



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

*FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS  
NATURALES RENOVABLES*

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

## TEMA:

**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)**

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

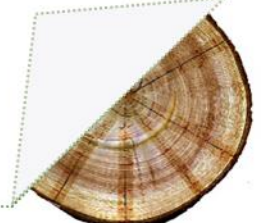
## AUTORA:

SILVANA DEL CARMEN PATIÑO ROSARIO

## DIRECTOR:

ING. DARWIN ALEXANDER PUCHA COFREP Ph.D.

Loja-Ecuador  
2019



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

Yo Darwin Pucha en calidad del director de tesis

**CERTIFICO:**

Que el trabajo de tesis titulado “**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)**” de autoría de la señorita egresada de la Carrera de Ingeniería Forestal **Silvana del Carmen Patiño Rosario**, con número de cédula **1106090911**, ha sido dirigido, revisado y aprobado en su integridad de acuerdo al cronograma aprobado; por tal razón autorizo su presentación y publicación.

Loja, 15 de octubre de 2019

Atentamente,



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

C.I.: 1104031529

**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  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL CALIFICADOR DE LA TESIS**

**CERTIFICA:**


En calidad de presidente del Tribunal de Calificación de la Tesis titulada “**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)**” de autoría de la señorita egresada de la Carrera de Ingeniería Forestal Silvana del Carmen Patiño Rosario, portadora de la cédula N° 1106090911, 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, 15 de octubre de 2019


Atentamente,

  
.....  
Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba, Mg. Sc

**PRESIDENTE**

  
.....  
Ing. Vanessa Alexandra Granda Moser, Mg. Sc.

**VOCAL**

  
.....  
Ing. Darío Alfredo Veintimilla Ramos, Mg.Sc.

**VOCAL**

## AUTORÍA

Yo, Silvana del Carmen Patiño Rosario declaro ser la 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 acepo y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Autora: Silvana del Carmen Patiño Rosario

Firma:..........

Cédula: 1106090911

Fecha: 15 de octubre de 2019

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DE LA AUTORA PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.**

Yo, Silvana del Carmen Patiño Rosario, declaro ser autora, de la tesis titulada "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)" 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 pueden 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 quince días del mes de octubre del dos mil diecinueve, firma la autora.

Firma:

Autora: Silvana del Carmen Patiño Rosario

Número de cédula: 1106090911

Dirección: Loja, Las Acacias

Teléfono: +593-9847631343

Correo electrónico: scpr1994@gmail.com

Celular: +593-9847631343

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

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

Tribunal de grado: Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba, Mg. Sc

Ing. Vanessa Alexandra Granda Moser, Mg. Sc.

Ing. Darío Alfredo Veintimilla Ramos, Mg. Sc

Presidente

Vocal

Vocal

## **AGRADECIMIENTO**

*A los docentes de la Carrera de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional de Loja por haber compartido sus enseñanzas y experiencias durante mi formación profesional.*

*A mi director de tesis, estimado Dr. Darwin Pucha, por su gran ayuda en el desarrollo de este trabajo, por sus enseñanzas, su comprensión y paciencia.*

*Al Ing. José Castillo le agradezco por su importante colaboración y generosidad al haber facilitado con el lugar en El Tambo para obtener las muestras necesarias para este estudio.*

*A los distinguidos miembros de mi tribunal por las observaciones realizadas y el tiempo dedicado a mejorar mi trabajo.*

*A Lourdes gracias por tu amistad y apoyo y demás compañeros de curso, con los que he compartido durante mi formación profesional, experiencias, conocimientos, prácticas. Gracias.*

***Silvana del Carmen Patiño Rosario***

## DEDICATORIA

*Con amor quiero dedicar mi trabajo:*

*A Dios porque sé que su bondad y amor no tiene límites,  
resultado de ello hoy he cumplido con una gran meta en  
mi vida.*

*A mis padres Ermel y Silvia que siempre han velado por  
mi bienestar, por su esfuerzo, su incondicional apoyo,  
paciencia y amor gracias por tanto.*

*A mis queridos hermanos Darío y Misael, por ser una  
gran motivación en mi vida.*

*A toda mi familia, estoy segura de lo orgullosos que hoy  
se encuentran por mis logros, en especial a mis abuelitos  
Rosa, Segundo, Livia y Carlos que también han sido un  
pilar fundamental en mi vida, gracias por su amor, sus  
bendiciones y apoyo.*

*Y por último a ti mi amor, se lo orgulloso que estas de  
mí, esperamos que este día llegara marcando el fin de  
una etapa y el inicio de un nueva para nosotros.*

***Silvana del Carmen Patiño Rosario***

## ÍNDICE GENERAL

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
<b>CERTIFICACIÓN .....</b>	<b>ii</b>
<b>APROBACIÓN.....</b>	<b>iii</b>
<b>AUTORÍA .....</b>	<b>iv</b>
<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN .....</b>	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>vi</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xviii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xx</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>5</b>
2.1. Los bosques tropicales .....	5
2.1.1. Los bosques montanos .....	8
2.2. Manejo forestal sostenible .....	9
2.2.1. Manejo forestal sostenible en Ecuador .....	10
2.2.2. Diámetro mínimo de corta (DMC) .....	11
2.2.3. Turno biológico de corta (TBC) .....	12
2.2.4. Incremento medio anual (IMA) .....	13



