	-11° 32'38"	-75°8'47"	2588
<i>Agua de Nieves (AGN)</i>	-11°18'28"	-75°20'19"	2161
<i>Salinas de Alcanfor (SAL)</i>	-11°18'15"	-75°20'58"	1966

- **Ubicación de las estaciones meteorológicas**

Las estaciones meteorológicas que se consideraron en la presente investigación, son aquellas que están más próximas a los sitios de muestreo, actualmente funcionando y que cuenten con registros de precipitación y temperatura de más de 10 años. Donde para el primer sitio de muestreo (Azul Playa - APL), se consideró la estación meteorológica de Comas, ubicada en la provincia de Concepción con: -11°44'55'' de latitud, -75°7'45'' de longitud y 3640 m.s.n.m. de altitud; Para el segundo (Agua de Nieve - AGN) y tercer sitio de muestreo (Salinas de Alcanfor - SAL), se consideró la estación meteorológica de Huasahuasi, ubicada en la provincia de Tarma con: -11°15'42'' de latitud; -75°37'15'' de longitud y 2750 m.s.n.m. de altitud; (anexo 1).

Tabla N° 3.2 Ubicación de las Estaciones Meteorológicas

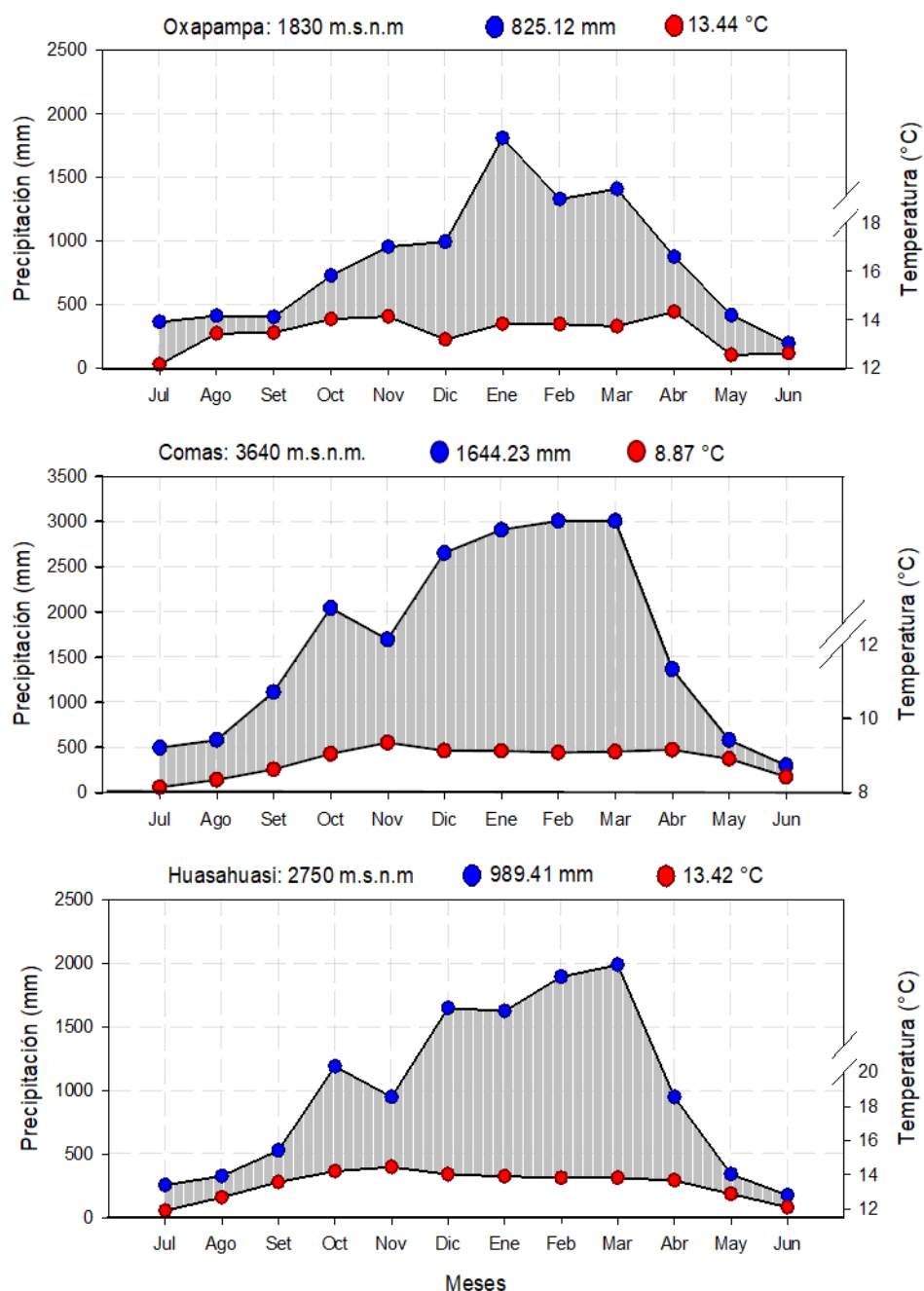
Cód. Sitio de muestreo	Estación Meteorológica	Variable	Periodo de Registro	Fuente
APL	Comas	PP y T°	1994-2014	SENAMHI
AGN	Huasahuasi	PP y T°	1995-2014	SENAMHI
SAL	Huasahuasi	PP y T°	1995-2014	SENAMHI

- **Caracterización Climática de los Sitios de Muestreo**

Para caracterizar el clima en los bosques montanos, tuve en cuenta el estudio de Catchpole, 2012, y los datos instrumentales

de precipitación y temperatura, de las estaciones meteorológicas de Comas y Huasahuasi.

Figura N° 3.2 Climograma de Precipitación y Temperatura



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la figura 3.2, la variabilidad de temperatura promedio mensual desarrollada por (Catchpole, 2012) en Oxapampa (periodo 2003 - 2011) para caracterizar el clima en bosques montanos, son semejantes a la variabilidad de

los datos climáticos de temperatura mensual de las estaciones meteorológicas de Huasahuasi (1995 – 2014) y Comas (1994 – 2014), encontrándose las temperaturas mínimas durante los meses mayo, junio, julio y agosto, mientras que las máximas temperaturas durante los meses de octubre y noviembre.

Así mismo, los valores mensuales de precipitación desarrollada por (Catchpole, 2012) en Oxapampa (periodo 2003 – 2011) para caracterizar el clima en bosques montanos, son semejantes a los valores climáticos mensuales de precipitación de las estaciones meteorológicas de Huasahuasi (1995 – 2014) y Comas (1994 – 2014). Donde la precipitación mínima se encuentra en los meses de; mayo, junio, julio, agosto y setiembre, mientras que las máximas precipitaciones se encuentra durante los meses de octubre, diciembre y marzo.

B. Selección e identificación de la Especie

En zonas tropicales, es muy difícil identificar especies de valor dendrocronológico, ya que los arboles están expuestos a temporadas climáticas no muy marcadas a diferencia de las especies que se encuentran a latitudes extremas. Es así que para la presente investigación utilice especies de cedro, con valor dendrocronológico reconocido en Perú y en otros países, así mismo esta especie está ampliamente distribuida en el Neotrópico, por lo que hacer estudios dendrocronológicos con ella, permite realizar comparaciones con otros sitios. Las especies, fueron reconocidas en campo por sus características fisiológicas y con la ayuda de personas aledañas del lugar (materos). Recolectando en el primer sitio (APL) muestras de *Cedrela sp.*, al cual falta realizarle un estudio taxonómico con hojas y frutas para conocer la especie. En el segundo sitio (AGN) recolectamos muestras de *C. nebulosa*, el cual presenta potencial dendrocronológico comprobado en el estudio de (Huaman, Ferrero, Lazaro, & Rojas, 2018). Mientras que en el tercer sitio (SAL) recolectamos muestras de *C. angustifolia* el cual no ha

sido estudiado antes en el Perú, siendo esta la primera investigación con *Cedrela angustifolia* en los bosques montanos de Perú, pero se ha comprobado su potencial dendrocronológico, en el estudio de (Villalba R. , 1995) en los bosques de Argentina.

Figura N° 3.3 Identificación de especies arbóreas



Fuente: Elaboración propia

C. Recolección de Muestras

Las muestras recolectadas para esta investigación fueron 100 % muestras de tarugos, las que se tomaron a una altura promedio de 1.30 m sobre el nivel del suelo, utilizando el barreno mecánico de Pressler de 5 mm de diámetro, considerando además tomar dos muestras de tarugo por cada árbol. Adicionalmente se apuntaron datos de diámetro y altura promedio de cada árbol, el cual será utilizado en el cálculo del incremento del área basal. Siendo así que: En Azul Playa (APL) se muestrearon 37 árboles con altura promedio de 26 m y el DAP (diámetro a la altura del pecho) de 48 cm. En Agua de Nieve (AGN) se muestrearon 17 árboles con altura promedio de 23 m y DAP de 42 cm. En Salinas de Alcanfor (SAL) se muestrearon 15 árboles con altura promedio de 32 m y DAP de 66 cm (anexo 2, fotografía D, E y F).

Para trasladar las muestras extraídas con el barreno de incremento, fueron colocadas en portatarugos (sorbetes de plásticos) las que fueron selladas y rotuladas y colocadas en un portaplano y trasladadas al laboratorio para su procesamiento.

D. Procesamiento de Muestras

Las muestras obtenidas en campo fueron trasladadas al Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad Continental – Huancayo, Perú, en donde se procedió a montar, secar, pulir y realizar el fechado visual. Las mediciones y generación de cronologías se realizaron en el Laboratorio de Dendrocronología de IANIGLA, CONICET, Mendoza Argentina.

- **Montaje**

Con la ayuda de un marcador se codificó la regleta de madera con una hendidura de 5 mm de diámetro en donde se colocó la muestra. Posteriormente se retiró la muestra del portatarugo y se procedió a pegar con cola sintética sobre la regleta codificada. La muestra se fijó con cinta masking para evitar que durante el proceso de secado, se doblara o quebrara (anexo 2, fotografía G y H).

- **Secado**

El secado de las muestras se realizó en promedio tres días a temperatura ambiente, bajo sombra, con la finalidad de que la muestra no sufriera alteraciones (oscurecimiento o fracturamiento) que impidiera visualizar los anillos (anexo 2, fotografía I).

- **Pulido**

El pulido de los tarugos, se realizó utilizando una máquina pulidora orbital de marca Makita, en la cual se colocaron lijas de granos sucesivamente más finos (desde 220 hasta 1 500 granos por cm²) hasta visualizar correctamente los anillos de crecimiento. También se utilizó el apropiado equipo de protección personal, como guantes de cuero, guardapolvo, lentes, gorro, y tapones contra el ruido (anexo 2, fotografía J, K, L, M, N).

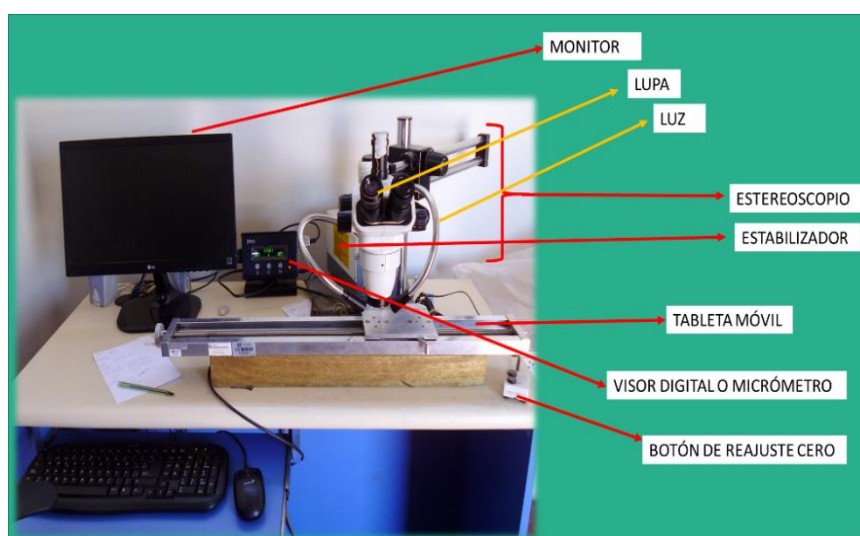
- **Pre-fechado o datación visual**

Para datar las muestras pulidas, se utilizaron materiales de escritorio, junto a un estereoscopio de objeto zoom de 0,67 X - 4,5 X. Las muestras fueron fechadas siguiendo la convención de Shulman (1956) para el Hemisferio sur, donde se establece que la fecha de cada anillo corresponde al año en que comenzó a formarse. Dado que la temporada de crecimiento teórica de un árbol en condiciones ambientales, se inicia en noviembre de un año X, hasta marzo de un año X+1, consideramos para esta investigación como año de formación del ultimo anillo de crecimiento, el año 2016, ya que extrajimos las muestras en julio del 2017 (anexo 2, fotografía Ñ, O y P).

- **Medición**

El equipo de medición que se utilizó estaba compuesta por una lupa de resolución del objeto zoom de 0,67 X - 4,5 X, un sistema de medición Velmex con un micrómetro de precisión 0.001 mm, que se conecta a una platina de fase deslizante acoplada a una computadora personal, el cual tenía instalado el software de medición, denominado MeasureJ2X, lo que permitió registrar y guardar las mediciones del ancho de anillo en mm.

Figura N° 3.4 Equipo Velmex



Fuente: Elaboración propia

- **Cofechado**

La calidad del fechado visual fue controlada usando el programa COFECHA (Holmes, 1983) insertada en el DPL, el cual a través de los archivos de medición de cada serie de crecimiento comparó estadísticamente el fechado de cada muestra al correlacionar sucesivamente segmentos de 50 años con traslapes de 25 para *Cedrela sp.* (APL), y segmentos de 40 con traslapes de 20 para *C. nebulosa* (AGN) y *C. angustifolia* (SAL).

Figura N° 3.5 Programa COFECHA

```
DENDROCHRONOLOGY PROGRAM LIBRARY
```

AGE Tree growth by age	MIS Estimate missing ring measurement
ARI Aridity indices	ORD Sort in order by selected column
ART Generate artificial time series	PCA Principal Components Analysis
BAR Bar plots by page or in columns	REC Reconstruct time series
CID Climate diagrams temp & precip	SCA Scattergrams
COF COFECHA: Dating quality control	SCR Scrolling plot on screen
COL Copy selected columns of file	SEA Seasonalize meteorologic data
CRN Chronology with unlimited series	SPL Random split of file by percent
EDT Edit ring measurements	SUR Survey data file or list identis
FMT Manipulate data, change format	TSA Time series analysis statistics
HOM Homogeneity of meteorologic data	VFY Verify calibration
IMP Impact before and after event	YUR Read spreadsheet (column) data
LNP Printer plot of time series	YUX Make spreadsheet (column) file
LRM List ring measurements	? General information
MAT Correlation matrices	(Day number 30380 DPL version 2.02P)
MET Estimate missing meteorologic data	

```
Select routine => COF  
Identify job (up to 5 characters) =>
```

Fuente: Elaboración propia

E. Construcción de la cronología de ancho de anillos

La construcción de las cronologías de *Cedrela sp.* (APL), *Cedrela nebulosa* (AGN) y *Cedrela angustifolia* (SAL), se realizó utilizando el programa ARSTAN, que elimina las tendencias biológicas propias del crecimiento por edad y minimiza las variaciones en el crecimiento que no son comunes a todos los árboles, como factores generados por disturbios endógenos (competencias) y exógenos (plagas, enfermedades, incendios, entre otros) (Cook & Holmes, 1986).

Se realizaron estandarizaciones en las series de crecimiento para cada grupo de especie de *cedrela*, las que consisten en ajustar a cada serie individual de crecimiento de acuerdo a su estructura a una curva exponencial negativa o lineal con el fin de homogeneizar la

varianza y remover los efectos del cambio de la tasa de crecimiento del árbol debido al aumento de la edad (Cook & Holmes, 1986). Finalmente el Arstan genera tres versiones de la cronología (Estándar, Residual y Arstan), en las cuales se ha maximizado la señal común y minimizado el ruido. En la presente investigación hemos utilizado la cronología estándar porque correlacionaba mejor con los datos de temperatura.

Matemáticamente la eliminación de la tendencia por edad y el proceso de estandarización producida por el ARSTAN están dada por la siguiente expresión.

$$R_t = (A_t + C_t + \delta D_{1t} + \delta D_{2t} + E_t) \dots \dots \dots (2)$$

La fórmula 2, expresa los componentes de un anillo de crecimiento, representado en un modelo lineal. En donde clasificaremos estos componentes, en señales y ruidos. Siendo las señales los componentes que queremos maximizar y los ruidos, los componentes que queremos minimizar. Entonces el dato señal en esta investigación es del factor clima (C_t) y el resto de componentes serán un conjunto de datos ruido expresado por (Q_t), entonces:

$$Q_t = f(A_t + \delta D_{1t} + \delta D_{2t} + E_t) \dots \dots \dots (3)$$

Donde $\delta D_{1t} + \delta D_{2t} + E_t$ no son muy importantes ya que no sucede igual en todas las series, por lo que se procede a filtrarlos y solo quedaría por estimar la tendencia de crecimiento para lograr Q_t , cuyo proceso es denominado estandarización, en la cual los datos de ancho de anillos de crecimiento en mm, son transformados en índices de crecimiento con media 1 y varianza relativamente constante.

Para estimar Q_t , existen muchos modelos como; lineal, curva exponencial negativa, entre otros, la utilización de estos modelos, dependerá de la cantidad de años promedio y la estructura que tengan las muestras. En esta investigación para determinar la tendencia de crecimiento se utilizó el modelo lineal para series cortas y la curva exponencial negativa para series largas.

Las respectivas expresiones matemáticas de los modelos son:

a) Modelo Lineal

$$Q_t = b_0 + b_1 t \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

b_0 = es el intercepto

b_1 = es la pendiente

b) Modelo Exponencial negativa

$$Q_t = ae^{-bt} + k \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

a = Constante derivada empíricamente

e = Base del registro natural

r = Parámetro que describe la disminución en el ancho de anillo con la edad

t = Es la edad del árbol (en años)

Entonces ARSTAN obtiene los índices de crecimiento de la siguiente manera.

$$I_t = \frac{R_t}{Q_t} \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

R_t = La media de cada ancho de anillo

Q_t = Estimación del crecimiento por edad.

