



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS  
NATURALES RENOVABLES  
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

## Estudio dendroclimático de *Cedrela nebulosa* T.D.Penn. & Daza en el bosque húmedo del cantón Mera, provincia de Pastaza, Ecuador

*Tesis de grado previa a la obtención  
del título de Ingeniera Forestal*

### **AUTORA:**

María Angélica Burneo Rodríguez

### **DIRECTOR:**

Ing. Darwin Alexander Pucha Cofrep *Ph.D.*

Loja – Ecuador

2020

Docente investigador  
**Ing. Darwin Pucha Cofrep Ph.D.** Ciudadela  
Universitaria “Guillermo Falconí Espinosa”  
Teléfono (secretaría): (07) 254-5072  
Celular: 988118716  
[darwin.pucha@unl.ed.ec](mailto:darwin.pucha@unl.ed.ec)  
<http://unl.edu.ec/>

## CERTIFICO:

Que en calidad de director de la tesis titulada **Estudio dendroclimático de *Cedrela nebulosa* T.D.Penn. & Daza en el bosque húmedo del cantón Mera, provincia de Pastaza, Ecuador**, de autoría de la señorita egresada de la Carrera de Ingeniería Forestal **María Angélica Burneo Rodríguez**, con número de cédula 1150167763, ha sido **Dirigida, Revisada, y Concluida** dentro del cronograma aprobado.

Por tal razón autorizo su presentación y publicación.

Loja, 18 de agosto de 2020

Atentamente,

Dr. Darwin Pucha Cofrep  
**DIRECTOR DE TESIS**





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS  
NATURALES RENOVABLES CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL**

Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba Mg. Sc.

**PRESIDENTA DEL TRIBUNAL CALIFICADOR DE LA TESIS**

**CERTIFICA:**

En calidad de presidenta del Tribunal de Calificación de la Tesis titulada **Estudio dendroclimático de *Cedrela nebulosa* T.D. Penn. & Daza en el bosque húmedo del cantón Mera, provincia de Pastaza, Ecuador**, de autoría de la señorita egresada de la Carrera de Ingeniería Forestal María Angélica Burneo Rodríguez, portadora de la cédula N° 1150167763, se informa que la misma ha sido revisada e incorporadas todas las observaciones realizadas por el Tribunal Calificador, y luego de su revisión se ha procedido a la respectiva calificación. Por lo tanto, autorizo la versión final de la tesis y la entrega oficial para la sustentación pública.

Loja, 18 de diciembre de 2020

Atentamente,



Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba Mg. Sc.

**PRESIDENTA**



Ing. Luis Fernando Muñoz Chamba Mg. Sc.

**VOCAL**



Ing. Natalia Soledad Samaniego Rojas Mg. Sc.

**VOCAL**

## AUTORÍA

Yo, María Angélica Burneo Rodríguez declaro ser autora del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Firma:



Firmado electrónicamente por:  
**MARIA ANGELICA  
BURNEO RODRIGUEZ**

Autora: María Angélica Burneo Rodríguez

Cédula: 1150167763

Fecha: 18/12/2020

## CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo María Angélica Burneo Rodríguez, declaro ser autora, de la tesis titulada **Estudio dendroclimático de *Cedrela nebulosa* T.D. Penn. & Daza en el bosque húmedo del cantón Mera, provincia de Pastaza, Ecuador** como requisito para optar al grado de Ingeniera Forestal, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los siete días del mes de enero del dos mil veintiuno, firma la autora.

Firma:



Firmado electrónicamente por:  
**MARIA ANGELICA  
BURNEO RODRIGUEZ**

Autora: María Angélica Burneo Rodríguez

Número de cédula: 1150167763

Dirección: Pasaje Daule entre Machala y Santo Domingo- Ciudadela del Maestro 1

Correo electrónico: maburneor@unl.edu.ec

Teléfono: 2-562417

Celular: 0993267077

### DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Tesis: Ing. Darwin Alexander Pucha Cofrep *Ph.D.*

Tribunal de Grado: Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba Mg. Sc.	Presidente
Ing. Luis Fernando Muñoz Chamba Mg. Sc.	Vocal
Ing. Natalia Soledad Samaniego Rojas Mg. Sc.	Vocal

## **AGRADECIMIENTO**

*A mis padres Anita y Carlos por todo su amor, trabajo y sacrificio, por ser mis guías y enseñarme que siempre hay que persistir para alcanzar lo que uno se propone.*

*A mi abuelita Luchita por estar siempre pendiente de mí y darme buenos consejos para la vida, de la misma forma a mis hermanos, Carlitos por ser mi ejemplo, a Gabriela y Daniela por ser mis mejores amigas y motivarme a cumplir mis propósitos, a mis tíos y primos por ser una parte importante de mi vida.*

*A mi director de tesis, ingeniero Darwin Pucha Cofrep por ser mi guía durante esta etapa, por su paciencia y su tiempo dedicado para que el trabajo sea excelente.*

*Agradezco a quienes hicieron posible la obtención de muestras, Danny, Madison y Liss por su gentileza y ese gran gusto que me compartieron por la investigación.*

*Mi gratitud con el señor Wilson Eblas, por permitirme extraer muestras del lugar que el más ama, cuida y protege, su hogar, su preciado bosque en la colonia 24 de mayo de la parroquia Mera.*

*A todos aquellos que me ayudaron y me guiaron en el camino de mi formación profesional, a mis apreciados docentes y técnicos.*

*Agradezco a mis amigos y amigas por su apoyo incondicional.*

**María Angélica Burneo Rodríguez**

## **DEDICATORIA**

*Con todo el amor del mundo, le dedico este trabajo a mis padres Anita y Carlos, porque ellos son el pilar de mi vida, gracias a ellos he llegado hasta aquí y me he convertido en lo que soy, son los mejores.*

*A mis hermanos Carlitos, Gaby y Dany por siempre estar conmigo en cada parte de mi vida y darme fuerzas para seguir.*

*A mi abuelita Luchita por motivarme siempre a cumplir mis sueños.*

*A mi familia y amigos ya que por más difícil que la situación haya sido, siempre estuvieron conmigo, confiando en mí.*

*A todos ustedes les dedico esta parte de mi vida y sé que con este gran paso comenzará una nueva etapa para mí en la que espero poder hacer por ustedes todo lo que hicieron por mí.*

*Los quiero mucho.*

**María Angélica Burneo Rodríguez**

## ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN.....	II
APROBACIÓN.....	III
AUTORÍA.....	IV
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
DEDICATORIA.....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XIII
TÍTULO.....	XIV
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT.....	XVII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. BOSQUE HÚMEDO TROPICAL.....	4
2.2. CRECIMIENTO DE LOS ÁRBOLES.....	5
2.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FORMACIÓN DE ANILLOS DE CRECIMIENTO.....	6
2.3.1. <i>Influencia del clima sobre la formación de anillos y su estructura</i> .....	8
2.4. DENDROCROLOGÍA.....	10
2.4.1. <i>Aplicaciones de la dendrocronología</i> .....	11
2.5. DENDROCLIMATOLOGÍA.....	12
2.6. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESPECIE <i>CEDRELA NEBULOSA</i> .....	12
2.6.1. <i>Descripción taxonómica</i> .....	12
2.6.2. <i>Descripción dendrológica</i> .....	13

2.6.3.	<i>Distribución geográfica</i> .....	14
2.6.4.	<i>Usos</i> .....	14
3.	METODOLOGÍA .....	15
3.1.	ÁREA DE ESTUDIO.....	15
3.2.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	15
3.2.1.	<i>Parroquia Mera</i> .....	15
3.3.	REGISTROS CLIMÁTICOS DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS.....	18
3.4.	METODOLOGÍA PARA OBTENER EL ÍNDICE DE CRECIMIENTO ANUAL .....	20
3.4.1.	<i>Fase de campo</i> .....	20
3.4.1.1.	Selección de individuos y registro de datos.....	20
3.4.1.2.	Recolección de muestras de madera .....	21
3.4.2.	<i>Fase de laboratorio</i> .....	22
3.4.2.1.	Preparación de muestras (Lijado).....	22
3.4.2.2.	Identificación de patrones de anillos verdaderos.....	23
3.4.2.3.	Señalización de anillos de crecimiento.....	24
3.4.2.4.	Medición de anillos .....	26
3.4.2.5.	Tamaño de la muestra.....	27
3.4.2.6.	Sincronización de los anillos de crecimiento .....	27
3.4.2.7.	Procesamiento y análisis de datos .....	28
3.5.	INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA EN EL CRECIMIENTO ANUAL .	28
3.5.1.	<i>Estandarización y construcción de cronologías basadas en el ancho de anillos</i>	28
3.5.2.	<i>Análisis estadístico entre la cronología, precipitación y temperatura</i> .....	29
4.	RESULTADOS.....	30
4.1.	ÍNDICE DE CRECIMIENTO DIAMÉTRICO ANUAL .....	30
4.2.	RELACIÓN ENTRE EL CRECIMIENTO ANUAL CON LAS VARIABLES CLIMÁTICAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA .....	32
5.	DISCUSIÓN .....	37
5.1.	ÍNDICE DE CRECIMIENTO DIAMÉTRICO ANUAL DE <i>CEDRELA NEBULOSA</i> .....	37
5.2.	DENDROCLIMATOLOGÍA: RELACIÓN ENTRE EL CRECIMIENTO ANUAL, LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA.....	40

6. CONCLUSIONES .....	44
7. RECOMENDACIONES.....	45
8. BIBLIOGRAFÍA .....	46
9. ANEXOS .....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 1. Estructura de la madera.....	6
Figura 2. Diferencia de crecimiento por especie.....	7
Figura 3. Influencia de la precipitación en el crecimiento de los árboles. ....	8
Figura 4. Estructura de los anillos y de la madera de <i>Cedrela nebulosa</i> . ....	9
Figura 5. Árbol de <i>Cedrela nebulosa</i> en Mera, Pastaza. ....	13
Figura 6. Mapa de ubicación de la parroquia Mera.....	15
Figura 7. Diagrama climático de Walter-Lieth de la estación meteorológica Puyo. ....	16
Figura 8. Mapa de ecosistemas de la parroquia Mera. ....	17
Figura 9. Sitio de muestreo y ubicación de los 33 árboles de <i>Cedrela nebulosa</i> .....	18
Figura 10. Ficha de campo de los árboles muestreados. ....	21
Figura 11. Patrón de anillos de crecimiento de <i>C. nebulosa</i> . ....	24
Figura 12. Señalización de anillos de crecimiento de <i>C. nebulosa</i> en sección transversal....	25
Figura 13. Señalización de anillos de crecimiento de <i>C. nebulosa</i> en núcleo.....	25
Figura 14. Registro de datos principales en las muestras.....	26
Figura 15. Sistema Lintab Pro 6 para la medición de anillos de crecimiento. ....	27
Figura 16. Series individuales del crecimiento radial anual de <i>Cedrela nebulosa</i> .. ....	31
Figura 17. Diámetro acumulado de <i>Cedrela nebulosa</i> ....	32
Figura 18. Series cronológicas sin tendencia de edad ....	33
Figura 19. Cronología estándar de <i>Cedrela nebulosa</i> ....	33
Figura 20. Análisis comparativo de la cronología estándar de <i>C. nebulosa</i> y los registros de precipitación anual . ....	34
Figura 21. Análisis comparativo de la cronología estándar de <i>C. nebulosa</i> y los registros de temperatura anual . ....	35

## ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Página
Tabla 1. Estaciones meteorológicas con registros anuales de precipitación.....	19
Tabla 2. Estaciones meteorológicas con registros anuales de temperatura.....	19
Tabla 3. Protocolo de lijado para las muestras de <i>Cedrela nebulosa</i> .....	22
Tabla 4. Resumen de estadísticos del índice de crecimiento diamétrico anual de las mediciones para <i>Cedrela nebulosa</i> . ....	30

## ÍNDICE DE ANEXOS

Contenido	Página
Anexo 1. Código R para obtener el diagrama climático de Puyo .....	55
Anexo 2. Base de datos de precipitación de la estación meteorológica Puyo M0008. ....	48
Anexo 3. Base de datos de temperatura de la estación meteorológica Puyo M0008. ....	48
Anexo 4. Base de datos de los árboles muestreados de <i>Cedrela nebulosa</i> en Mera. ....	52
Anexo 5. Código para obtener el EPS (Señal expresada de la población). ....	53
Anexo 6. Código R para generar dendrogramas para Mera. ....	54
Anexo 7. Dendrograma para los árboles de estudio por el método WardD2. ....	56
Anexo 8. Base de datos estadísticos de los árboles de <i>Cedrela nebulosa</i> de Mera. ....	57
Anexo 9. Código R para la construcción de la cronología.....	61
Anexo 10. Código R para correlacionar la precipitación con el crecimiento. ....	64
Anexo 11. Código R para correlacionar la temperatura con el crecimiento. ....	69
Anexo 12. Muestras (núcleos y discos) de <i>Cedrela nebulosa</i> de Mera. ....	74
Anexo 13. Muestra botánica de <i>Cedrela nebulosa</i> . ....	76
Anexo 14. Correlación entre la precipitación y el ancho de anillo mediante la cronología residual. ....	77
Anexo 15. Correlación entre la temperatura y el ancho de anillo mediante la cronología residual. ....	78
Anexo 16. Guía de movilización para las muestras botánicas y muestras de madera de <i>Cedrela nebulosa</i> . ....	79
Anexo 17. Certificado de entrega de muestra botánica de <i>Cedrela nebulosa</i> .....	80

**Estudio dendroclimático de *Cedrela nebulosa* T.D.Penn. & Daza  
en el bosque húmedo del cantón Mera, provincia de Pastaza,  
Ecuador**

## RESUMEN

La dendrocronología tropical se encuentra en una etapa de desarrollo, los avances realizados durante los últimos 20 años en estudios dendrocronológicos y dendroclimatológicos en áreas tropicales y subtropicales en América del Sur son limitados a las tierras bajas y en la cuenca del Amazonas. Estos estudios permiten cuantificar en forma precisa la velocidad del crecimiento radial de diferentes especies en diversos sitios y comparar con información del suelo, disturbios, y el clima para verificar su influencia en el crecimiento anual. Por ello este estudio dendroclimático de *Cedrela nebulosa* T.D.Penn. & Daza en Ecuador, tiene como objetivo conocer la influencia de la precipitación y la temperatura en el crecimiento diamétrico anual de *Cedrela nebulosa* T.D.Penn. & Daza, a través de métodos dendrocronológicos en el cantón Mera, provincia de Pastaza en la amazonía central de Ecuador. Para ello se realizó la toma de muestras con un total de 33 individuos (3 discos y 67 núcleos). Las muestras de madera fueron preparadas en el Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad Nacional de Loja, y lijadas desde el grano 60 hasta el 4000. Mediante el sistema de medición Lintab Pro 6 y el software TSAP-Win Pro se identificó, midió y sincronizó cada anillo de crecimiento. Los datos climáticos se obtuvieron de los anuarios meteorológicos del INAMHI, la precipitación en el periodo de 1965 a 2019 y la temperatura en el periodo de 1965 al 2017. El análisis de datos y visualización gráfica se realizó mediante el paquete “dplR” especializado para análisis dendrocronológico en la plataforma de análisis estadístico R. Los resultados obtenidos en *C. nebulosa* mostraron que estos árboles tienen una edad media de 46 años, edad máxima aproximada de 160 años, y una edad mínima de 31 años. Su crecimiento en diámetro alcanzó un valor de 8,76 mm/año. De forma general, el crecimiento no varió con mucha diferencia en los primeros años, desde el año 1860 hasta 1975, y al final entre los años de 1987 y 2010 el crecimiento empezó a disminuir. Con un cómputo de todos los árboles se obtuvo una cronología basada en anillos de crecimiento desde 1860 a 2019. El crecimiento radial de *Cedrela nebulosa*, no tuvo ninguna influencia con la precipitación anual del sitio (1965-2019),  $r = -0,2$  (p. valor = 0,05). Por otro lado, la relación entre el crecimiento y la temperatura (1965-2017) fue moderada ( $r = 0,43$ ). Por tanto, se puede concluir que por el hecho de que en el sitio no existe una estacionalidad marcada de sequía o de lluvia, más bien existen lluvias constantes y regulares todo el año, la especie no generó una respuesta de sensibilidad a la precipitación. Contrario a esto, la temperatura reaccionó positivamente y esto es un punto clave para medir la influencia de esta variable con el crecimiento de la especie, es decir, a medida que aumenta la temperatura,

aumenta el ancho de anillo de crecimiento. Por ello, es muy importante ampliar más sitios y especies para estos estudios, y ver la posibilidad de realizar la reconstrucción de la temperatura y para así brindar la oportunidad de nuevos datos en sitios remotos donde no hay registros meteorológicos.

**Palabras clave:** dendrocronología, dendroclimatología, anillos de crecimiento, bosque húmedo, crecimiento anual, *Cedrela nebulosa*, precipitación, temperatura.

## ABSTRACT

Tropical dendrochronology is in a developmental stage, the advances made during the last 20 years in dendrochronological and dendroclimatological studies in tropical and subtropical areas in South America are limited to the lowlands and the Amazon basin. These studies allow us to precisely quantify the radial growth rate of different species in various sites and compare them with information from the soil, disturbances, and climate to verify their influence on annual growth. For this reason, this dendroclimatic study of *Cedrela nebulosa* T.D.Penn. & Daza in Ecuador, has the objective of knowing the influence of precipitation and temperature on the annual diameter growth of *Cedrela nebulosa* T.D.Penn. & Daza, through dendrochronological methods in the canton of Mera, province of Pastaza in the central Amazon of Ecuador. A total of 33 individuals were sampled (3 discs and 67 cores). The wood samples were prepared in the Laboratory of Dendrochronology of the National University of Loja, and sanded from grain 60 to 4000. Using the Lintab Pro 6 measuring system and TSAP-Win Pro software, each growth ring was identified, measured and synchronized. Climatic data was obtained from INAMHI's meteorological yearbooks, precipitation in the period from 1965 to 2019 and temperature in the period from 1965 to 2017. Data analysis and graphical visualization was performed using the specialized "dplR" package for dendrochronological analysis on the R statistical analysis platform. The results obtained in *C. nebulosa* showed that these trees have an average age of 46 years, a maximum age of approximately 160 years, and a minimum age of 31 years. Their growth in diameter reached a value of 8,76 mm/year. In general, the growth rate did not vary much in the first years, from 1860 to 1975, and in the end between 1987 and 2010 the growth started to decrease. A calculation of all the trees resulted in a chronology based on growth rings from 1860 to 2019. The radial growth of the *C. nebulosa* had no influence on the annual precipitation of the site (1965-2019),  $r = -0,2$  (p.value = 0,05). On the other hand, the relationship between growth and temperature (1965-2017) was moderate ( $r = 0.43$ ). Therefore, it can be concluded that due to the fact that there isn't marked seasonality of drought or rain in the site, rather there is constant and regular rainfall throughout the year, the species did not generate a response of sensitivity to rainfall. On the contrary, the temperature reacted positively and this is a key point to measure the influence of this variable with the growth of the species, that is, as the temperature increases, the width of the growth ring increases. Therefore, it is very important to expand more sites and species for these studies, and to see the possibility of reconstructing the temperature and thus provide the opportunity for new data in remote sites where there aren't meteorological records.

**Keywords:** dendrochronology, dendroclimatology, growth rings, rainforest, annual growth, *Cedrela nebulosa*, precipitation, temperature

## 1. INTRODUCCIÓN

En los bosques tropicales se localiza la mayoría de sumideros naturales de carbono, estos almacenan aproximadamente el 45% del carbono terrestre y aportan el 50% de la producción primaria neta terrestre cada año (Bonan, 2008). Sin embargo, las especies de estos bosques se van reduciendo muy rápidamente debido a la demanda, explotación y la necesidad que se tiene de acceder a productos forestales maderables. Con estas acciones negativas se aporta al cambio climático, se genera presión sobre los ecosistemas y se disminuye la posibilidad de obtener servicios ecosistémicos de calidad.

El aumento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera constituye uno de los principales problemas ambientales a nivel mundial, y que, como consecuencia del cambio climático se ha estimado que su incremento ocurre a una tasa del 1% anual, mientras que las predicciones para las siguientes décadas revelan que el 43% de especies forestales de regiones tropicales podrían desaparecer debido a que sus áreas naturales de distribución habrían cambiado drásticamente (Miles *et al.*, 2004). De esta realidad no se escapan especies forestales de alto valor comercial que existen en Ecuador, como es el caso de las especies pertenecientes al género *Cedrela*, que, a pesar de tener una alta adaptabilidad a las condiciones del sitio, son muy sensibles a variaciones climáticas, como fue demostrado por Lindner *et al.* (2010) y Aguirre *et al.* (2017).

A pesar de que Ecuador es un país megadiverso y contiene 3 de los 10 puntos calientes (Bendix, y Beck, 2009; INABIO, 2019), su biodiversidad se encuentra amenazada por diversas presiones antrópicas, destacándose el cambio de uso del suelo como uno de sus principales problemas (Curatola-Fernández *et al.*, 2015), y como consecuencia la cobertura vegetal y tamaños poblacionales se han reducido de forma acelerada en los últimos años (Weber *et al.*, 2008; Aguirre *et al.*, 2011; González-Jaramillo *et al.*, 2016); según Mosandl, Gunter, Stimm y Weber (2008), Ecuador enfrenta las tasas de deforestación más altas de Sudamérica.

Sumado a ello, los cambios en la dinámica climática, tanto en la precipitación como en la temperatura, causan gran impacto sobre los ecosistemas boscosos y sobre el crecimiento de las especies que allí existen (Pucha-Cofrep *et al.*, 2015 y Marcon *et al.*, 2019); todo ello se ve reflejado en las personas que dependen del bosque, su economía y potencialmente a los regímenes hidrológicos de estos bosques (Huaman, Ferrero, y Lazaro, 2018).

Tener información sobre la influencia de las variables climáticas es fundamental para un adecuado manejo silvicultural y para poder considerar las necesidades climáticas en el

crecimiento y desarrollo de las especies forestales, de lo contrario, la escasa información científica podría entorpecer el accionar de los tomadores de decisiones (Aguirre, 2008; Aguirre y León, 2011; Aguirre, León, Palacios, y Aguirre, 2013). Por ello, algunas investigaciones realizadas por Nieto (2005), Álvarez y Varona (2006), Barth *et al.* (2008) y Aguirre *et al.* (2011) señalan que es importante considerar estas variables ya que influyen en el crecimiento inicial de las especies vegetales, además de otros factores ambientales. Todas estas variables relacionadas a la biodiversidad demuestran lo complejo que es la dinámica de crecimiento de las especies en los ecosistemas tropicales, pues ello implica una influencia ambiental multifactorial. Esto ha dificultado el desarrollo de investigaciones en las regiones tropicales.

Las investigaciones dendrocronológicas y dendroclimáticas se han venido desarrollando en regiones de estacionalidad marcada, es decir, zonas templadas y frías, poniendo a las coníferas en primer lugar para estos estudios debido a la simplicidad en su estructura y visibilidad de anillos de crecimiento. Tiempo después las latifoliadas fueron incorporadas para hacer más grande la cobertura espacial y la lista de los registros de árboles con anillos de crecimiento en la región tropical y subtropical (Fritts, 1976; Schweingruber, 1988; Villalba, Villagra, Boninsegna, Morales y Moyano, 2000; Zúñiga, 2012).

Debido a ello, los estudios han aumentado, la mayoría se refieren a la presencia y la periodicidad de los anillos de crecimiento (Oliveira, 2007; Oliveira, Santarosa, Pillar y Roig, 2009; Worbes, 2002), otros a desarrollar cronologías de ancho de anillos para relacionar con variables climáticas (Worbes, 2002; Dünisch, Montoia y Bauch, 2003; Morales, Villalba, Grau y Paolini, 2004; Schöngart *et al.* 2004; Brienen y Zuidema, 2005; Rodríguez *et al.*, 2005; Dünisch, 2005; Baker, Palmer y D'arrigo, 2008; Solíz *et al.*, 2009; López y Villalba, 2011; Morales *et al.*, 2012; Ramírez y Del Valle, 2012; Pereyra, Inga, Santos y Rodríguez, 2014; Mendivelso, Camarero, Gutiérrez, y Castaño, 2016; Huaman *et al.*, 2018; Marcon *et al.*, 2019).

Las investigaciones con variables climáticas en zonas tropicales y en Ecuador se han realizado en parte con especies del género *Cedrela* por varias razones: a la gran demanda por ser madera de alta calidad; a que sus poblaciones siguen reduciéndose por la explotación selectiva sin que se regenere exitosamente; a la escasez de información; a la falta de comprensión de los requisitos para que la especie se desarrolle (Cintrón, B.1990); y finalmente a la presencia de anillos de crecimiento anuales de alta visibilidad. Incluso Huaman *et al.*, (2018), han

considerado a la especie *Cedrela nebulosa* como una especie novel para temas dendroclimáticos debido a que responde con sensibilidad a las variaciones climáticas.

Es por ello que mediante los resultados de la presente investigación que está incluida en el marco del proyecto “Impacto de las variaciones climáticas en la fijación de carbono en ecosistemas forestales al sur de Ecuador” ayudará a generar información cuantitativa sobre el impacto de la precipitación y la temperatura en el desarrollo de la especie forestal *Cedrela nebulosa* T.D.Penn. & Daza en áreas correspondientes a la colonia 24 de Mayo de la parroquia Mera, cantón Mera, provincia de Pastaza, y con ello beneficiar a las comunidades para que puedan tomar decisiones y a los actores involucrados en el manejo forestal sustentable de los diferentes bosques del país, generar información climática para poder realizar reconstrucciones climáticas y así desarrollar modelos para predicción de clima en lugares en donde no se cuenta con información climática.

Para ello se plantearon los siguientes objetivos:

#### Objetivo General

Contribuir con información científica acerca de la influencia de la precipitación y la temperatura en el crecimiento diamétrico anual de *Cedrela nebulosa* T.D.Penn. & Daza, a través de métodos dendrocronológicos en el cantón Mera, provincia de Pastaza en la amazonía central de Ecuador.

#### Objetivos Específicos

- Evaluar el crecimiento diamétrico anual de *Cedrela nebulosa* de la parroquia Mera, cantón Mera, provincia de Pastaza, a través de métodos dendrocronológicos.
- Evaluar el impacto de la precipitación y temperatura sobre el crecimiento diamétrico anual de *Cedrela nebulosa*.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Bosque húmedo tropical**

Según Bampfylde *et al.*, (2005), los bosques tropicales son sitios que poseen una enorme diversidad en lo que se refiere a plantas y animales en el mundo. En cuanto a su estructura se encuentra muy desarrollada y la vegetación comprende muchos estratos, esta región alberga recursos florísticos y faunísticos sobresalientes. Conocer la estructura y composición florística que tiene un bosque es importante para planificar el manejo y conservación del mismo (Maldonado, Herrera, Gaona y Aguirre, 2018).

Lo que caracteriza este bosque es su continua humedad y el calor, estas condiciones por lo general favorecen a que se realice un rápido ciclaje de nutrientes mediante la cadena que forman los hongos, microorganismos e insectos que descomponen con rapidez los materiales muertos y los vuelven a integrar, una vez que esta asociación se constituye, el micelio del hongo se desarrolla y actúa como una prolongación de la raíz, forma un sistema especializado y eficaz para la captación de nutrientes poco móviles como el fósforo, cobre y zinc (Alegre, García, Vega, y Arévalo, 2015), para que posteriormente puedan ser aprovechadas por las plantas (Ortega, Tobar, y Arellano, 2011).

En los bosques, generalmente en las raíces de los árboles de algunas especies viven asociadas las micorrizas, que debido a la gran cantidad de humedad aumentan su superficie de absorción, esto ha permitido que las especies de los bosques húmedos tropicales se desarrollen con rapidez y sobre suelos que son pobres en nutrientes (Gentry, 1990; Aules, 2013).

En Ecuador, estos bosques se encuentran distribuidos a lo largo de la región Amazónica y en la parte costera dentro de las subregiones norte, centro y sur. Generalmente ubicados por debajo de los 1300 m.s.n.m. en las estribaciones de los Andes, incluyendo todas las cordilleras y tierras bajas hacia el este. Constituyen el 50% de la superficie de Ecuador (Sierra, 1999).