2.2.5.	Incremento corriente anual (ICA).....	13
2.3.	Dendrocronología .....	14
2.3.1.	Condiciones de la dendrocronología .....	15
2.3.2.	Principios de la dendrocronología .....	16
2.3.3.	Anillos de crecimiento en especies tropicales .....	17
2.3.4.	Patrones de los anillos verdaderos en <i>Cedrela sp.</i> .....	19
2.4.	Descripción de las especies en estudio .....	20
2.4.1.	<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz., .....	20
2.4.1.1.	<i>Descripción taxonómica</i> .....	20
2.4.1.2.	<i>Descripción dendrológica</i> .....	21
2.4.1.3.	<i>Distribución y hábitat</i> .....	22
2.4.1.4.	<i>Fenología</i> .....	23
2.4.1.5.	<i>Anatomía de la madera</i> .....	24
2.4.2.	<i>Cedrela odorata</i> L. ....	25
2.4.2.2.	<i>Descripción dendrológica</i> .....	26
2.4.2.3.	<i>Distribución y hábitat</i> .....	27
2.4.2.4.	<i>Fenología</i> .....	28
2.4.2.5.	<i>Anatomía de la madera</i> .....	28
<b>3.</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>30</b>
3.1.	Sitio de estudio .....	30
3.1.1.	El Tambo .....	30
3.1.2.	Reserva Biológica San Francisco (RBSF) .....	33
3.2.	Fase de campo.....	35
3.2.1.	Obtención de las muestras en campo.....	36
3.3.	Fase de laboratorio.....	37
3.3.1.	Preparación y organización de las muestras .....	37

3.3.2.	Montaje de muestras .....	37
3.3.3.	Lijado de muestras .....	37
3.3.4.	Identificación de patrones de anillos verdaderos.....	38
3.3.5.	Medición de anillos de crecimiento en núcleos de madera. ....	40
3.3.6.	Verificación y sincronización de las series anuales.....	41
3.4.	Metodología para estimar la edad media de los árboles de <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz., y <i>Cedrela odorata</i> L. ....	42
3.4.1.	Análisis de datos .....	42
3.4.2.	Tamaño de la muestra .....	43
3.4.3.	Relleno de datos.....	43
3.5.	Metodología para estimar el Turno Biológico de Corta (TBC) para <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz., y <i>Cedrela odorata</i> L., a partir de series anuales de crecimiento .....	45
3.6.	Metodología para la difusión de resultados .....	47
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>48</b>
4.1.	Edad media de <i>Cedrela montana</i> en la Reserva Biológica San Francisco y de <i>Cedrela odorata</i> en la parroquia El Tambo .....	48
4.2.	Turno Biológico de Corta (TBC) para <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz., y <i>Cedrela odorata</i> L. a partir de series anuales de crecimiento. ....	50
4.3.	Difusión de resultados .....	55
<b>5.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>58</b>
5.1.	Edad media de los árboles de <i>Cedrela montana</i> en la Reserva Biológica San Francisco (RBSF) y de <i>Cedrela odorata</i> en la parroquia El Tambo .....	60
5.2.	Turno biológico de corta de <i>Cedrela montana</i> y <i>Cedrela odorata</i> .....	62
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>65</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>66</b>

<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>67</b>
<b>9.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>89</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1      Protocolo de lijado para <i>Cedrela montana</i> y <i>Cedrela odorata</i> .....	38
Tabla 2      Datos de la función plotRings() para el cálculo del área basal en mm. ....	46
Tabla 3      Resumen estadístico del análisis de las mediciones 34 árboles de Cedro ...	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Pág.
Figura 1. Árboles de <i>Cedrela montana</i> en un bosque siempreverde montano bajo...	21
Figura 2. Partes botánicas de <i>Cedrela montana</i> .....	22
Figura 3. Características macro y microscópicas de la madera de <i>Cedrela montana</i>	25
Figura 4. Partes botánicas de <i>Cedrela odorata</i> .....	26
Figura 5. Características macro y microscópicas (4x) de la madera de <i>Cedrela odorata</i> .....	29
Figura 6. Ubicación del área de estudio en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe .....	30
Figura 7. Localización de los árboles muestreados en la parroquia El Tambo de la provincia de Loja. ....	31
Figura 8. Promedio mensual de precipitación y temperatura para El Tambo .....	33
Figura 9. Ubicación de los árboles muestreados en la RBSF.....	34
Figura 10. Promedio mensual de precipitación y temperatura en la RBSF .....	35
Figura 11. Hoja de campo para la evaluación de los individuos.....	36
Figura 12. Sección transversal (Disco) de <i>Cedrela</i> (a) y (b), con anillos de crecimiento identificados.....	39
Figura 13. Identificación de patrones de anillos de crecimiento verdaderos de <i>Cedrela</i> .....	39
Figura 14. Identificación y marcaje de anillos verdaderos en núcleos de <i>Cedrela</i> .....	40
Figura 15. Metadatos con la principal información para la medición de cada muestra.	41
Figura 16. Sistema Lintab6 Pro para la medición de anillos de crecimiento en <i>Cedrela</i> .....	41