Finalmente, la calidad de las cronologías fue evaluada a través de los estadísticos R-bar y EPS, los cuales cuantifican la señal común presente dentro de cada cronología.

El R-bar (“running rbar”) es un estadístico que se usa para examinar la fuerza de la señal a lo largo de una cronología. Fue calculado por el ARSTAN tomando la correlación promedio de todas las series (que componen la cronología) en una ventana de 50 años con un traslape de 25 años a lo largo de toda la cronología de *Cedrela sp.* y en una ventana de 20 años con un traslape de 10 para *C. nebulosa* y *C. angustifolia*. Dado que es una correlación móvil entre series, es una buena medida de la fuerza de la señal común a lo largo del

tiempo y es dependiente del esfuerzo de muestreo (Cook y otros, 2000).

El EPS o señal expresada de la población es la cantidad de varianza de la cronología de una población (infinitamente replicada) explicada por una sub-muestra finita. En otras palabras, el EPS es la potencia explicativa aproximada (r^2) al predecir la así llamada señal de la población basada en una muestra finita, reflejando cuan bien una cronología representa una población teóricamente infinita. (Buras, 2017). También es dependiente de la profundidad de muestreo. Cuando el valor del EPS cae por debajo de un nivel predeterminado, la cronología comienza a estar dominada por una señal individual (a nivel de árbol) en lugar de presentar una señal coherente a nivel de rodal (Speer, 2010). El EPS se utiliza a menudo con un umbral de 0.85 por encima del cual se supone que una cronología maestra representa la señal de la población con suficiente calidad (Wigley, Briffa, & Jones, 1984)

Adicionalmente se reportan estadísticos como; la sensibilidad media (SM) que mide la diferencia relativa entre un anillo y el siguiente, y por lo tanto representa la variación promedio que existe año a año en la cronología (Fritts, 1976), cuando la sensibilidad media es baja se dice que el árbol es complaciente, de otro modo, se dice que es sensible a los cambios ambientales (Roig, 2000). También se considera la desviación estándar (DS), la cual mide la variación de los datos respecto a la media, mientras mayor sea la desviación estándar, mayor será la dispersión o variación de los datos (Roig, 2000). Por último, se considera la autocorrelación de primer orden, que corresponde al coeficiente de correlación entre una serie y ésta misma desfasada un año (-1), provee una estimación de cómo el crecimiento de un año está influenciado por el crecimiento del año anterior, esta tiene un rango de -1 (autocorrelación negativa perfecta) y 1 (autocorrelación positiva perfecta) (Fritts, 1976).

Dado que los datos se comportan diferente a lo largo del tiempo, calculamos el spline stardar (trazo flexible), con el programa SPL (Random split of file by percent) del DPL (Dendrochronology Program Library), dividiendo el rango de la serie en segmentos de 20 y aproximando una curva a cada segmento, con un 50% de varianza a ser removida.

F. Relación entre el clima y el crecimiento radial

Según el principio de agregación de factores ambientales, las variaciones interanuales en el ancho de anillos pueden ser causadas por más de un factor limitante, pero una suele ser determinante o más importante que otros. Así mismo el efecto de un factor climático como la precipitación, puede estar condicionada por otros factores durante el año, por ejemplo; la temperatura determina si el agua precipita de forma líquida o sólida. Por lo tanto, la relación entre el crecimiento arbóreo y el clima se verá mejor representado como un sistema con diferentes variables entrando en esa relación. Un modelo lógico pero complejo, sería incluir tantas variables como predictores de crecimiento, y utilizar técnicas estadísticas como; el PCA – Análisis de Componentes Principales, para determinar qué variables son las más importantes y a partir de allí ponerlas en escala. Pero un mecanismo más directo para analizar este sistema de múltiples variables es calcular correlaciones simples entre varias variables y el ancho de anillos y seleccionar todas las variables con las que el crecimiento esté significativamente correlacionado como predictor. (Fritts, 1976)

Por lo tanto, es la herramienta que normalmente se usa para testear las relaciones entre ancho de anillos y varias variables climáticas (en varias estaciones instrumentales de precipitación y temperatura). Lo cual no quita que posteriormente se pueda realizar análisis más complejos que luego pueden utilizarse para refinar las relaciones entre el crecimiento arbóreo y cada una de las variables climáticas, como las regresiones múltiples, dónde se tienen en cuenta

simultáneamente varias variables que afectan el crecimiento, que se usan mayormente para realizar reconstrucciones climáticas a partir de anillos de crecimiento. Dichos análisis escapan de los objetivos de la presente tesis, que busca identificar las variables de clima local que influyen en el crecimiento arbóreo de los sitios muestreados.

Por lo tanto, para determinar la relación existente entre el clima y las cronologías de cada especie de cedrela, se procedió a estandarizar los datos climáticos, con la finalidad de que sean comparables entre si y comparables con las cronologías (índice de ancho de anillo) en las mismas condiciones de índices. Matemáticamente la fórmula para estandarizar los datos climáticos se expresa de la siguiente manera.

$$Z = \frac{\mu - X}{\sigma} \dots\dots\dots(7)$$

Las correlaciones se realizaron utilizando las plantillas de RESPOSUM y RESPOAVG, respectivamente para datos mensuales de precipitación y temperatura. La plantilla RESPOSUM y RESPOAVG, fue desarrollado por el Dr. Mariano Masiokas, (IANIGLA, CONICET Mendoza), con la finalidad de identificar la relación entre variables climáticas y las cronologías de ancho de anillos, basada en una correlación de Pearson, la cual matemáticamente se expresa de la siguiente manera.

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X * \sum Y}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \dots\dots\dots(8)$$

Donde:

r = Coeficiente de correlación de Pearson

N = Número total de datos en X y Y

X= Dato crudo de la variable X

Y= Dato crudo de la variable Y

Las correlaciones se realizaron entre periodos comunes de; la cronología de *Cedrela sp.* y la data climática (precipitación y temperatura) de la estación meteorológica de Comas (1994 - 2014), y la cronología de *C. nebulosa* y *C. angustifolia* con la data climática

(precipitación y temperatura) de la estación meteorológica de Huasahuasi (1995 – 2014). Las funciones de correlación fueron realizadas para 36 meses, desde enero del año anteprevio de crecimiento a diciembre del año actual de crecimiento. Posteriormente los datos fueron estacionalizados (agrupados por meses) con la finalidad de encontrar la mayor correlación existente, y poder explicar la respuesta al clima, considerando que en el crecimiento del árbol intervienen las condiciones ambientales de los doce meses de cada año o tiene crecimiento prolongado, ya que las tres especies estudiadas son especies tropicales y siempre van a estar expuestos a precipitación, así mismo porque en las correlaciones no se ve respuesta significativa durante el crecimiento teórico de especies tropicales.

G. Evaluación del incremento del área basal

Para calcular el incremento del área basal, se utilizó el software R y el paquete dplR (Librería de Programas Dendrocronológicos en R), en el cual se generó un script donde se fueron insertando datos de ancho de anillos en mm (sin estandarizar) y número de árbol con su respectivo diámetro en cm. De los datos de anchos de anillo anuales obtenidos, al promediar las series cofechadas de la medición de cada radio en un árbol, son transformados en IAB.

Para esto se aplicó la siguiente fórmula matemática:

$$IABt = \pi * (R_{2t} - R_{2t-1}) \dots\dots\dots(9)$$

Donde:

R = corresponde al radio del árbol.

t = es el año de formación del anillo de crecimiento.

Para este cálculo se utilizó la función bai.out (Bunn et al.2012) del paquete dplR del software libre R (R Development Core Team, 2012).

Así mismo para comparar el incremento del área basal, se calculó un índice, basado en el estandarizado de los datos del incremento del área basal calculados con el software R y las plantillas de Excel.

3.1.3 Tipo de Investigación

La investigación a desarrollarse es del tipo básico, ya que se busca aumentar los conocimientos respecto a la dendrocronología, especialmente el desarrollo de ésta en bosques montanos del Perú, y la influencia de patrones climáticos sobre el crecimiento de las especies arbóreas *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia*.

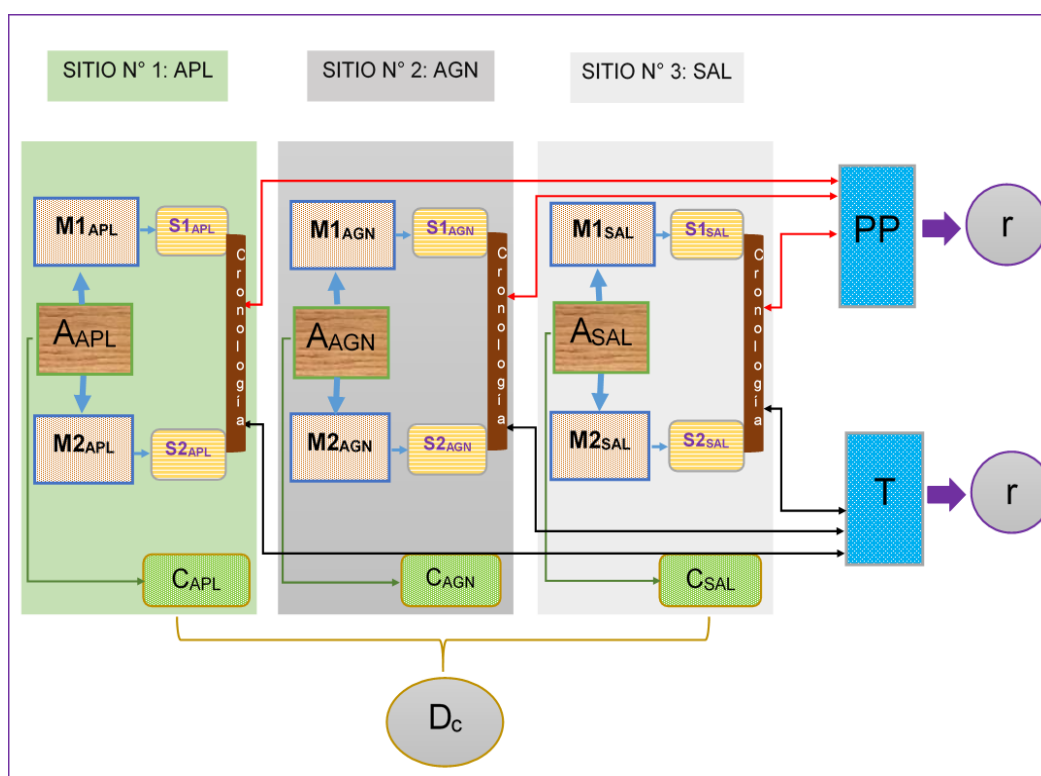
3.1.4 Nivel de Investigación

La investigación a realizarse es del nivel correlacional, dado que tiene como finalidad establecer el grado de relación entre las variables dependientes e independientes, mediante pruebas de hipótesis correlacionales y aplicación de técnicas estadísticas.

3.2 Diseño de la Investigación

La investigación a realizarse presenta un diseño no experimental, descriptivo correlacional, dado que no se manipulara ni controlará las variables que se estudiará, pero se extraerá información de cada una de las muestras arbóreas, para luego correlacionar esta información con datos climáticos instrumentales.

Figura N° 3.6 Esquema de Diseño de Investigación



Donde:

SITIO N°1: APL (<i>Cedrela sp.</i>)		SITIO N° 2: AGN (<i>Cedrela nebulosa</i>)		SITIO N° 3:SAL (<i>Cedrela angustifolia</i>)	
A_{APL}	Árbol del sitio Azul Playa.	A_{AGN}	Árbol del sitio Agua de Nieve.	A_{SAL}	Árbol del sitio Salinas de Alcanfor.
M1_{APL}	Primera Muestra.	M1_{AGN}	Primera Muestra.	M1_{SAL}	Primera Muestra.
M2_{APL}	Segunda Muestra.	M2_{AGN}	Segunda Muestra.	M2_{SAL}	Segunda Muestra.
S1_{APL}	Serie de ancho de anillos de la primera muestra.	S1_{AGN}	Serie de ancho de anillos de la primera muestra.	S1_{SAL}	Serie de ancho de anillos de la primera muestra.
S2_{APL}	Serie de ancho de anillos de la segunda muestra.	S2_{AGN}	Serie de ancho de anillos de la segunda muestra.	S2_{SAL}	Serie de ancho de anillos de la segunda muestra.
C_{APL}	Crecimiento de los arboles colectados en APL.	C_{AGN}	Crecimiento de los arboles colectados en AGN.	C_{SAL}	Crecimiento de los arboles colectados en SAL.
D_c		Diferencia del crecimiento entre los árboles A_{APL} , A_{AGN} y A_{SAL} .			
PP		Datos de precipitación.			
T		Datos de temperatura.			
r		Grado de correlación entre las cronologías y las variables climáticas.			

Fuente: Elaboración propia

3.3 Hipótesis de la Investigación

3.3.1 Hipótesis General

- La precipitación, es la variable climática que controla el crecimiento radial anual de las especies arbóreas *Cedrela sp.*, *Cedrela nebulosa* y *Cedrela angustifolia*, en los bosques montanos del Perú.

3.3.2 Hipótesis Específicas.

1. Las especies arbóreas *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia*, presentan anillos claramente marcados y de naturaleza anual.
2. Existe correlación positiva entre la precipitación y el crecimiento radial anual de las especies arbóreas *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia*, en los bosques montanos del Perú. Es decir la precipitación y el crecimiento radial anual son directamente

proporcional, aumentando o disminuyendo simultáneamente o en sentido directo.

3. Existe correlación negativa entre la temperatura y el crecimiento radial anual de las especies arbóreas *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia*, en los bosques montanos del Perú. Es decir la temperatura y el crecimiento radial anual son inversamente proporcionales, aumentando o disminuyendo en sentido inverso.
4. Existe diferencia en el crecimiento radial anual de las especies arbóreas *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia*, en los distintos sitios de muestreo, dentro del bosque montano del Perú.

3.4 Variables.

3.4.1 Variable Independiente (X)

Variable	Indicador
Precipitación	mm
Temperatura	°C

3.4.2 Variable Dependiente (Y)

Variable	Indicador
Ancho de anillo de la especie arbórea <i>Cedrela sp.</i>	Índice de ancho de anillo
Ancho de anillo de la especie arbórea <i>Cedrela nebulosa</i>	Índice de ancho de anillo
Ancho de anillo de la especie arbórea <i>Cedrela angustifolia</i>	Índice de ancho de anillo
Crecimiento de las especies de cedro	Incremento del Área Basal

3.5 Cobertura de Estudio

3.5.1 Universo

- Especies arbóreas de *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia*, ubicado en los bosques montanos de la selva central del Perú.

3.5.2 Población

- Especies arbóreas de *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia*, ubicados en los bosques montanos de la provincia de Concepción y Jauja del departamento de Junín.

3.5.3 Muestra

- De las muestras totales colectadas en cada sitio solo algunas sirvieron para hacer el análisis en esta investigación, siendo así que del sector Azul Playa se analizaron 21 árboles y 41 series o tarugos, del sector Agua de Nieves se analizaron 13 árboles y 28 series y del sector Salinas de Alcanfor se analizaron 6 árboles y 17 series.

Los principios de selección de árboles para realizar estudios dendroclimáticos consideran que deberán muestrearse árboles que refleje las condiciones climáticas limitantes que se quieren analizar. Por ejemplo, si se quiere reconstruir precipitación, deberán seleccionarse sitios y árboles que presenten limitaciones a esta variable, sin muestrear aquellos árboles cercanos a arroyos, ya que en estos casos la precipitación no sería en factor limitante. Una estrategia amplia de selección para analizar qué variable climática afecta a un rodal (si no la conocemos a priori) considera el muestreo de árboles de un mismo sitio, o sitios similares en áreas más grandes, dependiendo el tamaño de la homogeneidad de la región a estudiar. El sitio de muestreo debe ser climática y geobotánicamente homogéneo. En estos casos es posible obtener el suficiente número de árboles para obtener una cronología confiable. Para obtener una cronología promedio para estudios climáticos en sitios donde los árboles dependen mucho de un mismo factor climático, una cronología confiable puede ser construida a partir de 5 – 7 árboles (Cook E.R., 1989).

El tamaño muestral de una cronología también es evaluada por los estadísticos que de ella se obtienen. Estos estadísticos dependen de la profundidad muestral, es decir el EPS decrece al decrecer el N (número de datos), por lo que óptimamente deberían realizarse muestreos entre 20 – 28 árboles (Mérián P, 2011). A veces el estadístico EPS no llega al valor mínimo de

0.85, ya que ese valor es una convención arbitraria construida en base a cronologías de sistemas templados. Para sitios tropicales y subtropicales donde la variabilidad topográfica y micro climático, es mucho mayor, podemos considerar que una cronología representa la señal común de todo el rodal aun teniendo un EPS menor a 0.85. Así mismo vale la pena aclarar que en los sitios (APL, AGN y SAL) muestreado de la presente investigación, se muestrearon todos los árboles que encontramos y si en AGN y SAL muestreamos menos de 20, es porque no había más. De todas formas esto nos sirve (siendo el primer estudio dendrocronológico en bosques montanos peruanos) para saber que en futuros muestreos tendremos que muestrear como mínimo 20 árboles. Esto no inhabilita la calidad del presente estudio en lo absoluto, ya que es un estudio exploratorio (y primero en su clase) sobre la potencialidad de los bosques montanos peruano para realizar dendrocronología.

3.6 Técnicas e Instrumentos

3.6.1 Técnicas de la Investigación

La investigación se realizó utilizando técnicas de selección, tratamiento, observación científica y estandarización de las muestras, para concluir la investigación con el análisis estadístico.