A pesar de ser un ecosistema de gran potencial y de poseer un alto porcentaje de biodiversidad, en el país, parte del bosque se ha transformado en pastos o bosques secundarios, además de la pérdida de bosque por las altas tasas de extracción de madera y la minería, lo que no es muy lejano de la realidad en otros países, ahora quedan pequeños fragmentos dispersos en zonas de potreros (NCI, 2020). Es sorprendente el número de especies de árboles que pueden crecer en muy poco espacio, se ha calculado que en una hectárea puede albergar hasta 280 especies arbóreas (Aules, 2013).

## **2.2. Crecimiento de los árboles**

El crecimiento se refiere al aumento gradual en el tamaño del árbol en un determinado período de tiempo, se produce por la actividad fisiológica que tiene la planta. El crecimiento acumulado hasta una edad determinada representa el rendimiento a esa edad. Pero al hablar de crecimiento de los árboles es necesario evaluar los tipos de crecimiento: crecimiento primario y secundario que están determinados por factores internos (genéticos), externos (sitio) y por el tiempo (Instituto Nacional de Bosques, 2014).

De forma microscópica, en los árboles el crecimiento se lleva a cabo en los meristemos primarios y secundarios, los cuales son tejidos formados por células no diferenciadas capaces de dividirse y generar nuevas células. Los primarios son los responsables del crecimiento del árbol en altura y los secundarios del crecimiento en grosor por acumulación de madera a partir del cambium (Salinas, 2017).

El cambium está compuesto por dos capas de células que cubren la parte externa del tronco y rodea al árbol a manera de piel. La primera capa es la interna y más profunda llamada xilema que se encarga de crear tejido que formará madera, la segunda es la capa intermedia llamada floema, cuyas funciones son producir corteza y transportar nutrientes a todo el árbol, finalmente todo eso está cubierto por la corteza para su protección (Figura 1) (Purata, Gerez Fernández, y Peters, 2016).

El modelo de crecimiento de las especies forestales en relación con su edad, generalmente sigue una curva en forma sigmoideal. Inicialmente crecen lento, después crecen rápidamente y luego la velocidad de crecimiento se reduce nuevamente. El crecimiento del árbol y del bosque es similar, sin embargo, no son iguales pues en el crecimiento del bosque como en toda población interviene un nuevo factor que es la mortalidad, consecuencia de la ley de la competencia (Instituto Nacional de Bosques, 2014).

El crecimiento de los árboles no es continuo debido a ciertas condiciones que no son favorables para que se desarrolle, el árbol retoma el crecimiento cuando las condiciones climáticas vuelven a ser favorables. Cuando el crecimiento se detiene queda una marca visible en la madera formando un anillo de crecimiento (Salinas, 2017).

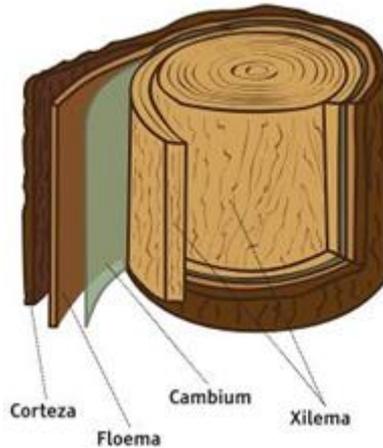


Figura 1. Estructura de la madera (Purata, Gerez Fernández, y Peters, 2016).

Por tanto, el crecimiento de los árboles se define por una diversidad de variables como el clima y el suelo los cuales son factores determinantes (Gómez, 2019). Además, algunos estudios han demostrado que estas variables generan un efecto en la fenología de la especie, de manera particular la radiación solar, la cual influye directamente en la fructificación (Chapman *et al.*, 2018).

Sin embargo, para el crecimiento arbóreo además de las variables climáticas, existen ciertas tendencias biológicas que influyen en el crecimiento como: la competencia por nutrientes, agua, luz y sombra; la supresión generada por el estrés debido a factores ecológicos como la erosión, ataque de insectos, incendios, tala selectiva o por la poda o alimento de animales; la liberación generada por los claros y eliminación de individuos de competencia y por la ontogenia, que se refiere al desarrollo arbóreo definido por factores internos como la genética (Fritts 1976; Chávez-Gándara *et al.*, 2017; Gómez, 2019).

### **2.3. Factores que influyen en la formación de anillos de crecimiento**

Según Purata *et al.*, (2016), el crecimiento de los árboles se ve influenciado por algunos factores ambientales como la temperatura, luz, agua, nutrientes del suelo, competencia con otros árboles, genética del árbol y el tipo de especie.

Por otro lado, Schweingruber (1993) afirma que los factores ambientales tienen influencia en la estructura anatómica, en la actividad cambial, diferenciación celular, expansión y crecimiento de paredes celulares. La precipitación es un factor que en regiones con altas precipitaciones el ancho de anillos varía ligeramente, con una cantidad de leño tardío alto que

varían considerablemente, mientras que, en regiones con precipitaciones mínimas la secuencia de anillos es extremadamente variable (Figura 2). En cuanto a la temperatura, si esta presenta cambios abruptos o marcadamente diferenciados se quedan registrados en la madera como anillos de crecimiento.

Los anillos de crecimiento son bandas concéntricas o casi concéntricas compuestas de distinta proporción de tejidos y por distinto tamaño o morfología de células que se forman por diversos factores (Beltrán, 2011).

Por su genética, tipo de especie y el lugar en donde crecen existen características que las hace diferentes, es decir, que son distintivas (Figura 2). Por lo general en áreas con clima estacional los árboles forman un anillo de crecimiento cada año. Comúnmente, estas especies presentan un mayor crecimiento al comienzo de la estación favorable, formando la madera temprana, menos densa y de un tono más claro. Consecutivamente, el árbol reduce su actividad fisiológica durante la estación menos favorable y forma madera tardía que es mucho más densa y frecuentemente más oscura (Beltrán, 2011).

Tiempo atrás, en árboles de ecosistemas tropicales se había asumido de forma errónea que la actividad cambial se mantenía prácticamente constante durante todo el año, considerándose que no se podría realizar análisis de los anillos de crecimiento por la ausencia de una estacionalidad definida, que indujera a una reducción de los procesos fisiológicos de crecimiento de los árboles y por tanto dejara alguna marca en la madera para ser analizada. Estudios recientes han demostrado que muchas especies de latifoliadas arbóreas tropicales presentan un crecimiento intermitente, con la consecuente formación de anillos de crecimiento anuales (Worbes, 1989, 2002; Worbes y Junk, 1989; Botosso *et al.*, 2000; Brien y Zuidema 2005; Beltrán, 2011; Baker, Santos, Gloor, y Brien, 2013; Huaman, Ferrero, y Lazaro, 2018; Gómez, 2019; Marcon *et al.*, 2019).

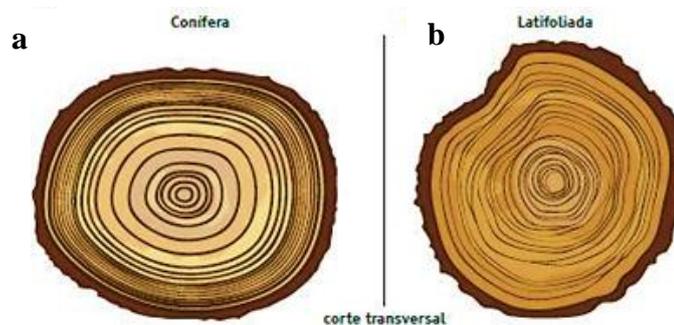


Figura 2. . Diferencia de crecimiento por especie. a) Conífera. b) Latifoliada (Purata, Gerez Fernández, y Peters, 2016).

Como consecuencia, en las regiones tropicales los factores responsables de la visibilidad de anillos de crecimiento pueden ser: una distintiva estación seca anual e inundaciones anuales a la que están sujetas los árboles. La carencia de agua en la época seca o las condiciones anóxicas de las raíces en las áreas inundadas, inducen a la dormancia del tejido cambial y a la formación de bordes de anillos claramente distinguibles (Figura 3) (Beltrán, 2011).

Algunas especies pueden presentar anomalías en la formación de anillos debido a que el espesor de cada anillo no es uniforme en la circunferencia ni a lo largo de cualquier línea del tallo y, por consiguiente, el ancho relativo de los anillos en cualquier lugar en que se tome la muestra variará ligeramente (Schweingruber, 1993).

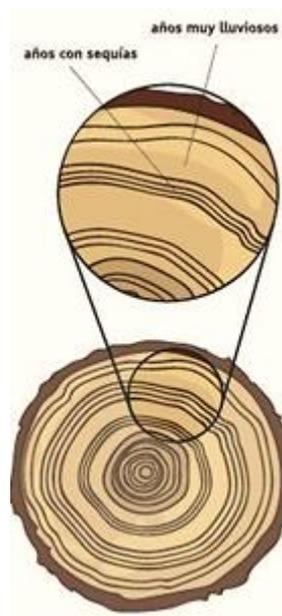


Figura 3. Influencia de la precipitación en el crecimiento de los árboles (Purata, Gerez Fernández, y Peters, 2016).

### **2.3.1. Influencia del clima sobre la formación de anillos y su estructura**

Los árboles registran información del clima en su crecimiento mediante el ancho de los anillos de crecimiento, pueden crecer durante centenares de años y contener información de siglos o incluso milenios (Suntaxi, 2010).

En los árboles, cada año se forma un anillo de crecimiento debajo de la corteza cuyo espesor define el crecimiento radial en un determinado año. El conjunto de anillos de crecimiento constituye el anillado en donde se registra la información de los cambios ambientales que han influido en el crecimiento. Los árboles que crecen en zonas templadas tienen periodos de

crecimiento activo en el año, esto por la presencia de estaciones. El crecimiento secundario o en diámetro se da generalmente en primavera y verano, de forma ocasional en otoño. En primavera se forma un tejido de células con pared delgada denominada madera temprana, mientras que en las estaciones de verano y otoño se forma un tejido compacto de paredes celulares gruesas llamado madera tardía (Figura 4) (Suntaxi, 2010; Baker *et al.*, 2013).

En zonas tropicales algunas de las especies pueden presentar anillos de crecimiento anual al estar asociadas a zonas de lapsos definidos de lluvias y de sequía, es decir, muchos anillos se forman por la alternancia de estos procesos climáticos, dejando una marca en la madera (Suntaxi, 2010).

En ocasiones existen complicaciones como es la ausencia de un anillo anual que se puede dar por el hecho de que el espesor del anillo no es uniforme en la circunferencia, ni a lo largo del fuste, por lo que el ancho de anillos varía ligeramente dependiendo del lugar donde se lo tome. Cuando son años muy secos se forma un anillo sumamente pequeño y no puede mostrarse en cada punto del fuste (Figura 4) (Suntaxi, 2010).

Otra complicación son los anillos falsos, que fácilmente se pueden confundir con una banda que asemejaría la formación de madera temprana, lo que se suele considerar como un anillo anual, generalmente estos pueden llegar a tergiversar los datos, por ello se debe reconocer bien el patrón de anillos de las especies para que su identificación sea de mayor facilidad (Suntaxi, 2010). En *Cedrela* es común que ocurran este tipo de complicaciones por lo que es primordial identificar el patrón de anillos de crecimiento (Huaman *et al.*, 2018).

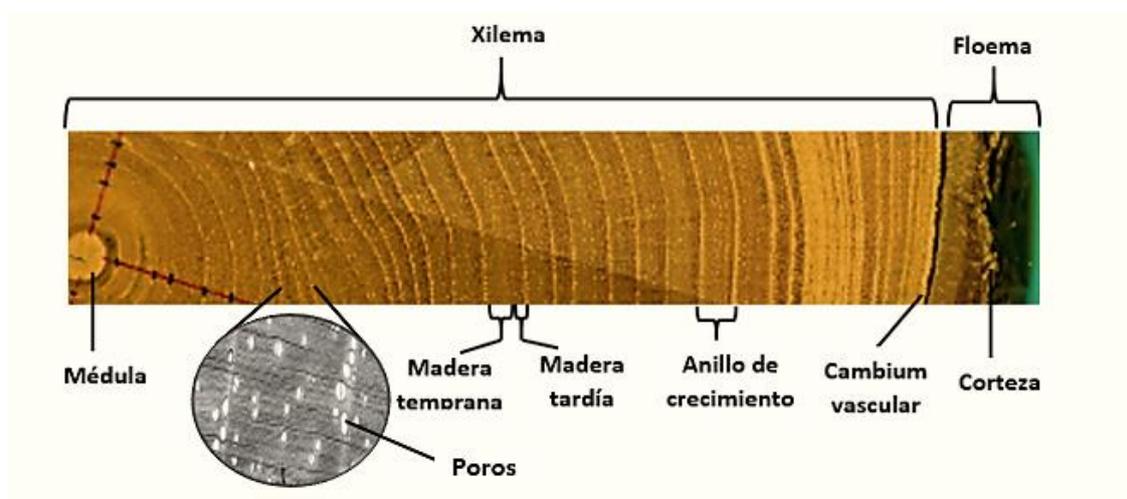


Figura 4. Estructura de los anillos de crecimiento y de la madera de *Cedrela nebulosa*.

## 2.4. Dendrocronología

Es una de las técnicas de registro ambiental más importantes para evaluar la variedad de procesos ambientales naturales y un monitor de los cambios registrados que son causados por el hombre en el ambiente (Speer, 2009).

El nombre indica una relación muy estrecha entre los árboles y el tiempo. La palabra deriva del griego *dendron* –árbol-, *crono* –tiempo- y *logo* –conocimiento, es una disciplina científica dotada de un conjunto de principios, técnicas y métodos que permiten datar los anillos de crecimiento anuales, extraer, separar e interpretar la información que contienen de los diferentes factores que han influido en su crecimiento. Tiene como objetivo principal establecer cronologías o series maestras (series promedio). Para ello, se realiza un proceso en el que primero se debe identificar y datar los anillos asignando a cada uno de ellos el año de calendario en el que se formaron. Las series dendrocronológicas permiten la investigación en numerosos campos de la ciencia ya que constituyen un registro del tiempo y un archivo de los acontecimientos pasados, por ello también son muy útiles para datar eventos siempre que hayan afectado a los árboles (perturbaciones), datar objetos y construcciones de madera. (Gutiérrez, 2009).

La dendrocronología reúne una gran cantidad de datos de alto valor para la toma de decisiones en la gestión forestal como los registros de crecimiento, caracterización y seguimiento de los volúmenes de madera producida, así como la estimación de la biomasa y el CO<sub>2</sub> fijado en la madera, siendo una fuente de información importante acerca de su calidad que permite observar su heterogeneidad, su formación y defectos (Zúñiga, 2012).

La dendrocronología consiste en el fechado de eventos pasados a través del estudio de los anillos de crecimiento. Las variables de los anillos de crecimiento, por ejemplo, proporción de madera temprana y tardía, pueden ser medidas y registradas como series en el tiempo. Aunque el patrón de crecimiento en los árboles puede estar afectado por factores exógenos y endógenos, la variabilidad climática deja huellas distintivas en las series de anillos de crecimiento de los árboles (Tomazello *et al.* 2001; Zúñiga, 2012). La dendrocronología se la puede aplicar en diversos problemas ambientales y climáticos y así verificar que fue lo que causó el crecimiento mayor o menor de un anillo.

Los diferentes estudios basados en dendrocronología en América no serían posibles sin las contribuciones de Cook y Holmes (1999) y Grissino-Mayer (2001), en el desarrollo de

softwares importantes como COFECHA, ARSTAN y FMT los cuales son funcionales en la obtención del IAA (Índice de ancho de anillo) y la base para estudiar las interacciones ambientales con el crecimiento arbóreo. En la época contemporánea se han desarrollado softwares como DENDROCLIM2002 (Biondi y Waikul 2004) y el paquete BootRes con base en R (Zang y Biondi 2013). Sin embargo, en la actualidad es posible analizar la relación del IAA con las diferentes variables climáticas con softwares estadísticos como InfoStat (Gómez, 2019).

#### **2.4.1. Aplicaciones de la dendrocronología**

La dendrocronología tiene aplicaciones en campos muy diferentes de la ciencia por la información se registra en los anillos de crecimiento. Esta información puede ser recuperada y analizada, permite el estudio y análisis de procesos ecológicos, geomorfológicos, climatológicos, arqueológicos, etc. En los dos ejes de variación de los mismos: el espacio y el tiempo. En climatología y paleoclimatología mediante la señal climática grabada en los anillos de crecimiento se puede reconstruir el clima del pasado para periodos de los cuales no se dispone de registros meteorológicos (Gutiérrez, 2009).

Para la geología, los anillos de los árboles pueden registrar el efecto de los terremotos, erupciones volcánicas, deslizamientos de terreno, caída de rocas, aludes de nieve, riadas, avance y retroceso de glaciares, etc. En criminología, la datación precisa de la madera de cuadros y esculturas ha permitido, en ciertos casos, demostrar falsificaciones. En cuanto a la dendroarqueología, realiza la datación absoluta de construcciones y objetos arqueológicos de madera, siendo importante mencionar que fue una de las primeras aplicaciones de la dendrocronología (Gutiérrez, 2009).

Finalmente, en sus diversas disciplinas ha permitido comprender la dinámica de los bosques en el tiempo y su interacción con el ambiente los cuales han dado lugar a otras disciplinas para estudiar procesos ecológicos como: dendroecología, en la que se analiza el comportamiento y reconstrucción del clima y realizar estudios de los procesos que tienen lugar a escalas de tiempo largas como por ejemplo la sucesión ecológica en dendroclimatología, la reconstrucción de caudales en dendrohidrología, regímenes de incendios en dendrocronopirología, reconstrucción de deslizamientos y aludes lo estudia la dendrogeomorfología, y también usada en la actividad de glaciares en dendroglaciología, disciplinas que surgieron con la necesidad de entender la historia de los procesos ambientales (Gómez, 2019).

## **2.5. Dendroclimatología**

La dendroclimatología se viene aplicando desde tiempo atrás, anillos de crecimiento en los fustes ya fueron observados, estos informes se realizaron en la Antigua Grecia. Para el siglo XVI, Leonardo Da Vinci reconoció la relación entre los anillos de crecimiento y el clima en árboles de *Pinus* de la región de Toscana (Italia). Señaló que los anillos de crecimiento permiten estimar el número de años, y en función de su ancho indican años más o menos secos. Además, en regiones de clima templado, los anillos de crecimiento representan, generalmente, el incremento anual de los árboles. Cada año aparece un nuevo anillo por lo que su conteo permite determinar su edad (Botosso y Póvoa de Mattos, 2002).

Para realizar un análisis dendroclimatológico es importante contar con dos fuentes de información: primero obtener datos dendrocronológicos, los cuales provienen de un conjunto amplio de ejemplares que maximice la varianza común de origen climático y minimice la individual, y segundo tener datos climáticos los cuales deben cumplir algunos requerimientos, es decir, deben ser datos continuos al menos, treinta años (los datos ausentes se completan mediante la utilización de técnicas de regresión y análisis de homogeneidad con otros registros próximos) y que tenga representatividad, la estación meteorológica debe encontrarse próxima al área de muestreo dendrocronológico (Génova, 2003).

## **2.6. Descripción general de la especie *Cedrela nebulosa***

### **2.6.1. Descripción taxonómica**

**Reino:** Plantae

**División:** Magnoliophyta

**Clase:** Magnoliopsida

**Orden:** Sapindales

**Familia:** Meliaceae

**Género:** *Cedrela*

**Especie:** *nebulosa* T.D.Penn. & Daza.

**Nombres comunes:** cedro (Tropicos, 2020).

### 2.6.2. Descripción dendrológica

*Cedrela nebulosa* T.D.Penn. & Daza. es un árbol de hasta 30 m de altura y 60 cm de diámetro, el tronco es cilíndrico con corteza fisurada de color marrón rojizo a marrón grisáceo, de corona densa de ramas abruptamente ascendentes. Las flores tienen corola de color crema verdosa, con un nectario o androceo de color naranja brillante y un estigma verde (Figura 5) (Pennington y Muellner, 2010).

El fruto es una cápsula verde con numerosas lenticelas marrones, madura entre abril y junio. Es importante destacar que el olor a ajo que comúnmente es emitido por otras especies del género *Cedrela*, está ausente en *C. nebulosa*. La floración ocurre principalmente entre septiembre y enero, pero también hay un número significativo de registros de mayo y junio. (Pennington y Muellner, 2010). Su estatus de conservación es vulnerable (Tropicos, 2020).

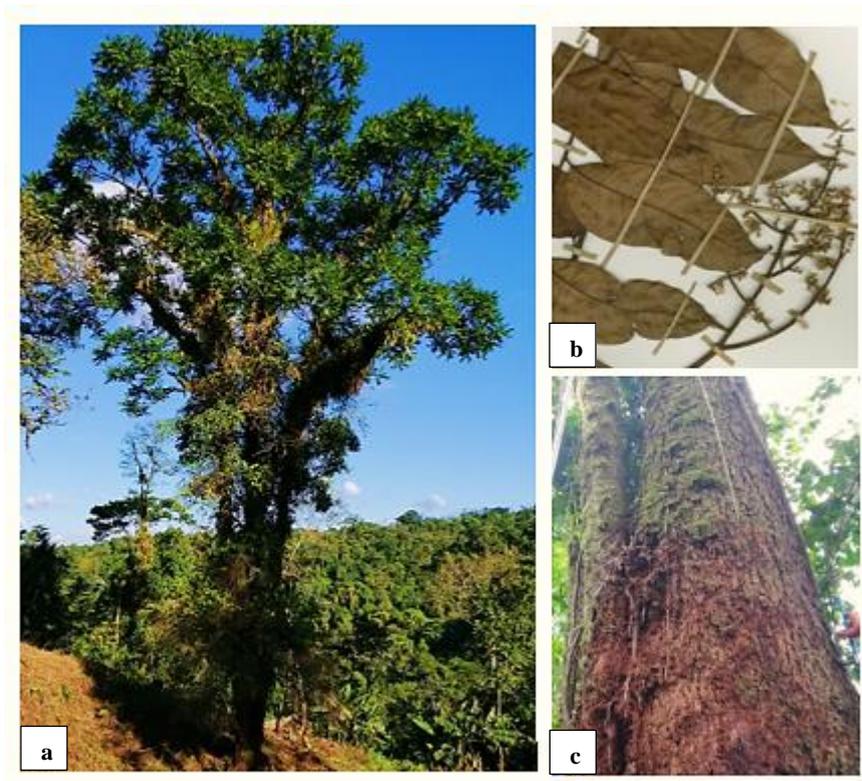


Figura 5. a) Árbol de *Cedrela nebulosa* en Mera, Pastaza. b) Muestra botánica de *Cedrela nebulosa*. c) Fuste de *Cedrela nebulosa*.

### **2.6.3. Distribución geográfica**

Esta especie se distribuye a lo largo del drenaje amazónico de los Andes desde la latitud 1 ° N en Colombia hasta la 11 ° S en Perú. Es un árbol de un bosque lluvioso montano húmedo y bosque nublado, en su mayoría entre 1100 m y 2400 m de altitud. A menudo está presente en bosques perturbados, rebrotes secundarios, en pasturas como árboles de sombra y es muy común como sombra sobre el café. Existen pequeñas plantaciones en el norte de Perú (Cajamarca) (Pennington y Muellner, 2010).

En Ecuador se lo puede encontrar en las provincias de Pastaza, Morona Santiago, Napo, Sucumbíos y Zamora Chinchipe.

### **2.6.4. Usos**

Generalmente su madera se usa en la construcción (exteriores), en la elaboración de muebles de gran mercado por su calidad y atractivo (veteado dejado por las marcas de los anillos de crecimiento), elaboración de instrumentos musicales, como árbol de sombra para pasturas y para cultivos de café (Pennington y Muellner, 2010). Es apreciada tanto a nivel local como en el mercado maderero mundial. Esta madera reúne una buena combinación de propiedades, tales como rápido secado y buena estabilidad (Brown y Pacheco, 2006).

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Área de estudio

El área de estudio se ubicó en el bosque húmedo tropical en el centro de Ecuador, en la provincia de Pastaza, cantón Mera, parroquia Mera, colonia 24 de Mayo; dentro del biocorredor de los parques nacionales Sangay y Llanganates (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015) (Figura 6).

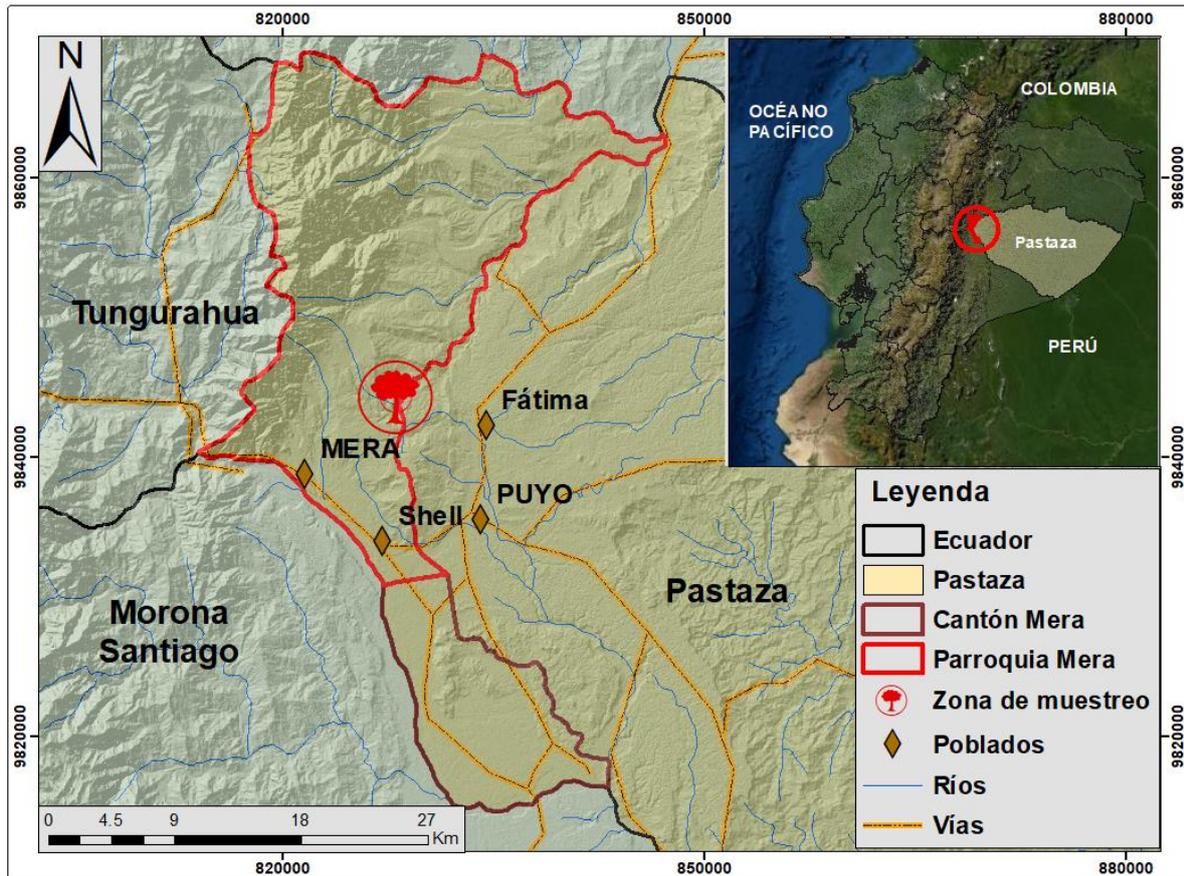


Figura 6. Mapa de ubicación del sitio de estudio en la parroquia Mera de la provincia de Pastaza.

#### 3.2. Descripción del área de estudio

##### 3.2.1. Parroquia Mera

La parroquia Mera es la más grande de las tres parroquias que hay dentro del cantón Mera, su extensión es de 37 186,76 hectáreas, se encuentra ubicada entre los 1100 a 1300 m.s.n.m. (GAD Mera, 2015). Las coordenadas del sitio son 821874,65 m E y 9838702,03 m S. Limita al norte con la parroquia Carlos Julio Arosemena Tola, al sur con la parroquia Shell y la parroquia

Cumandá (Napo), al este con las parroquias Santa Clara, Teniente Hugo Ortíz, Fátima y Puyo, al oeste con la parroquia Río Negro (Figura 6).