Figura 17.	Gráfico promedio de árboles de Cedrela con médula.....	44
Figura 18.	Estimación de anillos de crecimiento faltantes .....	44
Figura 19.	Esquema del TBC .....	46
Figura 20.	Series individuales del crecimiento radial anual de Cedrela .....	49
Figura 21.	Incremento Corriente Anual de <i>Cedrela</i> .....	51
Figura 22.	Incremento Medio Anual en base al área basal de los árboles de Cedrela ..	51
Figura 23.	Variación con la edad según el Área basal .....	53
Figura 24.	Incremento acumulado en diámetro.....	54
Figura 25.	Socialización de resultados en la Universidad Nacional de Loja .....	56
Figura 26.	Socialización de resultados en la Universidad de Cuenca.....	57

## ÍNDICE DE ANEXOS

Contenido	Pág.
Anexo 1. Procedimiento para la importación y exportación de datos .....	89
Anexo 2. Información de los árboles de <i>Cedrela odorata</i> muestreados en la parroquia El Tambo en la finca del Ing. José Castillo .....	90
Anexo 3. Información de los árboles de <i>Cedrela montana</i> muestreados en la RBSF.	91
Anexo 4. Código R para el análisis del EPS.....	92
Anexo 5. Código R para generar dendrogramas por el método de agrupación Ward.D, de los sitios de muestreo. ....	93
Anexo 6. Dendrogramas por el método de agrupación Ward.D, de los sitios de muestreo.....	96
Anexo 7. Código R para generación de grafico de patrón anillos de crecimiento .....	96
Anexo 8. Código R para relleno de datos.....	98
Anexo 10. Gráficos generados con la función plotRings de <i>Cedrela montana</i> en la RBSF .....	100
Anexo 11. Gráficos generados con función plotRings de <i>Cedrela odorata</i> en El Tambo .....	104
Anexo 12. Base de datos del promedio del Incremento radial anual (mm) de muestras de <i>Cedrela montana</i> en la RBSF. ....	107
Anexo 13. Base de datos del promedio del incremento promedio anual de <i>Cedrela odorata</i> de El Tambo .....	110
Anexo 14. Datos de las curvas de G, IMA e ICA de <i>Cedrela montana</i> con la función PlotRinhgs.....	112

Anexo 15.	Datos de las curvas de G, IMA e ICA de <i>Cedrela odorata</i> con la función PlotRinhgs.....	113
Anexo 16.	Incremento Corriente Anual y acumulativo entre árboles con y sin tratamiento silvicultural de la RBSF. ....	114
Anexo 17.	Mapa de polígono de Thiessen de El Tambo.....	115
Anexo 18.	Mapa de Polígono de Thiessen de la parroquia Sabanilla .....	115
Anexo 19.	Programación de Casa abierta – Expoforestal-2019 .....	116
Anexo 20.	Carta de invitación para presentación de poster científico en el congreso sobre“Past plant diversity, climate change and mountain conservation” Universidad de Cuenca, Ecuador, Marzo 11-12, 2019 .....	117
Anexo 21.	Socialización de resultados en la Universidad Nacional de Loja, en la semana del estudiante, mediante un póster científico. ....	118
Anexo 22.	Certificado conferido por la CIF, por la presentación de poster científico	119
Anexo 23.	Socialización de resultados en la Universidad de Cuenca mediante un póster científico. En la imagen superior izquierda socializando resultados al reconocido botánico David Alan Neill. ....	120
Anexo 24.	Certificado por la presentación del póster científico en el congreso internacional en la Universidad de Cuenca.....	121