3.6.2 Instrumentos

Para la medición de ancho de anillos se utilizó un equipo de medición el cual cuenta con el programa MeasureJ2X, donde se registra los datos de medición. También se utilizó el Software COFECHA, el cual controla la calidad del fechado. Para generar las cronologías a partir del cofechado se utilizó el Software ARSTAN. Para realizar las funciones de correlación se utilizó la platilla en Excel RESPOSUM Y RESPOAVG. Para la obtención del IAB se utilizó la función bai.out de R y plantillas de Excel. Y utilizándose el SigmaPlot, para generar la mayoría de gráficos de la presente tesis.

3.7 Procesamiento Estadístico de la Información

3.7.1 Estadísticos

Las medidas que se realizaron en la investigación son de tendencia central y dispersión, porque se consideró el desarrollo de: la media, desviaciones estándar, auto correlaciones y correlaciones.

3.7.2 Representaciones

Los resultados se representarán en gráficas de líneas y gráficos de correlación.

3.7.3 Técnicas de Comprobación de la Hipótesis

Considerando que la presente investigación es del tipo no experimental, descriptivo, y correlacional:

- Para comprobar la hipótesis número 1, se realizó el proceso de fechado visual y medición, utilizando el estereoscopio y el equipo Velmex posteriormente se utilizó el programa COFECHA, el cual compara estadísticamente (r de Pearson) el fechado de cada una de las muestras sucesivamente segmentos de 50 años con un traslape de 25 años para las muestras *Cedrela sp.* colectadas en Azul Playa (APL) y segmentos de 40 con traslapes de 20 para las muestras de *Cedrela nebulosa* y *Cedrela angustifolia* colectadas en Agua de Nieves (AGN) y Salinas de Alcanfor (SAL) respectivamente.
- Para comprobar la hipótesis número 2, se calculó el coeficiente de correlación entre los datos de precipitación estandarizada y estacionalizada con las cronologías de *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia*, considerando la siguiente expresión.
 - **H_0 = Hipótesis Nula**, existe correlación positiva de la variable X (precipitación) sobre la variable Y (ancho de los anillos).
 - **H_a = Hipótesis Alterna**, no existe correlación positiva de la variable X (precipitación) sobre la variable Y (ancho de los anillos).
- Para comprobar la hipótesis número 3, se calculó el coeficiente de correlación entre los datos de temperatura estandarizada y

estacionalizada con las cronologías de *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia*, considerando la siguiente expresión.

- **H₀ = Hipótesis Nula**, existe correlación negativa de la variable X (temperatura) sobre la variable Y (ancho de los anillos).
- **H_a = Hipótesis Alternativa**, no existe correlación negativa de la variable X (temperatura) sobre la variable Y (ancho de los anillos).

Para explicar el coeficiente de correlación de la hipótesis 2 y 3 se calculó el coeficiente de determinación (r^2), el cual explica la influencia de la variable X (independiente) sobre la variable Y (dependiente).

- Para comprobar la hipótesis número 4, se aplicó un ANOVA unilateral, considerando la siguiente expresión.
 - **H₀ = Hipótesis Nula**, todas las medias son iguales = No hay diferencia en el crecimiento de *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia*
 - **H_a = Hipótesis Alternativa**, al menos dos medias no son iguales = Existe diferencia en el crecimiento de *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia*.

CAPÍTULO IV

4. ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Resultados

4.1.1 Presencia y anualidad de los anillos de crecimiento radial

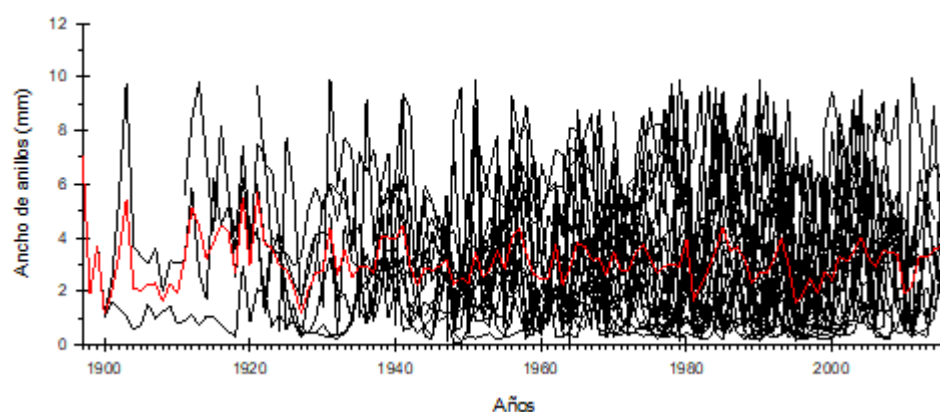
A. Resultados del proceso de Cofechado

Tabla N° 4.1 Valores estadísticos asociados a la datación cruzada de las muestras de *Cedrela sp.* - APL

Estadísticos	Valores	
Número de árboles	21	57 % del total de muestras
Número de series	41	
Media de la longitud de Series	120 años	
Intercorrelación de series	0.413	
Sensibilidad Media	0.491	
Periodo de tiempo de datos	1897 - 2016	
Intervalo común óptimo	1900 – 2016 (117 años)	
Número de Anillos en la serie	1892	

En la tabla 4.1, se muestra los resultados del control de calidad de las mediciones de ancho de anillo realizadas con el programa COFECHA (Holmes, 1993), con un nivel crítico de correlación de 0.328 a un 99% de significancia. La intercorrelación de las 41 series analizadas es 0.413, la sensibilidad media que mide la diferencia relativa entre un anillo y el siguiente es 0.491 y la media de longitud de series es 120 años, con un total de 1892 anillos en toda la serie.

Figura N° 4.1 Ancho de anillos de las muestras de *Cedrela sp.*
- APL



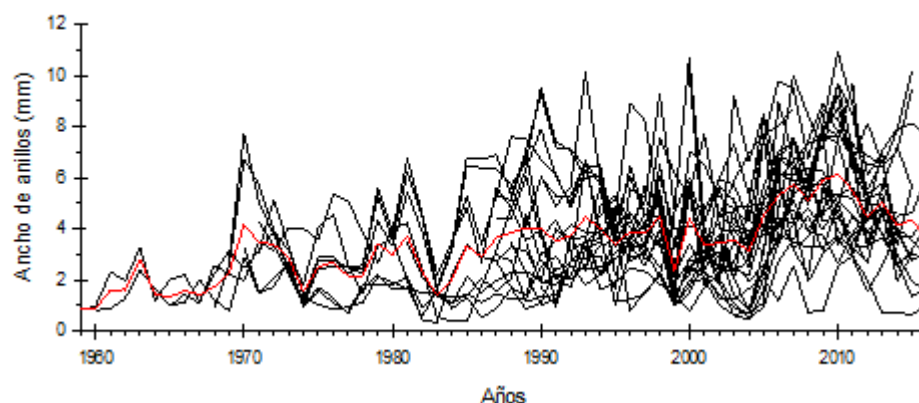
En la figura 4.1 se observa al ancho de anillo de cada serie (línea negra) y promedio de ancho de anillo (línea roja) de las muestras de *Cedrela sp.*

Tabla N° 4.2 Valores estadísticos asociados a la datación cruzada de las muestras de *Cedrela nebulosa* - AGN

Estadísticos	Valores	
Número de árboles	13	81% del total de muestras
Número de series	28	
Media de la longitud de Series	58 años	
Intercorrelación de series	0.491	
Sensibilidad Media	0.363	
Periodo de tiempo de datos	1959 - 2016	
Intervalo común óptimo	1960 – 2016 (57 años)	
Número de Anillos	823	

En la tabla 4.2, se muestra los resultados del control de calidad de las mediciones de ancho de anillo realizadas con el programa COFECHA (Holmes, 1993), donde el nivel crítico de correlación es 0.367 a un 99% de significancia. La intercorrelación de las 28 series analizadas es 0.491, la sensibilidad media que mide la diferencia relativa entre un anillo y el siguiente es 0.363 y la media de longitud de series es de 58 años con un total de 823 anillos en toda la serie.

Figura N° 4.2 Ancho de anillos de las muestras de *Cedrela nebulosa* - AGN



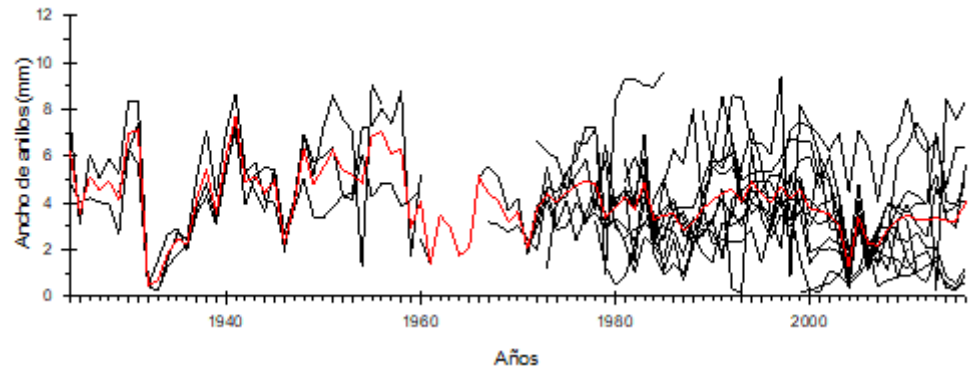
En la figura 4.2, se observa al ancho de anillo de cada serie (línea negra) y promedio de ancho de anillo (línea roja) de las muestras de *Cedrela nebulosa*.

Tabla N° 4.3 Valores estadísticos asociados a la datación cruzada de las muestras de *Cedrela angustifolia* - SAL

Estadístico	Valor			
Número de árboles	6	40%	del total de muestras	
Número de series	17			
Media de la longitud de Series	93 años			
Intercorrelación de series	0.567			
Sensibilidad Media	0.351			
Periodo de tiempo de datos	1924 - 2016			
Intervalo común óptimo	1924 - 2016 (93 años)			
Número de Anillos	589			

En la tabla 4.3, se muestra los resultados del control de calidad de las mediciones de ancho de anillo realizadas con el programa COFECHA (Holmes, 1993), donde el nivel crítico de correlación es 0.367 a un 99% de significancia. La intercorrelación de las 17 series analizadas es 0.567, la sensibilidad media que mide la diferencia relativa entre un anillo y el siguiente es 0.351 y la media de longitud de series es de 93 años con un total de 589 anillos en toda la serie.

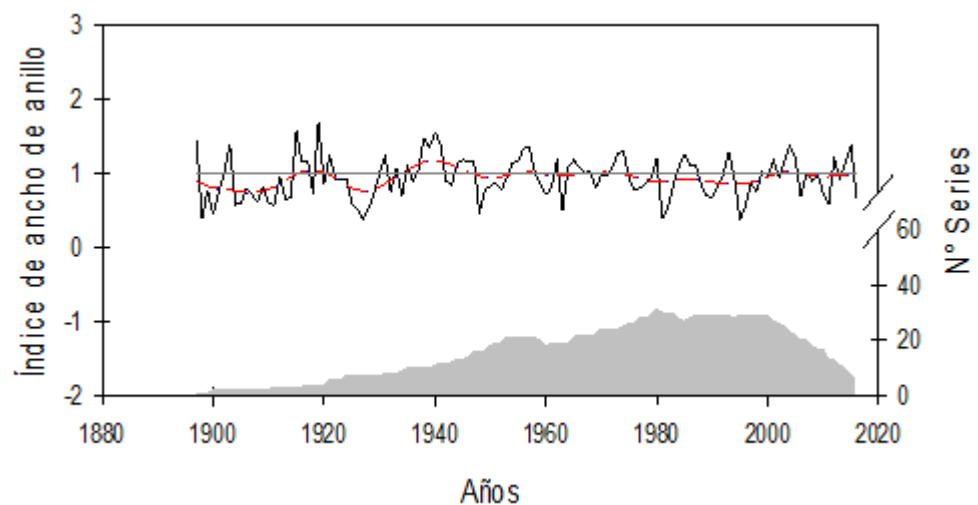
Figura N° 4.3 Ancho de anillos de las muestras de *Cedrela angustifolia* - SAL



En la figura 4.3, se observa al ancho de anillo de cada serie (línea negra) y promedio de ancho de anillo (línea roja) de las muestras de *Cedrela angustifolia*.

B. Resultado de la generación de cronología

Figura N° 4.4 Cronología estándar de muestras de *Cedrela sp.* – APL



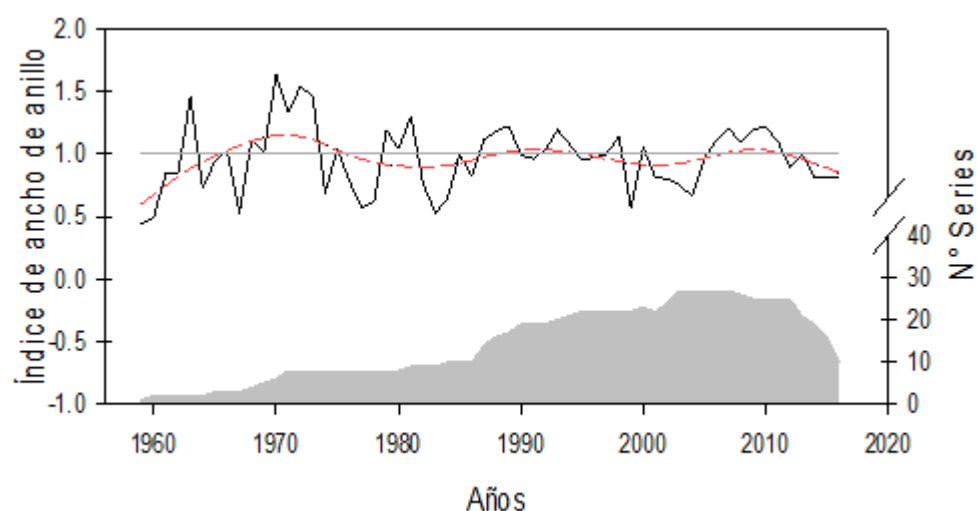
De la figura 4.4, la línea negra representa la cronología estándar de *Cedrela sp.*, la línea roja representa el spline, la línea gris representa la media y el área gris representa el número de series para cada año. Los estadísticos encontrados para la cronología de ancho de anillos de *Cedrela sp.*, muestran que existe una señal buena de la variación del crecimiento entre los árboles, así como R-bar y EPS indican que el número de muestras usados para esta cronología es lo

suficientemente grande para caracterizar el crecimiento radial de estas especie en este lugar.

Tabla N° 4.4 Valores estadísticos relacionado a la cronología de muestras de *Cedrela sp.* - APL

Estadístico	Valor	
N° de árboles	21	
N° de series	41	
Media	2.99	
Sensibilidad Media (SM)	0.283	
Desviación Estándar	0.282	
Auto correlación, Orden 1 (AR)	0.282	
R-bar	0.289 (1950) 0.096 (1975)	0.193
EPS	0.865 (1950) 0.726 (1975)	0.796

Figura N° 4.5 Cronología estándar de muestras de *Cedrela nebulosa* – AGN



De la figura 4.5, la línea negra representa la cronología estándar de *Cedrela nebulosa*, la línea roja representa el spline, la línea gris representa la media y el área gris representa el número de series para cada año.

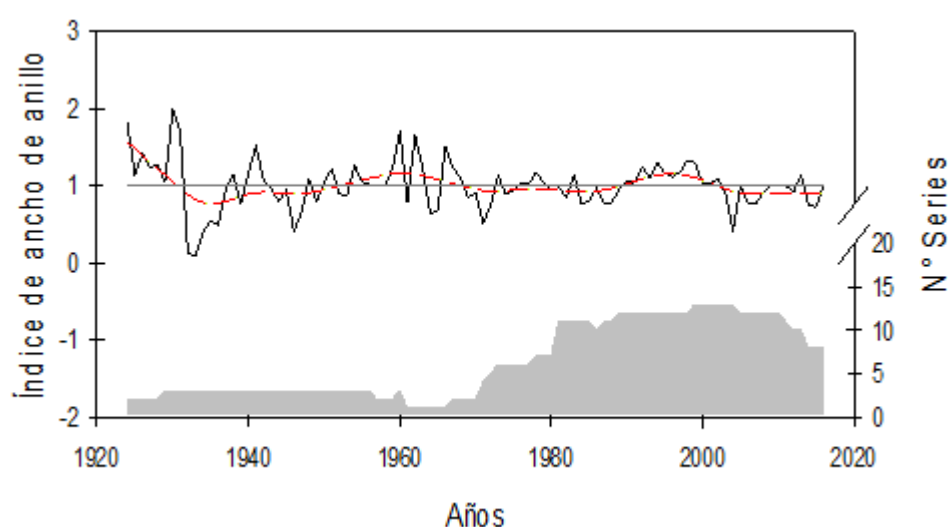
Los estadísticos encontrados para la cronología de ancho de anillos de *Cedrela nebulosa* muestran que existe una señal buena de la variación del crecimiento entre los árboles, así como R-bar y EPS indican que el número de muestras usadas para esta cronología es

suficiente para caracterizar el crecimiento radial de estas especies en este lugar.

Tabla N° 4.5 Valores estadísticos relacionados a la cronología de muestras de *Cedrela nebulosa* - AGN

Estadístico	Valor	
N° de árboles	13	
N° de series	28	
Media	3.43	
Sensibilidad Media (SM)	0.240	
Desviación Estándar	0.266	
Auto correlación, Orden 1 (AR)	0.343	
R-bar	0.183 (1980) 0.261 (1990) 0.177 (2000)	0.207
EPS	0.680 (1980) 0.850 (1990) 0.832 (2000)	0.787

Figura N° 4.6 Cronología estándar de las muestras de *Cedrela angustifolia* – SAL



De la figura 4.6, la línea negra representa la cronología estándar de *Cedrela angustifolia*, la línea roja representa el spline, la línea gris representa la media y el área gris representa el número de series para cada año.

Los estadísticos encontrados para la cronología de ancho de anillos de *Cedrela angustifolia* muestran que existe una señal buena de la variación del crecimiento entre los árboles, así como R-bar y EPS

indican que el número de muestras usados para esta cronología es suficiente para caracterizar el crecimiento radial de estas especie en este lugar.