Esta área presenta características muy particulares debido a que la precipitación está presente todo el año con un régimen bimodal, es decir, que cuenta con dos periodos de lluvias altas durante abril –junio y octubre- diciembre; y, dos periodos de lluvias bajas en los meses de enero- marzo y julio- septiembre que están bajo la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y el aire húmedo de la cuenca amazónica (García *et al.*, 1998; Espinoza *et al.*, 2009; Campozano *et al.*, 2018). La precipitación media anual es de 5372 mm, mientras que la temperatura media anual es de 21,6°C (Campozano *et al.*, 2016; GAD Mera, 2015).

Al no contar con una estación meteorología en el cantón Mera, se realizó un diagrama climático de la estación más completa y cercana al sitio de estudio (13 km de distancia), con datos proporcionados del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) de la estación meteorológica Puyo M0008 (Figura 7). Los datos y script usado para realizar el diagrama climático se muestran en los *Anexos 1, 2 y 3*.

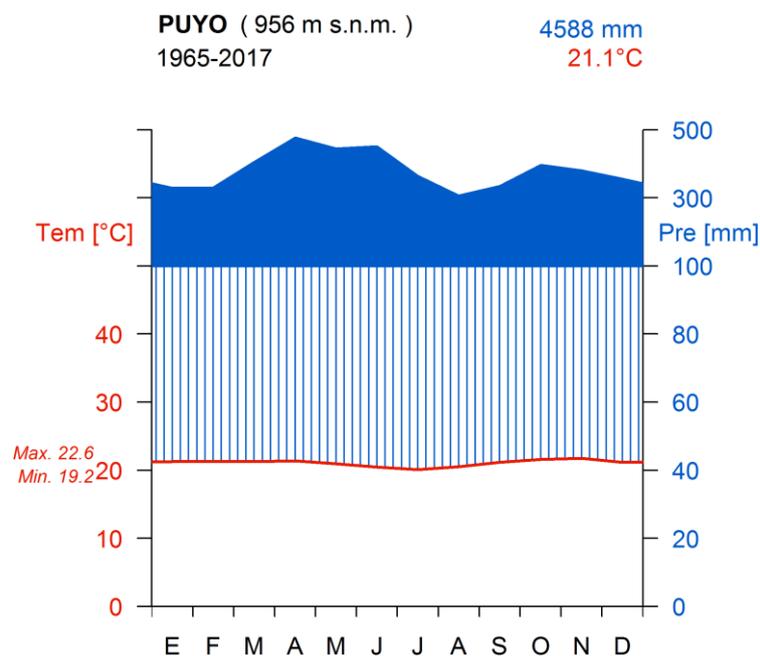


Figura 7. Diagrama climático de Walter-Lieth indicando el promedio mensual de precipitación y temperatura con datos de la estación meteorológica Puyo, periodo 1965-2017 (INAMHI,2019).

El sitio de muestreo se encuentra dentro de las zonas de intervención y el bosque siempreverde piemontano del norte de la Cordillera Oriental de los Andes (Figura 8).

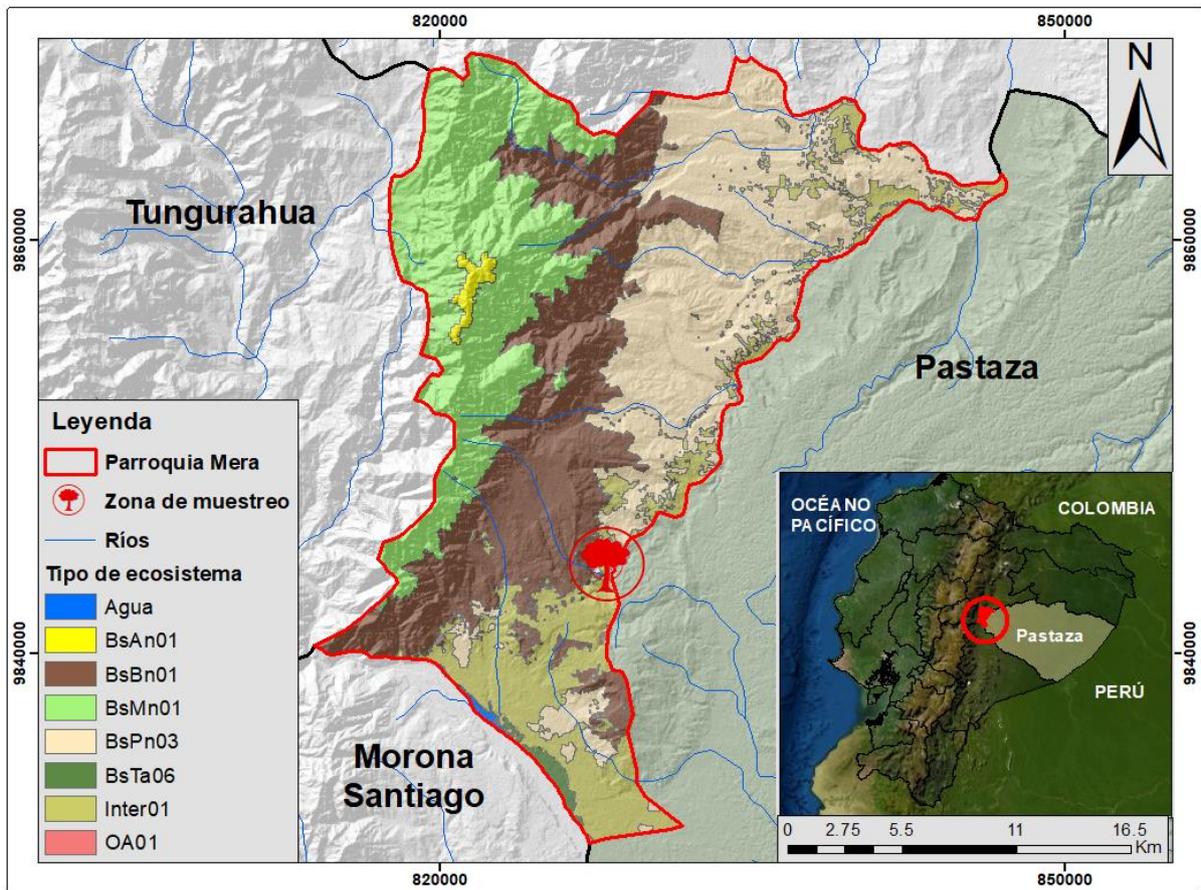


Figura 8. Mapa de ecosistemas de la parroquia Mera, cantón Mera.

En la *Figura 8* se observa la clasificación de los ecosistemas en la parroquia Mera: Bosque siempreverde montano alto del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes (BsAn01), Bosque siempreverde montano bajo del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes (BsBn01), Bosque siempreverde montano del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes (BsMn01), Bosque siempreverde piemontano del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes (BsPn03), Bosque inundable de la llanura aluvial de los ríos de origen andino y de Cordilleras Amazónicas (BsTa06), las zonas de intervención (Inter01) y otras áreas (OA01) (GAD Mera, 2015 y Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013).

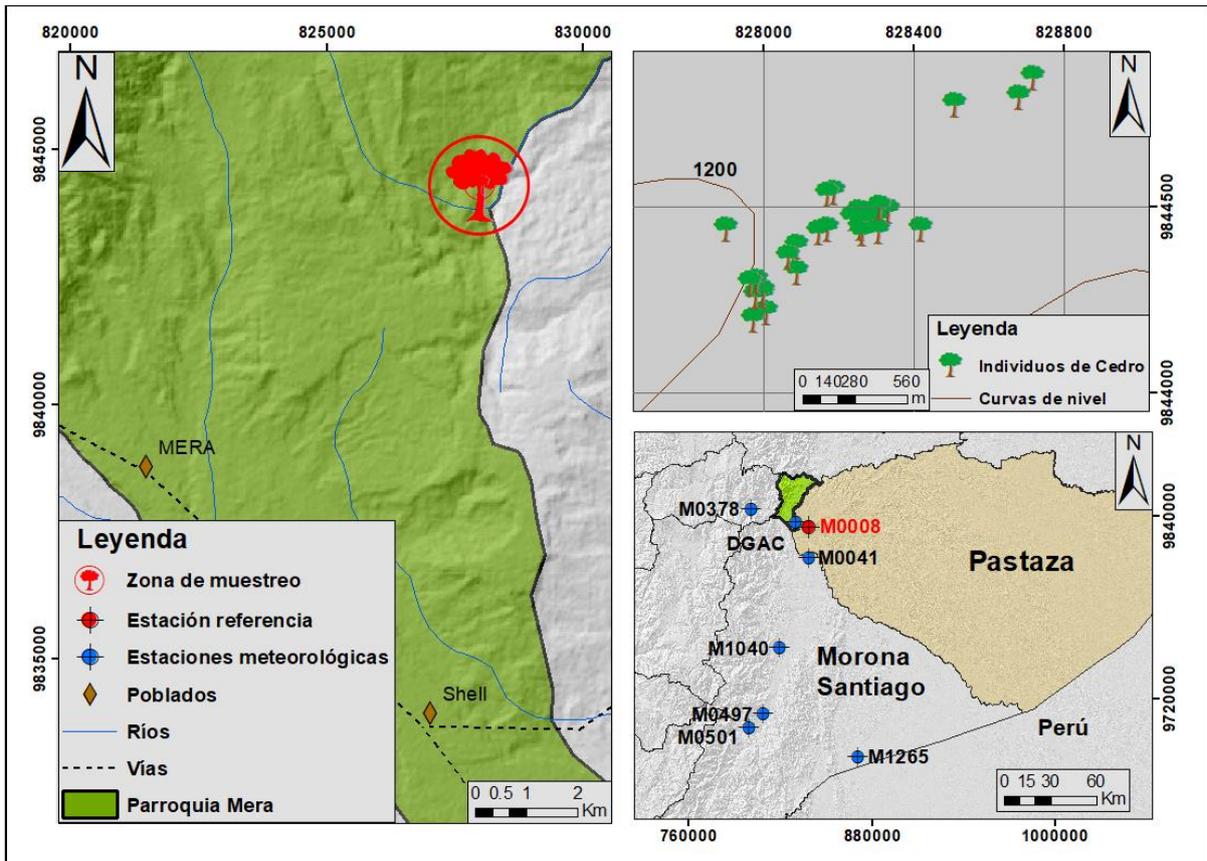


Figura 9. Sitio de muestreo en la parroquia Mera, cantón Mera indicando la ubicación de los 33 árboles de *Cedrela nebulosa*.

### 3.3. Registros climáticos de las estaciones meteorológicas

Los registros de precipitación y de temperatura fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) 2019 y por la Dirección General de Aviación Civil (DGAC)- Gestión de meteorología y climatología aeronáuticas.

Los datos que se analizaron pertenecieron a las siguientes estaciones meteorológicas indicadas en la *Tabla 1* y *2*:

Tabla 1. Estaciones meteorológicas con registros anuales de precipitación.

<b>N°</b>	<b>Nombre de la estación meteorológica</b>	<b>Código</b>	<b>Datos disponibles (rango de años)</b>	<b>Años</b>	<b>Altitud (m.s.n.m.)</b>
1	Puyo	M0008	1965-2019	54	956
2	Sangay (P. Santa Ana)	M0041	2004-2014	10	880
3	Rio verde	M0378	1964-2018	54	1529
4	DGAC	-----	1981-2018	37	1043
5	Macas San Isidro Domono	M1040	2008-2019	11	1110
6	Logroño	M0497	1977-2014	37	635
7	Méndez	M0501	1935-2014	79	665
8	San José de Morona Col. Real Audie.	M1265	2014-2015	1	1265

Tabla 2. Estaciones meteorológicas con registros anuales de temperatura.

<b>N°</b>	<b>Nombre de la estación meteorológica</b>	<b>Código</b>	<b>Datos disponibles (rango de años)</b>	<b>Años</b>	<b>Altitud (m.s.n.m.)</b>
1	Puyo	M008	1965-2017	52	956
2	Sangay(P. Santa Ana)	M0041	2004-2015	11	880
4	GDAC	-----	1981-2018	37	1043
5	Macas San Isidro Domono	M1040	2009-2015	6	1110
6	San José de Morona Col. Real Audie.	M1265	2014-2015	1	1265

En la presente investigación se consideró a las variables precipitación y temperatura para relacionar con el ancho de anillos de crecimiento de la especie. Con estos datos se realizó diagramas tipo Walter & Lieth (1964) con la función `diagwl ()` del paquete “climatol” (Guijarro, 2011) en el entorno estadístico R (Figura 7). La estación meteorológica Puyo (M0008) fue usada como referencia para las variables climáticas ya que contenía datos más completos y además estaba ubicada más cerca del sitio de muestreo.

### **3.4. Metodología para obtener el índice de crecimiento anual**

#### **3.4.1. Fase de campo**

Las muestras de madera fueron obtenidas en una comunidad del bosque húmedo de la parroquia Mera mediante una salida de campo, dentro de las prácticas del proyecto “Impacto de las variaciones climáticas en la fijación de carbono en ecosistemas forestales al sur de Ecuador” de la carrera de Ingeniería Forestal en septiembre de 2019. Se realizó una segunda salida de campo una vez aprobado el proyecto de tesis en diciembre del 2019 para tomar las muestras faltantes y las muestras a reemplazar.

##### **3.4.1.1. Selección de individuos y registro de datos**

Para la selección de individuos se realizó una salida de campo, en la que tras recorrer el lugar se seleccionaron los individuos de acuerdo con los siguientes criterios: árboles con mayor diámetro, fustes cilíndricos, buen estado fitosanitario y que se encuentren lo más próximos entre sí. Para la especie *Cedrela nebulosa* se seleccionó un total de 33 individuos.

De cada uno de los árboles seleccionados para la obtención de muestras, se llenó una ficha de información en donde se colocó y evaluó: fecha, hora, número de árbol, código de árbol, código de la muestra, dirección de la muestra (N,S,E,O), especie, sitio, coordenadas X, coordenadas Y, altitud, pendiente, follaje, fructificación, floración, vitalidad, inclinación del fuste, tipo de muestra, circunferencia a la altura del pecho (CAP), diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (HT), altura comercial (HC), luz/cobertura del dosel, comentarios sobre el árbol, copa (dominante, intermedio, suprimido), colector y algún comentario de la muestra (ver Anexo 4) (Figura 10).

FICHA PARA LA COLECTA DE MUESTRAS DE MADERA			
2. Árbol Nro.:	_____	10. Altitud (m. snm.):	_____
3. Código árbol:	_____	11. Pendiente (%)/dirección:	_____
6. Especie:	_____	12. Follaje (%):	_____
7. Sitio:	_____	13. Fruct/Floración :	_____
8. Coordenadas X (long):	_____	14. Vitalidad del árbol:	_____
9. Coordenadas Y (lat):	_____	15. Fuste (Inclinación °) :	_____
		16. Tipo de muestra:	_____
		17. CAP/DAP (cm) :	_____
		18. HT/HC (m) :	_____
		19. Luz / cobertura del dosel (%):	_____
		20. Comentario árbol:	_____
		21. Copa (dom, inter, supr):	_____
		22. Colector:	_____
1. Fecha - Hora	4. Código muestra	5. Dirección de la muestra	23. Comentario muestra
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

Figura 10. Ficha de campo para el registro de información de los árboles muestreados.

### 3.4.1.2. Recolección de muestras de madera

De la especie de estudio se obtuvo tres secciones transversales completas de madera (discos o rodajas) de diferentes individuos, a la altura del DAP (1,30 m) los cuales sirvieron como referencia para la datación de la edad de los demás árboles, cada disco tuvo un alto de 4 a 6 cm aproximadamente. Éstos se obtuvieron desde tocones de árboles ya aprovechados o árboles caídos. La obtención de discos de referencia fue de vital importancia para la calidad de datación y sincronización de datos.

La mayoría de las muestras de *C. nebulosa* fueron obtenidas mediante el uso del barreno de Pressler. Estos barrenos poseen un diámetro mínimo de 5 mm para no causar mayor impacto al individuo seleccionado. En este caso se tomaron muestras con barreno al resto de árboles de los que no se pudo obtener la sección transversal (30 individuos de *C. nebulosa*) (Ver Anexo 12). El montaje, almacenamiento, y etiquetado de muestras se realizó en el campo. Cada una de las muestras se etiquetaron de acuerdo al lugar (Mera), especie (*Cedrela nebulosa*), número de árbol (01, 02...) y dirección de la muestra (N, S, E, O), por ejemplo: MCN01N; MCN33S. Se tomó algunas muestras botánicas para su identificación (Ver Anexo 13 y 17). Todas las muestras, tanto botánicas como de madera fueron movilizadas desde el sitio de colecta hasta el laboratorio de la Universidad Nacional de Loja (Ver Anexo 16).

### 3.4.2. Fase de laboratorio

#### 3.4.2.1. Preparación de muestras (Lijado)

Las muestras de madera que se obtuvieron de la parroquia Mera fueron de 33 individuos (67 núcleos y 3 discos); estas muestras fueron procesadas, es decir, se las dejó secar a temperatura ambiente durante 10 días aproximadamente para los discos y 5 días para los núcleos. En cuanto a los núcleos de madera se los aseguró a un soporte de madera con el uso de pegamento blanco para evitar que las fibras de la muestra generen torsión o se rompan. Una vez secas las muestras, se realizó el lijado a cada una con la finalidad de que los anillos de crecimiento se visualicen.

A continuación, se realizó el protocolo de lijado que va de acuerdo a la especie, en este caso, como fue una nueva especie en el laboratorio, no se tenía un protocolo establecido, por lo que se probó con las diferentes lijas de distinto grano hasta obtener el protocolo de lijado para esta especie que varió de acuerdo con el tipo de muestra (núcleos y discos). En los discos se usó lijas que van desde la lija con grano 60 hasta la 4000, mediante el uso de lijadora rotativa y de forma manual, mientras que para los núcleos inició con lija de grano 240 hasta la 4000. El protocolo usado se muestra en la *Tabla 3*:

Tabla 3. Protocolo de lijado para las muestras de *Cedrela nebulosa*.

Número de Lija	Tipo de Lijado	Secciones transversales	Núcleos de madera
60	Lijadora rotativa (para rebajar)	X	
120	Lijadora rotativa (para igualar y corregir rayaduras)	X	
240	Lijadora rotativa (rebajar y corregir rayaduras)	X	X
360	Lijadora rotativa (corregir rayaduras)	X	X
360	Lijado manual (corregir rayaduras)	X	X
600	Lijadora rotativa (pulir)	X	X
1000	Lijadora rotativa (pulir)	X	X

Número de Lija	Tipo de Lijado	Secciones transversales	Núcleos de madera
1500	Lijadora rotativa (pulir)	X	X
2000	Lijadora rotativa (pulir)	X	
2000	Lijado manual (pulir)		X
2500	Lijadora rotativa (pulir)	X	
2500	Lijado manual (pulir)		X
4000	Lijado manual (pulir)	X	X

### 3.4.2.2. Identificación de patrones de anillos verdaderos

Una vez preparadas las muestras, se seleccionó una muestra de tipo disco, debido a que en ella se visualizó de mejor manera los anillos para identificar el patrón de anillos de crecimiento en la especie de estudio (*C. nebulosa*), para ello se analizaron las muestras e identificaron las características anatómicas más sobresalientes que debe tener la especie (Figura 11a), como estar delimitados por una banda de parénquima marginal, contener poros de mayor tamaño en la madera temprana (anillos porosos), distinguir el engrosamiento de las paredes en las fibras de la madera tardía al finalizar el anillo, lo que permitió una mejor visibilidad de los anillos de crecimiento (Figura 11b).

Para determinar la veracidad de los anillos de crecimiento por lo menos debieron cumplir dos de las siguientes características (Patiño, 2019) (Figura 11):

- Diferencia clara o buen contraste en la coloración entre madera temprana y tardía,
- Presencia de bandas de parénquima marginal,
- Presencia de tilosis en la madera tardía (no muy frecuente) (Figura 11c),
- Poros más grandes y sin tilosis en la madera temprana o en el inicio del anillo de crecimiento.

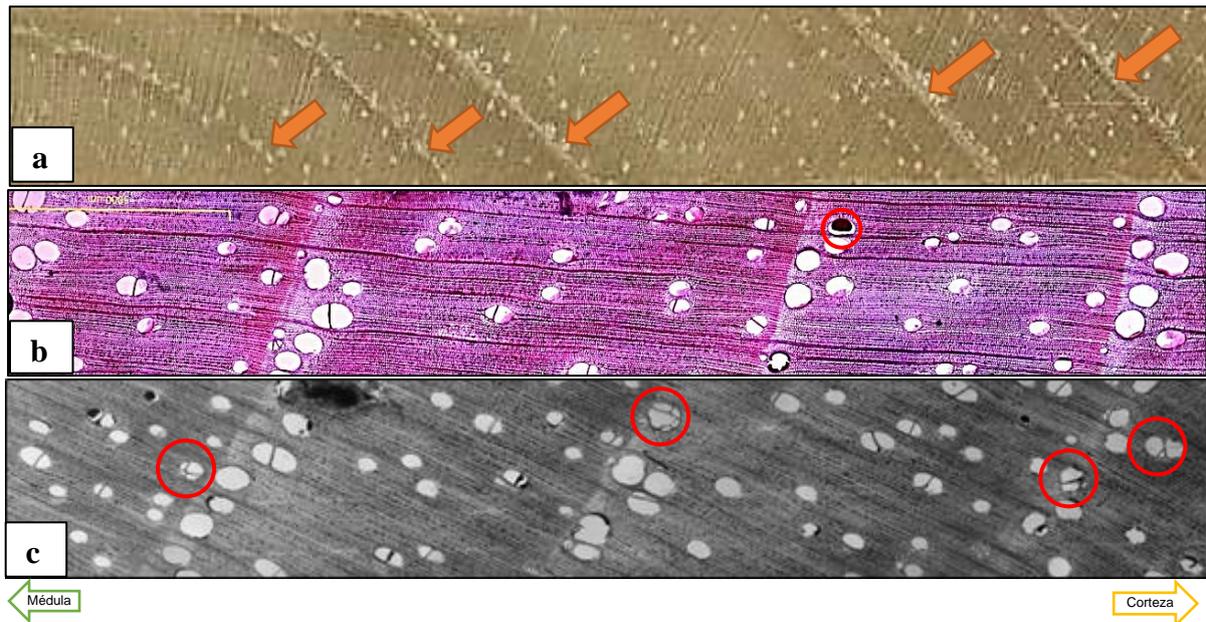


Figura 11. Patrón de anillos de crecimiento de *C. nebulosa*. a) Flechas naranjas indican los bordes de cada anillo de crecimiento. b) Vista microscópica de los anillos de crecimiento en un corte transversal 10 x, el círculo rojo indica la presencia de gomas en un vaso. c) Imagen microscópica indicando en los círculos rojos la presencia de tilosis cerca de los anillos de crecimiento. La flecha verde hacia la izquierda indica la dirección hacia la médula y la flecha amarilla hacia la derecha la dirección hacia la corteza del árbol.

### 3.4.2.3. Señalización de anillos de crecimiento

#### a) Secciones transversales completas (discos):

Para las mediciones se marcaron los anillos en cada uno de los discos, de la siguiente manera (Chalán, 2019) (Figura 12):

- Se identificó la médula y los radios más sobresalientes (4 mínimo)
- Se colocó cinta adhesiva transparente a lo largo de cada radio, desde la médula hasta la corteza.
- Se trazó una línea central continua sobre la cinta de cada radio con marcador de tinta indeleble, desde médula hasta la corteza.
- Mediante el uso del estereoscopio, se identificó cada anillo de crecimiento tomado en cuenta que cumpla los patrones considerados anteriormente.
- Los anillos más visibles se usaron como referencia y se les asignó un código o marca especial, como una letra y un número (Ej. M1, M2, etc.).
- Se marcó cada anillo de forma individual y se verificó que todos los radios tengan el mismo número de anillos entre las marcas de referencia (Figura 12).

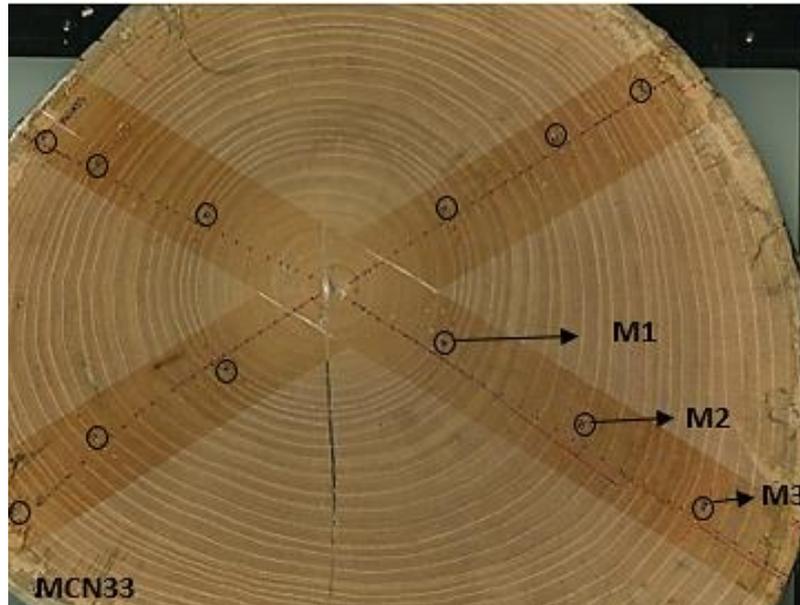


Figura 12. Señalización de anillos de crecimiento de *Cedrela nebulosa* en una sección transversal. M1, M2 y M3 representan los códigos de referencia para el conteo de anillos de crecimiento en la sección transversal.

#### b) Núcleos de madera

Para realizar la medición en este tipo de muestras se marcaron los anillos de los núcleos siguiendo los siguientes pasos (Patiño, 2019) (Figura 13):

- Se colocó cinta masking tape en el soporte del núcleo, junto a la muestra montada (no sobre la muestra).
- Mediante el uso del estereoscopio, se visualizó y marcó el centro de la muestra (médula o el anillo más cercano) y se colocó el número 0 para indicar que ese representa la parte central o la médula.
- Se marcó cada anillo de forma individual. Si todas las muestras atravesaron la médula del árbol, el número de anillos debe ser igual para cada radio de la muestra.

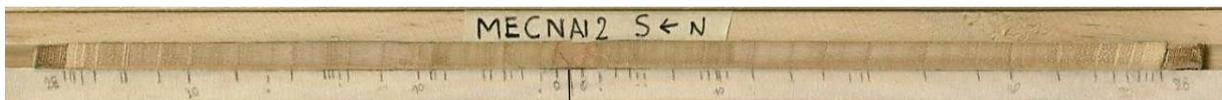


Figura 13. Señalización de anillos de crecimiento de *C. nebulosa* en núcleo.

### 3.4.2.4. Medición de anillos

Para la medición de los anillos se consideró la metodología establecida por Stokes y Smiley (1968), para llevar una correcta identificación de los anillos se registraron o llenaron los metadatos de los principales parámetros de cada muestra medida (Figura 14). Esto se realizó con ayuda del sistema Lintab Pro 6 (Figura 15), que está conformado por la mesa de medición de anillos, el mismo que está compuesto por un estereoscopio y el Software TSAP-Win Pro. Por medio de un estereoscopio con una precisión de 0,01 mm conectado electrónicamente a una platina de base deslizable, se colocó la muestra y se fijó el límite del anillo para la medición, la misma que se inició desde el anillo más cercano a la médula hasta el último anillo formado. El ocular del estereoscopio posee un lente con una cruz el cual se utilizó como base para alinear la dirección de los radios de la madera correctamente, con ello se redujo al máximo la posibilidad de obtener datos erróneos como resultado final. Las muestras con exceso de anillos falsos, poco visibles y en mal estado se excluyeron del estudio.

The screenshot shows a software window titled "Dataset header" with a close button in the top right corner. The window contains a table with columns: Header, Location, Dates, Tree, Timber, Math, Images, Comments, Bibliography, Archeology, Geography, Forestry, and User defined. Below the table, there are several input fields and dropdown menus for data entry. The fields are: Keycode (MCN03AN), Project (Dendro2), Location (MERA), Species (Cedrela nebulosa), Length (41), DateBegin (1979), DateEnd (2019), Sp. name (Cedrela nebulosa), Data type (Ringwidth), Dated (Dated), Unit (1/100 mm), Date begin (1979), Date end (2019), and Comment (MEDIDO POR ANGÉLICA). There are also buttons for "OK" and "Cancel" at the bottom right.