**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).**

## RESUMEN

Conocer la dinámica de crecimiento de los árboles es muy importante para el manejo forestal, especialmente en las especies con alto valor comercial. Determinar el Turno Biológico de Corta (TBC) es indispensable para garantizar la sostenibilidad de un ecosistema forestal, y es la base para normar un Diámetro Mínimo de Corta (DMC) con fundamentos técnicos y científicos. Sin embargo, se requieren de registros anuales y parcelas permanentes de todo el periodo de crecimiento del árbol. En nuestro medio es difícil encontrar esta información y las parcelas permanentes son muy escasas. El presente estudio utilizó métodos dendrocronológicos para obtener esta información con gran precisión desde los anillos de crecimiento de los árboles. El objetivo de esta investigación fue conocer el TBC del Cedro, y se llevó a cabo en dos escenarios: el primero fue en la parroquia El Tambo del cantón Catamayo, provincia de Loja con la especie *Cedrela montana* Moritz ex Turcz, y el segundo escenario en la Reserva Biológica San Francisco (RBSF) perteneciente a la parroquia Sabanilla del cantón Zamora de la provincia de Zamora Chinchipe con la especie *Cedrela odorata* L. Se tomó de 2 a 4 núcleos de madera en sentido radial con la ayuda del barreno de Pressler. En total se muestreó 35 árboles: 23 de la RBSF y 12 de El Tambo, las mismas que fueron preparadas y lijadas de mayor a menor tamaño del grano con el fin de garantizar la visibilidad de los anillos de crecimiento para facilitar la identificación y medición de los anillos con el uso del sistema Lintab6 Pro y el software TsapWin en el laboratorio de Dendrocronología de la Universidad Nacional de Loja. El manejo y análisis de los datos se realizó en la plataforma estadística R con las funciones base y el paquete especializado para dendrocronología “dplr”. Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó el estadístico de la Señal Expresada de Poblaciones (EPS) que resultó en un alto valor de 0,907 para El Tambo con 12 árboles; y para la RBSF un EPS= 0,749 con 23 árboles. A través del conteo de anillos se determinó una edad media de 57 años de para *Cedrela montana* de la RBSF y

de 46 años para *Cedrela odorata* del sector El Tambo. En el análisis entre el Incremento Medio Anual y el Incremento Corriente Anual para *Cedrela montana* de la RBSF se demostró que los Cedros aun no alcanzan su TBC, pero con una proyección lineal del IMA y polinómica de grado 2 del ICA se calculó un TBC aproximado de 95 años donde los árboles alcanzarían un DAP de 50 cm. Mientras tanto, en El Tambo los Cedros alcanzaron directamente su TBC a los 59 años con un DAP de 48,28 cm. Con los resultados obtenidos en base al TBC se encontró que los valores difieren con el propuesto en la normativa forestal ecuatoriana donde se les atribuye a todas las especies de Cedro un DMC de 60 cm, el cual no es sostenible para el aprovechamiento de estas especies en bosque nativo, pues según los datos obtenidos en este estudio los Cedros tardan más de 95 años en alcanzar un diámetro de 60 cm sobretodo en *Cedrela montana* que tiene un crecimiento más lento que *Cedrela odorata*.

**Palabras clave:** *Cedrela*, Turno biológico de corta, IMA, ICA, dendrocronología, Diámetro mínimo de corta, bosque montano

## ABSTRACT

To know the growth dynamics of trees is very important for forest management, especially in species with high commercial value. Biological Rotation Age (BRA) is indispensable to ensure the sustainability of a forest ecosystem and is the basis to regulate a Minimum Cutting Diameter (MCD) on technical and scientific grounds. However, this requires annual records and permanent plots of an entire tree growth period. In our environment it is difficult to find this information and permanent plots are very scarce. Therefore, this study used dendrochronological methods to get this information with great precision from tree-rings. The goal of this research was to know the BRA of Cedros trees, and it was carried out in two scenarios: the first was in the site El Tambo of Catamayo canton, province of Loja with the tree species *Cedrela montana* Moritz ex Turcz, and the second scenario was in the Biological Reserve San Francisco (RBSF) belonging to the site Sabanilla of Zamora canton of Zamora Chinchipe province with the species *Cedrela odorata* L. To do this, 2 to 4 increment cores were taken in a radial direction with the help of a Pressler borer. A total of 35 trees were sampled: 23 from the RBSF and 12 from El Tambo, which were prepared and sanded from the largest to the smallest grain size in order to guarantee the good visibility of tree-rings, to facilitate the identification, and to measure the tree-rings with the use of the LINTAB6 Pro system and the TsapWin software in the Dendrochronology laboratory of the Universidad Nacional de Loja. Data management and analysis was performed on the statistical platform R with the base functions and the specialized dendrochronology package "dplR". To determine the sample size was used the Expressed Population Signal (EPS) statistic which resulted in a high value of 0.907 for El Tambo with 12 trees, and for the RBSF an EPS = 0.749 with 23 trees. Through the tree-ring count an average age of 57 years was determined for *Cedrela montana* in the RBSF and 46 years for *Cedrela odorata* of the El Tambo site. In the analysis between the Mean Annual Increase (MAI) and the Current Annual Increase

CAI) for *Cedrela montana* of the RBSF it was demonstrated that the Cedro still do not reach their BRA, but with a linear projection of the MAI and polynomial of grade 2 of the CAI an approximate BRA of 95 years was calculated where the trees would reach a DAP of 50 cm. Meanwhile, in El Tambo the Cedros trees directly reached their BRA at age 59 with a DBH of 48.28 cm. With the results obtained based on the BRA, it was found that the values differ from the one proposed in the Ecuadorian forestry normative where all Cedros species are attributed a MCD of 60 cm, which is not sustainable for the use of these species in native forest, because according to the data obtained in this study the Cedros take more than 95 years to reach a diameter of 60 cm especially in *Cedrela montana* which has a slower growth than *Cedrela odorata*.