Tabla N° 4.6 Valores estadísticos relacionados a la cronología de las muestras de *Cedrela angustifolia* - SAL

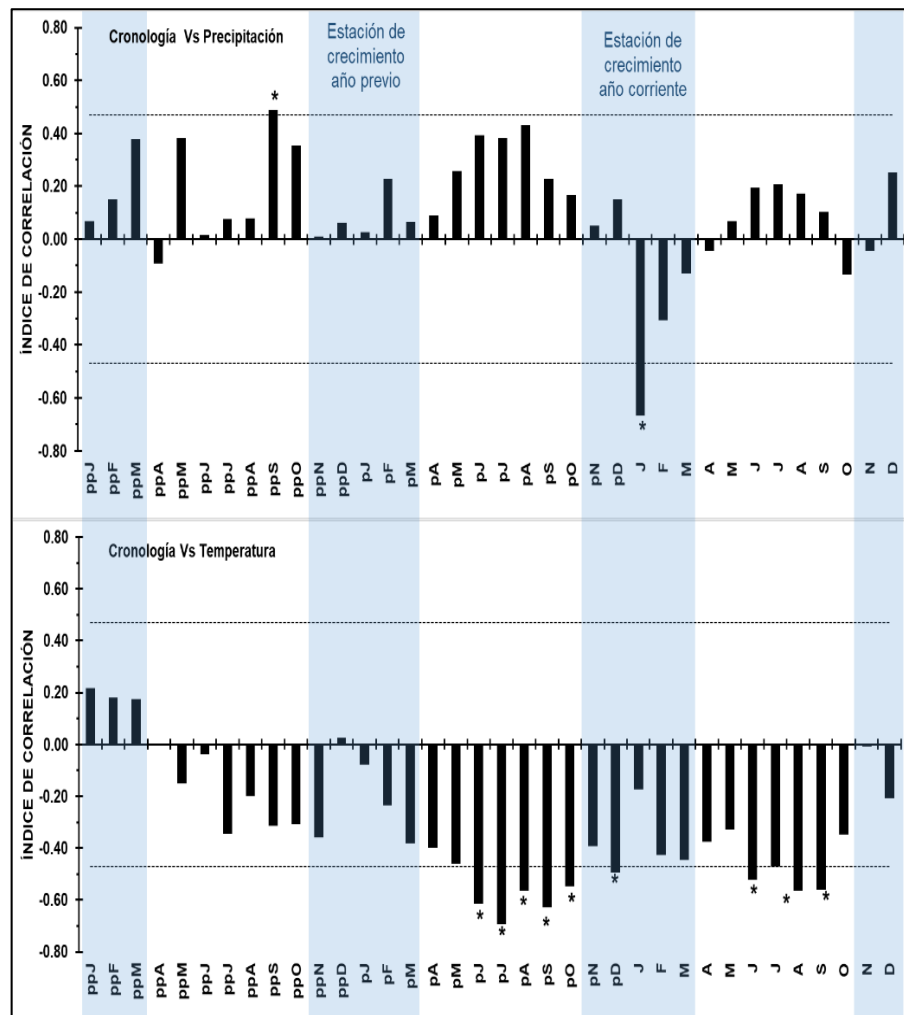
Estadístico	Valor	
N° de árboles	6	
N° de series	17	
Media	4.17	
Sensibilidad Media (SM)	0.283	
Desviación Estándar	0.321	
Auto correlación, Orden 1 (AR)	0.372	
R-bar	0.767 (1934) 0.297 (1950) 0.275 (1990) 0.340 (2000)	0.420
EPS	0.901 (1934) 0.546 (1950) 0.812 (1990) 0.864 (2000)	0.781

4.1.2 Resultado de la correlación de las variables meteorológicas con el crecimiento radial

a. Correlación de datos meteorológicos con las cronologías estándar

La cronología de *Cedrela sp.* correlaciona significativa y positivamente con la precipitación local, durante el mes de setiembre del año anteprevio y negativa durante el mes de julio del año corriente. Mientras que correlaciona significativamente y negativa con la temperatura local, durante los meses junio a octubre del año previo y durante junio, agosto y setiembre del año corriente.

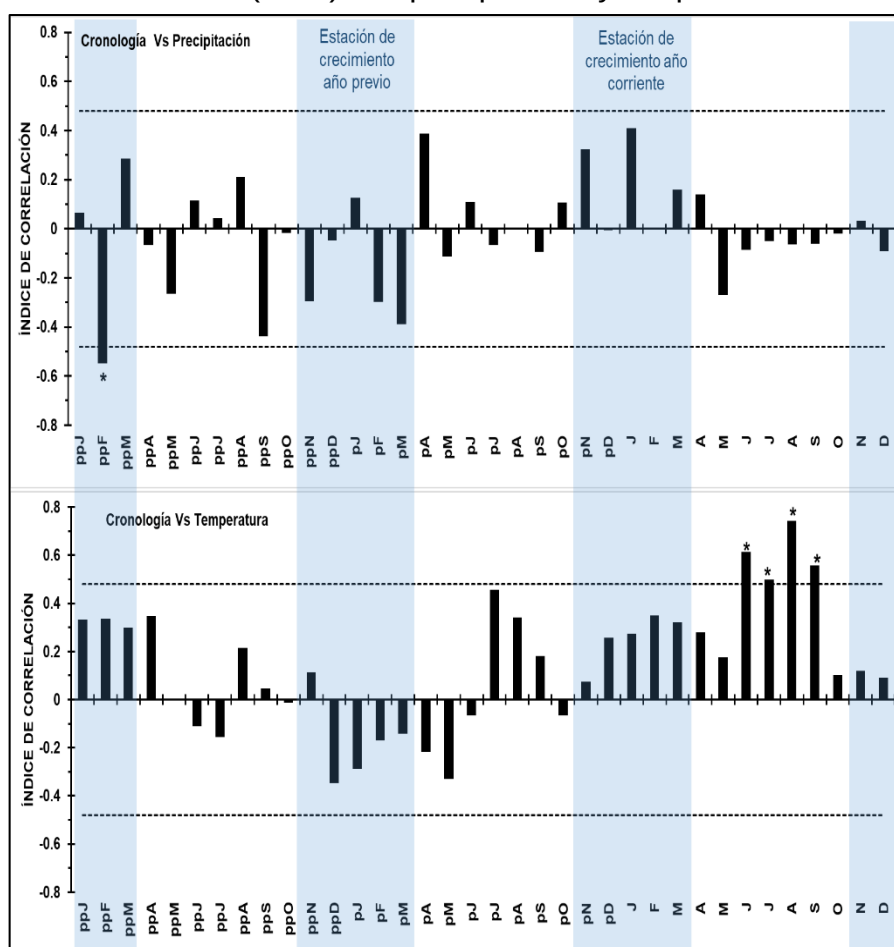
Figura N° 4.7 Función de correlación de la cronología de *Cedrela sp.* (APL) con precipitación y temperatura



La figura 4.7, representa las correlaciones de la cronología de *Cedrela sp.* con los datos de precipitación y temperatura mensual estandarizados, de la estación meteorológicas de Comas (longitud; -11°44'55'', latitud; -75°7'45''), en un periodo 21 años (1994 – 2014).

La cronología de *Cedrela nebulosa* correlaciona significativamente negativa con los datos de precipitación, durante febrero del año previo de crecimiento. Mientras presenta una correlación positiva significativa con los datos de temperatura, durante los meses de junio, julio, agosto y setiembre del año corriente.

Figura N° 4.8 Función de correlación de la cronología de *C. nebulosa* (AGN) con precipitación y temperatura

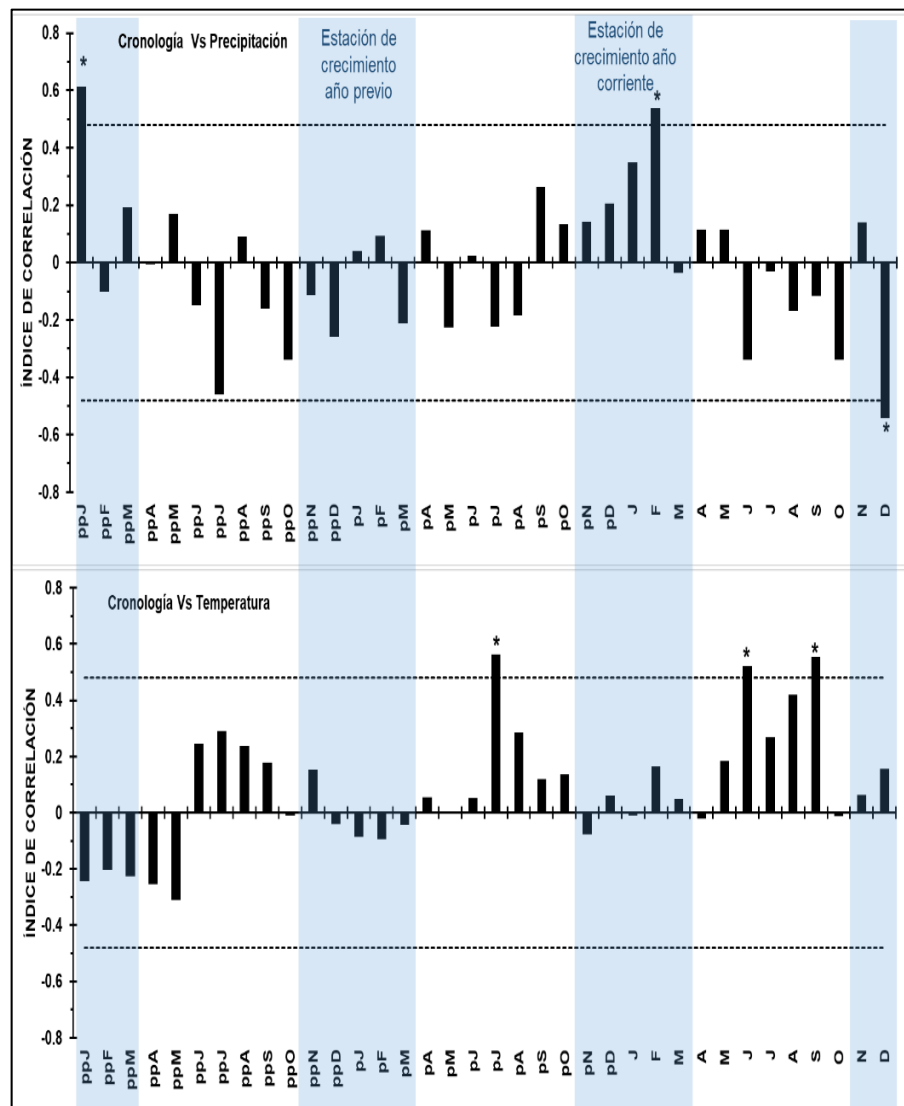


La figura 4.8, representa las correlaciones de la cronología de *C. nebulosa* con los datos de precipitación y temperatura mensual, de la estación meteorológicas de Huasahuasi (longitud; -11°15'42'', latitud; -75°37'15''), en un periodo de 20 años (1995 – 2014).

La cronología de *Cedrela angustifolia* correlaciona significativamente y positiva con los datos de precipitación

durante enero del año anteprevio de la estación de crecimiento y durante febrero de la estación de crecimiento del año corriente, presentando correlación negativa significativa durante el mes de diciembre del año corriente. Así mismo presenta una correlación positiva y significativa con los datos de temperatura durante julio del año previo y durante junio y setiembre del año corriente.

Figura N° 4.9 Función de correlación de la cronología de *C. angustifolia* (SAL) con precipitación y temperatura



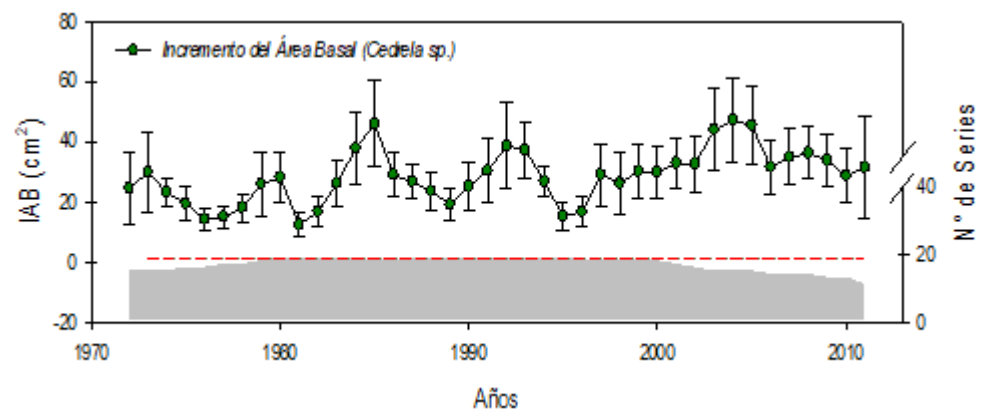
La figura 4.9, representa las correlaciones de la cronología de *C. angustifolia* con los datos de precipitación y temperatura mensual, de la estación meteorológicas de Huasahuasi

(longitud; -11°15'42'', latitud; -75°37'15''), en un periodo de 20 años (1995 – 2014).

4.1.3 Resultado del Incremento del Área Basal

El incremento del área basal de *Cedrela sp.*, presenta una tendencia positiva estable, lo que indica el vigor y sanidad de los árboles. Así mismo, presenta una tasa de crecimiento de 8.94 cm²/año.

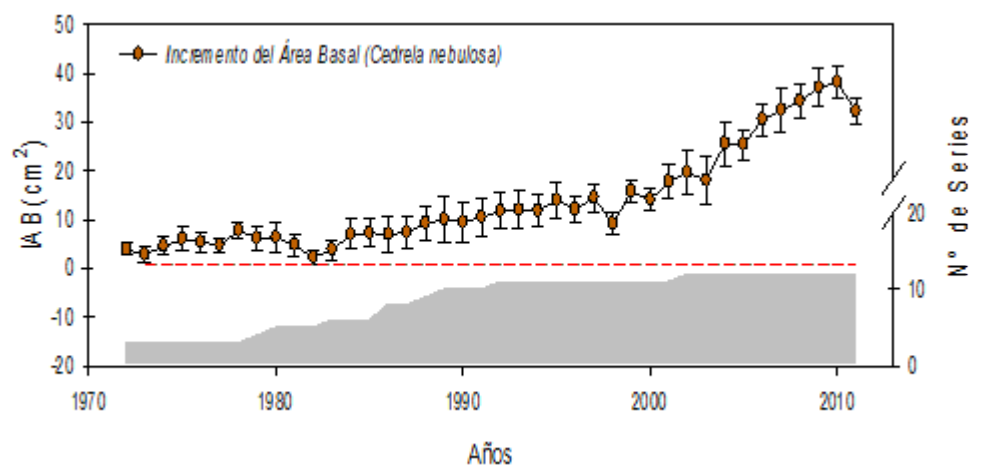
Figura N° 4.10 Incremento del Área Basal de las muestras de *Cedrela sp.* - APL



La figura 4.10, representa el incremento del área basal, desde el año 1972 al año 2011, de 21 árboles de *Cedrela sp.*

El incremento del área basal de *Cedrela nebulosa*, presenta una tendencia positiva estable, lo que indica el vigor y sanidad de los árboles. Así mismo, presenta una tasa de crecimiento de 10.3 cm²/año.

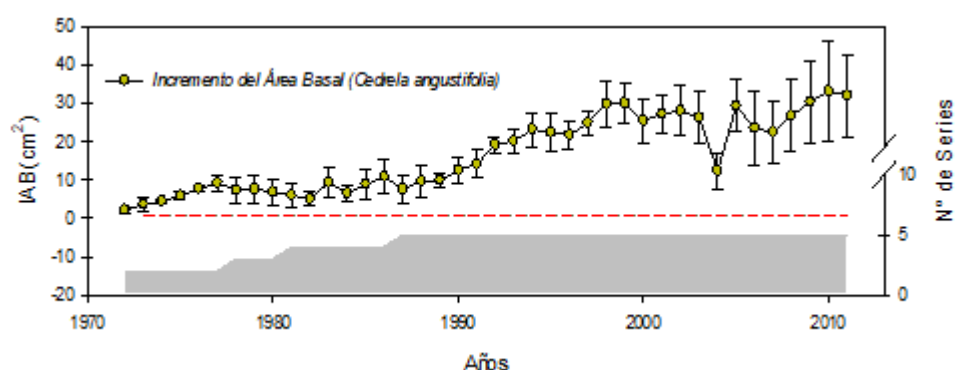
Figura N° 4.11 Incremento del Área Basal de las muestras de *Cedrela nebulosa* - AGN



La figura 4.11, representa el incremento del área basal, desde el año 1972 al año 2011, de 12 árboles de *Cedrela nebulosa*.

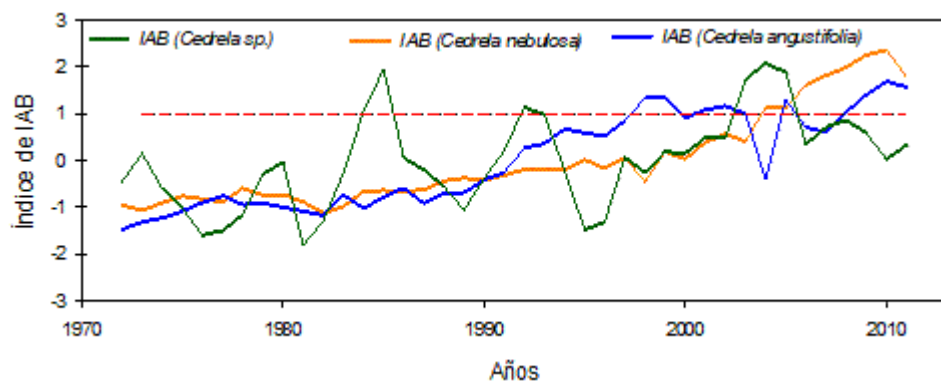
El incremento del área basal de *Cedrela angustifolia*, presenta una tendencia positiva estable, lo que indica el vigor y sanidad de los árboles. Así mismo, presenta una tasa de crecimiento de 9.9 cm²/año.

Figura N° 4.12 Incremento del Área Basal de las muestras de *Cedrela angustifolia* - SAL



La figura 4.12, representa el incremento del área basal, desde el año 1972 al año 2011, de 5 árboles de *Cedrela angustifolia*.