Header	Location	Dates	Tree	Timber	Math	Images	Comments	Bibliography	Archeology	Geography	Forestry	User defined
Keycode	Project		Location					Species	Length	DateBegin	DateEnd	
MCN03AN	Dendro2		MERA						41	1979	2019	

Keycode:  Location:  Key number:

Project:

Species code:  Sp. name:

Tree no.  Length:  Data type:  Dated:

Radius no.  Pith:  Unit:  Date begin:

Core no.  Sapwood:  rings:  Series type:  Date end:

Stem disk no.  Waldkante:  Series starts with:  Series ends with:

Comment:

Figura 14. Registro de datos principales para iniciar la medición de cada muestra.

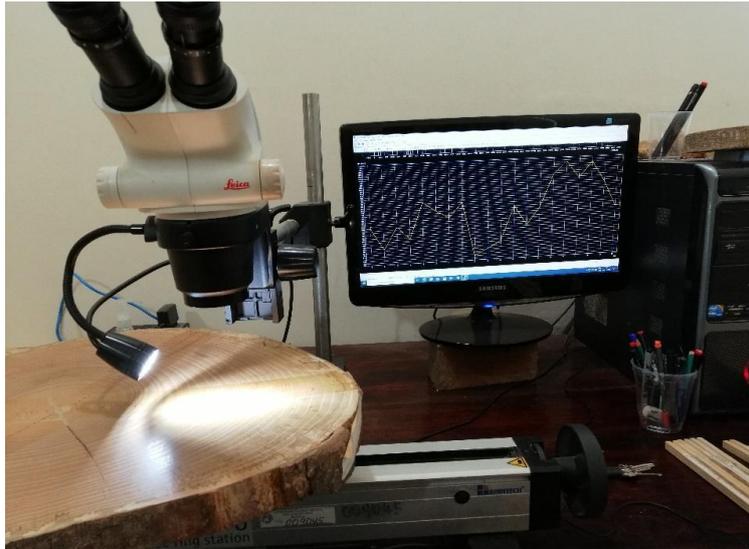


Figura 15. Sistema Lintab Pro 6 para la medición de anillos de crecimiento del Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad Nacional de Loja.

#### **3.4.2.5. Tamaño de la muestra**

A partir de la medición de cada una de las muestras, se realizó el cálculo del número de árboles del sitio de estudio para evaluar la calidad y significación de las cronologías resultantes a partir del estadístico EPS (señal expresada de población) en el entorno estadístico R con el paquete *Dendrochronology Program Library* (dplR). El estadístico EPS es un indicador de la concordancia entre la varianza de cada cronología con la población teórica, es decir, consiste en calcular la similitud o señal común entre varios árboles de una población y se expresa con valores de 0 al 1 tal como una correlación, en cuyo caso un umbral mayor a 0,85 muestra un buen nivel de fidelidad, mientras que lo restante 0,15 representa la varianza cronológica residual. (Bunn, 2008; Lallana-Llorente, 2017).

Dentro del entorno estadístico de R, para verificar el tamaño de muestra a través del EPS, se utilizó la función *Chronology Stripping strip.rwl()* del paquete *Dendrochronology Program Library* (dplR). Esta función selecciona las mejores series temporales con más similitud y analiza el EPS actual (Ver Anexo 5). En este estudio se aplicó el EPS con mediciones de 24 árboles, y con ello se obtuvo los resultados.

#### **3.4.2.6. Sincronización de los anillos de crecimiento**

Para realizar la sincronización de los anillos de crecimiento, se calculó un promedio por cada individuo a partir de las series individuales medidas por cada radio con el Lintab Pro 6, y

conjuntamente con el Software TSAP-Win Pro (Rinn, 2012). Con los 24 promedios, se realizó un análisis de conglomerados y con ello se generó dendrogramas para analizar los árboles por grupos. Esto se realizó con la función *Hierarchical Clustering* “*hclust*” de “*stat*” en el entorno R para agruparlos por su similitud, y así luego seleccionar los árboles que servirían como referencias (Ver Anexo 6). El método de aglomerados que se seleccionó para identificar árboles con mayor similitud fue Ward.D2 debido a que presentó mejor organización de árboles por su similitud (Ver Anexo 7). A partir de estos árboles referentes se sincronizaron uno por uno cada radio de cada individuo arbóreo para que todas las series radiales coincidieran y, con ello, finalmente obtener la cronología maestra de sitio.

#### **3.4.2.7. Procesamiento y análisis de datos**

Para estimar el índice de crecimiento de los árboles de los sitios de estudio, se importaron los valores o series radiales de los anillos de crecimiento en formato Heidelberg (\*.fh) al programa R. A través de la función *Calculate Descriptive Summary Statistics on Ring-Width Series* (*rwl.stats*), se obtuvieron los principales estadísticos descriptivos de cada serie como: edad máxima, mínima, promedio, media, mediana, desviación estándar, sensibilidad y autocorrelación (Ver Anexos 8 y 9).

### **3.5. Influencia de la precipitación y la temperatura en el crecimiento anual**

#### **3.5.1. Estandarización y construcción de cronologías basadas en el ancho de anillos**

Previamente verificadas y sincronizadas las series radiales, y evaluando la longitud de cada serie (en años) se tomó de los 33 árboles solamente 24 (108 radios) que cumplieran con un rango de años mayor a 20, estos datos se agruparon en formato Heidelberg (\*.fh) para importarlos a la plataforma R (Development Core Team, 2008) con el paquete especializado en dendrocronología *Dendrochronology Program Library in R* “*dplR*” (Bunn, 2008).

Para la obtención de la cronología se estandarizó previamente las series individuales, lo cual consistió en la eliminación de las tendencias biológicas y minimizando las variaciones propias del crecimiento que no son comunes en todos los árboles llamado “*detrending*”. Este método se basa en ajustar cada serie de crecimiento en una curva flexible “*spline*” y con ello homogeneizar la varianza y remover los efectos del cambio de la tasa de crecimiento de los árboles debido al aumento de edad (Cook y Holmes, 1986). Se utilizó adicionalmente el paquete “*detrenderR*” para un análisis previo interactivo, y luego el paquete “*dplR*” para aplicar un procedimiento de *detrending* no interactivo con la función *detrender()* y la configuración

de método *spline*, un valor de límite de respuesta de 66% y una longitud de serie con  $n_{yrs}=16$  debido a que los árboles tenían una edad considerable. El spline fue aplicado en función de los mejores resultados obtenidos anteriormente para asegurar una mejor calidad de datos.

A partir de estas series sin tendencia (detrending) se construyeron las cronologías con la función *Chron()* (paquete “dplR”), del cual se obtienen dos cronologías finales: una estándar (preserva la señal de baja frecuencia) y residual (conserva la señal de alta frecuencia contenida en la serie de ancho de anillos). En este estudio se evaluaron ambas cronologías, pero se utilizó la cronología estándar por presentar menor variabilidad interanual (Ver Anexo 10).

### 3.5.2. Análisis estadístico entre la cronología, precipitación y temperatura

Una vez construida la cronología de la especie y procesados los datos climáticos de precipitación y temperatura, se importó todo al programa R en formato *csv*. Luego se procedió a realizar correlaciones simples a través del estadístico de Pearson (95% de confiabilidad) de toda la longitud de las series y correlaciones móviles cada 10 años. Además, se aplicó un estadístico dendrocronológico *Gleichläufigkeit* (GLK) o Test de Signos para mediar la fuerza o relación entre las variables a lo largo del tiempo (Ver Anexo 11).

Para la interpretación de la correlación de Pearson se consideró los siguientes rangos (Martínez *et al.*, 2009):

Valor r	Fuerza de correlación
+/-1 a +/-0.85	Muy fuerte
+/-0,84 a +/-0,50	Fuerte
+/-0,49 a +/-0,30	Moderada
+/-0,29 a +/-0,10	Débil
-0,1 a 0,1	Ninguna o muy débil

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Índice de crecimiento diamétrico anual

Los estadísticos básicos del índice de crecimiento diamétrico anual se presentan en la *Tabla 4*, aquí se muestra que la edad promedio de los árboles de Mera fue de 46 años, la edad máxima se registró en la muestra 26 (MCN26) con un número de 160 años en el periodo de 1860 a 2019, considerando que esta muestra no llegó al núcleo la edad pudo incrementar. La edad mínima fue de 31 años (muestra con núcleo) en el periodo de 1989 a 2019. Estos árboles presentaron un crecimiento radial promedio de 4,38 mm/año y un diámetro promedio de 8,76 mm/año.

La variabilidad que presentaron fue de 1,28 % con una desviación estándar de  $\pm 2,87$  mm. El rango de crecimiento anual varió desde 0,10 hasta 36,74 mm/año. El EPS (*Expressed Population Signal*) para todo el periodo desde 1860 a 2019 fue de 0,34 lo que normalmente se considera que es bajo, no obstante, para un segmento del periodo, es decir desde el año 1960 a 2019 se obtuvo un EPS de 0,54. Finalmente, la sensibilidad fue de 0,37 y la autocorrelación fue de 0,57 para los individuos arbóreos de Mera.

Tabla 4. Resumen de estadísticos del índice de crecimiento diamétrico anual de las mediciones para *Cedrela nebulosa*.

Parámetros	<i>Cedrela nebulosa</i>
Periodo de crecimiento	1860-2019
Edad máxima (años)	160
Edad media (años)	46
Edad mínima (años)	31
Promedio de crecimiento radial o del ancho de anillos (mm/año)	4,38
Promedio del crecimiento en diámetro (mm/año)	8,76
Mediana de crecimiento radial o del ancho de anillos (mm)	3,87
Varianza de ancho de anillos (%)	1,28
Desviación Estándar (mm)	$\pm 2,87$

Parámetros	<i>Cedrela nebulosa</i>
Max. de ancho de anillos (mm)	36,74
Mín. de ancho de anillos (mm)	0,10
Sensibilidad	0,37
Autocorrelación	0,51
<i>Expressed Population Signal</i> (EPS) periodo 1860-2019	0,34
<i>Expressed Population Signal</i> (EPS) periodo 1960-2019	0,54

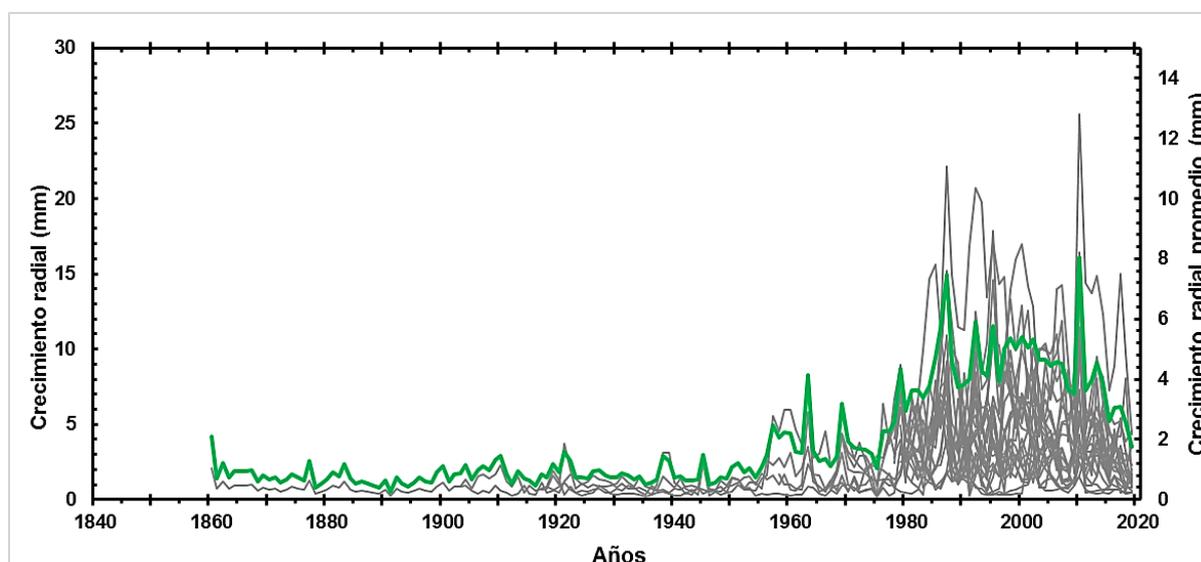


Figura 16. Series individuales del crecimiento radial anual de *Cedrela nebulosa* del sitio Mera. Las líneas en gris representan el crecimiento anual promedio de cada individuo (24 árboles), mientras que la línea en verde es el promedio de todos los individuos.

Al considerar los valores promedios obtenidos de cada serie individual de los árboles de *Cedrela nebulosa* se pudo observar una tendencia de crecimiento en forma de curva sigmoïdal. El crecimiento de los árboles de *C. nebulosa* varió muy poco en los primeros años, desde el año 1860 hasta 1975 en donde se empezó a mostrar que el crecimiento anual formaba picos de mayor crecimiento en los años de 1987 y 2010, a partir de ahí el crecimiento disminuyó (Figura 16) (Ver Anexo 12).

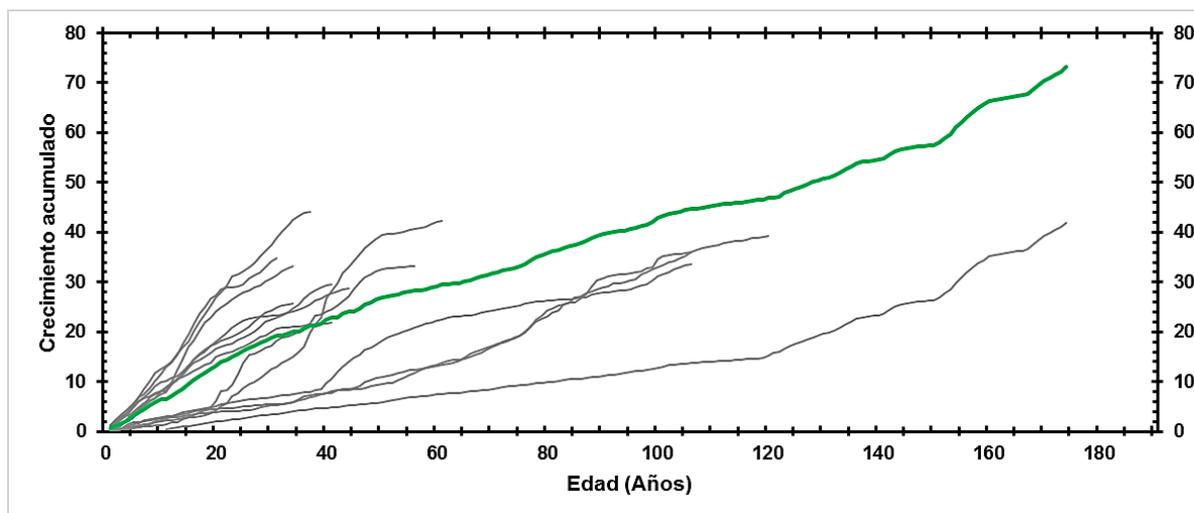


Figura 17. Diámetro acumulado de *Cedrela nebulosa* del sitio Mera en individuos que presentaron médula y del árbol más longevo (sin médula). Las líneas grises representan el diámetro acumulado de árboles individuales (13 árboles) y la línea verde el promedio de todos. En el árbol más longevo se hizo un ajuste a los años faltantes en el inicio de esta serie.

En lo que respecta al crecimiento acumulado en diámetro de *Cedrela nebulosa* (Figura 17) se observa la tendencia que tuvo, su crecimiento fue ascendente continuo. En el año 100, existió un periodo en el que el crecimiento se estabiliza, y posteriormente sigue aumentando manteniendo el mismo patrón de crecimiento. En este gráfico se muestran únicamente las series individuales que tenían médula (12 de 24 árboles) y se agregó un árbol más (MCN26), que es el individuo más longevo, al cual se le interpoló los ~10 primeros anillos faltantes para esta gráfica.

Los árboles analizados para el diámetro acumulado tuvieron un diámetro promedio de 36,33 cm, el máximo diámetro fue de 55,21 cm y el mínimo de 22,87 cm.

#### 4.2. Relación entre el crecimiento anual con las variables climáticas de precipitación y temperatura

Las series cronológicas sin la tendencia de la edad mostraron de una manera más clara las variaciones, años con alto y bajo índices de crecimiento (Figura 18). Hay que aclarar que la mayor cantidad de árboles se encontraron a partir del año 1980 en adelante. En este sitio los años de mayor crecimiento fueron: 1940, 1946, 1959, 1964, 1986, 1993 y 2013, y los de menor crecimiento: 1913, 1937, 1955, 1967, 1976 y 1997.

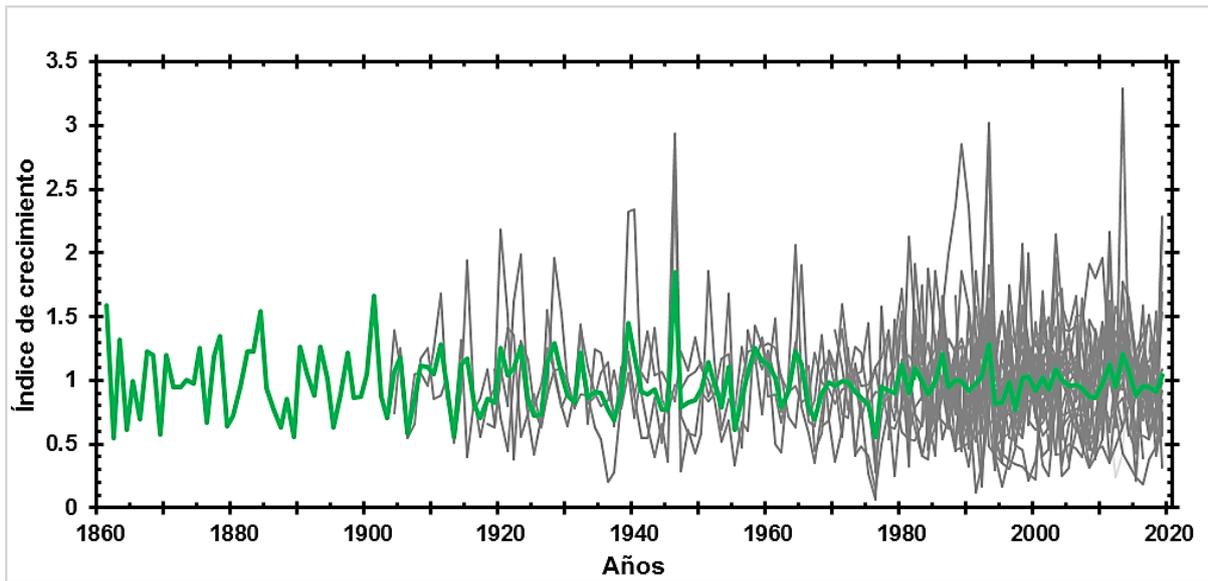


Figura 18. Series cronológicas sin tendencia de edad a través de la función *detrender*( ).

La cronología construida en este estudio mostró una longitud de 160 años (1860-2019), con un claro cambio y mayor número de muestras en los años más recientes (1990-2019) llegando hasta 104 muestras, y para los años más antiguos con un mínimo de 4 muestras.

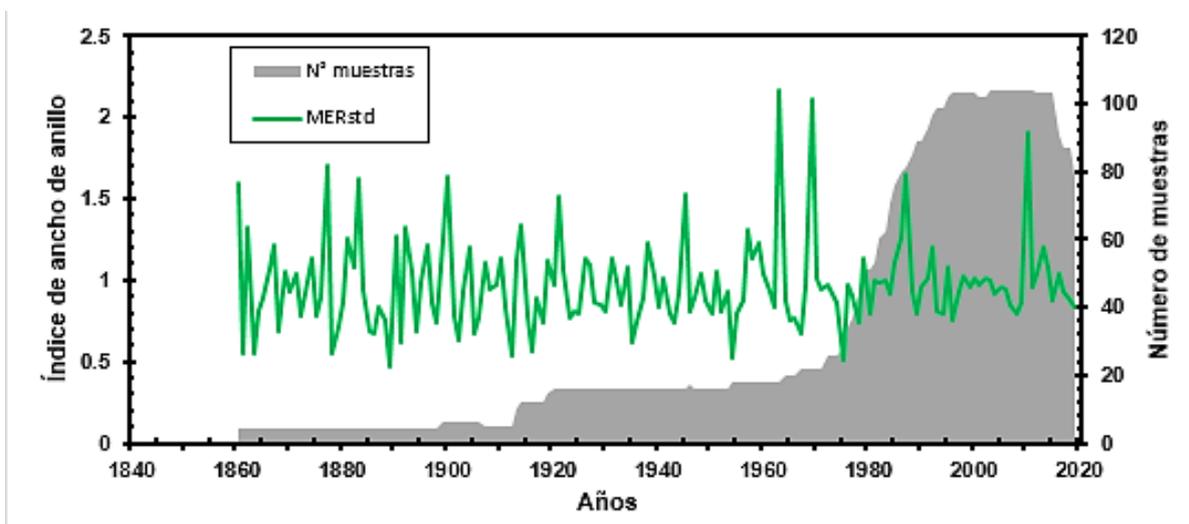


Figura 19. Cronología estándar (línea verde) de *Cedrela nebulosa* en el sitio Mera durante el periodo de 1860 a 2019. El área en gris representa el número de muestras que se utilizó en la cronología.

## Ancho de anillo vs. Precipitación

La relación o influencia de la precipitación sobre el crecimiento anual de *C. nebulosa* se observa en la *Figura 20*. El grado de correlación entre los valores de la cronología estándar del ancho de anillos y los datos de precipitación anual de la estación meteorológica Puyo M0008 se realizó en el periodo de 1965-2019. El análisis con la cronología residual no mostró mayores diferencias con la cronología estándar (Ver Anexo 14).

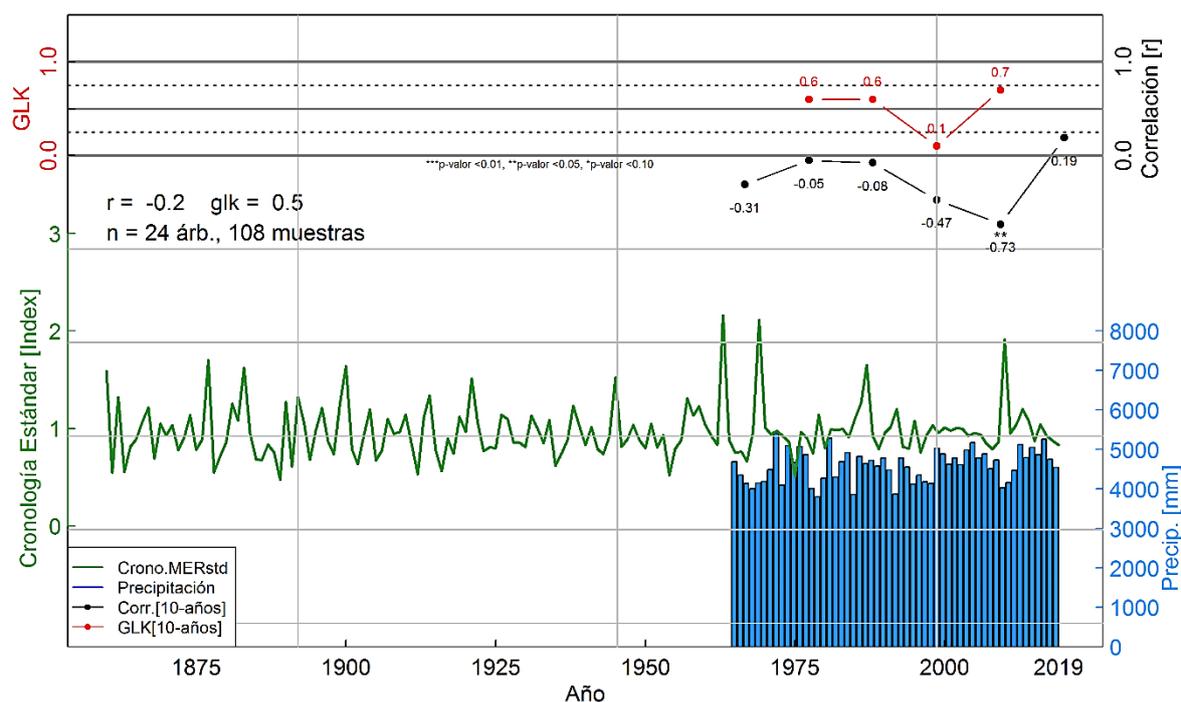


Figura 20. Análisis comparativo de la cronología estándar (línea verde) de *C. nebulosa* y los registros de precipitación anual (barras azules) de la estación meteorológica Puyo (1965-2019). En la parte superior la línea negra representa el coeficiente de correlación de Pearson y la línea roja muestra la correlación con el estadístico Gleichläufigkeit (GLK).

Analizando la *Figura 20*, los árboles obtuvieron como resultado una correlación de Pearson débil y negativa con un  $r = -0,2$  en todo el periodo de crecimiento. En periodos de 10 años se mostraron más detalladamente todas las correlaciones, y de igual manera se obtuvieron resultados negativos ( $r = -0,31$ ;  $r = -0,05$ ;  $r = -0,08$ ;  $r = -0,47$ ;  $r = -0,73$  con un nivel de significancia  $< 0,05$ ) a excepción de la correlación del último periodo (2015-2019) la cual obtuvo una correlación débil positiva de  $r = 0,19$ . El estadístico GKL a diferencia de la correlación de Pearson, mostró valores más altos, en todo el periodo con un valor de 0,5. De forma más detallada, en los periodos de 1975 a 1994 los valores del GKL fueron de 0,6,

disminuyeron en el periodo de 1995 a 2004 hasta un valor GKL = 0,1, y subieron hasta alcanzar un valor GKL= 0,7 en el periodo de 2005 a 2014.

### Ancho de anillo vs. Temperatura

La influencia de la temperatura sobre el crecimiento anual de *C. nebulosa* en Mera se muestra en la *Figura 21*, durante el periodo 1965-2017, al contrario de la precipitación, mostró claramente una correlación positiva entre la cronología estándar y la temperatura anual de la estación meteorológica Puyo M0008. El análisis con la cronología residual fue muy similar y también mostró una correlación positiva (Ver Anexo 15).

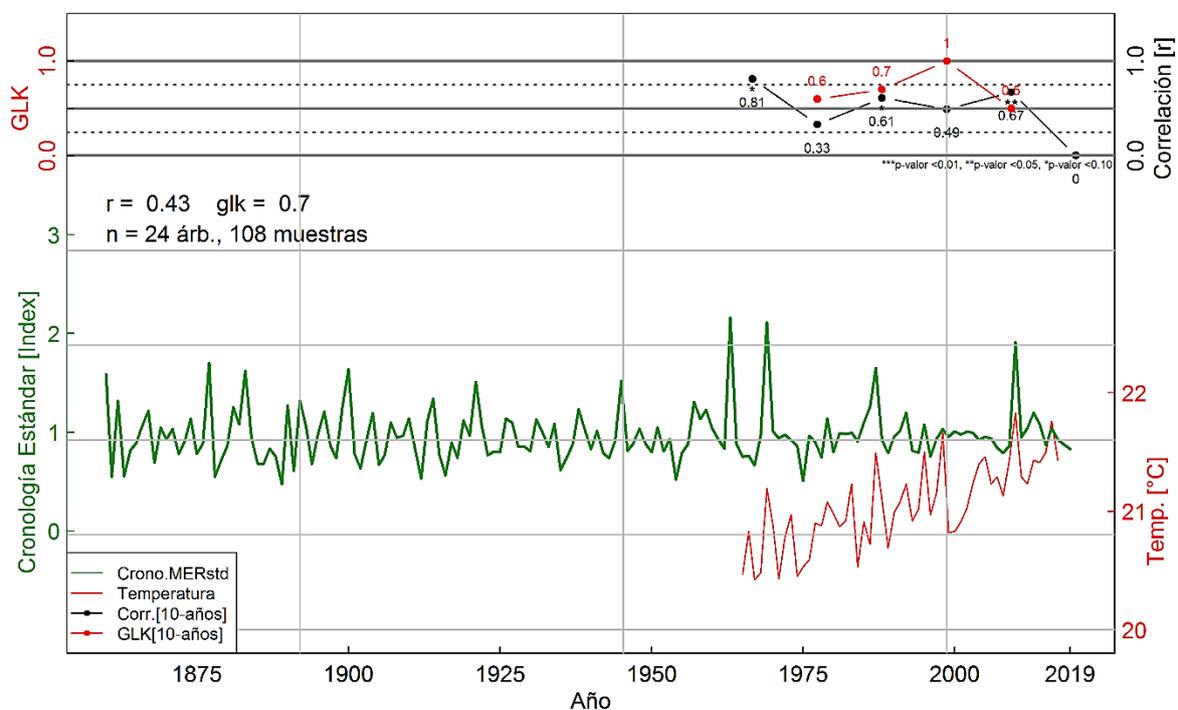


Figura 21. Análisis comparativo de la cronología estándar (línea verde) de *C. nebulosa* y los registros de temperatura anual (línea roja) de la estación meteorológica Puyo M0008 (1965-2017). En la parte superior la línea negra representa el coeficiente de correlación de Pearson y la línea roja muestra la correlación con el estadístico Gleichläufigkeit (GLK) cada 10 años.