**Keywords:** *Cedrela*, biological rotation age, MAI, CAI, dendrochronology, Minimum Cutting Diameter, montane forest.

## 1. INTRODUCCIÓN

Por su alta diversidad en cuanto a ecosistemas, especies, y recursos genéticos, Ecuador está entre los 17 países más megadiversos del mundo (Aguirre y Geada, 2017 y Navarrete, 2005). Tal riqueza biológica ubica al país en una situación privilegiada, favorecida por su ubicación en el neotrópico, por la presencia de la cordillera de los Andes, y la influencia de corrientes marinas en sus costas (Ministerio del Ambiente Ecuador (MAE), 2010 y Navarrete, 2005). Estos factores según Varea (2004), han dado paso a una variedad de elementos naturales, donde las comunidades bióticas se han adaptado a los cambios del medio con una marcada riqueza biológica.

A pesar de su gran biodiversidad, en el Ecuador se están perdiendo grandes extensiones de bosque; siendo la producción maderera una de las principales causas. Se estima que el 53,3% de su territorio es de aptitud forestal, donde los bosques naturales (bosques protectores, productores y áreas protegidas), cuentan con una superficie de 11.738 hectáreas y contribuyen a cubrir las necesidades que requiere el sector maderero (Aguirre, 2010).

Al sur del país se ubican los bosques montanos, que son los ecosistemas de los Andes tropicales que albergan la mayor concentración de especies endémicas de flora y fauna de America del Sur, y con alta prioridad de conservación por ser considerados entre los ‘hotspots’ de biodiversidad global (Grijalva, Checa, Ramos, Barrera, y Limongi, 2012).

En particular, se ha demostrado que los bosques montanos de la provincia de Loja son florísticamente más diversos que los del norte del país (Lozano, 2002), reportándose hasta ahora 3039 especies de plantas para esta región, además de la gran diversidad faunística que le caracteriza (Aguirre et al., 2017).

Otra zona del sur de país con una importante representación de los bosques montanos es la provincia de Zamora Chinchipe, dentro se localiza la Reserva Biológica San Francisco (RBSF), que aún se mantiene una alta biodiversidad de estos bosques (Benítez, 2011). Parte de la biodiversidad de los bosques dentro de la reserva, la conforman algunas especies forestales de alto valor comercial, como son *Cedrela montana* y *Cedrela odorata*, cuyas poblaciones, por estar en un sitio protegido, se encuentran en buen estado de conservación. No obstante, en áreas no protegidas dichas especies han sido sobreexplotadas, lo que ha provocado una disminución considerable de sus poblaciones y como consecuencia, es más difícil encontrarlas de manera natural (Grijalva et al., 2012; Leischner y Bussmann, 2003; y Schlotzhauer y Navarrete, 2017).

Para Ecuador, en general se cuenta con poca información sobre la biología y ecología de las especies *Cedrela montana* y *Cedrela odorata*. Sin embargo, se destacan los aportes de Pucha (2007); Bräuning et al., (2009); Benítez (2011); Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2014); Nacimba (2015) y Pucha (2016).

Pucha (2007) analizó las cantidades de Ca, Mg, P y S en los anillos de crecimiento de *Cedrela montana* para evaluar la dinámica de entradas de estos elementos a través de las lluvias y su concentración en la madera en un bosque lluvioso montano bajo en el sur del Ecuador. Por su parte Bräuning et al., (2009); y Benítez (2011) realizaron la datación y construcción de curvas de crecimiento anual de *Cedrela montana* Moritz ex Turcz., es un bosque montano y sus implicaciones con la fenología, anatomía y silvicultura.

El Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) en colaboración con la FAO evaluaron 93 especies forestales entre las que se incluyeron *Cedrela montana* y *Cedrela odorata* (MAE y FAO, 2014).

Nacimba (2015) analizó el crecimiento de *Cedrela odorata* y sus propiedades anatómicas, físicas y mecánicas relación con las lluvias y temperatura, la relación con la foliación, floración, y fructificación, asimismo si la especie es abundante o crece más en otros ambientes y si existe relación entre la edad y el diámetro. Más recientemente Pucha (2016), aplicó métodos dendrocronológicos en especies de árboles tropicales donde una de ellas fue *Cedrela montana* donde evaluó señales climáticas en crecimiento radial, isótopos estables y la concentración de nutrientes en la madera entre dos ecosistemas diferentes, un bosque húmedo y seco en el sur de Ecuador.

Es importante recalcar que la madera de Cedro es muy apreciada por su alta calidad, trabajabilidad, durabilidad y fácil secado. Sus características físico-mecánicas son muy buenas y de excelente estabilidad dimensional; se usa en carpintería, mueblería fina, ebanistería, escultura, entre otros (Cárdenas et al., 2015). Asimismo, la importancia biológica del Cedro es por su alto potencial para la reforestación, mejora la fertilidad del suelo, es útil en la recuperación de terrenos degradados y el control de la erosión (Andrade y Solís, 2004).

Por otro lado, en Ecuador el aprovechamiento forestal está regulado por el Ministerio del Ambiente (MAE), quien se encarga de establecer las condiciones de gobernanza del sector forestal.