Figura N° 4.13 Índice del incremento del área basal



La figura 4.13, representa, la comparación en índices del incremento del área basal, de *Cedrela sp.*, *Cedrela nebulosa* y *Cedrela angustifolia*.

4.2 Discusión de resultados

En este trabajo se presenta; el análisis del desarrollo de las cronologías a partir de *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia*, colectadas en los bosques montanos, ubicados en las provincias de Concepción y Jauja

del departamento de Junín, Perú. Así también las correlaciones de las cronologías con la precipitación y temperatura local. Y las comparaciones de incremento del área basal de *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia*.

4.2.1 Descripción de la presencia y anualidad los anillos de crecimiento de *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia*

Las 41 series de *Cedrela sp.*, colectadas en el sitio de Azul Playa (APL), distrito de Mariscal Castilla, provincia de Concepción, muestran un $r = 0.413$ (P-valor = 0.01), superior al $r_{\text{crítico}} = 0.328$, en una longitud de 120 años, una sensibilidad media = 0.283, un R-bar promedio = 0.193 y un EPS promedio = 0.795, lo que significa que las series muestran señales comunes de crecimiento y características fisiológicas similares.

En cuanto a los 28 series de *C. nebulosa* colectadas en el sitio de Agua de Nieves (AGN), distrito Monobamba, provincia de Jauja, muestran un $r = 0.491$ (P-valor = 0.01), frente a un $r_{\text{crítico}} = 0.367$, en una longitud de 57 años, una sensibilidad media = 0.240, un R-bar promedio = 0.207 y un EPS promedio = 0.787, lo que significa que estas 28 series muestran características similares y señales comunes en su crecimiento. Esto es validado con el estudio de (Layme & Palacios, 2017), donde las 22 series de *C. nebulosa* que estudió en los bosques montanos ubicado en el distrito de Vitoc, provincia Jauja, alcanzan un $r = 0.476$ (P-valor = 0.01), en una longitud de 133 años y un $r_{\text{crítico}} = 0.328$. La diferencia del valor de r (intercorrelación de serie), se debe a que en el estudio de (Layme & Palacios, 2017), para hallar dicho valor r , se trabaja con segmentos de 50 y traslapes de 25, ya que tiene una longitud superior a los 100 años, mientras que en la presente investigación para hallar el valor de r , se trabaja con segmentos de 40 y traslapes de 20, dado que la longitud de años reconstruidos, es de 57 años. Corroborándose en ambas investigaciones se corrobora la presencia y anualidad de los

anillos de crecimiento, debido a que el valor de r (intercorrelación de serie) es superior al valor de $r_{\text{crítico}}$.

Mientras que las 17 series de *C. angustifolia* (SAL) colectadas en el sitio de Salinas de Alcanfor, distrito de Monobamba, provincia de Jauja muestran un $r = 0.567$ (P-valor = 0.01), frente a un $r_{\text{crítico}}$ de 0.367, en una longitud de 93 años, una sensibilidad media = 0.283, un $R\text{-bar}$ promedio = 0.420 y un EPS promedio = 0.781, lo que significa que estas series muestran características similares y señales comunes de crecimiento. Así mismo en el estudio de (Villanueva, López, & Cerrillo, 2016), desarrollada en los bosques montanos de Tucumán-Bolivia, las 57 series de *C. angustifolia* alcanzaron un $r = 0.374$ (P-valor < 0.01), en una longitud de 76 años y un $R\text{-bar} = 0.374$. La diferencia del valor de r (intercorrelación de serie) y $R\text{-bar}$, se debe a que en la presente investigación se utilizó 17 series, mientras que en el estudio de (Villanueva, López, & Cerrillo, 2016) se utilizó 57 series.

Tabla N° 4.7 Comparación de resultados

Especie	Lugar	R_{COFECHA}	R-bar	EPS
<i>Cedrela sp.</i>	M. Castilla (APL) - Perú	0.418	0.193	0.796
<i>Cedrela nebulosa</i>	Monobamba (AGN) - Perú	0.491	0.207	0.787
<i>Cedrela nebulosa</i>	Vitoc - Perú	0.476	-	-
<i>Cedrela angustifolia</i>	Monobamba (SAL) - Perú	0.567	0.420	0.781
<i>Cedrela angustifolia</i>	Tucumán - Bolivia	0.374	0.374	-

Como se muestra en la tabla 4.7, los valores estadísticos encontrados en nuestro estudio son similares para otros estudios de las yungas, corroborando el valor dendrocronológico de las especies

de *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia* en los bosques montanos del Perú.

Adicionalmente, se calculó la sensibilidad media, autocorrelación de primer orden y desviación estándar, que ayudara a describir la cronología generada para las tres especies de cedro.

Tabla N° 4.8 Comparación de estadísticos adicionales

Estadístico	<i>Cedrela sp.</i>	<i>Cedrela nebulosa</i>	<i>Cedrela angustifolia</i>	<i>Cedrela angustifolia - Bolivia</i>
Sensibilidad media (SM)	0.283	0.240	0.283	0.526
Autocorrelación de primer orden (AR1) ($-1 < \rho < 1$)	0.282	0.343	0.372	-----
Media	2.99	3.43	4.17	2.82
Desviación estándar (DS)	0.282	0.266	0.321	1.11

De acuerdo al a sensibilidad media (SM) presentada en la tabla 4.8, se puede apreciar que la *Cedrela angustifolia* que crece en Tucumán - Bolivia, presenta más variabilidad anual de crecimiento radial a diferencia de las especies de cedro que crece en los bosques montanos de Perú. También de acuerdo al autocorrelación de primer orden (AR1) se aprecia que en las tres cronologías desarrolladas existe señal de que el crecimiento radial del anillo de un año está influenciado por el crecimiento del año anterior. Así mismo que la variación de los datos respecto a la media de cada cronología es mínima (DS).

4.2.2 Análisis de correlación con precipitación y temperatura de *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia*

De acuerdo al estudio desarrollado por (Ferrero, y otros, 2013) el grado de respuesta de crecimiento al clima de dos especies que crecen en el mismo lugar, depende de la fuerza con la que los parámetros ambientales controlan su crecimiento, explicando que en el noroeste de Argentina, las respuestas del crecimiento de los

árboles de (*Schinopsis lorentzii*, *Juglans australis*, *Cedrela lilloi*, *Alnus acuminata*) a las variaciones de clima están moduladas por las condiciones ambientales del sitio y los rasgos de las especies.

En el presente estudio las funciones de correlación indican que el crecimiento radial de *Cedrela sp.* en el sitio APL, está influenciada positivamente por las condiciones de precipitación durante la estación de otoño e invierno (abril – octubre) del año anterior de crecimiento en base a las correlaciones encontradas entre el índice de ancho de anillos y las variables climáticas, alcanzando un $r = 0.521$ (P-valor = 0.016). Las correlaciones negativas ($r = -0.66$, P-valor = 0.016) con la temperatura durante la estación del invierno (junio – octubre) del año corriente de crecimiento, estarían reflejando el efecto indirecto que la temperatura tiene sobre la disponibilidad hídrica. El aumento de la temperatura aumenta el proceso de evapotranspiración de los árboles y la evapotranspiración directa del suelo reduciendo, en consecuencia la cantidad de agua disponible para el crecimiento. Para la cronología de *Cedrela nebulosa* en el sitio AGN, existe una relación negativa significativa ($r = -0.54$, P-valor = 0.015) con la precipitación de verano (noviembre – febrero) del año anteprevio del crecimiento. Mientras que existe una correlación positiva significativa ($r = 0.71$, P-valor = 0.001) con la temperatura durante la estación el invierno (junio – setiembre) del año corriente del crecimiento. Esto quiere decir que el crecimiento de *Cedrela nebulosa* depende de la temperatura de invierno. Asimismo las funciones de correlación ($r = 0.49$, P-valor = 0.029), indican que el crecimiento de *C. angustifolia* se ve favorida por la temperatura en los meses del invierno (junio - setiembre) del año corriente de crecimiento. Las correlaciones negativas ($r = -0.44$, P-valor = 0.095) con la precipitación durante la misma estación (invierno) del año anteprevio del crecimiento, estarían reflejando el efecto indirecto que la precipitación tiene sobre el grado de temperatura.

Mientras que el estudio de (Villanueva, López, & Cerrillo, 2016) se muestra que la cronología de *C. angustifolia* colectadas en Portavalle; en las yungas tucumano-bolivianas, se correlaciona mejor con la precipitación durante octubre, noviembre y diciembre del año corriente de crecimiento ($r = 0.57$, P- valor < 0.05), y con la temperatura durante mayo, junio y julio del año corriente de crecimiento ($r = -0.47$, P-valor < 0.05).

Así mismo en la investigación desarrollada por (Espinoza, Guillen, Morales, & Arisméndiz, 2014) el crecimiento de *Cedrela odorata* estuvo relacionada con las precipitaciones de la estación lluviosa previa y con las de finales de estación seca del corriente periodo de crecimiento. Y en la investigación de (Villalba R. , 1995) el crecimiento de *Cedrela angustifolia* y *Cedrela lilloi* está fuertemente relacionado por la precipitación de primavera y el comienzo de verano.

Tabla N° 4.9 Comparación de Función de Correlación

Especie	Correlación con la Precipitación		Correlación con la Temperatura	
<i>Cedrela sp.</i>	Otoño – invierno (Abril – Octubre), $r = 0.52$	+	Invierno (Junio – Octubre), $r = -0.66$	-
<i>Cedrela nebulosa</i>	Verano (Noviembre – Febrero), $r = -0.54$	-	Invierno (Junio – Setiembre), $r = 0.71$	+
<i>Cedrela angustifolia</i>	Invierno (Junio – Octubre), $r = -0.44$	-	Invierno (Junio – Setiembre), $r = 0.49$	+
<i>Cedrela angustifolia</i> - Tucumán	(Octubre – Diciembre), $r = 0.57$	+	(Mayo – Julio) $r = -0.47$	-
<i>Cedrela odorata</i>	Diciembre previo – setiembre corriente, $r = 0.69$	+		
<i>Cedrela angustifolia</i> y <i>Cedrela lilloi</i>	En primavera y comienzo de verano	+		

Como se ve en la tabla 4.9, el crecimiento de las tres especies de cedro estudiados depende de la condición climática de la estación previa (invierno) al crecimiento de los anillos. Por otro lado el crecimiento de *cedrela angustifolia* responde distintamente a las condiciones climáticas de cada país, según (Villanueva, López, &

Cerrillo, 2016) en Bolivia su crecimiento está influenciado por la precipitación de primavera, en Argentina por la precipitación de primavera y verano (Villalba R. , 1995) y en el Perú su crecimiento está influenciado significativamente por la temperatura de invierno. Esto puede deberse a las condiciones de crecimiento como; pendiente, tipo de suelo, dominio de especie o la confiabilidad de los datos meteorológicos, ya que para la presente investigación, se usó los datos facilitados por SENAMHI, de un periodo de 20 a 21 años. Por ello se recomienda ampliar los datos meteorológicos para futuras investigaciones.

4.2.3 Análisis del Incremento del Área Basal de *Cedrela sp.*, *Cedrela nebulosa* y *Cedrela angustifolia*

El incremento del área basal de *Cedrela sp.* (APL), muestran una tendencia de incremento estable en función al tiempo, mientras que para *Cedrela nebulosa* (AGN) y *Cedrela angustifolia* (SAL) se observa un aumento en los valores de crecimiento radial. En *Cedrela nebulosa*, este salto en el crecimiento se da desde el 2000, mientras que para *Cedrela angustifolia*, el aumento se observa aproximadamente desde 1990. Esto significa que las tasas de crecimiento han aumentado en los sitios más bajos de muestreo (2161 m.s.n.m. y 1966 m.s.n.m.) lo que podría deberse a un aumento de temperatura en los sectores amazónicos, debido al cambio climático (Vuille et al, 2003). Dado que ambas cronologías contienen respuestas positivas a las temperaturas en algún periodo de crecimiento, es probable que este aumento en la producción de biomasa, pueda deberse a estos aumentos en los valores de temperatura, Estudios adicionales a mayor escala deberán realizarse con series climáticas más largas y actualizadas para corroborar estas relaciones.

Así mismo dado que las muestras, presentan una tendencia de incremento en función al tiempo, se puede decir que las especies de cedro tienen sanidad y vigor (Rodriguez, Villalba, Srur, & Morales,

2016). En función a la tasa de incremento del área basal, la *Cedrela nebulosa* tiene una mayor área de tronco por año, esto puede deberse a las condiciones de suelo, predominancia de especies y otros factores ambientales y de sitio.

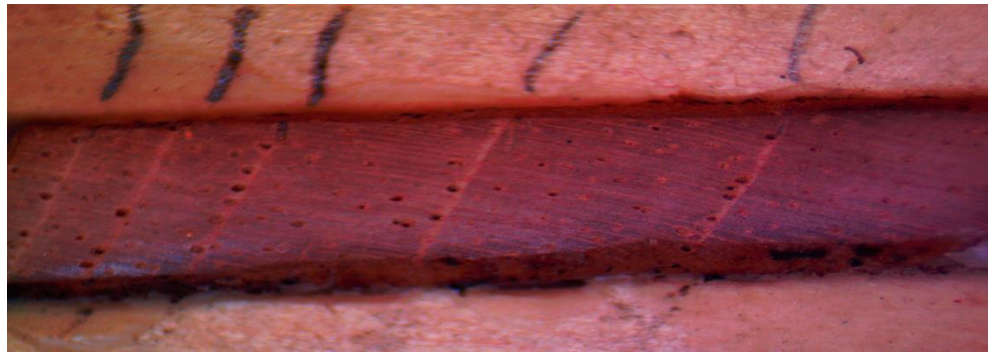
4.3 Contrastación de Hipótesis

- **H1** = Las especies arbóreas *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia*, presentan anillos claramente marcados y de naturaleza anual.

a. Anillos de *Cedrela sp.*

La *Cedrela sp.* presenta anillos visibles y delimitados por poros circulares de mayor tamaño y una línea de parénquima.

Figura N° 4.14 Muestra de *Cedrela sp.*



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.10 Intercorrelación de las series de *Cedrela sp.*

Series	Intervalo	N° de años	N° de segmento	Intercorrelación
APL01B	1921 – 1959	39	1	0.567
APL01n	1921 – 1958	38	1	0.465
APL02b1	1924 – 1959	36	1	0.414
APL02b	1961 – 2001	41	1	0.493
APL04a	1960 – 2016	57	2	0.220
APL04C	1980 – 2010	31	1	0.481
APL05AB	1947 – 2008	62	3	0.348
APL05B1	1953 – 2007	55	2	0.490
APL05B2	1953 – 2003	51	2	0.503
APL08C	1951 – 2015	65	2	0.331
APL14B	1979 – 2013	35	1	0.362
APL14E	1977 – 2012	36	1	0.293
APL14G	1946 – 2003	58	3	0.364
APL15A	1975 – 2016	42	1	0.378
APL17B	1977 – 2016	40	1	0.312
APL18B	1911 – 1984	74	3	0.414
APL18C	1917 – 1980	64	3	0.429
APL21B	1900 – 2000	101	4	0.292
APL23A	1940 – 2014	75	3	0.426
APL24C	1979 – 2004	26	1	0.416
APL24Z1	1995 – 2016	22	1	0.609

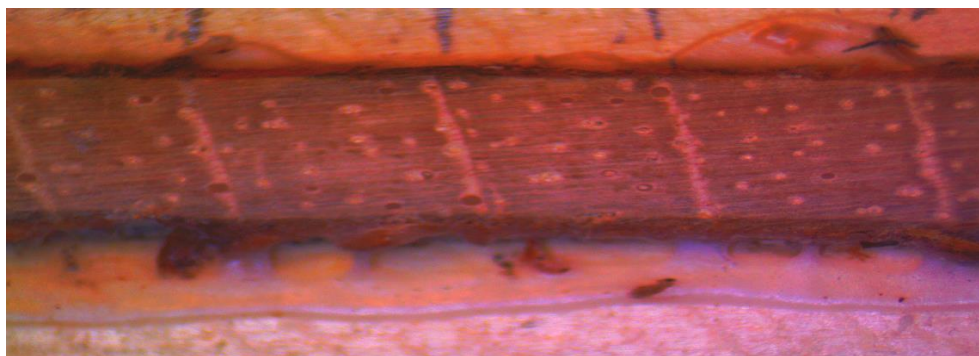
APL24Z2	1996 – 2014	19	1	0.534
APL26B	1980 – 2010	31	1	0.426
APL27A1	1947 – 1978	32	1	0.488
APL27A	1986 – 2007	22	1	0.359
APL27B	1965 – 2012	48	1	0.286
APL30A	1897 – 1959	63	2	0.390
APL30B	1965 – 1995	31	1	0.253
APL31A1	1931 – 1983	53	2	0.471
APL31B	1974 – 2015	42	1	0.399
APL34AF	1966 – 2016	51	2	0.379
APL36A	1970 – 2005	36	1	0.536
APL36C	1970 – 2005	36	1	0.403
APL38A	1950 – 2000	51	2	0.424
APL38N	1950 – 2002	53	2	0.407
APL39A	1987 – 2010	24	1	0.526
APL39B	1988 – 2010	23	1	0.576
APL40A1	1935 – 1983	49	1	0.649
APL40A	1934 – 2016	83	3	0.459
APL40B1	1941 – 1993	53	2	0.485
APL40C	1944 – 1987	44	1	0.340
Total y promedio		66	13	0.413

Como se muestra en la tabla 4.9, las 41 series de *Cedrela sp.*, se intercorrelacionan entre ellas ($r = 0.413$, $P\text{-valor} = 0.001$).

b. Anillos de *Cedrela nebulosa*

La *Cedrela nebulosa*, presenta anillos de crecimientos visibles y delimitados por poros circulares de mayor tamaño y una línea de parénquima.