Como se muestra en la *Figura 21* los árboles de *C. nebulosa* de Mera, reaccionaron de forma moderada y positiva ( $r = 0,43$ ) con las temperaturas de la estación meteorológica Puyo. De manera más detallada en un análisis cada 10 años se identificaron correlaciones de Pearson en los siguientes tres periodos: de 1965-1974 ( $r = 0,81$  con un nivel de significancia  $< 0,10$ ), 1985-1994 ( $r = 0,61$ ; con un nivel de significancia  $< 0,10$ ), 2005-2014 ( $r = 0,67$ ; con un nivel de

significancia  $< 0,05$ ), todas corresponden a una fuerza de correlación fuerte, solamente en un periodo 1975 -1984 ( $r= 0,33$ ) corresponde a una fuerza de correlación moderada. De la misma forma, el estadístico dendrocronológico Gleichläufigkeit mostró valores altos, todos mayores o iguales a 0,6, alcanzando en el periodo 1985-1994 un GLK de 0,7 y en el periodo de 1995 a 2004 un valor muy alto de 1.

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1. Índice de crecimiento diamétrico anual de *Cedrela nebulosa*

Los estudios sobre anillos de crecimiento en Ecuador y de forma general en Sudamérica son escasos. A medida que ha pasado el tiempo y que se ha hecho más larga la lista de especies cuyos anillos son más visibles e identificables se han incrementado las investigaciones. Los estudios dendroclimáticos en las regiones tropicales y subtropicales con el género *Cedrela* han permitido el desarrollo de la dendrocronología debido a que estas especies presentan la característica de que sus anillos de crecimiento son altamente visibles. Varias especies de *Cedrela* se han utilizado para aplicaciones dendrocronológicas como: *Cedrela fissilis* (clima y manejo forestal), *Cedrela odorata* (isótopos, clima), *Cedrela montana* (isótopos, clima) y *Cedrela angustifolia* (clima, ecología) (Huaman *et al.*, 2018).

En el presente estudio se pudo verificar los anillos anuales que forma la especie, su formación está vinculada directamente a la defoliación anual (Pereyra *et al.*, 2014). En la mayoría de muestras del género *Cedrela* y específicamente en las muestras de *Cedrela nebulosa* de este estudio, los anillos se identificaron con facilidad debido a que la morfología del género *Cedrela* sugiere que se originó en bosques secos fuertemente estacionales (Pennington y Muellner, 2010) y presentan anillos marcados, claramente visibles (Huaman *et al.*, 2018). En algunas muestras se dificultó su identificación ya que los anillos se concentraban en espacios muy estrechos, esto generalmente sucedió desde la parte central de la muestra hacia el núcleo (anillos iniciales) y en los extremos de las muestras (anillos finales) (ver Anexo 12), además de anomalías anatómicas de la madera como anillos faltantes o anillos falsos.

El crecimiento de los árboles es un proceso complejo, depende de varios factores como: radiación, temperatura, contenido de CO<sub>2</sub> del aire, disponibilidad de agua, ciclo de nutrientes, intercambio de gases, energía entre la atmósfera y el suelo, por lo tanto, su variación puede limitar el crecimiento en los árboles. Desafortunadamente no se puede conocer a simple vista cómo afecta cada uno de estos factores al crecimiento, ni la evolución histórica del árbol y qué competencias o perturbaciones tuvo que atravesar en su periodo de vida (Gadow, Sánchez y Álvarez, 2017).

El crecimiento en *Cedrela nebulosa* muestra que varía muy poco al principio, este comportamiento de lento crecimiento se observó claramente en los árboles más longevos de la

cronología (Figura 16), en sus primeros 100 años (1860-1960); sin embargo, en los últimos 40 años (1979-2019) el crecimiento llegó a ser hasta tres veces mayor, mostrando una tendencia de crecimiento parecida a una curva sigmoideal, lo que generalmente ocurre como modelo de crecimiento en especies forestales de bosques tropicales (Instituto Nacional de Bosques, 2014).

El cedro depende de varios factores para su desarrollo, es importante la cantidad de luz que reciba, generalmente reacciona a la competencia como intolerante a las malas hierbas y a la sombra durante y después de su etapa de brinzal, su copa rala y esparcida con un follaje verde claro sugiere que tiene una demanda de luz alta, lo que generará su potencial para un crecimiento rápido (Cintrón, 1990). Por lo que se puede explicar que, para los individuos arbóreos de Mera, su comportamiento en el crecimiento podría también estar relacionado a la competencia que existió en el bosque y que probablemente fue intervenido, por tanto, los árboles suprimidos bajo el dosel tuvieron más luminosidad en sus últimos años lo cual incrementó notablemente su crecimiento.

A pesar de ello, la buena visibilidad de los anillos de crecimiento en esta especie, demuestra que tiene gran potencial para estudios dendroclimáticos, como lo dice Huaman *et al.*, (2018) en su investigación, mencionando que los registros de anillos anuales son sensibles al clima, y tiene un buen potencial para estudios dendroclimáticos, además que genera la posibilidad de reconstruir variaciones climáticas en bosques montanos de los Andes Tropicales.

El patrón de anillos de crecimiento no presentó problemas durante su identificación, incluso en ciertos casos se los podía observar a simple vista, lo que los caracteriza es que están claramente delimitados por una banda de parénquima marginal y poros de mayor tamaño en la madera temprana (anillos porosos). Además se distinguió el engrosamiento de las paredes en las fibras de la madera tardía al finalizar el anillo, lo que permitió que se diferencie la madera temprana y la madera tardía, este patrón coincide con los resultados obtenidos por Huaman *et al.*, (2018) de sus estudios realizados en *C. nebulosa* en Perú.

Para este caso la investigación obtuvo un EPS bajo de 0,34 para toda la cronología (1860-2019), no obstante, para el segmento de 1960 a 2019 que es en el que se encuentran el mayor número de árboles el EPS fue de 0,54 analizado con 24 árboles y 108 series radiales, aunque este valor sigue siendo relativamente bajo en comparación a otros estudios como el realizado

por Huaman *et al.*, (2018) en la misma especie *Cedrela nebulosa* que obtuvo un EPS de 0,91 (13 árboles – 23 series), o la investigación realizada por Pereyra *et al.*, (2014) para conocer la potencialidad de *Cedrela odorata* en estudios dendrocronológicos en Perú obtuvieron un EPS de 0,87 (47 series-27 árboles) y finalmente la investigación realizada en Ecuador por Patiño, (2019), en la que determinó los turnos biológicos de corta en *Cedrela montana* (58 series radiales – 12 árboles) y *Cedrela odorata* (145 series radiales – 35 árboles) en los que resultó un EPS de 0,75 y 0,91 respectivamente. Desafortunadamente la falta de disponibilidad de árboles longevos y la presión antrópica del sitio de muestreo pudieron influir en este resultado.

Es importante indicar que existe un debate sobre la aplicación de EPS para evaluar la idoneidad de los datos de anillos de árboles para la reconstrucción climática, el umbral de 0,85 asignado apareció originalmente como un ejemplo para otro parámetro estadístico utilizado en estudios dendrocronológicos (Submuestra de intensidad de señal SSS) y no debería tomarse como regla para aceptar o rechazar cronologías (Buras, 2017; Wigley y *et al.*, 1984). Para Briceño, Rangel, y Bogino, (2016), el EPS es sensible a las particularidades de cada sitio y por ello generalmente no depende del número de muestras con las que se realiza el análisis, más bien, la correlación se debe a la presión antrópica a la que están expuestos los ecosistemas en donde se realizan las tomas de muestras, que es lo más probable que haya ocurrido con las muestras de la presente investigación, debido a que la mayoría de muestras fueron tomadas de una finca (con silvopasturas), además presentaron una gran variación en la edad de cada árbol lo que se refleja en una disminución en la señal de la población. Esto es un tema de investigación futura que podría prever posibles dificultades en estudios dendroclimáticos.

En la investigación, los árboles más longevos oscilaron entre 102 (MCN24) y 160 años (MCN26). Lamentablemente, algunas muestras no fueron extraídas con médula, elemento clave para determinar su primer año de crecimiento, por lo tanto, para conocer su edad precisa se debe realizar una proyección hasta verificar cuantos anillos faltarían en cada serie hasta llegar a la médula.

El crecimiento radial anual promedio fue de 4,38 mm/año (diámetro 8,76 mm/año). El máximo crecimiento radial que alcanzó *C. nebulosa* fue de 36,74 mm/año (diámetro 73,48 mm/año) y el mínimo obtenido fue de 0,10 mm/año (diámetro 0,20 mm/año). Un estudio realizado con la misma especie, pero bajo diferentes condiciones ambientales (bosque Andino Peruano, 1450 a

2300 m. s. n. m. y 23.5° C) presentó un crecimiento de 3,27 mm/año ( diámetro 6,54 mm/año) (Huaman *et al.*, 2018), resultado que es notablemente menor a la de esta investigación. Otros estudios como el realizado por Patiño, (2019), en *Cedrela montana* y *Cedrela odorata* obtuvieron un crecimiento radial de 2,69 mm/año y 4,27 mm/año respectivamente. Los resultados muestran una ligera diferencia de crecimiento con *C. odorata*.

## **5.2. Dendroclimatología: relación entre el crecimiento anual, la precipitación y la temperatura**

El género *Cedrela* es uno de los más utilizados en la investigación dendroclimática en los trópicos, presenta un amplio rango de distribución y se caracteriza por tener árboles longevos, donde las variaciones en el ancho de los anillos están fuertemente ligadas a las características ambientales (Pereyra *et al.*, 2014).

La calidad de la cronología de *Cedrela nebulosa* se evaluó usando la sensibilidad media que se refiere al grado en el cual uno o más factores casuales se reflejan en una serie de anillos de crecimiento (Schweingruber, 1996) y poder realizar la comparación de la cronología con el clima. Para Chalán, (2019) la sensibilidad refleja el grado de variación que tiene el factor ambiental como factor limitante para el crecimiento de los árboles ya que los anillos presentan una menor variabilidad cuando el árbol no está bajo condiciones de estrés ambiental y la autocorrelación de la cronología indica que el ancho de los anillos de crecimiento no fue influenciado por el crecimiento del año anterior. En este caso *Cedrela nebulosa* obtuvo valores de sensibilidad de 0,37, un valor que va en un rango normal comparado con otras investigaciones hechas en el género *Cedrela* y resultó tener una autocorrelación de 0,51. Mediante condiciones ambientales diferentes y en algunos casos con diferentes especies, estudios dendrológicos han evaluado estos parámetros, para Huaman *et al.*, (2018), en *Cedrela nebulosa* la sensibilidad fue de 0,36 y la autocorrelación de 0,47 y Patiño (2019), en *Cedrela montana* la sensibilidad fue de 0,34 y la autocorrelación de 0,46 en. Por otro lado, para *C. odorata* la sensibilidad fue de 0,34 y autocorrelación de 0,48

En cuanto a la precipitación, *Cedrela nebulosa* obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson negativo de  $r = -0,2$ , lo que representa una relación débil de todo el periodo de crecimiento. Los datos obtenidos revelan que la precipitación no influye de manera significativa en la formación de anillos de crecimiento de *Cedrela nebulosa* de Mera, de hecho, el crecimiento es

contrario a la precipitación, a medida que aumenta la precipitación, el crecimiento disminuye. Por el hecho de que no existe en el sitio una estacionalidad establecida de sequía ni de lluvia contribuye a que la especie no genere respuestas de sensibilidad ante la variable precipitación y la formación de anillos de crecimiento. Debido a que la precipitación está presente todo el año, y por su régimen bimodal los árboles deben encontrarse con la suficiente cantidad de agua para su crecimiento e inclusive saturados de agua.

Una investigación realizada por Baker *et al.*, (2017), busca cuales son los posibles factores de variación en la periodicidad de los anillos en los árboles de especies de *Cedrela*, este estudio dio como resultado que el crecimiento probablemente esté influenciado por la estacionalidad de la precipitación. Por otro lado, en regiones donde ocurren períodos de sequía y lluvia regularmente, se puede ver la influencia de la precipitación de forma más clara, como es el caso de la investigación realizada en bosque seco tropical en el este de Bolivia, resultó que *C. fissilis* era sensible a la precipitación en casi todas las escalas de tiempo analizadas. La tasa de incremento radial estaba relacionada con una respuesta a la disponibilidad de agua (Mendivelso *et al.*, 2016).

Por otro lado, en un estudio realizado en *Cedrela odorata* en Mera el factor de estrés que activa su latencia cambial o la formación de anillos de crecimiento es la precipitación. La correlación obtenida en los meses de abril y mayo con la DGAC es de  $r= 0,05$ , con la estación meteorológica Puyo M0008 es de  $r= 0,25$  y finalmente con datos CRU (Climate Research Unit)  $r= 0,42$  (Carlosama y Herrera, 2019), bastante contrario al resultado de esta investigación.

Respecto a la influencia de la temperatura sobre el crecimiento radial de *Cedrela nebulosa*, se presentó como resultado un coeficiente de Pearson positivo de  $r= 0,43$ , lo que significa que la fuerza de correlación es moderada en todo el periodo de crecimiento con relación a los registros de temperatura de la estación meteorológica Puyo M0008 en el periodo de 1965 a 2017, es decir que la temperatura tiene una influencia importante en el crecimiento de *Cedrela nebulosa* de Mera. La variación de la temperatura por más mínima que sea afecta, siendo un predictor en el crecimiento radial de la especie. Se pudo evidenciar valores altos de  $r$  en un análisis cada 10 años, los valores variaron de la siguiente manera 0,81; 0,33; 0,61; 0,49 y 0,67 (Figura 18). Por ello el aumento o disminución en la temperatura sugiere una sensibilidad ante los cambios

climáticos en esta especie, lo que influye en el crecimiento de esta especie con relación a la temperatura.

En un estudio de dendroclimatología tropical realizado por Carlosama y Herrera, (2019), se obtuvieron resultados similares a los de la presente investigación sobre la relación de la cronología con la temperatura, en los meses de enero y febrero con la DGAC es de  $r = 0,47$ , mientras que en el mes de junio con la estación meteorológica de Puyo M0008 obtuvieron  $r = 0,40$  con los datos CRU (Climate Research Unit) del mes de enero  $r = 0,56$ .

Para Huaman *et al.*, (2018), en su investigación con *C. nebulosa* en Perú, encontraron que la precipitación desencadena el crecimiento de los árboles al comienzo de la temporada de primavera, pero la temperatura parece ser el principal factor de control del crecimiento anual. El estudio se realizó con dos bases de datos, la serie de temperaturas de San Ramón ( $r = 0,57$ ) y ERA-interim ( $r = 0,43$ ) se correlacionan de manera significativa con la cronología de *C. nebulosa*, esto indica una relación positiva entre las temperaturas de verano y el crecimiento de los árboles. Estos datos coinciden con este estudio, al mostrar una correlación similar entre las bases de datos utilizadas.

De la misma forma, en una investigación realizada en Paraná, Brasil en *Cedrela fissilis* sobre el efecto de variables climáticas en el crecimiento de la especie, se logró distinguir un patrón en donde las temperaturas más altas contribuyen a mejorar el crecimiento de los árboles (Marcon *et al.*, 2019). El resultado de la investigación de *C. fissilis* podría estar relacionado con los bosques especialmente sensibles al cambio climático, debido a la larga vida que puede llegar a tener un árbol, no permite una rápida adaptación a los cambios del ambiente y los registra como anillos de crecimiento (Lindner *et al.*, 2010), lo que podría ser una realidad para los árboles de *C. nebulosa* en Mera.

Otros estudios dendrocronológicos realizados con variables climáticas han encontrado a la temperatura como la principal variable que influye en el crecimiento de las especies en bosques templados, pero también en varias especies de Bosques Ombrófilos en la Región Sur de Brasil (Machado *et al.*, 2010; Kanieski *et al.*, 2012, 2013; Cusatis *et al.*, 2013; Andreacci *et al.*, 2014 y Marcon *et al.*, 2019).

Existe la posibilidad de que, en los bosques tropicales y subtropicales, en donde la precipitación es constante y bien distribuida, el aumento en el crecimiento ocurre durante todo el año, sin

embargo, la temperatura y el fotoperiodo pueden promover un estímulo a la formación de anillos de crecimiento para algunas especies, como lo dice Santarosa *et al.*, (2016), en su estudio realizado en *Araucaria angustifolia*, y lo que posiblemente podría ocurrir con los árboles de *C. nebulosa* en Mera.

## 6. CONCLUSIONES

- *Cedrela nebulosa* tiene potencial para estudios dendroclimáticos debido a que forma anillos anuales con alta visibilidad caracterizados por bandas de parénquima marginal, poros de gran tamaño y un engrosamiento en las paredes de las fibras de la madera tardía.
- *Cedrela nebulosa* forma anillos de crecimiento de 4,38 mm/año con una variación de  $\pm 2,87$  mm (desviación estándar), en diámetro crece 8,76 mm/año.
- En el cantón Mera hay árboles de *Cedrela nebulosa* de hasta 160 años de edad con un comportamiento de crecimiento lento al inicio, mayor en los años intermedios y menor al final, formando una tendencia de crecimiento a manera de curva sigmoideal.
- La precipitación es una variable climática importante, pero no limita el crecimiento anual de la especie *C. nebulosa* de Mera. Presenta un  $r = -0,2$  que representa una relación débil y negativa de la cronología con los datos meteorológicos. Al no existir estacionalidad, sino lluvias constantes y regulares todo el año, la especie no genera respuestas de sensibilidad ante esta variable.
- La temperatura si influyó en el crecimiento anual de *Cedrela nebulosa* de Mera con una correlación de  $r = 0,43$ , lo que representa una correlación moderada positiva entre la cronología y los datos de temperatura. El aumento o disminución de la temperatura sugiere sensibilidad ante los cambios climáticos en esta especie, es decir que, al aumentar la temperatura, aumenta el ancho de anillo y viceversa.

## 7. RECOMENDACIONES

- Para realizar un estudio con anillos de crecimiento se debe realizar previamente un análisis anatómico de los anillos anuales.
- Identificar patrones de formación de anillos anuales verdaderos.
- Realizar la identificación de anillos basado en patrones de crecimiento para descartar los anillos falsos.
- Realizar reconstrucciones climáticas con datos dendrocronológicos para desarrollar modelos de predicción del clima, en sitios donde no existen estaciones meteorológicas.
- Realizar un análisis multifactorial con variables ecológicas, geográficas, y de condición de sitio para conocer en qué medida influyen estas variables en el crecimiento de esta especie.
- Ampliar el número de cronologías de *Cedrela* en otros sitios para tener registros históricos más sólidos en nuestra región.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre Z. León N. (2011). Sobrevivencia y crecimiento inicial de especies vegetales en el jardín botánico de la quinta El Padmi, Zamora, Chinchipe. *Arnaldoa* 18(2): 115 - 122. ISSN: 1815 – 8242.
- Aguirre, N., Eguiguren, P., Maita, J., Ojeda, T., Samaniego, N., Furniss, M., y Aguirre, Z. (2017). Potential impacts to dry forest species distribution under two climate change scenarios in southern Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 3(1), 18-29.
- Aguirre, Z., León, N., Palacios, B., y Aguirre, N. (2013). Dinámica de crecimiento de 29 especies forestales en el Jardín Botánico El Padmi, Zamora Chinchipe, Ecuador. *CEDAMAZ*, 3(1), 18-36.
- Alegre, J., García, S., Vega, R., & Arévalo, Y. (2015). *Manual de reciclaje de nutrientes en sistemas agroforestales* (pp. 1–25). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Álvarez, P. y Varona, J. (2006). *Silvicultura*. Editorial Félix Varela. La Habana, Cuba.
- Andreacci F, Botosso PC, Galvão F. (2014). Sinais climáticos em anéis de crescimento de *Cedrela fissilis* em diferentes tipologias de Florestas Ombrófilas do Sul do Brasil. *Floresta*. 44(2): 323-332. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v44i2.27316>.
- Armas, G. (2012). *Estudio de la actividad bacteriana y tóxica del Kuiship (Jacaranda copaia)* (tesis de pregrado). Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Aules, J. (2013). *Estudio Comparativo del contenido nutrimental de los suelos bajo cecropia y economía de sus hojas en bosques de diferentes edades dentro del ecosistema húmedo tropical del Ecuador* (tesis de pregrado). Riobamba: ESPOCH.
- Baker, P. J., Palmer, J. G., & D'arrigo, R. (2008). The dendrochronology of *Callitris intratropica* in northern Australia: annual ring structure, chronology development and climate correlations. *Australian Journal of Botany*, 56(4), 311-320.
- Baker, J. C. A., Santos, G. M., Gloor, M., & Brienen, R. J. W. (2017). Does *Cedrela* always form annual rings? Testing ring periodicity across South America using radiocarbon dating. *Trees*, 31(6), 1999–2009. <https://doi.org/10.1007/s00468-017-1604-9>
- Bampfylde, C.J.; Brown, N.D.; Gavaghan, D.J. & Maini, P.K. (2005). *Modelling rain forest diversity: The role of competition*. *Ecological Modelling*, 188(2-4):253-278.
- Barella, W. (2001). Indicadores ambientais: conceitos e aplicações. São Paulo: EDUC. p. 145-171.

- Barth S., Eibl B. y Montagnini F. (2008). *Adaptabilidad y crecimiento de especies nativas en áreas en recuperación del noroeste de la Provincia de Misiones*. XIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNAM – EEA Montecarlo, INTA. El Dorado, Misiones, Argentina. 16 p.
- Bendix, J. y Beck, E. (2009). Spatial aspects of ecosystem research in a biodiversity hot spot of southern Ecuador – an introduction. *ERDKUNDE*, 63(4), pp.305-308.
- Beltrán, L. (2011). Caracterización anatómica de anillos de crecimiento de especies forestales tropicales maderables con valor comercial para dendrocronología- Selva central. (pp. 1–83). Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Biondi, F; Waikul, K. 2004. DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. (en línea). *Computers & Geosciences* 30:303-311. Recuperado de <http://unr.edu/homepage/fbiondi>.
- Bonan, G. (2008). Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. *Science*, 320(5882), pp.1444-1449.
- Botosso, P., y Póvoa de Mattos, P. (2002). *Conhecer a Idade das Árvores: Importância e Aplicação*. Colombo.
- Botosso, P. C.; Vetter, R. E.; Tomazello Filho, M. (2000). Periodicidade e taxa de crecimiento de árvores de cedro (*Cedrela odorata* L., Meliaceae), jacareúba (*Calophyllum angulare* A. C., Clusiaceae) muirapiranga (*Eperua bijuga* Mart.ex Benth., Leg. Caesalpinoideae).
- Briceño-j, A. M., Rangel-ch, J. O., & Bogino, S. M. (2016). Estudio de los anillos de crecimiento de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken en Colombia. *Colombia Forestal*, 19, 219–232.
- Brienen, R., Schongart, J., & Zuidema, P. (2016). Tree Rings in the Tropics: *Insights into Ecology and Climate Sensitivity of Tropical Trees*. 439-461. doi:10.1007/978-3-319-27422-5\_20
- Brienen, R. J. W., & Zuidema, P. A. (2005b). Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forest: A test for six species using tree ring analysis. *Oecologia*, 146(1), 1-12.
- Brown, A y Pacheco, S. (2006). Ecología y producción del cedro (género *Cedrela*) en las Yungas australes. LIEY-Pro Yungas. Argentina. Pp 9-18.
- Bunn, A. (2008). Dendrochronology Program Library in R (dplR). *Dendrochronology*. 26(2), doi:10.1016/j.dendro.2008.01.002.

- Buras, A. (2017). A comment on the expressed population signal. *Dendrochronologia* 44, 130–132. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.03.005>
- Campozano, L., Célleri, R., Trachte, K., Bendix, J., & Samaniego, E. (2016). Rainfall and Cloud Dynamics in the Andes: A Southern Ecuador Case Study. *Advances in Meteorology*, 2016, 1–15. Recuperado de <https://doi.org/10.1155/2016/3192765>.
- Campozano, L., Trachte, K., Célleri, R., Samaniego, E., Bendix, J., Albuja, C., & Mejia, J. F. (2018). Climatology and Teleconnections of Mesoscale Convective Systems in an Andean Basin in Southern Ecuador: *The Case of the Paute Basin*. *Advances in Meteorology*, 2018, 1–13. Recuperado de <https://doi.org/10.1155/2018/4259191>.
- Carlosama, L., & Herrera, M. (2019). Dendroclimatología tropical sobre la región Amazónica: Mera, Pastaza (tesis de pregrado). Quito- Universidad Politecnica Salesiana (UPS).
- Chalán, M. (2019). Influencia de las precipitaciones sobre el crecimiento anual de *Acacia macracantha* Humb. & Bonpl. ex Willd, en dos sitios de la provincia de Loja (tesis de pregrado). Loja- Universidad Nacional de Loja (UNL).
- Chapman, CA; Valenta, K; Bonnel, TR; Brown, KA; Chapman, LJ. (2018). Solar radiation and ENSO predict fruiting phenology patterns in a 15-year record from Kibale National Park, Uganda. *Biotropica* 50(3):384-395.
- Chávez-Gándara, MP; Cerano-Paredes, J; Nájera-Luna, JA; Pereda-Breceda, V; Esquivel-Arriaga, G; Cervantes-Martínez, R; Cambrón-Sandoval, VH; Cruz-Cobos, F; Corral-Rivas, S. (2017). Reconstrucción de la precipitación invierno-primavera con base en anillos de crecimiento de árboles para la región de San Dimas, Durango, México. *Biotropica* 38(2):387-399. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/bosque/v38n2/art16.pdf>.
- Cusatis AC, Trazzi PA, Dobner Júnior M, Higa AR. (2013). Dendroecología de *Cedrela fissilis* na Floresta Ombrófila Mista. *Pesquisa Florestal Brasileira*. 33(75): 287-297. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4336/2013.pfb.33.75.474>.
- Cintron, B. (1990). *Cedrela odorata* L. Cedro hembra, Spanish cedar. *Silvics of North America*, 2(654), 250.
- Cook, ER; Holmes, RL. (1999). ARSTAN. Arizona USA. 1-81 p.
- Curatola-Fernández, G., Obermeier, W., Gerique, A., Sandoval, M., Lehnert, L., Thies, B. and Bendix, J. (2015). Land Cover Change in the Andes of Southern Ecuador—Patterns and Drivers. *Remote Sensing*, 7(3), pp.2509-2542.