Las normas para el manejo sustentable de los bosques andinos se expiden en el acuerdo ministerial 128. En esta normativa las especies de *Cedrela montana* y *Cedrela odorata*, según el artículo 35, son de aprovechamiento condicionado y según el Anexo 4 de la misma normativa, tienen establecido un Diámetro Mínimo de Corta (DMC) de 60 cm, propuesto sin considerar ningún dato del crecimiento de la especie y basado en supuestos teóricos, evidenciándose la necesidad de contar con estudios de su crecimiento que aporten información de los incrementos y Turno Biológico de Corta (TBC) que permitan predecir las condiciones



futuras con las que se puedan elaborar estrategias de conservación, planificación y uso sostenible a largo plazo de esta especie en el país.

En base a lo antes descrito se propone la siguiente investigación para conocer el TBC de las especies forestales antes mencionadas, dando respuestas a las siguientes interrogantes: ¿A qué edad *Cedrela montana* y *Cedrela odorata* alcanzan su Turno Biológico de Corta?, y ¿Cuánto difiere el diámetro alcanzado por el Turno Biológico de Corta de *Cedrela montana* y *Cedrela odorata* frente al Diámetro Mínimo de Corta establecido por el Ministerio del Ambiente del Ecuador en la Normativa Forestal?

Con la finalidad de dar respuesta a las preguntas anteriores sobre el TBC de *Cedrela montana* y *Cedrela odorata*, se proponen los siguientes objetivos:

### **Objetivo general**

Conocer el Turno Biológico de Corta de *Cedrela montana* Moritz ex Turcz., y *Cedrela odorata* L. mediante métodos dendrocronológicos en la Reserva Biológica San Francisco (Zamora Chinchipe) y en un bosque natural del sector El Tambo (provincia de Loja).

### **Objetivos específicos**

- 1.-Estimar la edad media de los árboles de *Cedrela montana* Moritz ex Turcz., y *Cedrela odorata* L. en cada sitio de estudio, mediante la medición de anillos de crecimiento.
- 2.-Estimar el Turno Biológico de Corta (TBC) para *Cedrela montana* Moritz ex Turcz., y *Cedrela odorata* L. a partir de series anuales de crecimiento.
- 3.- Difundir los resultados del proyecto a actores vinculados al manejo forestal.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Los bosques tropicales**

Los bosques tropicales son ecosistemas forestales altamente diversos, localizados entre los 23.5° N y S del Ecuador; en Asia, Oceanía, África, Centro y Sur-América. Se encuentran en áreas relativamente cálidas, de temperatura constante y desde el nivel del mar hasta los 3 000 m de elevación. Los bosques lluviosos son los más comunes en regiones tropicales y reciben más de 1 500 mm de lluvia anual, mientras que los bosques tropicales estacionales o secos reciben menos lluvia al año y tienen una marcada estación seca (Holl, 2013). Representan alrededor del 31% de la cubierta terrestre libre de hielo (Boucher et al., 2011), y representan el 44% de la cobertura forestal mundial, que se reparte en tres regiones principales (National Group on Tropical Forests (GNFT), 2012): La Cuenca del Amazonas (800 millones de ha), la Cuenca del Congo (300 millones de ha) y el sureste asiático (240 millones de ha).

Estos bosques son un componente crítico del sistema terrestre, ya que albergan más del 50% de todas las especies de plantas conocidas en el mundo (Boucher et al., 2011). Su cobertura vegetal es fundamental para prevenir la erosión del suelo; además que proporciona el hábitat de muchas comunidades animales y vegetales (Boucher et al., 2011). Asimismo, los bosques tropicales, al igual que todos los ecosistemas del planeta, brindan servicios ecosistémicos a las poblaciones humanas. Tales servicios se derivan de sus componentes abióticos (agua, nutrientes, luz, etc.) y bióticos (plantas, hongos, animales, microorganismos), así como de las interacciones entre ellos; y se engloban en tres categorías: de Suministro (alimentos, combustibles, medicinas, artesanía, madera, recursos potenciales y genéticos), de Regulación (climática, hidrológica, de la calidad del agua, de erosión, de deslaves e inundaciones), y Culturales (cosmovisión, identidad, bienestar estético, ecoturismo y trabajo) (Franquis e Infante, 2003; Balvanera, 2012).

En consecuencia, los bosques tropicales son cada vez más un recurso crítico para el desarrollo

sostenible de los países tropicales debido a la creciente presión ejercida por la sociedad y la contribución de los servicios ecosistémicos del bosque a la sostenibilidad de varios sectores socioeconómicos. Sin embargo, al igual que otros ecosistemas, estos bosques son vulnerables al cambio climático, lo que significa que los bienes y servicios que éstos producen, también pueden ser afectados. (Pérez, Locatelli, Vignola, y Imbach, 2007).