Figura N° 4.15 Muestra de *Cedrela nebulosa*



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.11 Intercorrelación de las series de *Cedrela nebulosa*

Series	Intervalo	N° de años	N° de segmento	Intercorrelación
AGN01A	2003 – 2015	13	1	0.638
AGN01B	2003 – 2014	12	1	0.566
AGN01C	2003 – 2015	13	1	0.708
AGN02A	1990 – 2015	26	1	0.569
AGN02B	2002 – 2015	14	1	0.719

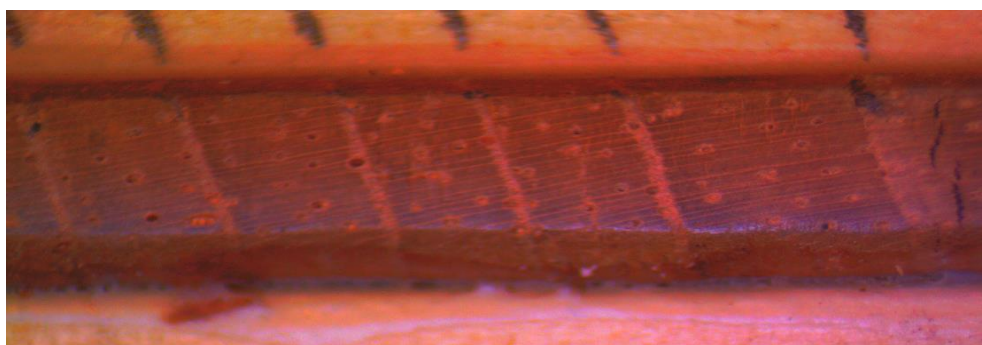
AGN02C	2002 – 2015	14	1	0.503
AGN07A	1970 – 2016	47	2	0.432
AGN07B	1965 - 2016	52	2	0.310
AGN10A	1971 – 2016	46	2	0.446
AGN11B	1987 – 2014	28	1	0.447
AGN16A	1971 – 2016	46	2	0.629
AGN16B	1969 – 2016	48	2	0.719
AGN16C	1968 – 2016	49	2	0.615
AGN18A	1981 – 2016	36	1	0.394
AGN19A	1987 – 2013	27	1	0.347
AGN19D	1987 – 2013	27	1	0.467
AGN19B	1990 – 2014	25	1	0.542
AGN#N	2000 – 2016	17	1	0.530
AGN04C	1959 – 2000	42	2	0.363
AGN09C	1987 – 2012	26	1	0.391
AGN09B	1988 – 2012	25	1	0.384
AGN09D	1984 – 2008	25	1	0.470
AGN12A	1994 – 2016	23	1	0.406
AGN14A	1995 – 2012	18	1	0.607
AGN14B	1989 – 2007	19	1	0.668
AGN19C	1988 – 2012	25	1	0.428
AGN04B	1960 – 2016	57	2	0.472
AGN12B	1993 – 2015	23	1	0.377
Total y promedio		823	36	0.491

Como se muestra en la tabla 4.10, las 28 series de *Cedrela sp.*, se intercorrelacionan entre ellas ($r = 0.491$, $P\text{-valor} = 0.001$).

c. Anillos de *Cedrela angustifolia*

Los anillos decrecimiento de *Cedrela nebulosa*, son visibles y delimitados por poros circulares de mayor tamaño y una línea de parénquima.

Figura N° 4.16 Muestra de *Cedrela angustifolia*



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.12 Intercorrelación de series de *Cedrela angustifolia*

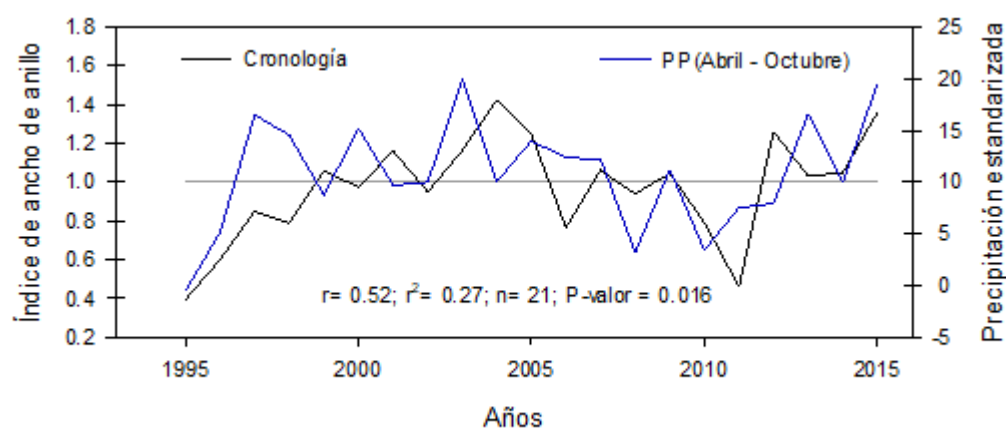
Series	Intervalos	N° de años	N° de Segmentos	Intercorrelación
SAL01A	1987 – 2013	27	1	0.637
SAL01B	1989 – 2016	28	1	0.598
SAL02A	1981 – 2016	36	1	0.739
SAL02B	1981 – 2016	36	1	0.860
SAL02C	1981 – 2016	36	1	0.720

SAL03A	1978 – 2010	33	1	0.407
SAL03B	1981 – 2016	36	1	0.469
SAL05A	1972 – 2013	42	2	0.523
SAL05B	1973 – 2016	44	2	0.385
SAL06A	1971 – 2016	46	2	0.387
SAL06B	1967 – 2004	38	1	0.412
SAL06C	1971 – 2016	46	2	0.503
SAL09A	1924 – 1960	37	1	0.582
SAL09B	1960 – 1985	26	1	0.697
SAL09B1	1999 – 2011	13	1	0.475
SAL09C	1929 – 1956	28	1	0.692
SAL09D	1924 - 1960	37	1	0.684
Total y Promedio		589	21	0.567

Como se muestra en la tabla 4.11, las 17 series de *Cedrela sp.*, se intercorrelacionan entre ellas ($r = 0.567$, P-valor = 0.001).

- **H2** = Existe correlación positiva entre la precipitación y el crecimiento radial anual de las especies arbóreas *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* *C. angustifolia*, en los bosques montanos del Perú. Es decir la precipitación y el crecimiento radial anual son directamente proporcional, aumentando o disminuyendo simultáneamente o en sentido directo.

Figura N° 4.17 Correlación de la precipitación con la cronología de *Cedrela sp.*

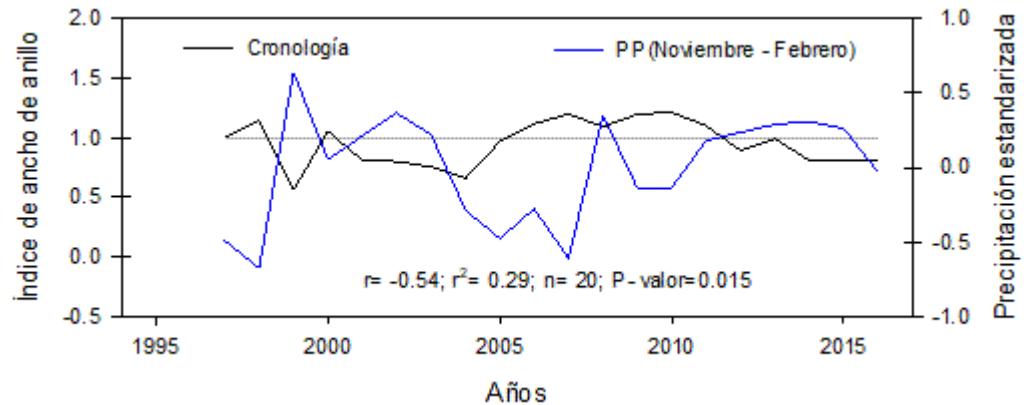


La figura 4.17, indica que existe una correlación positiva entre el crecimiento de *Cedrela sp.* y la precipitación local de Comas, explicando el 27% de su crecimiento con un significancia de 0.016. Así mismo en la siguiente ecuación se puede expresar la variabilidad del crecimiento en función a la precipitación del otoño e invierno (abril a octubre).

- Ecuación lineal:

$$\text{Índice de ancho de anillo} = 0.02643 \cdot \text{PP}(\text{Abr} - \text{Oct}) + 0.684$$

Figura N° 4.18 Correlación de la precipitación con la cronología de *Cedrela nebulosa*

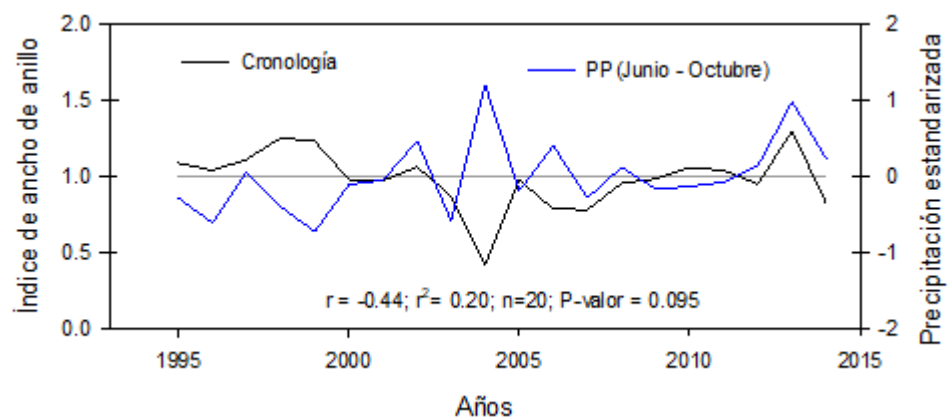


La figura 4.18, indica que existe una correlación negativa entre el crecimiento de *Cedrela nebulosa* y la precipitación local, con un coeficiente de determinación de 0.29 y una significancia de 0.015. Así mismo en la siguiente ecuación se puede expresar la variabilidad del crecimiento en función a la precipitación de fines de primavera e inicios de verano (Noviembre a Febrero).

- Ecuación lineal:

$$\text{Índice de ancho de anillo} = -0.277 \cdot \text{PP}(\text{Nov} - \text{Feb}) + 0.9493$$

Figura N° 4.19 Correlación de la precipitación con la cronología de *Cedrela angustifolia*



La figura 4.19, indica que existe una correlación negativa entre el crecimiento de *Cedrela angustifolia* y la precipitación local, con un coeficiente de determinación de 0.20 y significancia de 0.095. Así

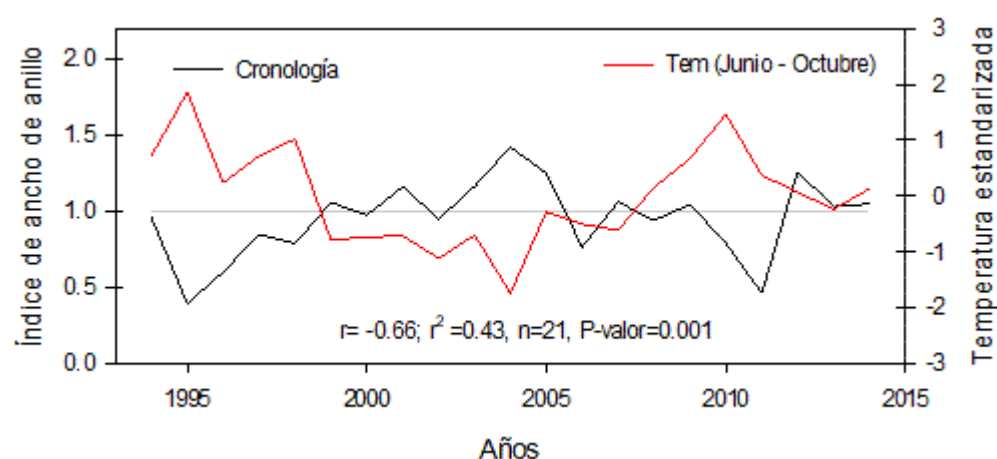
mismo en la siguiente ecuación se puede expresar la variabilidad del crecimiento en función a la precipitación de fines de invierno e inicios de primavera (Junio a Octubre).

- Ecuación lineal:

$$\text{Índice de ancho de anillo} = -0.1529 \cdot \text{PP (Jun- Oct)} + 0.9840$$

- **H3** = Existe correlación negativa entre la temperatura y el crecimiento radial anual de las especies arbóreas *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* *C. angustifolia*, en los bosques montanos del Perú. Es decir la temperatura y el crecimiento radial anual son inversamente proporcionales, aumentando o disminuyendo en sentido inverso.

Figura N° 4.20 Correlación entre la temperatura y la cronología de *Cedrela sp.*

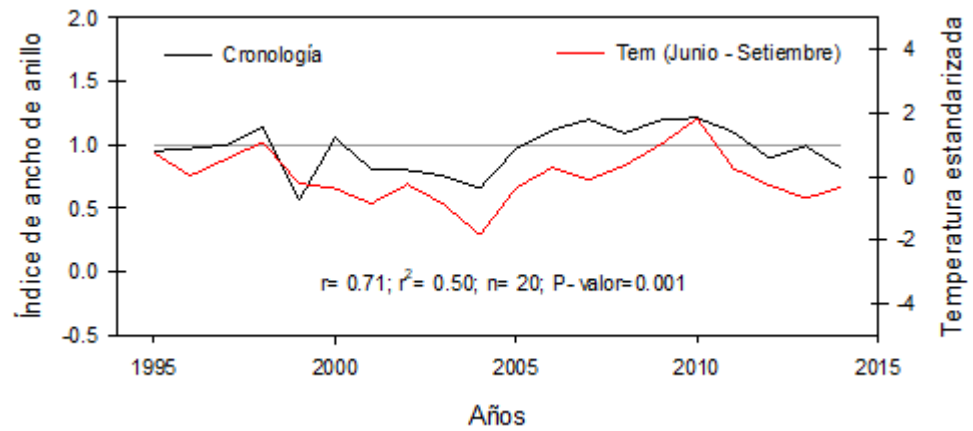


La figura 4.20, indica que existe una correlación negativa entre el crecimiento de *Cedrela sp.* y la temperatura local, con un coeficiente de determinación de 0.43 y una significancia de 0.001. Así mismo en la siguiente ecuación se puede expresar la variabilidad del crecimiento en función a la temperatura de invierno e inicios de primavera (Junio a Octubre).

- Ecuación lineal:

$$\text{Índice de ancho de anillo} = -0.1909 \cdot T (\text{Jun - Oct}) + 0.9516$$

Figura N° 4.21 Correlación entre la temperatura y la cronología de *Cedrela nebulosa*

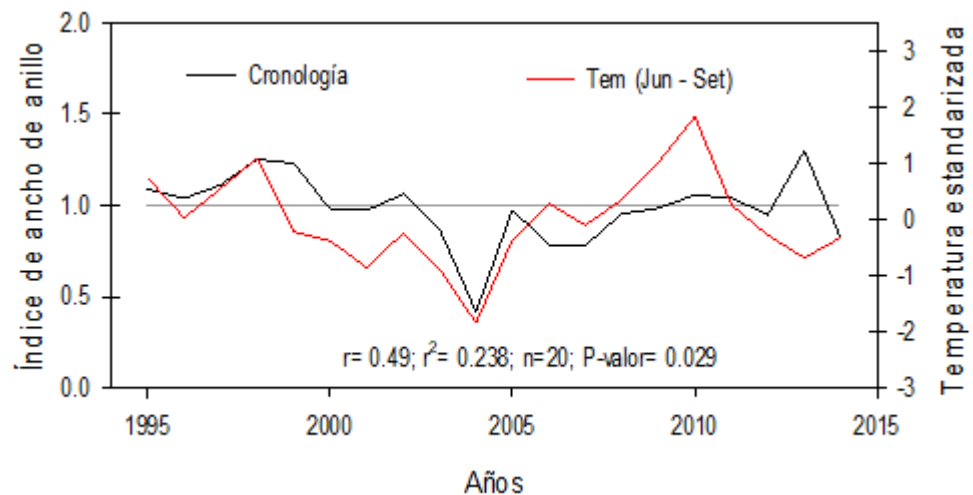


La figura 4.21, indica que existe una correlación positiva entre el crecimiento de *Cedrela nebulosa* y la temperatura local, explicando en un 50% su crecimiento con una significancia de 0.001. Así mismo en la siguiente ecuación se puede expresar la variabilidad del crecimiento en función a la temperatura de invierno (junio – setiembre).

- Ecuación lineal

$$\text{Índice de ancho de anillo} = 0.1602 \cdot T(\text{Jun-Set}) + 0.9642$$

Figura N° 4.22 Correlación entre la temperatura y la cronología de *Cedrela angustifolia*



La figura 4.22, indica que existe una correlación positiva entre el crecimiento de *Cedrela angustifolia* y la temperatura local, explicando en 24% su crecimiento, con una significancia de 0.029. Así mismo en la siguiente ecuación se puede expresar la variabilidad

del crecimiento en función a la temperatura de invierno (junio–setiembre).

- Ecuación lineal:

$$\text{Índice de ancho de anillo} = 0.1168 \cdot T (\text{Jun} - \text{Set}) + 0.9840$$

- **H4** = Existe diferencia en el crecimiento radial anual de las especies arbóreas *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia*, en los distintos sitios de muestreo, dentro del bosque montano del Perú.

Para esta hipótesis, se aplicó un ANOVA unilateral, considerando la siguiente información.

- **H₀ = Hipótesis Nula**, todas las medias son iguales = No hay diferencia en el crecimiento de *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia*
- **H_a = Hipótesis Alternativa**, al menos dos medias no son iguales = Existe diferencia en el crecimiento de *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia*.

Con un nivel de significancia $\alpha = 0.01$, asumiendo igual varianza.