- Détienne, P.; Mariaux, A. (1975). Nature et périodicité des cernes dans le bois de Niangon. *Bois et Forêts des Tropiques, Nogent-Sur-Marne*, n. 159, p. 29-37.
- Díaz, C., Esteller, M., & López, F. (2005). *Recursos hídricos: Conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica*. Montevideo: Piriguazú Ediciones.
- Dünisch, O.; Bauch, J.; Gasparotto, L. (2002). Formation of increment zones and intraannual growth dynamics in the xylem of *Swietenia macrophylla*, *Carapa guianensis* and *Cedrela odorata* (Meliaceae). *IAWA Journal*, Leiden, v. 23, n. 2, p. 101-119.
- Dünisch, O., Montoia, V. R., & Bauch, J. (2003). Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. *Trees*, 17(3), 244-250.
- Dünisch, O. (2005). Influence of the El-Niño southern oscillation on cambial growth of *Cedrela fissilis* Vell. in tropical and subtropical Brazil. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 79(1), 5-11.
- Espinoza, J., Ronchail, J., Guyot, J.-L., Cochonneau, G., Filizola Jr, N., Lavado, W., Vauchel, P. (2009). Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). *International Journal of Climatology*, 29, 1574–1594. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/joc.1791>
- Ferreira, L. (2002). Periodicidade do crescimento e formação da madeira de algumas espécies arbóreas de florestas estacionais semidecíduas da região sudeste do Estado de São Paulo (tesis de maestría) - ESALQ, Piracicaba.
- Fritts, H. (1976). *Tree Rings and Climate*. Arizona: Academic press INC.
- GAD Mera. (2015). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Mera, pp. 1-527
- Gadow, K., Sánchez, S., y Álvarez, J. (2007). *Estructura y crecimiento del bosque*. IUFRO World series. ISBN: 978-84-690-7535-7.
- García, M., Villalba, F., Araguas, L. A., y Rozanski, K. (1998). The role of atmospheric circulation patterns in controlling the regional distribution of stable isotope contents in precipitation: *Preliminary results from two transects in the Ecuadorian Andes*. 127–140. Recuperado de <http://publication/uuid/DB7019D2-6B6B-47C3-B272-6FA99DC3AE06>
- Gómez, P. (2019). *Análisis dendroclimático en el trópico húmedo de Centroamérica* (pp. 1–46). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

- Génova, M. (2003). Los anillos de crecimiento como indicadores climáticos. Guadalajara México. 320 p.
- Gonçalves, G. V. (2007). "Dendrocronología: principios teóricos, problemas prácticos e aplicabilidade". *CIDEHUS*, Universidade de Évora, Portugal, 16 p.
- González-Jaramillo, V., Fries, A., Rollenbeck, R., Paladines, J., Oñate-Valdivieso, F. and Bendix, J. (2016). Assessment of deforestation during the last decades in Ecuador using NOAA-AVHRR satellite data. *Erdkunde*, pp.217-235.
- Grissino-Mayer, H. (2001). Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. Knoxville, Tennessee. 17 p.
- Gutiérrez, E. (2009). La dendrocronología: métodos y aplicaciones. En "Arqueología nautica mediterrània" X. Nieto i M.A. Cau (eds.). Monografies del CASC. Generalitat de Catalunya. pp. 309-322.
- Huaman, E. T. L., Ferrero, M. E., & Lazaro, K. S. P. (2018). *Cedrela nebulosa*: a novel species for dendroclimatological studies in the montane tropics of South America. *Dendrochronologia*. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.06.004>
- Imaña, J., & Encinas, O. (2008). *Epidometría forestal*. Edikapas C.A.
- Instituto Nacional de Bosques. (2014). *Dinámica de crecimiento y productividad de 28 especies forestales en plantaciones en Guatemala*, Serie Técnica No. DT-002(2015).
- Instituto Nacional de Biodiversidad (INABIO). (2019). Perfil de biodiversidad. Recuperado de <http://inabio.biodiversidad.gob.ec/perfil-de-biodiversidad/>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI). (2019). Base de datos climáticos hasta el año 2019.
- Kanieski MR, Longhi-Santos T, Milani JEF, Miranda BP, Galvão F, Botosso PC et al. (2013). Crecimiento diamétrico de *Blepharocalyx salicifolius* em Remanescente de Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Paraná. *Floresta e Ambiente*. 20(2): 197-206. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2013.007>.
- Kanieski MR, Santos TL, Neto JG, Souza T, Galvão F, Roderjan CV. (2012). Influência da precipitação e da temperatura no incremento diamétrico de espécies florestais aluviais em Araucária-PR. *Floresta e Ambiente*; 19(1): 17-25. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.003>.
- Lamprecht, H. (1990). Silvicultura en los Trópicos. *Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ)*, Alemania. 334 pp.

- Lallana-Llorente, V. (2017). Análisis dendroclimático y modelización cartográfica de la respuesta climática de *Fagus sylvatica* en su crecimiento, en un sector de la montaña cantábrica central. *Investigaciones Geográficas*, (67), 193-213. Recuperado de <https://doi.org/10.14198/INGEO2017.67.11>
- López, L., & Villalba, R. (2011). Climate Influences on the Radial Growth of *Centrolobium microchaete*, a Valuable Timber Species from the Tropical Dry Forests in Bolivia. *BIOTROPICA*, 43(1), 41-49.
- Luchi, A. E. (1998). Periodicidade de crescimento em *Hymenaea courbaril* L. e anatomia ecológica do lenho de espécies de mata ciliar (tesis de doctorado). Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Machado SA, Figura MA, Silva LCR, Nascimento RGM, Quirino SMS, Téó SJ. (2010). Dinâmica de crescimento de plantios jovens de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda*. *Pesquisa Florestal Brasileira*; 30(62): 165-170. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4336/2010.pfb.30.62.165>.
- Marcon, A. K., Longhi-santos, T., Galvão, F., Martins, K. G., Botosso, P. C., & Blum, C. T. (2019). Climatic Response of *Cedrela fissilis* Radial Growth in the Ombrophilous Mixed Forest, Paraná, Brazil. *Foresta e Ambiente*, 26. Recuperado de <https://doi.org/e20180361>
- María, V. R. B. (2002). Estudo da periodicidade do crescimento, fenologia e relação com a atividade cambial de espécies arbóreas tropicais de florestas estacionais semidecíduas (tesis de maestría) – ESALQ, Piracicaba.
- Martínez, R., Tuya, L., Martínez, M., Pérez, A., Cánovas, A. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Revista Habanera de ciencias médicas*; 8(2).
- Mattos, P. P. (1999). Identificação de anéis anuais de crescimento e estimativa da idade e incremento anual em diâmetro de espécies nativas do pantanal da Nheconlândia-MS (tesis de doctorado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Mendivelso, H., Camarero, J., y Gutiérrez, E. (2016). Dendrocronología en bosques neotropicales secos: métodos, avances y aplicaciones. *Ecosistemas*, 25(2), 66-75. Recuperado de <http://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1194>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013). Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito.

- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). Corredores de conectividad. Recuperado de Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador website: <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/content/corredores-de-conectividad>.
- Miles, L., Grainger, A., y Phillips, O. (2004). The impact of global climate change on tropical forest biodiversity in Amazonia. *Global Ecology and Biogeography*, 13(6), 553-565.
- Morales, M. S., Christie, D. A., Villalba, R., Argollo, J., Pacajes, J., Silva, J. S., Alvarez, C. A., Llancabure, J. C., & Solíz, C. (2012). Precipitation changes in the South American Altiplano since 1300 AD reconstructed by tree-rings. *Climate of the Past*, 8(2), 653-666. doi:10.5194/cp-8-653-2012
- Morales, M. S., Villalba, R., Grau, H. R., & Paolini, L. (2004). Rainfall-controlled tree growth in high-elevation subtropical treelines. *Ecology*, 85(11), 3080- 3089. doi: 10.1890/04-0139
- Mosandl, R., Günter, S., Stimm, B. and Weber, M. (2008). Ecuador Suffers the Highest Deforestation Rate in South America. *Ecological Studies*, pp.37-40.
- Nacimba, M. (2015). Crecimiento y dendrocronología de *Cedrela odorata* en un bosque de la amazonía ecuatoriana (tesis de pregrado). Quito: PUCE.
- Naturaleza y Cultura Internacional (NCI). (2020). Culturas ancestrales y conservación de bosques nativos. Recuperado de <http://www.naturalezaycultura.org/spanish/htm/ecuador/areas-amazon-shuar.htm>.
- Nieto V. (2005). *Las Diez Especies TOP para Investigación y Desarrollo Forestal*. CONIF y Universidad Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. 20 p.
- Oliveira, J. M. (2007). Anéis de crecimiento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze: bases de dendroecología em ecosistemas subtropicais montanos no Brasil (tesis de doctorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Oliveira, J. M., Santarosa, E., Pillar, V. D., & Roig, F. A. (2009). Seasonal cambium activity in the subtropical rain forest tree *Araucaria angustifolia*. *Trees*, 23(1), 107-115.
- Ortega, M., Tobar, C., & Arellano, M. (2011). Tamaño poblacional, uso del hábitat y relaciones interespecíficas de *Agalychnis spurrelli* (Anura:Hylidae) en un bosque húmedo tropical remanente del noroccidente de Ecuador. *Papéis Avulsos de Zoologia*, 2-3.
- Patiño, S. (2019). Turno biológico de corta para *Cedrela montana* Moritz ex Turcz., y *Cedrela odorata* L. en la reserva biológica San Francisco (Zamora Chinchipe) y en un bosque natural del sector El Tambo (Provincia de Loja) (p. 142) (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja.

- Pennington, T., Muellner, A., & Wise, R. (2010). *A monograph of cedrela (meliaceae)*. Milborne port: dh books.
- Pereyra, M., Inga, G., Santos, M. y Rodríguez, R. (2014). Potencialidad de *Cedrela odorata* (Meliaceae) para estudios dendrocronológicos en la selva central del Perú. *Revista de Biología Tropical*, 62(2), 783-793.
- Pucha-Cofrep, D., Peters, T. y Bräuning, A. (2015). Wet season precipitation during the past century reconstructed from tree rings of a tropical dry forest in Southern Ecuador. *Global and Planetary Change*, 133, pp.65-78.
- Ramírez, J. A., & Del Valle, J. I. 2012. Local and global climate signals from tree rings of *Parkinsonia praecox* in La Guajira, Colombia. *International Journal of Climatology*, 32 (7), 1077-1088. doi: 10.1002/ joc.2335
- Rodríguez, R., Mabres, A., Luckman, B. H., Evans, M., Masiokas, M., & Ektvedt, T. M. (2005). “El Niño” events recorded in dry-forest species of the lowlands of northwest Peru. *Dendrochronologia*, 22(3), 181-186.
- Roig, F. A. (2000). *Dendrocronología en América Latina*. Mendoza: EDIUNC, p. 357-379.
- Salinas, R. (2017). Identidad y tiempo. Esculpir el tiempo, descubrir la identidad: una reflexión en obra de escultura en madera y piedra. Laboratorio de Dendrocronología de Universidad Austral de Chile. 41pp.
- Schöngart, J., Junk, W. J., Piedade, M. T. F., Ayres, J. M., Hüttermann, A., & Worbes, M. (2004). Teleconnection between tree growth in the Amazonian floodplains and the El Niño-Southern Oscillation effect. *Global Change Biology* 10(5), 683-692. doi: 10.1111/j.1529-8817.2003.00754.x
- Schweingruber, F. (1988). *Tree rings: Basics and application of dendrochronology*. D. Reidel Publishing Co. Dordrecht.
- Schweingruber, F. (1993). *Tree rings and environment: Dendroecology*. Paul Haupt Publishing, 602p. Berne, Stuttgart, Vienna.
- Sierra, R. (1999). *Propuesta Preeliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental*. Quito: Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia.
- Segerer, C., y Villodas, R. (2006). *Hidrología: Precipitaciones*. Universidad Nacional de Cuyo.
- Speer, J. (2009). *Fundamentals of Tree-Ring Research*. Indiana State University.
- Suntaxi, E. (2010). Realizar una aproximación dendroclimatológica, en un bosque seco utilizando la especie Guasmo (*Guazuma ulmifolia*) y su relación con la Precipitación y Temperatura en el Período 1974-2007 (tesis de pregrado). Guayaquil: ESPOL.

- Tomazello Filho, M.; Cardoso, N. S. (1999). Seasonal variations of the vascular cambium of teak (*Tectona grandis* L.) in Brazil. VETTER, R. E. (Ed.). *Tree-ring analysis: biological, methodological and environmental aspects*. London: CABI p. 147-154.
- Tropicos.org. (2020). Jardín Botánico de Missouri. *Cedrela*. Recuperado de <http://www.tropicos.org/Name/20400053>.
- Weber, M., Günter, S., Aguirre, N., Stimm, B., Mosandl, R. (2008). Reforestation of abandoned pastures: Silvicultural means to accelerate forest recovery and biodiversity. In: Beck et al. (eds.): *Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador*. Ecological Studies 198, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg: pp 431-441.
- Vetter, R. E.; Botosso, P. C. (1988). Observações preliminares sobre a periodicidade e taxa de crescimento em árvores tropicais. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 18, n. 1/2, p. 189-196.
- Vetter, R. E.; Botosso, P. C. (1989) Remarks on age and growth rate determination of Amazonian trees. *IAWA Bulletin: New Series*, v. 10, n. 2, p. 133-145.
- Vinueza, M. (2012). Ecuador Forestal. Obtenido de Cedro: <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-5-cedro/>
- Villalba, R., Villagra, P. E., Boninsegna, J., Morales, M. S., & Moyano, V. (2000). Dendroecología y dendroclimatología con especies del género *Prosopis* en Argentina. *MULTEQUINA*, 9(2), 1–18.
- Wigley, T.M.L., Briffa, K.R., Jones, P.D. (1984). On the average value of correlated time series with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *J. Clim. Appl. Meteorol.* Recuperado de [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1984\)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2)
- Worbes, M. y Junk, W. J. (1989). Dating tropical trees by means of <sup>14</sup>C from bomb tests. *Ecology*, Tempe, v. 70, n. 2, p. 503-507.
- Worbes, M. (2002). One hundred years of tree-ring research in the tropics-a brief history and an outlook to future challenges. *Dendrochronologia*, 20(1-2), 217-231.
- Zúñiga, C. (2012). *Aplicación de la dendrocronología para evaluar la influencia de la precipitación y la temperatura en el crecimiento de Tectona grandis L.f. procedente del Fundo Génova – Junín* (tesis de pregrado). Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.

## 9. ANEXOS

### Anexo 1. Código R para obtener el diagrama climático de Puyo

```
#####  
##  
## Tesis: Estudio dendroclimático de C. nebulosa T.D.Penn. & Daza  
## en el bosque húmedo del cantón Mera, provincia de Pastaza  
  
## Especie: Cedrela nebulosa  
## Sitios: Mera  
## Tesista: María Angélica Burneo  
## Fecha de creación: "18.06.2020"  
## Actualización: _____  
#####  
  
rm(list = ls()) # clear objects  
graphics.off() # close/clean graphics windows  
  
library(climatol)  
  
## Loading required package: maps  
## Loading required package: mapdata  
  
library(ggplot2)  
  
setwd("D:/Usuario/Angelica/tesis/Angelica_R")  
  
source("diagw12.r") # abrir script actualizado del climatograma  
  
# Run first the below function `diagw12`  
# Diagram dimensions: Width: 550 Height: 500  
#####  
# ABRIR TABLA DE DATOS CLIMATICOS  
PUYO_1965_2017 <- read.table("Datos_climograma02.txt",  
                           header=TRUE, row.names=1, check.names=TRUE, dec=".")  
# PLOT  
diagw12(PUYO_1965_2017, est="PUYO", alt=956, per="1965-2017", mlab="es", shem=  
F, p3line=F)  
  
# GUARDAR PLOT  
png(filename="PUYO M0008-ClimDiagram_1965-2017.png", width = 150, height =  
130, units = "mm", res=400)  
  
diagw12(PUYO_1965_2017, est="PUYO", alt=956, per="1965-2017", mlab="es", she  
m=F, p3line=F)  
dev.off()  
  
#####
```

Anexo 2. Base de datos de precipitación de la estación meteorológica Puyo M0008.

INAMHI PUYO M0008 PERIODO 1965-2019														
LATITUD: 1G 30' 20.40" S					LONGITUD: 77G 57' 29.80"W					ELEVACION: 956.00				
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Suma	Promedio
1965	309.5	207.9	458.7	386.2	412.7	469.5	573.8	353.1	378.7	312.9	546.2	283.2	4692.4	391.0
1966	201.7	348	511.3	555.9	409.4	276.2	279	227.5	361.9	304.6	306.2	563.9	4345.6	362.1
1967	274.2	368.4	353	381.2	204.7	402.6	335.1	314.9	230.2	398.5	383.7	494	4140.5	345.0
1968	411.1	297.8	288.5	392.1	226.2	405.4	345	236	494.8	399.5	294.6	211.2	4002.2	333.5
1969	298.7	248.9	394.8	501.2	358.3	418.8	235.9	470.3	257	429.3	319.2	214.8	4147.2	345.6
1970	334	402.3	362.9	377.9	350.1	333.2	470.5	264.1	265	346.4	342.2	337.5	4186.1	348.8
1971	318.9	350	532.3	500.4	383.9	455.6	321.2	356.5	242	351	331.5	340.8	4484.1	373.7
1972	530.4	302.4	691.1	412.8	462.3	524	507.1	345.4	506.2	403.5	395	320.6	5400.8	450.1
1973	246.1	258.5	281.5	321	432.7	317.6	498.3	435.6	317.2	329.6	375.4	281.3	4094.8	341.2
1974	217.2	249.2	327.9	497	497.9	609.2	506.4	364.1	456.2	534.7	500	335.6	5095.4	424.6
1975	251	314.7	555.9	542	439.6	516.4	376.3	359.8	352.4	315.9	335.2	303.8	4663	388.6
1976	318.9	388.7	454.2	623.2	552.5	647.2	381.9	293.4	356.3	497.9	323.4	229.4	5067	422.3
1977	159.8	331.3	533.9	446.7	433.4	577.3	449.6	363.8	440.1	474.2	271.3	388.2	4869.6	405.8
1978	224.8	262.3	440.7	396	272	538.4	334	340.9	323	410.9	272.3	193.3	4008.6	334.1
1979	74.3	128.2	485.8	330.5	515.4	306.2	291.8	372.5	395	275.2	344.2	277.7	3796.8	316.4
1980	363.1	178	251.1	456	443.5	484.5	229.3	226.1	386.8	428.4	387.9	435.9	4270.6	355.9
1981	397.5	421.2	423.6	544.7	505.4	497.2	530.9	349.3	351.1	296.9	395	573.2	5286	440.5
1982	358.6	319.4	449.7	615.8	358.4	416.1	280.7	337	302.4	285.2	252.6	320.7	4296.6	358.1
1983	338.5	334.8	295	564.1	418.2	429.7	335	187.6	398.9	604	470.2	312.1	4688.1	390.7
1984	413	363.3	503.7	382.2	344.1	402.9	443.1	433.4	435.5	408.8	340.4	451	4921.4	410.1
1985	156.9	88.6	271.5	360.9	500.2	386.5	249.9	385.8	359.8	435.4	388.9	271.1	3855.5	321.3
1986	154.6	346.8	272	761.7	408.2	342.5	326.8	395.1	459.4	426.7	452.9	481	4827.7	402.3
1987	371.5	388.9	302.1	654.1	499.4	461.9	276.5	327.8	267	541.5	275.6	274.5	4640.8	386.7
1988	213.3	570.8	319.5	428.5	563.6	439.7	312.6	191.9	336	578.3	435.1	334.4	4723.7	393.6
1989	359	436.1	480	393.6	445.4	829.2	354.1	264.6	216.3	374	339.2	86.8	4578.3	381.5
1990	330.1	493.6	376.4	470.2	296.7	597.2	407.8	262.9	394.2	460.6	343.9	346.1	4779.7	398.3
1991	324.6	284.1	336.2	516.6	477.2	834.7	269.3	114.7	358	350.4	316.7	297.4	4479.9	373.3
1992	303.8	327.9	272.3	393.2	306.4	275.8	294.4	350.9	332.2	295.8	394.1	318.6	3865.4	322.1
1993	436.5	272.9	583.7	364.9	561.2	395.5	534	428.4	307.7	253.8	326.2	321.1	4785.9	398.8
1994	263.8	256.9	476.6	405.8	575.1	338.6	290.7	290.9	337.9	518.8	374.7	423	4552.8	379.4
1995	222.5	205.2	484.9	254.1	522.7	375	578.4	230.3	343.2	192.9	369.2	341.3	4119.7	343.3

**INAMHI PUYO M0008 PERIODO 1965-2019**

**LATITUD: 1G 30' 20.40" S**

**LONGITUD: 77G 57' 29.80"W**

**ELEVACION: 956.00**

<b>AÑOS</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>
<b>1996</b>	395.9	277.1	274	451.1	382.3	490.4	295.8	182.5	386.9	518.1	387.5	308.6	4350.2	362.5
<b>1997</b>	305	516.2	393.4	398.6	490.1	307.5	210.4	277.3	380.3	217.7	388.8	293.8	4179.1	348.3
<b>1998</b>	181.6	232.8	316.2	727.1	509.8	502.5	334.2	239.3	115	456.8	297	222.6	4134.9	344.6
<b>1999</b>	476.3	334.8	300.3	496.6	464	465.1	347.9	328.2	444.1	379.7	388.9	599.7	5025.6	418.8
<b>2000</b>	333.1	250.5	324.5	497.4	782.3	634.8	442.4	353.6	277.5	328.7	362.2	294	4881	406.8
<b>2001</b>	257.8	400.5	242.6	489.4	426.2	495.7	449.3	227	385.7	584.5	208.8	453.8	4621.3	385.1
<b>2002</b>	319.2	367.2	443.5	494.6	439.6	392.2	624.8	335.4	269.7	388.3	330	375.8	4780.3	398.4
<b>2003</b>	346.9	280.7	371	562.1	529.7	454.7	363.4	230.3	335.7	275.3	398.1	461.8	4609.7	384.1
<b>2004</b>	246.4	144.7	440.7	408.6	738.7	432.4	347.1	255.3	398.6	522.3	642.7	405.9	4983.4	415.3
<b>2005</b>	395.9	557.3	431.2	552.1	384.9	595.1	276.7	202.2	261.5	332	635.6	546.8	5171.3	430.9
<b>2006</b>	334.3	463.7	391.2	572	268.7	349.1	221.1	389.6	488.7	478	323.8	500.6	4780.8	398.4
<b>2007</b>	360.7	167	453	555	518.3	499.1	280.5	436.8	182.3	387.5	582.6	458.5	4881.3	406.8
<b>2008</b>	255.7	381	248.4	430.4	574	432.2	452.5	368.4	361.1	346.1	362.1	295.1	4507	375.6
<b>2009</b>	660.7	369.1	275.8	560.2	350	462	331.3	385.2	283.7	483.5	241	331.6	4734.1	394.5
<b>2010</b>	252.7	370	384.3	461	625.9	340.8	358.2	125.4	145	244.4	292.8	430.7	4031.2	335.9
<b>2011</b>	409.2	423.3	409.2	452.7	307.5	205	342.9	148.8	221.2	383.2	491	364.8	4158.8	346.6
<b>2012</b>	433.9	482.5	567.6	383.8	339.5	389.5	372.7	300.5	125.8	406.5	389.1	278.9	4470.3	372.5
<b>2013</b>	255.8	374.3	524.1	474.6	404.8	508.8	498.4	464.7	366.5	493.7	421.6	332.9	5120.2	426.7
<b>2014</b>	465.5	348.2	525.7	492.9	397.3	288.2	373.9	321	354	479.2	373.5	372.8	4792.2	399.4
<b>2015</b>	464.1	300.2	471.2	739.5	471.1	338.2	485.1	358.3	215.7	362.7	410.4	438	5054.5	421.2
<b>2016</b>	190.7	469	539.4	646.3	564.1	568.7	259.1	238.5	424.4	300.9	419	247.9	4868	405.7
<b>2017</b>	721.6	351.6	575.9	417.1	374.6	533.9	308.6	310.2	386	376.2	445.2	454.2	5255.1	437.9
<b>2018</b>	395.3	227.8	332.5	419.3	514.4	399.5	374.7	487.6	262.8	383.7	562.3	391.6	4751.5	396.0
<b>2019</b>	435.1	418	326.5	469.1	488.4	418.3	303	233.5	352.4	388.3	375.05	335.6	4543.25	378.6

Anexo 3. Base de datos de temperatura de la estación meteorológica Puyo M0008.

INAMHI PUYO M0008 PERIODO 1965-2017													
LATITUD: 1G 30' 20.40" S				LONGITUD: 77G 57' 29.80"W				ELEVACION:		956.00			
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Promedio
1965	20.3	20.6	20.1	20.7	20.6	19.8	19.7	19.8	20.5	21.5	21.4	20.6	20.5
1966	20.9	21.1	21.1	20.7	21.1	20.6	20	20.5	20.7	20.9	21.5	20.9	20.8
1967	20.2	20.2	20.7	20.7	20.5	19.7	19.4	19.8	20.5	20.6	21.6	21.1	20.4
1968	20.2	21.2	20.3	20.7	20	20.1	19.6	20.3	20	20.9	21.2	21.2	20.5
1969	21	21.5	21.8	21.5	21.4	20.9	20.2	20.3	21.4	21.1	21.5	21.7	21.2
1970	21.5	21.5	21	21	20.7	20.5	20	20.3	20.4	21.4	21.3	21	20.9
1971	20.7	20	20.2	20.7	20.5	20.2	19.8	20.1	20.8	20.9	21.1	20.2	20.4
1972	20.3	20.5	20.5	20.7	21.2	20.5	20.2	20.6	20.7	21.6	21.5	21.1	20.8
1973	20.9	21.3	21.6	21.3	20.7	20.8	20.4	20.3	20.8	21.5	21.5	20.5	21.0
1974	20.4	20.5	20.8	20.9	20.6	20.2	19.5	20	20	20.8	21.2	20.5	20.5
1975	19.9	20.5	20.4	21	20.5	20	19.3	20.3	20.7	21.2	21.5	21	20.5
1976	20.5	20.6	20.9	21	20.6	20	19.4	19.8	20.7	21.5	21.1	21	20.6
1977	21.7	20.8	20.8	21.1	20.7	20	20.3	20.8	20.9	21.2	21.4	21.1	20.9
1978	21.4	21.9	21.4	21.3	21.4	20.1	19.7	19.4	20.4	20.9	21.5	21.1	20.9
1979	21.5	21.3	21.2	20.7	21.2	19.9	19.8	21.2	21.1	21.9	21.6	21.5	21.1
1980	21.3	21.9	21	20.9	21.1	20.6	20	20.6	21.1	21	21	21.3	21.0
1981	21.4	20.5	21.4	21.2	21.3	20.4	19.2	20.2	20.5	21.4	21.5	21.4	20.9
1982	21.4	21.3	21.5	21.2	20.8	20.5	20.1	20.2	20.8	20.9	21.3	21	20.9
1983	21.9	21.7	22.1	21.4	21.6	21	20.6	20.4	21	20.8	21.4	20.8	21.2
1984	20.4	20.1	21.1	20.6	20.8	20.4	19.4	20.1	20.5	21.3	21	20.7	20.5
1985	21.8	20.6	21.3	21.7	21.2	19.5	19.5	19.9	20.9	21.7	21.4	21.4	20.9
1986	20.9	20.6	20.7	21.5	21.3	20.3	19.2	20.4	20.5	21	21.2	21	20.7
1987	21.3	21.6	21.8	21.3	21.3	20.9	20.9	21	21.4	22.3	22.1	22	21.5
1988	21.3	21.9	21.6	21.4	20.9	20.5	19.8	20.8	21.1	21.7	21.4	20.8	21.1
1989	19.9	20	20.6	20.8	20.5	20	19.8	20.4	20.9	21.3	22	22.1	20.7
1990	21	21.2	21.2	21.5	21	20.6	19.6	20.6	20.9	21.7	21.4	21.2	21.0
1991	21.7	21.4	21.5	20.9	21.2	21.2	20.2	20	20.9	21.2	21.5	21.3	21.1
1992	21.8	21.5	21.7	21.6	21.7	20.8	20.2	20.7	20.9	21.2	21.5	21.1	21.2
1993	20.8	20.9	20.7	21.2	21.5	20.6	20.1	20.4	20.8	20.9	21.7	21.4	20.9
1994	21.3	21	21.2	21.1	20.8	20.5	20.1	20.5	21.2	21.6	21.6	21.3	21.0
1995	21.5	22	21.5	21.8	21	21.2	21	21.4	21.6	21.8	21.7	21.5	21.5
1996	20.4	20.8	20.9	21.5	21.2	20.5	20	20.5	21.4	21.3	21.9	21.2	21.0
1997	21.4	20.4	21.2	21.1	20.6	21.1	20.3	20.9	21.6	22.3	21.5	21.5	21.2
1998	22.1	22.5	22	22.2	21.8	20.8	20.6	21.2	21.4	21.7	22	21.6	21.7
1999	20.9	20.8	21.4	20.5	20.5	20.5	19.8	20.4	21.2	20.8	21.6	21.4	20.8
2000	20.9	21	20.8	20.7	20.8	20.4	19.8	20.2	20.9	21.5	21.9	21	20.8
2001	20.7	20.8	20.9	20.8	21.1	19.8	20.2	20.4	20.8	21.8	21.9	21.7	20.9
2002	21.2	21.1	20.9	21.3	21.1	20.5	20.3	20.9	21.3	21.4	21.3	21.1	21.0
2003	21.3	21.7	21.2	21.5	20.8	20.8	20.3	20.6	21.2	22.3	21.7	21.3	21.2

**INAMHI PUYO M0008 PERIODO 1965-2017**

**LATITUD: 1G 30' 20.40" S**

**LONGITUD: 77G 57' 29.80"W**

**ELEVACION: 956.00**

<b>AÑOS</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>Promedio</b>
<b>2004</b>	22.3	21.8	21.6	21.7	21.6	20.5	20.6	20.5	20.9	21.7	22	21.6	21.4
<b>2005</b>	22	21.7	21.6	21.6	21.9	21.3	20.4	20.8	21.3	21.5	21.9	21.5	21.5
<b>2006</b>	21	21.4	21.1	21.5	20.8	20.6	20.6	21.1	21.2	22.3	21.6	21.5	21.2
<b>2007</b>	21.5	22.2	21.5	21.6	21.5	20.3	20.8	21.2	20.7	21.5	21.3	21.4	21.3
<b>2008</b>	21	20.7	21	21.2	20.7	20.7	20.5	21.2	21.3	21.8	22	21.5	21.1
<b>2009</b>	20.7	20.6	21.4	21.4	21.5	20.8	21	21.2	21.8	22.4	22.5	21.9	21.4
<b>2010</b>	22.2	22.6	22.4	22.1	21.7	21.2	21	21.6	21.7	22.1	22	21.4	21.8
<b>2011</b>	21.4	21.1	21	21.7	21.2	21	20.5	21.4	21.1	22	21.8	21.3	21.3
<b>2012</b>	21	20.7	20.8	21.6	21	21	20.7	21.1	21.1	22	22.2	21.6	21.2
<b>2013</b>	21.6	21.1	21.9	21.7	21.5	20.8	20.4	20.7	21.4	21.9	22.3	21.8	21.4
<b>2014</b>	21.5	21.5	21.4	21.4	21.8	21	20.7	21	21.4	21.7	21.8	21.7	21.4
<b>2015</b>	20.8	21.5	21.2	21.3	21.2	21	20.8	21.6	22.3	22.6	22.2	21.5	21.5
<b>2016</b>	22.6	21.8	22.1	22.1	21.7	20.8	20.6	21.3	21.4	22.4	22.5	21.8	21.8
<b>2017</b>	20.9	21.3	21.2	21.8	21.6	21.4	20.7	21.4	21.8	21.5	21.8	21.8	21.4

Anexo 4. Base de datos de los árboles muestreados de *Cedrela nebulosa* en Mera.