Aunque la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, a través del Protocolo de Kyoto, establece la importancia de los bosques para la mitigación del cambio climático por su rol como sumideros de carbono (Pérez et al., 2007), extensas áreas de estos ecosistemas han sido deforestadas en los últimos 20 años, y se siguen perdiendo cada año debido a la deforestación excesiva en algunas regiones (Holl, 2013; Boucher et al., 2011), provocada por múltiples razones: creación de pastizales de forraje, tala para la industria maderera de exportación, recolección de madera de uso doméstico, agricultura comercial y de subsistencia, cultivos de biocombustible; así como también incendios antropogénicos; mientras tanto, el bosque remanente está siendo afectado por fragmentación, tala selectiva, y cacería de la megafauna. (Holl, 2013). Según lo reporta Franquis et al. (2003), en promedio, casi 15 millones de hectáreas se perdieron cada año durante la década de los noventa, mayormente en los trópicos.

Esta destrucción ha conducido a la pérdida de ecosistemas globales diversos y vitales, y en última instancia, a emisiones significativas de gases de efecto invernadero (Boucher et al., 2011) siendo responsable de más del 12 % de las emisiones anuales de dióxido de carbono (Holl, 2013).

Ecuador, con una superficie de 276.280 km<sup>2</sup>, es uno de los países megadiversos del planeta. Cuenta con aproximadamente 25 millones de hectáreas, constituido por 91 ecosistemas, de los cuales 65 corresponden a ecosistemas boscosos, 14 a ecosistemas herbáceos, y 12 a ecosistemas

arbustivos (MAE, 2010). Ocupando un total de 15.333,562 hectáreas (59,8%) del territorio nacional, de los cuales 7 620,780 hectáreas se encuentran dentro de áreas protegidas (Mogrovejo, 2017). Hasta el momento se han registrado 1.655 especies de aves, 382 de mamíferos, 404 de reptiles, 64 de anfibios, y 1.539 especies de peces divididas en 920 continentales y 619 marinas. Además, se estima que cuenta con más especies de plantas por unidad de área que cualquier otro país de América del Sur. Sin embargo, su alta diversidad florística está siendo amenazada y en peligro de extinción (MAE, 2010).

La Región Amazónica y el archipiélago de Galápagos son identificados como los más prioritarios para realizar estudios sobre los recursos fitogenéticos, debido a su alta susceptibilidad a problemas de erosión genética por causas antrópicas, los asentamientos urbanos, la ampliación de la infraestructura vial, la introducción de plantas y animales exóticos y la explotación petrolera. En segundo lugar, de prioridad está la Región Sierra, que en la actualidad enfrenta amenazas de deforestación y erosión de los suelos, causando la pérdida de la biodiversidad andina (MAE, 2010).

Ecuador ha sufrido una de las tasas de deforestación más altas del Neotrópico durante las últimas tres décadas (Campos, Peralvo, Cuesta y Luna2007), particularmente en el bosque húmedo de la Costa o Chocó ecuatoriano, las estribaciones andinas orientales y la Amazonía. La tasa de deforestación para todo el país estimada por la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas FAO en la década de 1980 fue de 1,8% anual siendo una de las más altas del mundo. Para la década de 1990, la FAO estimó una tasa de pérdida de bosques promedio de 1,2% anual, que situó al Ecuador en el segundo lugar entre los países latinoamericanos con los mayores niveles de deforestación (Campos et al., 2007; MAE, 2010).

Por lo tanto, los esfuerzos para conservar estos ecosistemas y que representen cambios significativos en las prácticas de manejo forestal, deben incluir el favorecer a especies arbóreas

particulares, una explotación menos intensiva o aclareos menos frecuentes, el uso de métodos de explotación de madera de bajo impacto, la restricción de explotación en ciertas áreas, y otras medidas que intenten imitar la evolución y composición de los bosques naturales no manejados (March, Carvajal, Vidal, San Román y Ruiz, 2009).

### **2.1.1. Los bosques montanos**

La superficie cubierta por los bosques andinos ha sido estimada en 2 983,673 has, con una tasa de deforestación de 13 000 ha anuales. Cabe resaltar que la tasa anual de deforestación del Ecuador Continental para el período 1990-2000 fue de -0,65 % y para el período 2000-2008 fue de -0,58 %, y no existe aún un cálculo de la tasa de deforestación por ecosistema para emitir un dato más preciso de la deforestación en este ecosistema (Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2015)

Los bosques montanos representan uno de los ecosistemas más diversos del mundo, comparándolos con los bosques húmedos bajos, a pesar de su función ecológica y económica sumamente importante, constituyen un ecosistema muy frágil debido a las fuertes pendientes que los vuelven vulnerables a una erosión extremadamente acelerada en condiciones de intensas lluvias (Bussmann, 2005).

Se encuentran sobre la faja *montana* baja, en un rango altitudinal aproximado que va desde los 1 800 a los 3 000 m s. n. m. en el norte de las estribaciones occidentales de los Andes, y de 1 500 a 2 900 m s. n. m. en el sur (Benítez, 2011). Existen algunas diferencias ecológicas entre la cordillera oriental y occidental, se puede decir que las laderas de la cordillera oriental son húmedas debido a los vientos húmedos provenientes de la cuenca Amazónica que le dan una clara diferencia en la estructura de su composición florística (MAE y FAO, 2015).