Información de Factores

Factor	Nivel	Valores
	3	IAB (<i>Cedrela sp.</i>); IAB (<i>Cedrela nebulosa</i>); IAB (<i>Cedrela angustifolia</i>)

Análisis de Varianza

Fuente	DF	Adj SS	Adj MS	F-Valor	P-Valor
Factor	2	4762	2381.23	25.36	0.000
Error	117	10988	93.91		
Total	119	15750			

Resumen del modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
9.691	30.24%	29.04%	26.61%

Medias

Factor	N	Media	StDev	95% CI
IAB (<i>Cedrela sp.</i>)	40	28.35	8.65	(24.34; 32.36)
IAB (<i>Cedrela nebulosa</i>)	40	13.82	10.29	(9.81; 17.83)
IAB (<i>Cedrela angustifolia</i>)	40	16.58	9.79	(12.57; 20.59)

Desviación estándar agrupada = 9.69

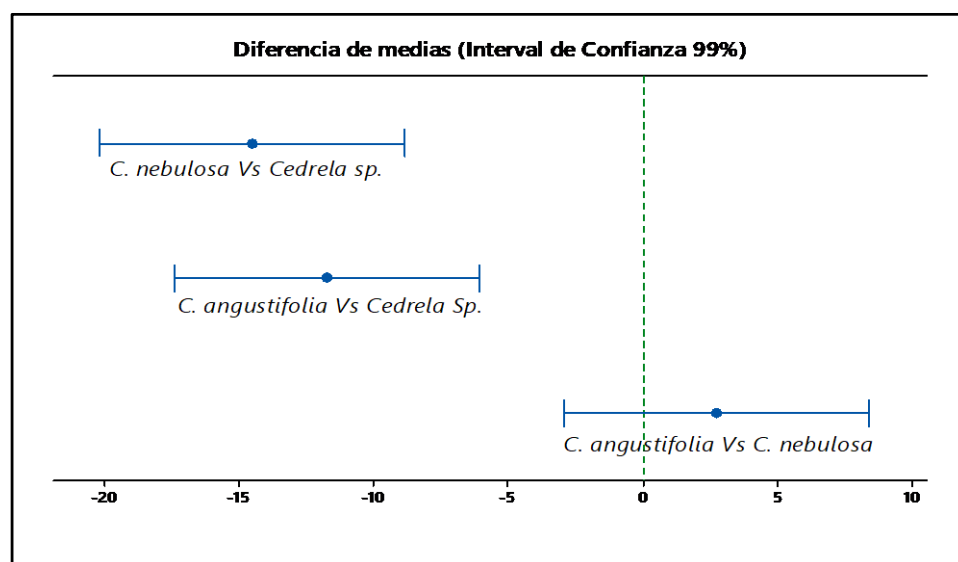
Comparación Pareada de Fisher

Información de Grupo, usando el método de Fisher y un nivel de confianza del 99%.

Factor	N	Media	Agrupando
IAB (<i>Cedrela sp.</i>)	40	28.35	A B B
IAB (<i>Cedrela nebulosa</i>)	40	16.58	
IAB (<i>Cedrela angustifolia</i>)	40	13.82	

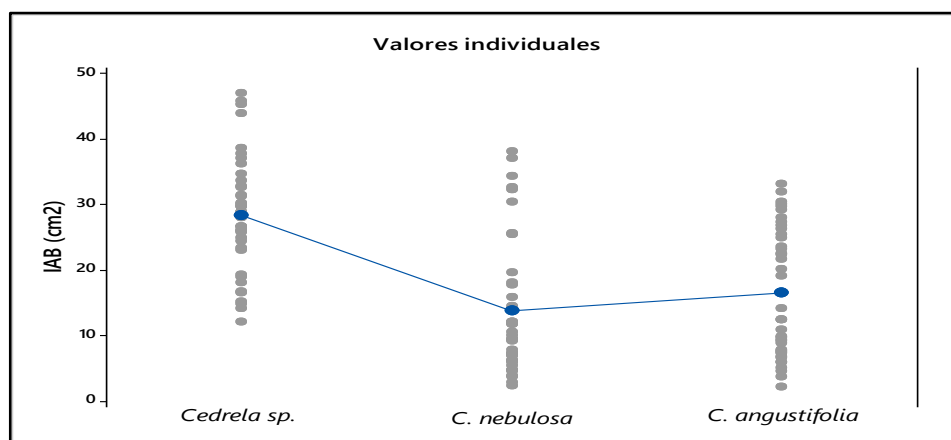
Las medias que no comparten la misma letra, son significativamente diferentes.

Figura N° 4.23 Diferencia de medias del IAB (*Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia*)



La figura 4.23, representa la prueba de Fisher con un intervalo de confianza del 99%, en el cual si un intervalo no contiene cero, la correspondiente media es significativamente diferente. Indicando que las series (el crecimiento radial) de *Cedrela sp.* (APL) son significativamente diferentes de *Cedrela nebulosa* (AGN) y *Cedrela angustifolia* (SAL).

Figura N° 4.24 Valores individuales del IAB (*Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia*)



La figura 4.24, representa los valores individuales del incremento del área basal de *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia*, en la cual los puntos azules representan las medias de incremento del área basal para cada grupo de muestras.

CONCLUSIONES

- Según las máximas correlaciones el crecimiento radial anual de *Cedrela sp.* está controlada por la precipitación local, mientras que la temperatura local controla el crecimiento radial anual de *Cedrela nebulosa* y *Cedrela angustifolia*.
- Las especies arbóreas *Cedrela sp.*, *Cedrela nebulosa* y *Cedrela angustifolia* colectadas en el bosque montano del Perú, tienen anillos claramente marcados, definidos por parénquima marginal y porosidad circular. De acuerdo al COFECHA, las muestras de *Cedrela sp.*, *C. nebulosa* y *C. angustifolia* tienen anillos de crecimiento claros y anuales, presentando altas correlaciones entre series, siendo $r = 0.413$, $r = 0.491$ y $r = 0.567$ respectivamente para cada especie. Además presentan potencial dendrocronológico, donde para *Cedrela sp.* ($R\text{-bar} = 0.193$, $EPS = 0.796$), *C. nebulosa* ($R\text{-bar} = 0.207$, $EPS = 0.787$) y *C. angustifolia* ($R\text{-bar} = 0.420$, $EPS = 0.781$).
- En cuanto a la influencia de la precipitación local sobre el crecimiento radial anual de las tres especies estudiadas, el crecimiento radial de *Cedrela sp.* correlaciona positivamente con la precipitación local alcanzando una correlación máxima de ($r = 0.52$, $P\text{-valor} = 0.016$) durante los meses de otoño e invierno (abril – octubre), explicado en un 27% por el coeficiente de determinación. Mientras que el crecimiento radial de *C. nebulosa* correlaciona negativamente con la precipitación local alcanzando una correlación de ($r = -0.54$, $P\text{-valor} = 0.015$) en los meses de primavera y verano (noviembre – febrero), explicado en un 29% por el coeficiente de determinación. Así también el crecimiento radial de *C. angustifolia* correlaciona negativamente con la precipitación local, alcanzando una correlación de ($r = -0.44$, $P\text{-valor} = 0.095$) durante los meses de invierno (junio – octubre), explicado en un 20% por el coeficiente de determinación.
- En cuanto a la influencia de la temperatura local sobre el crecimiento radial anual de las tres especies estudiadas, el crecimiento radial de *Cedrela sp.* correlaciona negativamente con la temperatura local, alcanzando una correlación de ($r = -0.66$, $P\text{-valor} = 0.001$) durante los meses de invierno e

inicios de primavera (junio – octubre), explicado en 43% por el coeficiente de determinación. Mientras que el crecimiento radial de *C. nebulosa* correlaciona positivamente con la temperatura local, alcanzando una correlación máxima de ($r = 0.71$, P-valor = 0.001) durante los meses de invierno (junio – setiembre), explicado en un 50% por el coeficiente de determinación. Así también el crecimiento radial de *C. angustifolia* correlaciona positivamente con la temperatura local, alcanzando una correlación máxima de ($r = 0.49$, P-valor = 0.029) durante los meses de invierno (junio – setiembre) explicado por el coeficiente de determinación en un 24%.

- El crecimiento radial anual de *C. nebulosa* y *C. angustifolia* son iguales estadísticamente, mientras que el crecimiento radial anual de *Cedrela sp.* es diferente estadísticamente al de *C. nebulosa* y *C. angustifolia*.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios fenológicos, para ampliar el conocimiento y entender el crecimiento de los cedros en bosques montanos del Perú.
- Dado que, los cedros son importantes para estudios climáticos y ecológicos de los bosques montanos, se recomienda crear bosques de conservación y protección para especies de cedros, entendiendo que es vulnerable por su valor comercial.
- Se recomienda realizar monitoreo biológico y análisis anatómico de la especie *Cedrela sp.* colectada en el sitio Azul Playa, distrito Mariscal Castilla, provincia Concepción, departamento Junín.
- Al momento de realizar el proceso de pulido, se recomienda no usar lijas muy finas ya que oscurece la madera, e impide visualizar los anillos.
- Al momento de realizar la datación de las muestras, se recomienda contar con suficiente iluminación.
- Para realizar análisis del incremento del área basal, se recomienda coleccionar muestras de árboles vivos.
- Así mismo para el trabajo de campo y laboratorio, se recomienda utilizar los adecuados equipos de protección personal.

BIBLIOGRAFÍA

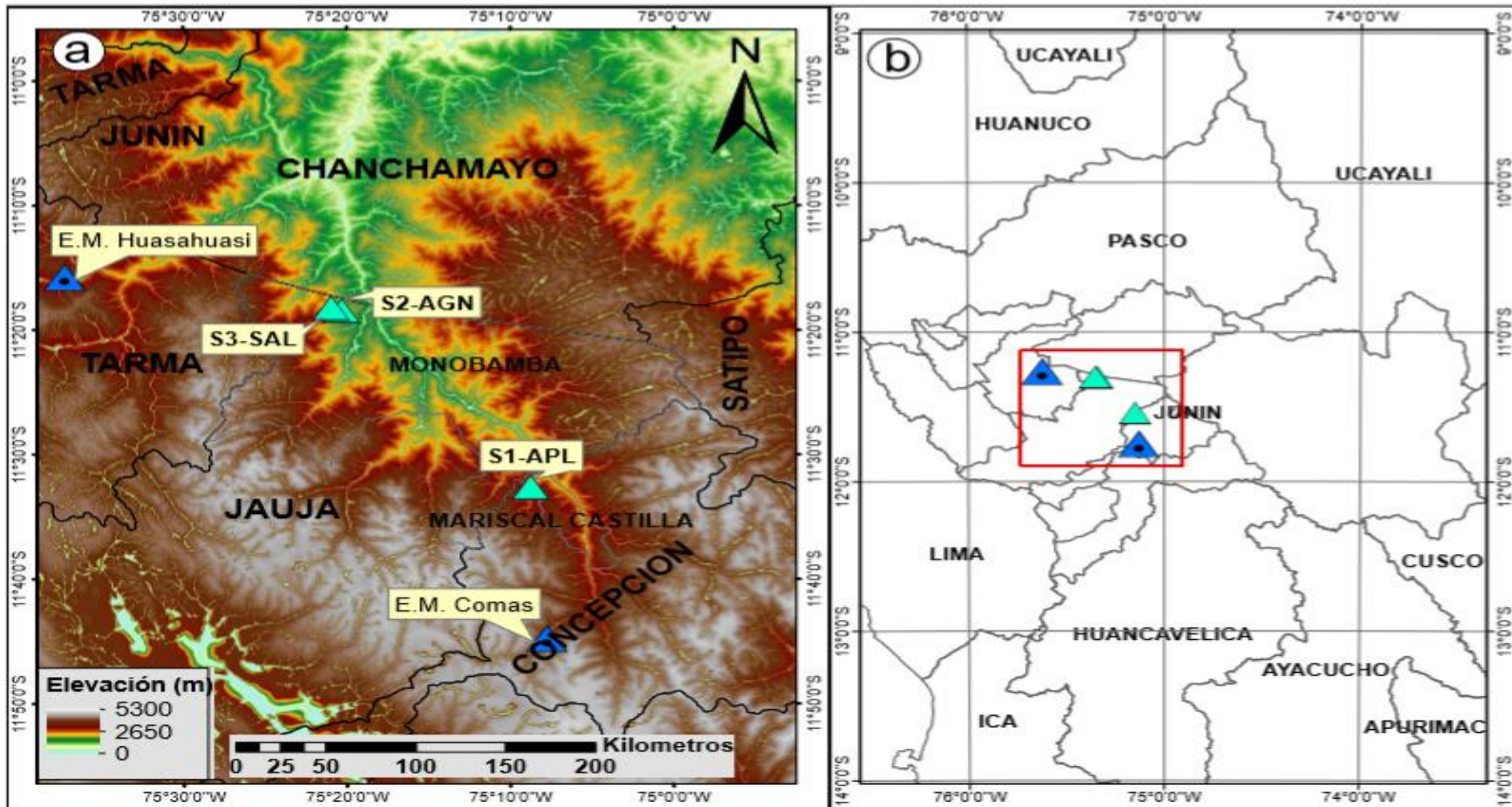
- Cabrera, A. (1973). *Biogeografía de America Latina*. Washington: The General Secretariat of the Organization of American States Washington, D.C.
- Catchpole, D. (2012). *Orographic gradients in climate and forest cover at the Cordillera Yanachaga, Peru*. Universidad de Tasmania.
- Cook E.R., K. L. (1989). *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences*. Kluwer Academic Publishers.
- Cook, E., & Holmes, R. (1986). Users Manual for program ARSTAN. *Chonology Series VI, University of Arizona*, 32.
- Cuesta, F., Peralvo, M., & Velarezo, N. (2009). *"Bosques Montanos de los Andes Tropicales. Una evaluación regional de su estado de conservación y su vulnerabilidad a efectos del cambio climático"*. La Paz, Lima, Quito: Programa Regional de Ecobona-Intercooperation.
- Dendrocronología*. (2008). Porto Alegre.
- Díaz-vaz, & Olmedo, J. E. (2003). *Anatomía de Maderas*. Valdivia: 1° Edición 2003 - ISBN: 956-291-953-6.
- Duchesne, L., Ouimet, R., & Morneau, C. (2003). Assesment of sugar maple health based on basal area growth pattern. *Canadian Journal of Forest Research* 33, 2074-2080.
- EcuRed. (2012). Obtenido de www.ecured.cu/Cedro_Rosado
- Espinoza, M. P., Guillen, G. J., Morales, M. S., & Arisméndiz, R. R. (2014). Potencial de *Cedrela odorata* (Meliaceae) para estudios dendrocronológicos en la Selva Central del Perú. *Biol.Trop - Int.J.Trop.Biol.* ISSN-0034-7744, 783-793.
- Ferrero, M. E., Ricardo, V., De Membiela, M., Ripalta, A., Delgado, S., & Paolini, L. (2013). Tree-growth responses across environmental gradients in subtropical Argentinean forests. *Plant Ecol*, 1321-1334.
- Fritts, H. (1976). *Tree Rings and Climate*. Londres: Academic press INC.
- Gimenez, A., Moglia, J., Hernandez, P., & Gerez, R. (2005). *Anatomía de Madera*. Santiago del Estero: Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales, Catedra de Dendrocronología y Xilología.

- Holmes, R. (1983). Computer-assisted quality control in tree ring dating and measurement. *Tree Ring Bulletin* 43, 69-75.
- Huaman, E. L., Ferrero, E., Lazaro, K. P., & Rojas, E. R. (2018). *Cedrela nebulosa*: a novel species for dendroclimatological studies in the montane tropics of South America. *Dendrochronologia*, 1-38.
- IPCC. (2013). *Cambio climático, Bases físicas*. Nueva York: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Koloski, R. (2003). *Los investigadores de discutir los métodos para estudiar el crecimiento y la determinación de la edad de los árboles de los bosques tropicales*. Obtenido de Brasil. CAPES/ Instituto de Biociencias de la Universidad de Sao Paulo.: www.ib.unicamp.br/profs/fsantos/nt238/2002/monog.html
- Layme, E., & Palacios, K. (2017). *Anatomía y Dendrocronología de Cedrela nebulosa T.D. Penn. & A. Daza de Monobamba - Jauja*. Huancayo.
- Mérian P, L. F. (2011). Canadian Journal of Forest Research. 2413-2422.
- MINAM. (2015). *Mapa Nacional De Cobertura Vegetal, Memoria Descriptiva*. Lima: Ministerio de Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural.
- Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de la Fauna Silvestre - OSINFOR. (2015). *Distribución de las Especies Forestales del Perú*. Lima: Presidencia de Consejo de Ministros.
- Pennington, T., & Muellner, A. (2010). Una monografía de *Cedrela* (Meliaceae). *Missouri Botanical Garden*, 112.
- Rodríguez, M., Villalba, R., Srur, A., & Morales, M. (2016). Influence of droughts on *Nothofagus pumilio* forest decline across northern Patagonia, Argentina. *Ecosphere*.
- Rodríguez, R., Mabres, A., Cruz, G., Salazar, P., Requena, J., & Ghezzi, I. (2012). Inicio y Aplicaciones de la Dendrocronología en el Perú. *Curso taller de dendrocronología* (pág. 16). Huancayo: Universidad Continental.
- Roig, F. (2000). *Dendrocronología en América Latina*. Mendoza: Universidad de Cuyo.

- Speer, J. (2010). *Fundamentals of Tree-Ring Research*. The University of Arizona Press. 360.
- Vera, A., Ortega, D., Pérez, P., Rosero, J., & Chavesta, M. (2011). Avances en la caracterización e identificación anatómica de los anillos de crecimiento de la especie *Juglans neotropica* Diels (Nogal) para estudios dendrocronológicos en el fundo La Génova, Junín (Perú). *Xilema*, 5-11.
- Villalba, R. (1995). *Estudios dendrocronológicos en la Selva Subtropical de Montaña, implicaciones para su conservación y desarrollo*.
- Villalba, R., Delgado, S., De Membiela, M., & Mendoza, D. (2005). Variabilidad Interanual de los Caracteres Anatómicos en el leño de *Cedrela lilloi*, en el Noreste de Argentina. *Ecología y producción de cedro (género Cedrela) en las Yungas australes Pacheco, S y A. Brown*, 1-23.
- Villalobos, M. (2011). *Tratamiento Taxonómico de Meliaceae*. La Paz, Bolivia.
- Villanueva, K. P., López, L., & Cerrillo, R. N. (2016). Regional chronologies of *Cedrela fissilis* and *Cedrela angustifolia* in tree forest types and their relation to climate. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 1-13.
- Westreicher, C. A. (2013). *Manual de Derecho Ambiental*. Lima: Iutitia S.A.C.
- Wigley, T., Briffa, K., & Jones, P. (1984). On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hidrometeorology. *J Clim Appl Meteorol* 23, 201-213.
- Worbes, M. (1995). How to measure growth dynamics in tropical trees. *Iawa Journal* 16 (4), 337 - 351.