<b>Número</b>	<b>Cod. Muestra</b>	<b>Coordenadas x (Long)</b>	<b>Coordenadas y (Lat)</b>	<b>Altitud (m. s. n. m)</b>	<b>DAP (cm)</b>
<b>1</b>	MCN01	827973	9844195	1211	41.38
<b>2</b>	MCN02	828006	9844214	1195	51.38
<b>3</b>	MCN03	827978	9844955	1183	32.79
<b>4</b>	MCN04	827977	9844259	1210	32.15
<b>5</b>	MCN05	827998	9844262	1241	42.65
<b>6</b>	MCN06	827997	9844270	1163	33.10
<b>7</b>	MCN07	827981	9844299	1179	35.01
<b>8</b>	MCN08	827962	9844293	1203	26.41
<b>9</b>	MCN09	828087	9844323	1221	48.70
<b>10</b>	MCN10	828088	9844391	1214	61.43
<b>11</b>	MCN11	828064	9844362	1210	38.52
<b>12</b>	MCN12	828236	9844466	1244	25.78
<b>13</b>	MCN13	828254	9844484	1214	50.29
<b>14</b>	MCN14	828256	9844442	1229	36.61
<b>15</b>	MCN15	828261	9844460	1205	37.56
<b>16</b>	MCN16	828261	9844428	1225	41.10
<b>17</b>	MCN17	828286	9844478	1339	31.51
<b>18</b>	MCN18	828307	9844495	1227	51.56
<b>19</b>	MCN19	828303	9844468	1208	41.38
<b>20</b>	MCN20	828419	9844439	1218	93.27
<b>21</b>	MCN21	828330	9844488	1235	29.13
<b>22</b>	MCN22	828507	9844771	1152	53.16
<b>23</b>	MCN23	828306	9844433	1214	30.56
<b>24</b>	MCN24	828307	9844495	1227	44.00
<b>25</b>	MCN25	828679	9844791	1186	44.56
<b>26</b>	MCN26	828717	9844845	1167	48.38
<b>27</b>	MCN27	828146	9844429	1254	38.20
<b>28</b>	MCN28	828169	9844438	1253	38.20
<b>29</b>	MCN29	828186	9844537	1221	31.83
<b>30</b>	MCN30	828168	9844530	1222	28.65
<b>31</b>	MCN31	821165	9838349	1198	34.06
<b>32</b>	MCN32	821165	9838349	1166	38.21
<b>33</b>	MCN33	827900	9844438	1178	48.70

## Anexo 5. Código para obtener el EPS (Señal expresada de la población).

```
#####  
## Tesis: Estudio dendroclimático de Cedrela nebulosa T.D.Penn. & Daza en el  
## bosque húmedo del cantón Mera, provincia de Pastaza, Ecuador.  
## Especie: Cedrela nebulosa  
## Sitios: Mera  
## Tesista: María Angélica Burneo  
## Fecha de creación: "01.06.2020"  
## Actualización: _____  
#####  
  
rm(list=ls()) # Limpiar espacio de trabajo  
#graphics.off() # Limpiar área de gráficos  
# Ctrl + L # Limpiar consola  
  
#####IMPORTACION DE DATOS  
# Fijar la carpeta de trabajo  
setwd("D:/Usuario/Angelica/tesis/Angelica_R")  
  
library("dplR")  
  
#####IMPORTAR MEDICIONES TSAPWIN FORMATO FH  
data.es <- read.fh("MCN_TODOS.fh")  
  
#####  
# CALCULAR EL EPS (Expressed Population Signal) PARA COMPROBAR SI EL NÚMERO DE  
# MUESTRA ES SUFICIENTE  
# EPS (Expressed Population Signal) para determinar tamaño de muestra  
  
##### ANALISIS PREVIO para excluir muestras que no contribuyen al EPS  
data.cn.strip <- strip.rwl(data.cn, ids=data.cn.ids, verbose = TRUE)  
  
matplot(data.cn, type = "l") # todas la series  
matplot(data.cn.strip, type = "l") # series filtradas  
  
data.cn.strip.DETind <- detrend(data.cn.strip, method = "Spline", nyrs = 16, f = 0  
.5, pos.slope = TRUE)  
  
data.cn.strip.ids <- read.ids(data.cn.strip, stc = c(1, 4, 3))  
  
##### Calcular estadísticos (EPS) por periodos cada 5 años  
  
cn.eps.strip.stats <- rwi.stats.running(data.cn.strip.DETind, prewhiten = FALSE, i  
ds = data.cn.strip.ids,  
window.length = 10, window.overlap = 0)  
  
cn.eps.stats <- rwi.stats.running(data.cn.DETind, prewhiten = FALSE, ids = data.cn  
.ids,  
window.length = 10, window.overlap = 0)  
  
mean(cn.eps.stats$eps) # Cuando el valor es mayor 0.75 la muestra es suficiente  
dev.off()  
  
#####
```

## Anexo 6. Código R para generar dendrogramas para Mera.

```
#####  
# Tesis:Estudio dendroclimático de CedreLa nebulosa T.D.Penn. & Daza  
# en el bosque húmedo del cantón Mera, provincia de Pastaza, Ecuador  
# María Angélica Burneo  
# Análisis dendrocronológico  
# Director: Darwin Pucha Cofrep  
# Fecha: 07/02/2020  
# Codificado por: María Angélica Burneo  
#####  
  
rm(list = ls()) # Limpiar o resetear área de trabajo  
graphics.off() #Limpiar área de gráficos  
  
#####Fijar carpeta de trabajo  
  
setwd("D:/Usuario/Angelica/tesis/Angelica_R/Dendrogramas")  
  
#####Importar datos  
library("dplR")  
  
mcn.mean <- read.fh("MCN_SINGLE_MEANS.fh")  
  
#####Visualizacion de series  
  
spag.plot(mcn.mean, sfac=0.01)  
  
seg.plot(mcn.mean)  
  
#####Dendrogramas  
#mcn.mean2 <- mcn.mean[, -c(1:3,7,13,15,16,18,33,24)]#Eliminar columnas  
de árboles jóvenes  
#seg.plot(mecn.mean2)  
mcn.mean <- mcn.mean[complete.cases(mcn.mean),]#Remover valores blanco  
  
#####Convertir datos a matriz  
matplot(mcn.mean, type = "l") # Graficar datos  
mcn.mean2 <- scale(mcn.mean, scale = TRUE, center = TRUE ) #Normalizar dat  
os  
matplot(mcn.mean2, type = "l")  
  
#####Transponer datos  
mcn.mean2 <- t(mcn.mean2)  
  
#####Distancias y clusters jerargicos  
distance <- dist(mcn.mean2, method = "euclidean")  
  
HC_method <- c("complete", "single", "average", "median", "ward.D", "ward.  
D2", "centroid", "mcquitty")
```

```

HC_methodName <- c("clusterCm", "clusterS", "clusterA", "clusterM", "clusterW", "clusterW2", "clusterCt", "clusterMQ")

##### H.Clusters
for (i in 1:8) {assign(paste("H_", HC_methodName[i], sep=""), hclust(distance, method = HC_method[i])) }

HC_List <- list(H_clusterCm, H_clusterS, H_clusterA, H_clusterM, H_clusterW, H_clusterW2, H_clusterCt, H_clusterMQ)

##### as.dendrogram
for (i in 1:8) {assign(paste("dend1_", HC_methodName[i], sep=""), as.dendrogram(HC_List[[i]])) }
dend1_List <- list(dend1_clusterCm, dend1_clusterS, dend1_clusterA, dend1_clusterM, dend1_clusterW, dend1_clusterW2, dend1_clusterCt, dend1_clusterMQ)

##### Getting only the dendrograms

pdf("Dendrogramas_Cedro_Mera.pdf", onefile=TRUE, paper="a4r", width=0, height=0)

par(mar=c(10, 3, 4, 2))
for (i in 1:8) {

  plot(dend1_List[[i]], main = paste("Dendrogramas CedreLa nebulosa [Mera]", "\nHierarchical Cluster Method: ", HC_method[i] ))}

dev.off()

#####

```



Anexo 8. Base de datos estadísticos de los árboles de *Cedrela nebulosa* de Mera.

N°	series	first	last	year	mean	median	stdev	skew	gini	ar1
1	MCN03AN	1981	2019	39	3.12	2.75	1.80	0.66	0.32	0.38
2	MCN03AS	1981	2019	39	3.80	3.05	2.69	0.90	0.38	0.55
3	MCN03BE	1987	2019	33	3.46	3.34	2.02	0.63	0.32	0.29
4	MCN03BO	1987	2019	33	3.12	2.83	2.01	1.03	0.34	0.47
5	MCN04AN	1979	2019	41	3.13	2.85	1.86	0.52	0.33	0.55
6	MCN04AS	1992	2019	28	2.97	2.72	1.37	0.10	0.26	0.47
7	MCN04BE	1980	2019	40	2.91	2.75	1.34	0.33	0.26	0.28
8	MCN04BO	1980	2019	40	2.74	2.72	1.50	0.92	0.30	0.09
9	MCN05AN	1990	2019	30	5.68	5.88	2.63	0.02	0.26	0.38
10	MCN05AS	1990	2019	30	6.08	6.59	2.70	-0.07	0.24	0.50
11	MCN05BE	1989	2019	31	4.99	5.13	2.29	0.13	0.25	0.45
12	MCN05BO	1989	2019	31	6.31	6.19	3.14	0.22	0.27	0.63
13	MCN07AN	1988	2019	32	3.73	3.59	1.68	0.29	0.25	0.20
14	MCN07AS	1979	2019	41	3.35	2.64	2.03	0.85	0.33	0.41
15	MCN07BE	1987	2019	33	3.68	3.52	1.86	0.39	0.28	0.23
16	MCN07BO	1987	2019	33	4.25	3.51	2.01	0.76	0.26	0.29
17	MCN08AN	1980	2019	40	3.29	3.03	2.20	1.05	0.36	0.31
18	MCN08AS	1980	2019	40	2.65	2.81	1.94	0.81	0.40	0.66
19	MCN08BE	1984	2019	36	3.05	2.94	2.10	0.84	0.37	0.52
20	MCN08BO	1984	2019	36	2.09	1.72	1.62	0.88	0.42	0.69
21	MCN09AN	1987	2015	29	7.04	6.89	4.73	2.20	0.31	0.54
22	MCN09AN2	1993	2015	23	6.46	7.05	3.57	0.31	0.31	0.87
23	MCN09AS	1986	2015	30	5.51	5.50	2.34	-0.32	0.24	0.74
24	MCN09AS2	1993	2015	23	4.72	4.65	2.62	0.04	0.31	0.74
25	MCN09BE	1983	2015	33	4.02	3.48	2.55	1.18	0.33	0.44
26	MCN09BE2	1958	2015	58	2.94	2.47	2.41	1.64	0.42	0.49
27	MCN09BO	1983	2015	33	6.11	4.94	5.04	1.55	0.42	0.53
28	MCN09BO2	1958	2015	58	4.04	2.81	3.56	1.58	0.45	0.58
29	MCN10AN	1996	2019	24	10.10	8.27	6.62	0.37	0.36	0.43
30	MCN10AS	1997	2001	5	10.48	11.06	2.09	-0.11	0.10	0.37

N°	series	first	last	year	mean	median	stdev	skew	gini	ar1
31	MCN10BN	1987	2011	25	12.80	12.08	8.84	0.68	0.38	0.55
32	MCN10BS	1897	2019	33	5.49	4.53	4.33	0.75	0.43	0.49
33	MCN10CE	1994	2019	26	6.41	3.98	5.40	0.77	0.45	0.80
34	MCN10CE2	1992	2019	28	6.37	4.13	4.91	0.89	0.41	0.78
35	MCN10CO	1994	2019	26	7.07	6.71	4.63	0.41	0.36	0.62
36	MCN10CO2	1992	2019	28	6.64	5.39	4.67	0.63	0.38	0.65
37	MCN11AN	1980	2016	37	4.41	3.57	3.75	0.91	0.46	0.51
38	MCN11AS	1980	2016	37	3.41	2.45	2.72	0.81	0.43	0.38
39	MCN11BE	1978	2016	39	4.13	4.40	3.22	0.24	0.44	0.79
40	MCN11BO	1978	2016	39	3.55	2.83	3.23	0.89	0.49	0.77
41	MCN13AN	1984	2019	36	6.55	5.50	4.25	0.36	0.37	0.73
42	MCN13AS	1984	2019	36	5.02	4.37	3.17	0.42	0.35	0.69
43	MCN13BE	1984	2019	36	4.50	4.22	2.77	0.60	0.34	0.48
44	MCN13BO	1984	2019	36	5.18	5.06	3.73	0.27	0.41	0.49
45	MCN16AN	1984	2019	36	3.11	3.17	2.37	0.50	0.42	0.64
46	MCN16AS	1984	2019	36	3.69	3.25	3.26	1.06	0.47	0.55
47	MCN16BE	1985	2019	35	5.67	4.88	4.60	0.98	0.44	0.62
48	MCN16BO	1985	2019	35	4.38	4.36	3.21	0.43	0.41	0.58
49	MCN18AN	1977	2019	43	4.85	4.23	2.67	0.47	0.30	0.60
50	MCN18AS	1977	2019	43	4.52	4.28	2.51	0.70	0.30	0.67
51	MCN18BE	1969	2019	51	5.06	4.84	3.01	0.62	0.33	0.48
52	MCN18BO	1969	2019	51	4.29	4.12	2.45	0.38	0.32	0.37
53	MCN19AN	1996	2018	23	6.01	4.40	3.77	0.85	0.33	0.60
54	MCN19AS	1996	2018	23	5.18	4.20	3.75	1.64	0.34	0.61
55	MCN19BE	1986	2018	33	5.91	4.72	3.88	1.17	0.34	0.61
56	MCN19BO	1986	2018	33	4.64	3.74	2.76	0.90	0.31	0.45
57	MCN20AO	1980	2019	40	12.72	12.94	6.83	0.90	0.29	0.42
58	MCN20B0	1979	2019	41	12.74	13.09	7.28	0.81	0.31	0.47
59	MCN20CN	1981	2018	38	10.41	10.27	4.59	0.27	0.25	0.53
60	MCN20DN	1983	2018	35	11.37	10.73	5.31	0.14	0.26	0.52
61	MCN21AN	1987	2019	33	4.69	4.75	2.53	0.56	0.29	0.13

N°	series	first	last	year	mean	median	stdev	skew	gini	ar1
62	MCN21AS	1987	2019	33	3.25	2.69	2.10	1.02	0.34	0.61
63	MCN21BE	1993	2019	27	3.63	3.42	1.98	0.64	0.30	0.47
64	MCN21BO	1993	2019	27	4.10	4.02	2.18	0.02	0.30	0.52
65	MCN22ANO	1903	2019	117	1.96	1.59	1.45	0.77	0.41	0.51
66	MCN22ASE	1903	2019	117	1.49	1.06	1.30	1.43	0.45	0.63
67	MCN22BNO	1974	2019	46	2.99	1.94	2.66	0.92	0.48	0.73
68	MCN22BSE	1974	2019	46	2.29	2.05	1.48	1.09	0.34	0.41
69	MCN24AN	1918	2019	102	2.03	1.29	2.12	1.84	0.51	0.73
70	MCN24AS	1918	2019	102	1.58	1.27	1.42	2.12	0.43	0.54
71	MCN24BE	1923	2019	97	1.93	1.21	2.11	2.66	0.49	0.36
72	MCN24BO	1923	2019	97	1.53	1.13	1.49	2.32	0.46	0.37
73	MCN25AN	1917	2019	103	1.64	1.25	1.40	1.91	0.43	0.47
74	MCN25AS	1917	2019	103	1.55	0.92	1.44	1.47	0.48	0.65
75	MCN25BE	1917	2019	103	1.36	0.76	1.58	2.56	0.52	0.62
76	MCN25BO	1917	2019	103	2.02	1.06	2.11	1.49	0.52	0.67
77	MCN25CS	1923	2018	96	1.51	1.19	1.43	1.43	0.48	0.70
78	MCN25DE	1924	2018	95	1.39	0.76	1.71	2.53	0.53	0.65
79	MCN26AN1	1864	1910	47	1.09	1.08	0.52	0.74	0.26	0.12
80	MCN26AN2	1917	1950	34	1.22	0.96	0.73	0.68	0.33	0.23
81	MCN26AN3	1950	1991	42	0.93	0.57	0.86	2.17	0.43	0.50
82	MCN26AS	1863	2019	157	1.25	0.53	1.55	2.22	0.56	0.75
83	MCN26BE	1860	2019	160	1.43	0.67	1.82	2.31	0.57	0.79
84	MCN26BO	1860	2019	160	1.20	0.61	1.44	2.08	0.55	0.79
85	MCN27AN	2004	2019	16	6.93	6.26	4.60	0.37	0.36	0.34
86	MCN27AS	2004	2019	16	7.61	6.43	5.96	0.59	0.42	0.45
87	MCN27BE	1990	2019	30	2.51	2.56	1.60	0.70	0.35	0.54
88	MCN27BO	1990	2019	30	5.89	2.86	6.00	1.61	0.50	0.68
89	MCN28AN	1967	2019	53	2.90	1.68	3.03	1.31	0.53	0.66
90	MCN28AS	1967	2019	53	2.99	2.11	3.14	2.11	0.49	0.63
91	MCN28BE	1974	2019	46	2.92	1.62	3.47	2.31	0.54	0.64
92	MCN28BO	1974	2019	46	4.42	3.32	4.50	1.63	0.51	0.61

<b>N°</b>	<b>series</b>	<b>first</b>	<b>last</b>	<b>year</b>	<b>mean</b>	<b>median</b>	<b>stdev</b>	<b>skew</b>	<b>gini</b>	<b>ar1</b>
93	MCN29AN	1989	2019	31	3.80	3.04	2.25	0.92	0.32	0.32
94	MCN29AS	1989	2019	31	3.30	2.84	1.97	0.77	0.32	0.53
95	MCN29BE	1992	2019	28	3.81	3.30	2.28	1.27	0.31	0.44
96	MCN29BO	1992	2019	28	3.77	3.21	2.34	0.93	0.33	0.41
97	MCN30AN	1986	2019	34	3.46	2.92	2.32	1.36	0.34	0.17
98	MCN30AS	1986	2019	34	3.04	2.86	2.41	1.20	0.42	0.26
99	MCN30BE	1986	2019	34	3.24	2.78	2.53	1.61	0.39	0.24
100	MCN30BO	1986	2019	34	3.69	3.30	2.94	1.60	0.41	0.32
101	MCN31E	1978	2019	42	3.35	3.45	1.69	0.10	0.29	0.58
102	MCN31N	1978	2019	42	3.45	2.85	2.74	0.82	0.43	0.62
103	MCN31O	1978	2019	42	3.19	3.06	1.83	0.58	0.32	0.51
104	MCN31S	1978	2019	42	3.71	3.90	1.90	-0.04	0.29	0.63
105	MCN33E	1981	2015	35	6.06	5.44	3.17	1.47	0.27	0.34
106	MCN33N	1981	2015	35	7.76	7.21	4.27	1.55	0.28	0.31
107	MCN33O	1981	2015	35	6.44	5.75	2.89	0.81	0.24	0.29
108	MCN33S	1981	2015	35	4.98	4.48	3.18	1.24	0.34	0.59

## Anexo 9. Código R para la construcción de la cronología

```
#####  
## Tesis: Estudio dendroclimático de C. nebulosa T.D.Penn. & Daza en  
## el bosque húmedo del cantón Mera, provincia de Pastaza, Ecuador.  
## Especie: Cedrela nebulosa  
## Sitios: Mera  
## Tesista: María Angélica Burneo  
## Fecha de creación: "01.06.2020"  
## Actualización: _____  
#####  
  
rm(list=ls()) # Limpiar espacio de trabajo  
#graphics.off() # Limpiar área de gráficos  
# Ctrl + L # Limpiar consola  
  
##### 1. IMPORTACION, VISUALIZACION Y EXPORTACION DE DATOS  
# Fijar la carpeta de trabajo  
setwd("D:/Usuario/Angelica/tesis/Angelica_R")  
  
# Abrir archivo desde Tsapwin  
  
library("dplR")  
  
data.cn.all <- read.fh("MCN_TODOS.fh") # tabla con todas mediciones (sin  
modificar)  
  
#####  
##### 2. CONSTRUCCION DE CRONOLOGIA  
  
## 2.1. Detrending process  
# Detrended = Eliminación de la tendencia por la edad de cada árbol  
  
# 2.1.1 Opcion 1: Método interactivo con el paquete "detrendeR"  
  
windows() #Abrir nueva ventana (R Graphics: Device)  
  
library("detrendeR")  
  
## Loading required package: tcltk  
  
detrender() # Abrir el GUI (menú)  
  
# Pasos:  
# Importar datos de <please select a dataset>  
# Selecciona tu tabla de datos  
# Clic en el botón Detrending -> 1 step  
# Seleccionar nuevo nombre en (just add .DET at the end): Nombre de  
# salida: _____.DET  
# Ajustes:  
# spline length: 16 años (Cámbialo de acuerdo a tus datos)  
# spline ratio: 0.5  
# value of p: 0.5
```

```

# OK
# Abrir una nueva ventana de graficos R :Device
# Verificar cual es La mejor Longitud de Spline para tus datos
# Cerrar detrendeR (No olvidar)

# 2.1.2. Opción 2: Manual no interactivo de detrending

#####
#Remover variables si es necesario
#radio Distorsiona datos después del detrending

# Radio a eliminar: no usado

#data.cn <- data.cn[,-c(2,4,6,8, 33:36, 48, 49:52)] # write the column num
bers to be removed

# notese el -c significa excluir todos estas columnas

#####
# ALL variables at once, set the best spline length in "nyrs"

data.cn.DETind <- detrend(data.cn, method = "Spline", nyrs = 16, f = 0.5,
pos.slope = TRUE)

# Comparative data: Raw data and Detrended data

windows()

matplot(x= as.numeric(rownames(data.cn)), y = data.cn, type = "l", main =
"Datos originales")

matplot(x= as.numeric(rownames(data.cn.DETind)), y = data.cn.DETind, type
= "l", main = "Datos con Detrending")

max(data.cn.DETind, na.rm = T)

## [1] 5.296983

# Save data
write.csv(data.cn.DETind, "data.cn.DETind.csv")

## 2.2. Construcción de cronología
# 2.2.1. Identificación de código o nombre

# Resumen número de árboles y radios
# Identificación de código o nombre
# IDS = 8 characters -> Site, Tree number, Scnple
# IDS: Sitio, Árbol, Muestra
# Eg. MCN03A
# Site = M, Tree = cn01, Scnple = E1
# Cedro: 1 4 3

```

```

data.cn.ids <- read.ids(data.cn, stc = c(1, 4, 3))
data.cn.ids

# 2.2.2. CRONOLOGIA
# Biweight = to remove Ourlier values
# Prewhiten = to remove autocorrelation

# Creación de La cronología
data.cn.DETind.crn <- chron(data.cn.DETind, prefix = "TRW", biweight = TRU
E, prewhiten = TRUE)

# Plot chrono with the automatic crn.plot function
crn.plot(data.cn.DETind.crn, add.spline = TRUE)

# Agregar líneas de tendencia cada 12 y 15 años
## 2.3. Add Spline Lines
# To the Standard chrono
data.cn.DETind.crn$Std_12yrs <- ffcsaps(data.cn.DETind.crn[,1],
nyrs = 12)
data.cn.DETind.crn$Std_16yrs <- ffcsaps(data.cn.DETind.crn[,1],
nyrs = 16)

# To the Residual chrono
data.cn.DETind.crn$Res_12yrs[9:164] <-
ffcsaps(data.cn.DETind.crn[9:164,2], nyrs = 12)
data.cn.DETind.crn$Res_16yrs[9:164] <-
ffcsaps(data.cn.DETind.crn[9:164,2], nyrs = 16)

## 2.4. Save chronology data table

write.csv(data.cn.DETind.crn, "data.cn.DETind.crn.csv")
dev.off()

#####