ANEXO

ANEXO 1. Mapa de Ubicación

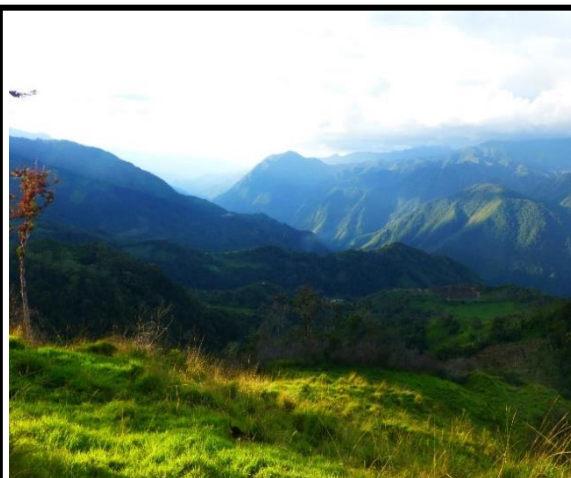


ANEXO 2. Ubicación de los Sitios de Muestreo

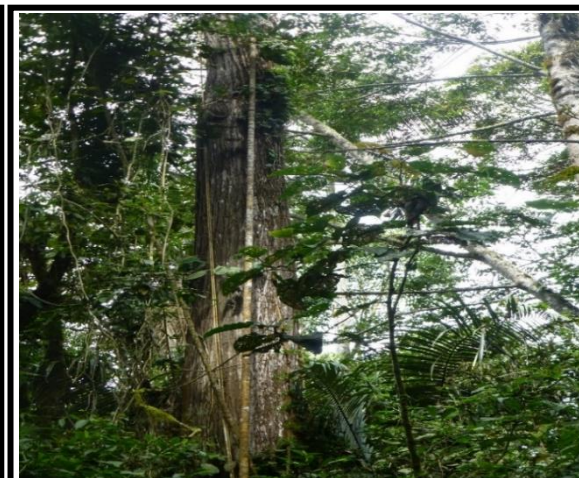
Azul Playa - Concepción



Agua de Nieves - Jauja



Salinas de Alcanfor - Jauja



ANEXO 3. Ejemplares de cedro en las localidades de Mamac y Agua de Nieves



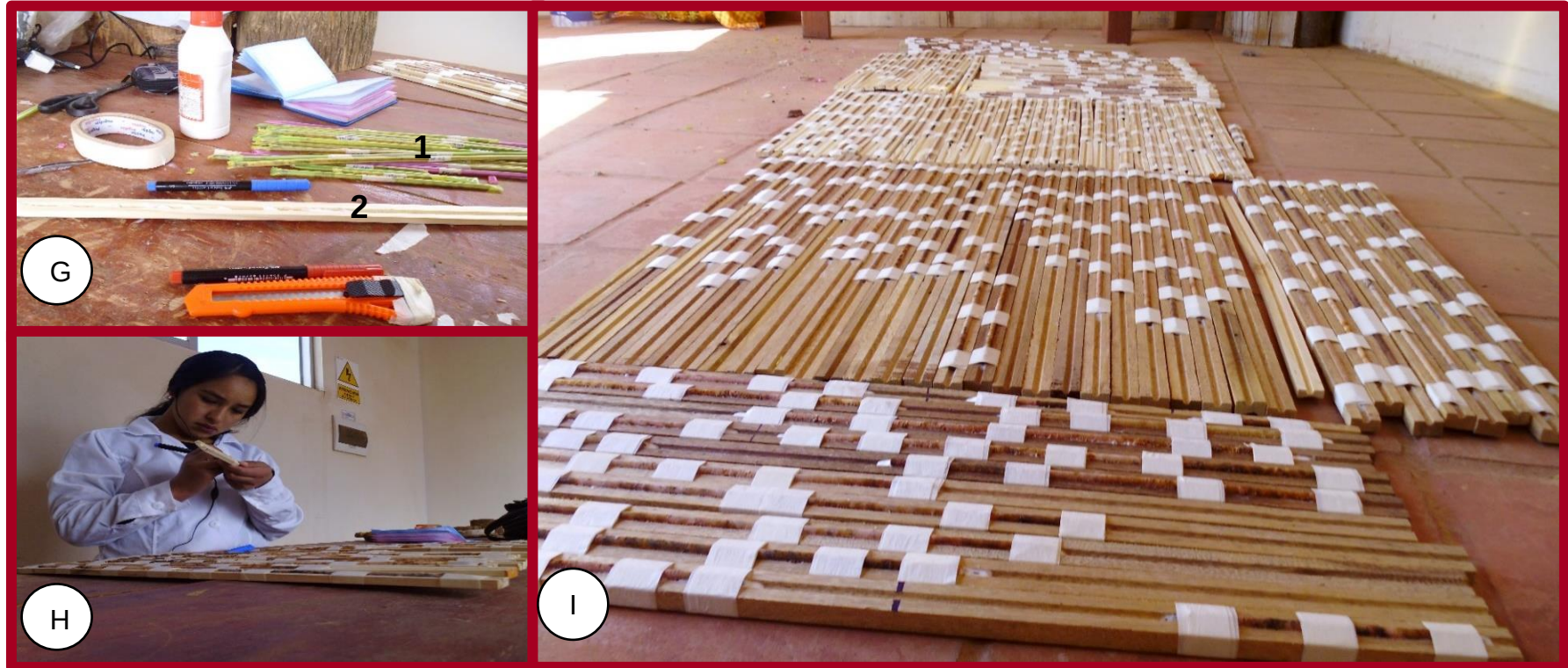
Dónde: En la **fotografía A**, se la *Cedrela sp.*, del sitio Azul Playa, Distrito Mariscal Castilla, Provincia Jauja. En la **fotografía B**, se visualiza la *C. nebulosa* del sitio Agua de Nieve, Distrito Monobamba, Provincia Jauja. En la **fotografía C**, se visualiza la *C. angustifolia* del sitio Salinas de Alcanfor, Distrito de Monobamba, Provincia Jauja.

ANEXO 4. Procedimiento de Campo



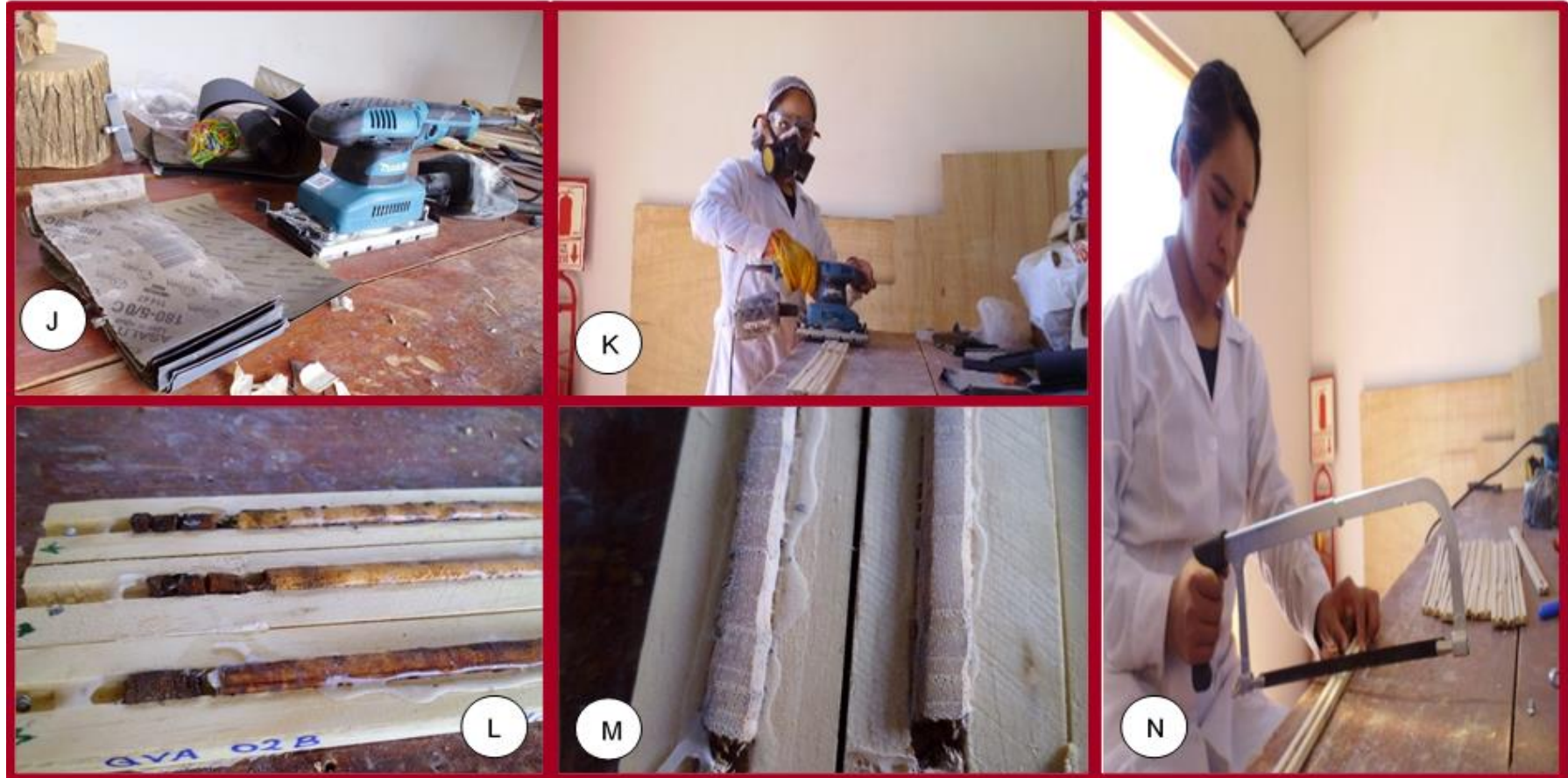
Dónde: En la **fotografía D**, se visualiza la introducción del barreno en el fuste del cedro. En la **fotografía E**, se visualiza la extracción de la muestra con la lengüeta o espada propio del barreno de Pressler. Y en la **fotografía F**, se visualiza la medición del diámetro del árbol muestreado.

ANEXO 5. Montaje de las muestras (tarugos) en el laboratorio de dendrocronología



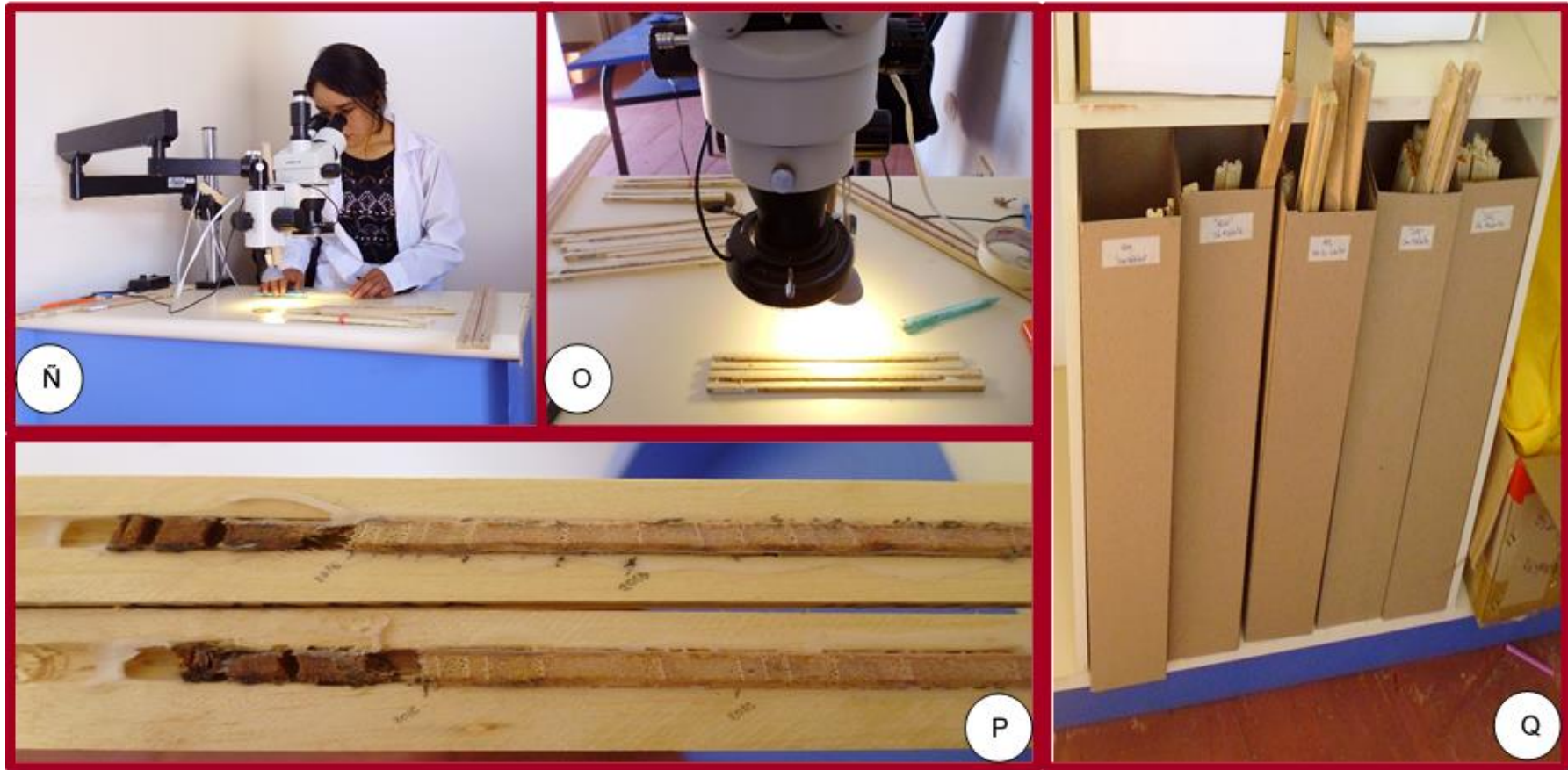
Dónde: En la **fotografía G**, se visualiza los materiales para montar las muestras tales como; 1. muestras, 2. Las regletas o soporte de muestras, cola sintética, cinta masking, marcador, libreta de apunte, pinza y estilete. En la **fotografía H**, se visualiza el proceso de codificación de las muestras. Y en la **fotografía I**, se visualiza las muestras montadas en proceso de secado a temperatura ambiente.

ANEXO 6. Pulido de las muestras de cedro (tarugos)



Dónde: En la **fotografía J**, se visualiza la pulidora de marca Makita y las lijas. En la **fotografía K**, se visualiza el proceso de lijado de las muestras. En la **fotografía L**, se visualiza las muestras sin lijar, mientras que en la **fotografía M**, se visualiza las muestras lijadas, donde se puede percibir algunos anillos. Y en la **fotografía N**, se visualiza el corte de las regletas según el tamaño de las muestra montadas.

ANEXO 7. Prefechado o datación de las muestras de cedro (tarugos)



Dónde: En la **fotografía Ñ**, se visualiza el proceso de datación de las muestras. En la **fotografía O**, se visualiza el proceso de medición de las muestras. En la **fotografía P**, se visualiza las muestras fechadas y medidas. Y en la **fotografía Q**, se visualiza el almacenamiento de las muestras ya procesadas.

ANEXO 8. Ficha de datos

Departamento, Provincia, Distrito de muestreo	Sitio de muestreo	Fecha de muestreo	Código de muestras	Altura (m)	Diámetro (cm)	Departamento, Provincia, Distrito de muestreo	Sitio de muestreo	Fecha de muestreo	Código de muestras	Altura (m)	Diámetro (cm)	Departamento , Provincia, Distrito de muestreo	Sitio de muestreo	Fecha de muestreo	Código de muestras	Altura (m)	Diámetro (cm)									
Junín, Concepción, Mariscal Castilla	Azul Playa (APL)	02 de Julio al 05 de Julio del 2017	APL01	35	80	Junín, Jauja, Monobamba	Agua de Nieve (AGN)	09 de Julio del 2017	AGN01	14	23	Junín, Jauja, Monobamba	Salinas de Alcanfor (SAL)	10 de Julio del 2017	SAL01	24	42									
			APL02	40	61				AGN02	18	37				SAL02	23	39									
			APL03	35	422.4				AGN04	20	38				SAL03	20	26									
			APL04	25	489.6				AGN05	16	28.5				SAL04	36	75									
			APL05	18	37.5				AGN07	24	36				SAL05	32	34									
			APL07	20	224				AGN08	40	108				SAL06	30	33									
			APL08	20	659.2				AGN09	25	34.5				SAL07	40	160									
			APL10	18	400				AGN10	16	24.3				SAL08	36	109									
			APL11	15	28				AGN11	22	23.7				SAL09	29	53.5									
			APL12	20	393.6				AGN12	18	22.8				SAL11	38	78.5									
			APL13	22	90.5				AGN14	19	22				SAL12	28	41									
			APL14	20	256				AGN15	24	59				SAL13	35	96									
			APL15	18	26.5				AGN16	30	60				SAL14	28	58									
			APL16	12	39				AGN17	32	85				SAL15	38	76									
			APL17	20	36				AGN18	22	36				SAL16	36	64									
			APL18	28	71				AGN19	24	36															
			APL19	30	40				AGN#N	Muestra muerta																
			APL20	20	33																					
			APL21	30	63																					
			APL22	28	53																					
			APL23	28	34.5																					
			APL24	30	39																					
			APL25	20	54																					
			APL26	32	63																					
			APL27	38	87																					
			APL28	32	37.5																					
			APL29	28	34																					
			APL30	30	66																					
			APL31	38	56																					
			APL32	26	47																					
			APL33	30	55																					
			APL34	18	15																					
			APL35	28	49																					
			APL36	27	48																					
			APL37	22	26.5																					
			APL38	24	28																					
			APL39	20	28.5																					