```

## Anexo 10. Código R para correlacionar la precipitación con el crecimiento.

```
#####  
## Tesis: Estudio dendroclimático de C nebulosa T.D.Penn. & Daza en  
## el bosque húmedo del cantón Mera, provincia de Pastaza, Ecuador.  
## Especie: Cedrela nebulosa  
## Sitios: Mera  
## Tesista: María Angélica Burneo  
## Fecha de creación: "24.06.2020"  
## Actualización: ".06.2020"  
#####  
  
#### Limpiar Área de trabajo  
  
rm(list = ls()) # clear objects  
graphics.off() # close/clean graphics windows  
  
#####Fijar carpeta  
  
setwd("D:/Usuario/Angelica/tesis/Angelica_R/Correlaciones moviles")  
  
##### Abrir tabla  
  
Pre.crn <- read.csv("Crono_PrePuyo_Mera.csv")  
  
##### Ordenar por año más reciente La columna "Year"  
  
Pre.crn <- Pre.crn[order(Pre.crn$Year, decreasing = TRUE), ]  
  
##### Testear correlaciones normales a usar en el gráfico  
  
cor(Pre.crn$MERres, Pre.crn$Puyo, use="pairwise.complete.obs", method = "pearson")  
cor(Pre.crn$MERres, Pre.crn$Puyo,use="pairwise.complete.obs", method = "spearman")  
cor.test(Pre.crn$MERres, Pre.crn$Puyo, method = "pearson")  
cor.test(Pre.crn$MERres, Pre.crn$Puyo, method = "spearman")  
  
#####  
### Correlaciones móviles más p.values  
library(gtools)  
  
#### Función para extraer valor r y p.value en una tabla  
  
my.fun <- function(x,y) {  
  my.df <- data.frame(x,y)  
  my.df.cmp1 <- my.df[complete.cases(my.df), ]  
  
  # 3 complete obs is the minimum for cor.test  
  if (nrow(my.df.cmp1)<=2) {  
    return(rep(NA, 2)) # number of columns  
  } else {  
    my.test <- cor.test(~ x + y, na.action = "na.exclude", method = "pearson", dat  
a = my.df)  
    #return(c(my.test$statistic, my.test$p.value, my.test$conf.int))  
    return(c(my.test$estimate, my.test$p.value))  
  }  
}
```

```

#### Correlación móvil

library(gtools)

MERres.me.cor.pear <- as.data.frame(t(running(Pre.crn$MERres, Pre.crn$Puyo,
                                         fun = my.fun, width=10, by=10))) # cada 10 años
colnames(MERres.me.cor.pear) <- c("cor", "p.value") # renombrando las columnas

##### Crear columna identificando con estrellas los p.values significativos
MERres.me.cor.pear$stars[MERres.me.cor.pear$p.value <=0.01] <- "****" # 99%
MERres.me.cor.pear$stars[MERres.me.cor.pear$p.value >0.01 & MERres.me.cor.pear$p.v
alue <=0.05] <- "***" # 95%
MERres.me.cor.pear$stars[MERres.me.cor.pear$p.value >0.05 & MERres.me.cor.pear$p.v
alue <=0.1] <- "*" # 90%
MERres.me.cor.pear$stars[MERres.me.cor.pear$p.value >0.1] <- NA #No significativos
#####

# Arreglo de formato del dataframe
# Fijar años originales como nombres de filas
rn <- strsplit(rownames(MERres.me.cor.pear), ":")
rn

as.numeric(sapply(rn, "[", 1))

## [1] 1 11 21 31 41 51 61 71 81 91 101 111 121 131 141 151

# poniendo el rango de años como rownames
rownames(MERres.me.cor.pear) <- paste(Pre.crn$Year[as.numeric(sapply(rn, "[",1))],
Pre.crn$Year[as.numeric(sapply(rn, "[",2))], sep = ":")

# Agregando columnas con año inicial y final de cada periodo
MERres.me.cor.pear$year1 <- paste(Pre.crn$Year[as.numeric(sapply(rn, "[",1))], sep
= ":")
MERres.me.cor.pear$year2 <- paste(Pre.crn$Year[as.numeric(sapply(rn, "[",2))], sep
= ":")

#####
## Calcular GLK Móviles

# Importar función preestablecida para el cálculo de glk móviles

source("glkRunning.r")
library(dplyr)
# Abrir tabla
Pre.crn.glk <- read.csv("Crono_PrePuyo_Mera.csv")
rownames(Pre.crn.glk) <- Pre.crn.glk$Year # poner valores Year como rownames

#rownames(temp.crn) <- 1:length(temp.crn[,1])

# Glk Mera vs MEres
# Seleccionar cuidadosamente el rango ej. cada 10 Años con winLength y step

run.me <- Pre.crn.glk[, c(3, 4)] # seleccionar variables Puyo + Crono Residual

```

```

#run.me <- run.me[complete.cases(run.me),] # borrar espacios en blanco
#glk.run.me <- as.data.frame(glk.run(run.me[1:53,], winLength = 10, step =10)) #
cada 5 Años
glk.run.me <- as.data.frame(glk.run(run.me, winLength = 10, step =10)) # cada 10
Años

# glk.run.me <- as.data.frame(glk.run(pre.crn.glk[4:57, c(2, 4)], winLength = 4,
step =5))
glk.run.me$year1 <- glk.run.me$end # crear una columna en común incluso con el
mismo nombre que la tabla de los p.valores

MERres.me.cor.pear$year1 <- as.numeric(MERres.me.cor.pear$year1)
MERres.me.cor.pear <- merge(MERres.me.cor.pear, glk.run.me[, c(1,2,14,15)], all.x
= T) # combinar data.frame, siempre teniendo una columna en común

#MERres.me.cor.pear[10, 8] <- 0.33 # adicionar manualmente valores glk en caso de
ser necesario!

#####

# Ordenar Tablas nuevamente ascendentemente por año
Pre.crn2 <- Pre.crn[order(Pre.crn$Year, decreasing = FALSE), ]
MERres.me.cor.pear2 <- MERres.me.cor.pear[order(MERres.me.cor.pear$year1,
decreasing = F), ]
#MERres.me.cor.spear2 <- MERres.me.cor.spear[order(MERres.me.cor.spear$year1,
decreasing = F), ]

# Promedio Correlacion y GLK
#mean.cor <- mean(MERres.me.cor.pear2$cor, na.rm = TRUE) # promedio de secciones
cor_prec.res <- cor.test(Pre.crn$Puyo, Pre.crn$MERres, method =
"pearson")[[ "estimate" ]][[ "cor" ]] # promedio total (sin secciones)
mean.glk <- mean(MERres.me.cor.pear2$glk, na.rm = TRUE)

#####
### PLOTING Puyo vs Mera crono

# Activar png(... ) para grabar en su carpeta como un archivo
png(filename="me_Cor_movil_pre_cronores.png", width = 225, height = 150, units =
"mm", res=400)

# Variables esenciales
op <- par(no.readonly=TRUE)
par(mar = c(3, 3, 3, 3), mgp = c(1.25, 0.25, 0), tcl = 0.25)

# Precipitación

barplot(Pre.crn2$Puyo, col = "dodgerblue", ylim = c(0, 16000), xpd = F, yaxt =
"n")
axis(4, las = 1, col = "dodgerblue", at = c(0, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000,
7000 ,8000), col.axis = "dodgerblue")
mtext("Precip. [mm]", side = 4, line = 2, at= 3000, col = "dodgerblue")

# Cronología

```

```

par(new=TRUE)
plot(x=Pre.crn2$Year, Pre.crn2$MERres, type="l", col="forestgreen", xlab = "Año",
ylab = "",
      ylim = c(-1, 5), lwd = 2, yaxt = "n", xaxt = "n")
axis(1, at = c(seq(1875, 2020, by = 25), 2019))
mtext("Cronología Residual [Index]", side = 2, line = 1, at=1, col =
"forestgreen")
axis(2, las= 1, at = c(0, 1, 2 ,3), tick = T, col = "forestgreen", col.axis =
"forestgreen")
#axis(1, at = c(1972, 1983, 1998), tick =T, labels=F, col = "white", col.ticks =
"red", lwd=6) # Resaltar años específicos, en este caso los eventos de El Niño

# Texto sobre valores generales y promedio
text(1860, 3.3, paste("r = ", round(cor_prec.res, 2), "   glk = ", round(mean.glk,
2)), adj = 0, col = "black")
text(1860, 3, "n = 24 árb., 108 muestras", adj = 0, col = "black")

# Correlaciones
par(new = TRUE)
plot(x=MERres.me.cor.pear2$year1, y=MERres.me.cor.pear2$cor, type="b",
      xlab = "", ylab = "", axes = F, pch = 20, col = "black", ylim=c(-5, 1.25)) #
ylim es para poner bien arriba esta línea de correlaciones
# lines(x=mares.ma.cor.spear2$year1, y=mares.ma.cor.spear2$mares.ma.cor.spear2,
type="b", pch=20, col="sienna")
axis(4, at = c(0, 0.5, 1), tick =TRUE, labels=TRUE)
grid(lty=1,col="grey")

mtext("Correlación [r]", side = 4, line = 1.25, at=0.5)
abline(h = 0.25, lwd = 1.5, lty = "dotted", col = "grey40")
abline(h = 0.50, lwd = 1.5, lty = "solid", col = "grey50")
abline(h = 0.75, lwd = 1.5, lty = "dotted", col = "grey40")
abline(h = 0, lwd = 2, lty = "solid", col="grey50")
abline(h = 1, lwd = 2, lty = "solid", col="grey50")

# agregando valor de correlación y estrellas de valores p
text(x=MERres.me.cor.pear2$year1, y=MERres.me.cor.pear2$cor,
      labels = as.character(round(MERres.me.cor.pear2$cor, 2)), cex=0.6, pos=1,
offset = 0.7, col="black")
text(x=MERres.me.cor.pear2$year1, y=MERres.me.cor.pear2$cor,
      labels = MERres.me.cor.pear2$stars, cex=0.8, pos=1, offset = 0.3,
col="black")

# GLK
par(new = TRUE)
plot(x=MERres.me.cor.pear2$year1, y=MERres.me.cor.pear2$glk, type="b",
      xlab = "", ylab = "", axes = F, pch = 20, col = "red", ylim=c(-5, 1.25)) #
ylim es para poner bien arriba esta línea de correlaciones

mtext("GLK", side = 2, line = 1.25, at=0.5, col = "red")
text(x=MERres.me.cor.pear2$year1, y=MERres.me.cor.pear2$glk,
      labels = MERres.me.cor.pear2$glk, cex=0.6, pos=3, col="red")
axis(2, at = c(0, 0.5, 1), tick =TRUE, labels=TRUE, col.axis = "red")

```

```
# Leyenda para valores p   ***, **, *
text(1920, -0.1, "***p-valor <0.01, **p-valor <0.05, *p-valor <0.10", adj = 0, col
= "black", cex=0.5)

legend("bottomleft", c("Crono.MERres", "Precipitación", "Corr.[10-años]", "GLK[10-
años]"),
      col=c("forestgreen", "blue", "black", "red" ), pch= c(NA,NA,20,20),
lwd=c(1,1,1,1), cex=0.75 )

par(op)

dev.off()

#####
```

## Anexo 11. Código R para correlacionar la temperatura con el crecimiento.

```
#####  
## Tesis: Estudio dendroclimático de C nebulosa T.D.Penn. & Dame en el  
## bosque húmedo del cantón Mera, provincia de Pastaza, Ecuador.  
## Especie: Cedrela nebulosa  
## Sitios: Mera  
## Tesista: María Angélica Burneo  
## Fecha de creación: "24.06.2020"  
## Actualización: ".06.2020"  
#####  
  
# Limpiar Área de trabajo  
  
rm(list = ls())      # clear objects  
graphics.off()      # close/clean graphics windows  
  
# CORRELACIÓN VARIABLE RESIDUAL  
#####  
# Fijar carpeta  
  
setwd("D:/Usuario/Angelica/tesis/Angelica_R/Correlaciones moviles")  
  
# Abrir tabla  
  
temp.crn <- read.csv("Crono_TempPuyo_Mera.csv")  
  
# Ordenar por año más reciente La columna Year  
  
temp.crn <- temp.crn[order(temp.crn$Year, decreasing = TRUE), ]  
  
# Testear correlaciones normales a usar en el gráfico  
  
cor(temp.crn$MERres, temp.crn$Puyo, use="pairwise.complete.obs", method = "pearson")  
  
## [1] 0.4145885  
  
cor(temp.crn$MERres, temp.crn$Puyo, use="pairwise.complete.obs", method = "spearman")  
  
## [1] 0.3724407  
  
cor.test(temp.crn$MERres, temp.crn$Puyo, method = "pearson")  
cor.test(temp.crn$MERres, temp.crn$Puyo, method = "spearman")  
  
#####  
### Correlaciones móviles mas p.values  
library(gtools)  
  
# Función para extraer valor r y p.value en una tabla  
  
my.fun <- function(x,y) {  
  my.df <- data.frame(x,y)  
  my.df.cmpl <- my.df[complete.cases(my.df), ]  
  
  # 3 complete obs is the minimum for cor.test
```

```

if (nrow(my.df.cmp1)<=2) {
  return(rep(NA, 2)) # number of columns
} else {
  my.test <- cor.test(~ x + y, na.action = "na.exclude", method = "pearson",
data = my.df)
  #return(c(my.test$statistic, my.test$p.value, my.test$conf.int))
  return(c(my.test$estimate, my.test$p.value))
}

# Correlación móvil

library(gtools)

MERres.me.cor.pear <- as.data.frame(t(running(temp.crn$MERres, temp.crn$Puyo,
fun = my.fun, width=10, by=10))) #
cada 10 años
colnames(MERres.me.cor.pear) <- c("cor", "p.value") # renombrando las columnas

# Crear columna identificando con estrellas los p.values significativos
MERres.me.cor.pear$stars[MERres.me.cor.pear$p.value <=0.01] <- "****" # 99%
MERres.me.cor.pear$stars[MERres.me.cor.pear$p.value >0.01 &
MERres.me.cor.pear$p.value <0.05] <- "***" # 95%
MERres.me.cor.pear$stars[MERres.me.cor.pear$p.value >0.05 &
MERres.me.cor.pear$p.value <=0.1] <- "**" # 90%
MERres.me.cor.pear$stars[MERres.me.cor.pear$p.value >0.1] <- NA # No
significativos
#####

# Arreglo de formato del dataframe
# Fijar años originales como nombres de filas
rn <- strsplit(rownames(MERres.me.cor.pear), ":")
rn

as.numeric(sapply(rn, "[", 1))

## [1] 1 11 21 31 41 51 61 71 81 91 101 111 121 131 141 151

# poniendo el rango de años como rownames
rownames(MERres.me.cor.pear) <- paste(temp.crn$Year[as.numeric(sapply(rn, "[",1))]
,
temp.crn$Year[as.numeric(sapply(rn, "[",2))]
, sep = ":")

# Agregando columnas con año inicial y final de cada periodo
MERres.me.cor.pear$year1 <- paste(temp.crn$Year[as.numeric(sapply(rn, "[",1))], se
p = ":")
MERres.me.cor.pear$year2 <- paste(temp.crn$Year[as.numeric(sapply(rn, "[",2))], se
p = ":")

#####
## Calcular GLK Móviles

# Importar función preestablecida para el cálculo de glk móviles

```

```

source("glkRunning.r")
library(dplR)

# Abrir tabla
temp.crn.glk <- read.csv("Crono_TempPuyo_Mera.csv")
rownames(temp.crn.glk) <- temp.crn.glk$Year # poner valores Year como rownames

#rownames(temp.crn) <- 1:length(temp.crn[,1])

# Glk Mera vs MEstd
# Seleccionar cuidadosamente el rango ej. cada 10 Años con winLength y step

run.me <- temp.crn.glk[, c(3, 4)] # seleccionar variables Puyo + Crono Residual
#run.me <- run.me[complete.cases(run.me),] # borrar espacios en blanco
#glk.run.me <- as.data.frame(glk.run(run.me[1:53,], winLength = 10, step =10)) #
cada 10 Años
glk.run.me <- as.data.frame(glk.run(run.me, winLength = 10, step =10)) # cada 10
Años

# glk.run.me <- as.data.frame(glk.run(temp.crn.glk[104:158, c(2, 4)], winLength =
4, step =5))
glk.run.me$year1 <- glk.run.me$end # crear una columna en común incluso con el m
ismo nombre que la tabla de Los p.valores

MERres.me.cor.pear$year1 <- as.numeric(MERres.me.cor.pear$year1)
MERres.me.cor.pear <- merge(MERres.me.cor.pear, glk.run.me[, c(1,2,14,15)], all.x
= T) # combinar data.frame, siempre teniendo una columna en común

#MERstd.me.cor.pear[10, 8] <- 0.33 #adicionar manualmente valores glk en caso de
ser necesario!

#####

# Ordenar Tablas nuevamente ascendentemente por año
temp.crn2 <- temp.crn[order(temp.crn$Year, decreasing = FALSE), ]
MERres.me.cor.pear2 <- MERres.me.cor.pear[order(MERres.me.cor.pear$year1, decreasi
ng = F), ]
#MERstd.me.cor.spear2 <- MERstd.me.cor.spear[order(MERstd.me.cor.spear$year1, decr
easing = F), ]

# Promedio Correlacion y GLK

#mean.cor <- mean(MERres.me.cor.pear2$cor, na.rm = TRUE) # promedio de secciones
cor_temp.res <- cor.test(temp.crn$Puyo, temp.crn$MERres, method = "pearson")["est
imate"]]["cor"] # promedio total (sin secciones)
mean.glk <- mean(MERres.me.cor.pear2$glk, na.rm = TRUE)

#####
### PLOTING Puyo vs Mera crono

# Activar png(... ) para grabar en su carpeta como un archivo
png(filename="me_Cor_movil_temp_cronores.png", width = 225, height = 150, units =
"mm", res=400)

```

```

# Variables esenciales
op <- par(no.readonly=TRUE)
par(mar = c(3, 3, 3, 3), mgp = c(1.25, 0.25, 0), tcl = 0.25)

# Temperatura

plot (x=temp.crn2$Year,temp.crn2$Puyo, type = "l", col = "red", xlab = "", ylab =
"", ylim = c(20, 25), xpd = F, yaxt = "n", xaxt = "n")
axis(1, at = c(seq(1875, 2020, by = 25), 2019))
axis(4, las = 1, col = "red", at = c(20, 21, 22), col.axis = "red")
mtext("Temp. [°C]", side = 4, line = 1, at=21, col = "red")

# Cronología
par(new=TRUE)
plot(x=temp.crn2$Year,temp.crn2$MERres, type="l", col="forestgreen", xlab = "Año"
, ylab = "",
ylim = c(-1, 5), lwd = 2, yaxt = "n")
mtext("Cronología Residual [Index]", side = 2, line = 1, at=1, col = "forestgreen"
)
axis(2, las= 1, at = c(0, 1, 2, 3), tick = T, col = "forestgreen", col.axis = "for
estgreen")
#axis(1, at = c(1972, 1983, 1998), tick =T, labels=F, col = "white", col.ticks = "
red", lwd=6) # Resaltar años específicos, en este caso los eventos de El Niño

# Texto sobre valores generales y promedio
text(1860, 3.3, paste("r = ", round(cor_temp.res, 2), " glk = ", round(mean.glk,
2)), adj = 0, col = "black")
text(1860, 3, "n = 24 árb., 108 muestras", adj = 0, col = "black")

# Correlaciones
par(new = TRUE)
plot(x=MERres.me.cor.pear2$year1, y=MERres.me.cor.pear2$cor, type="b",
xlab = "", ylab = "", axes = F, pch = 20, col = "black", ylim=c(-5, 1.25)) #
ylim es para poner bien arriba esta línea de correlaciones
# Lines(x=mastd.ma.cor.spear2$year1, y=mastd.ma.cor.spear2$mastd.ma.cor.spear2, ty
pe="b", pch=20, col="sienna")
axis(4, at = c(0, 0.5, 1), tick =TRUE, labels=TRUE)
grid(lty=1,col="grey")

mtext("Correlación [r]", side = 4, line = 1.25, at=0.5)
abline(h = 0.25, lwd = 1.5, lty = "dotted", col = "grey40")
abline(h = 0.50, lwd = 1.5, lty = "solid", col = "grey50")
abline(h = 0.75, lwd = 1.5, lty = "dotted", col = "grey40")
abline(h = 0, lwd = 2, lty = "solid", col="grey50")
abline(h = 1, lwd = 2, lty = "solid", col="grey50")

# agregando valor de correlación y estrellas de valores p
text(x=MERres.me.cor.pear2$year1, y=MERres.me.cor.pear2$cor,
labels = as.character(round(MERres.me.cor.pear2$cor, 2)), cex=0.6, pos=1, off
set = 0.7, col="black")
text(x=MERres.me.cor.pear2$year1, y=MERres.me.cor.pear2$cor,
labels = MERres.me.cor.pear2$stars, cex=0.8, pos=1, offset = 0.3, col="black"
)

```

```

# GLK
par(new = TRUE)
plot(x=MERres.me.cor.pear2$year1, y=MERres.me.cor.pear2$glk, type="b",
      xlab = "", ylab = "", axes = F, pch = 20, col = "red", ylim=c(-5, 1.25)) # y
Lim es para poner bien arriba esta línea de correlaciones

mtext("GLK", side = 2, line = 1.25, at=0.5, col = "red")
text(x=MERres.me.cor.pear2$year1, y=MERres.me.cor.pear2$glk,
      labels = MERres.me.cor.pear2$glk, cex=0.6, pos=3, col="red")
axis(2, at = c(0, 0.5, 1), tick =TRUE, labels=TRUE, col.axis = "red")

# Leyenda para valores p   ***, **, *
text(1990, -0.1, "***p-valor <0.01, **p-valor <0.05, *p-valor <0.10", adj = 0, col
= "black", cex=0.5)

legend("bottomleft", c("Crono.MERres", "Temperatura", "Corr.[10-años]", "GLK[10-añ
os]"),
      col=c("forestgreen", "red", "black", "red" ), pch= c(NA,NA,20,20),
      lwd=c(1,1,1,1), cex=0.75 )

par(op)

dev.off()

#####

```

Anexo 12. Muestras (núcleos y discos) de *Cedrela nebulosa* de Mera.

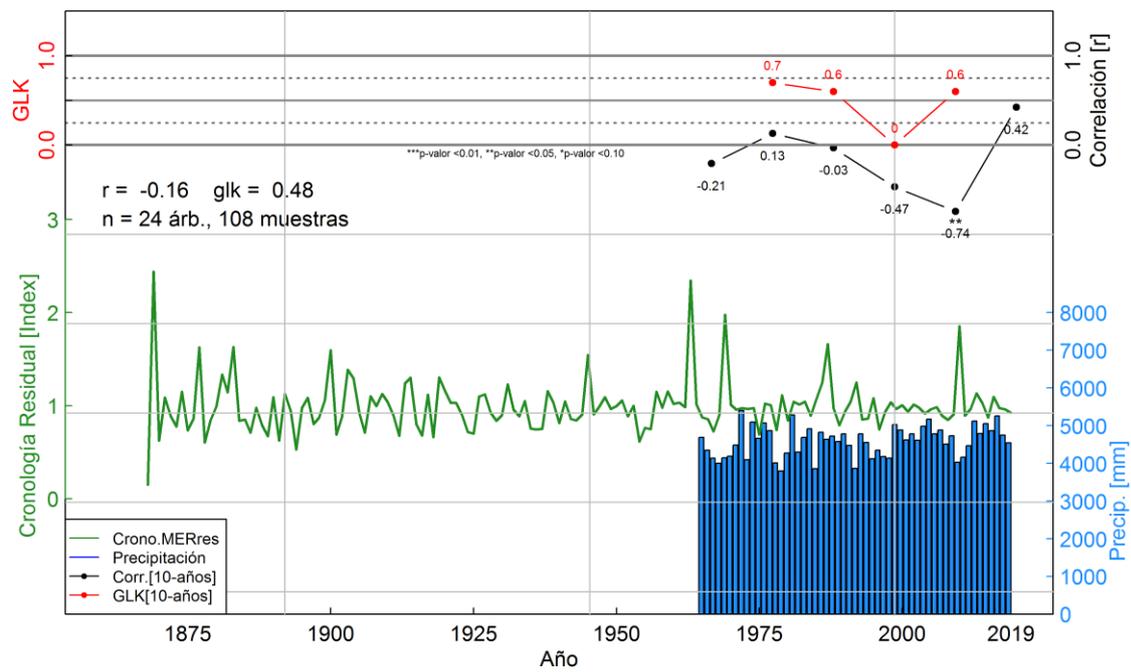




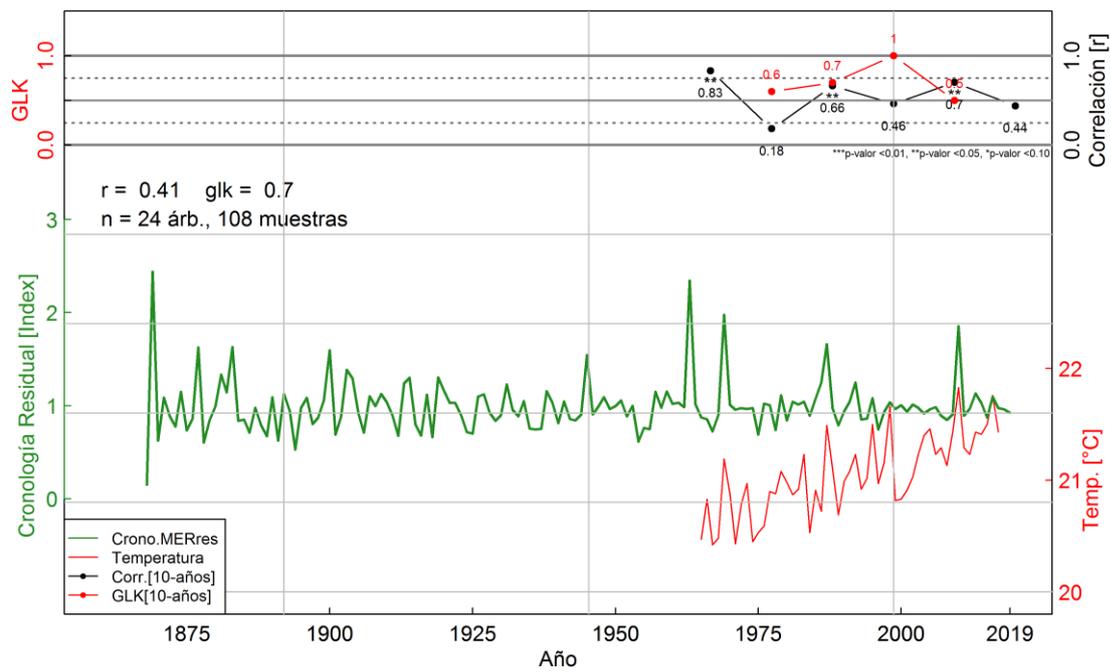
Anexo 13. Muestra botánica de *Cedrela nebulosa* entregada al herbario de la Universidad Nacional de Loja.



Anexo 14. Correlación entre la precipitación y el ancho de anillo mediante la cronología residual de *Cedrela nebulosa* periodo 1868-2019.



Anexo 15. Correlación entre la temperatura y el ancho de anillo mediante la cronología residual de *Cedrela nebulosa* periodo 1868-2017.



Anexo 16. Guía de movilización para las muestras botánicas y muestras de madera de *Cedrela nebulosa*.

MINISTERIO DEL AMBIENTE   EL GOBIERNO DE TODOS

**GUÍA DE MOVILIZACIÓN DE ESPECÍMENES DE FLORA Y FAUNA SILVESTRE**  
Nro. DPAP-UPN-VC-2019-051

Fecha de emisión: 12/septiembre/2019  
Fecha de movilización: 13/septiembre /2019-17h00 Válido hasta: 14/septiembre/2019- 17h00

La Dirección Provincial de Pastaza, Autoriza a: Srta. Lisseth Marianela Carlosama Mejía. C.I. No. 1724823701, Representante del Proyecto. "DENDROCLIMATOLOGÍA TROPICAL EN LA REGION AMAZONICA – MERA. PASTAZA". la movilización de especímenes de fauna, desde: El cantón Mera – Cueva del Río Anzu, Provincia de Pastaza, hacia: La Universidad Nacional de Loja-. De acuerdo con la siguiente lista:

No.	Cantidad	NOMBRE/FAMILIA	Tipo de muestra
1	5	<i>Cedrela odorata</i>	Muestras Botánicas (Hojas, Flores y Frutos)
2	90	<i>Cedrela odorata</i>	Muestras de madera

**Observaciones:**  
Los especímenes o elementos constitutivos se movilizarán en:  
En Transporte Publico (Ambato-Dorado-Loja-Santa).

Los especímenes van en calidad de:

- Traslado de centro de manejo ( )
- Comercio: ( )
- Investigación: ( X )

**Firmas de responsabilidad por la expedición:**

  
Blgo Victor Curicanga  
Responsable de Biodiversidad DPAP  
C.I. 171909902-8



  
Srta. Lisseth Marianela Carlosama Mejía  
Representante del Proyecto  
C.I. 1724823701

Anexo 17. Certificado de entrega de muestra botánica de *Cedrela nebulosa* de la Universidad Nacional de Loja.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS  
NATURALES RENOVABLES  
Herbario y Jardín Botánico "Reinaldo Espinosa"  
  
Tele/Fax: (+593 7) 2547-275  
E-mail: [herbario@unl.edu.ec](mailto:herbario@unl.edu.ec)

Loja, 10 de diciembre del 2019

INGENIERO  
ZHOFRE AGUIRRE MENDOZA  
DIRECTOR DEL HERBARIO "REINALDO ESPINOSA" DE LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

CERTIFICA:

Que el herbario "Reinaldo Espinosa" ha recibido la cantidad de 16 (dieciséis) especímenes botánicos del género *Cedrela* colectados por la investigadora Lisseth Carlosama Mejía, con cedula de identidad No. 1724823701, bajo la guía de movilización No. DPAP-UPN-VC-2019-051, que corresponden al proyecto Dendroclimatología tropical en la región amazónica Mera Pastaza.

Debo indicar que las muestras han sido receptadas de acuerdo a las normas y, éstas pueden ser constatadas en las instalaciones del Herbario LOJA, de la Universidad Nacional de Loja.

Es lo que certifico para los fines pertinentes.

  
Zhofre Aguirre Mendoza Ph.D.  
DIRECTOR DEL HERBARIO "REINALDO ESPINOSA" – LOJA -  