El este bosque siempreverde montano bajo encierra una abundante diversidad biológica especialmente florística de la región andina. En las estribaciones orientales estos bosques son continuos y muy húmedos, mientras que en las zonas occidentales son lo contrario, poco extensos y no continuos, con bajas pluviosidades. Al comparar la diversidad entre los bosques en las estribaciones de la Cordillera de los Andes, el flanco oriental es más diverso, pero en el occidental el endemismo es mayor (MAE y FAO, 2015).

Se caracterizan por la presencia de epífitas y musgos que crecen en los árboles. La mayoría de las especies epífitas son orquídeas (Orchidaceae), que en Ecuador superan las 4 000 especies. Las familias Araceae (anturios) y Bromeliaceae (huicundos) son también abundantes (Webster, 1995) y prestan hospedaje a variedad de anfibios, reptiles y otros insectos como escarabajos y arácnidos (MAE y FAO, 2015).

Se pueden encontrar especies de importancia comercial como: *Cedrela montana* Moritz ex Turcz. (Cedro), *Alnus acuminata* Kunth (aliso), *Clusia alata* Triana & Planch. (duco), *Podocarpus sprucei* Parl. (romerillo), *Nectandra laurel* Nees (canelón), *Juglans neotropica* Diels (nogal), *Cinchona officinalis* L. (Cascarilla), *Clethra revoluta* (Ruiz & Pav.) Spreng. (almizcle), *Oreopanax rosei* Harms (pumamaqui), *Persea ferruginea* Kunth (aguacatillo), *Roupala obovata* Kunth (roble andino), *Weinmannia pubescens* Kunth (cashco), entre otras (Aguirre, Z, Loja, Solano y Aguirre, N, 2016)

## **2.2. Manejo forestal sostenible**

El manejo forestal sostenible o manejo forestal sustentable (MFS), es una práctica relativamente reciente, desarrollada en el siglo XXI, que tiene su origen en la tendencia de manejar el bosque, Aguirre (2015) lo define como “una visión ecosistémica, paisajista, integral, participativa y de uso múltiple; orientada a la obtención del rendimiento sostenido de los diversos productos, bienes y servicios que este ofrece, y que busca mejorar las condiciones y calidad de vida de la

sociedad”; ellos sin poner en riesgo la satisfacción de necesidades de población humana y de las generaciones futuras, pues asegura la producción de diversos bienes y servicios a partir de los ecosistemas forestales de una manera perpetua y óptima, conservando siempre los valores de tales ecosistemas (Aguirre, Z. 2015; Aguirre, O. 2015; MAE, 2015).

En conclusión, el MFS es una estrategia de manejo de los recursos naturales, en el que las actividades forestales son parte de las interacciones ecológicas, económicas y sociales que se dan dentro de un área o región determinada, a corto y largo plazo.

### **2.2.1. Manejo forestal sostenible en Ecuador**

El Manejo Forestal Sustentable (MFS) en Ecuador intenta conservar los bosques y a su vez obtener beneficios económicos y sociales con la finalidad de satisfacer las demandas actuales de la sociedad, sin comprometer la satisfacción de las necesidades futuras. Para ello en el país se establecieron las Normas para el Manejo Forestal Sustentable de los bosques Seco, Andino, y Húmedo.

Las Normas para el MFS de bosque andino se publicaron en el registro oficial # 416 del 13 de diciembre del 2006, según el Acuerdo Ministerial 128, el cual tiene por objeto regular el manejo forestal del bosque andino, sus recursos y usos.

En su Título I y Capítulo I, define como bosque andino a la vegetación que se desarrolla arriba de la cota de los 900 m s. n. m. en las estribaciones de la Cordillera Occidental y, arriba de la cota de los 1 300 m s. n. m., en las estribaciones de la Cordillera Oriental. Se incluyen también los bosques nativos ubicados dentro de los callejones interandinos.

En el Capítulo II: De las licencias forestales especiales. El Ministerio del Ambiente podrá emitir mediante resolución Licencias de Aprovechamiento Forestal Especial, (LAFE), para madera y productos forestales diferentes de la madera, en el caso de construcción de obras públicas. Para

tal propósito el solicitante, presentará un Programa de Aprovechamiento Forestal Especial, (PAFE), acompañado de una copia del Estudio de Impacto Ambiental, Plan de Manejo Ambiental y la licencia ambiental aprobada y otorgada por la autoridad competente.

El PAFE, determinará los volúmenes de la madera por especie a ser cortada, aprovechada, utilizada y/o afectada, directamente en la construcción.

Previo a la emisión de la licencia, el solicitante deberá acreditar ante la autoridad competente la documentación relativa a servidumbres y/o derecho de vía.

El cobro del precio de madera en pie en la LAFE se realizará por el volumen de todos los árboles con diámetro a la altura del pecho, DAP, igual o superior a 10 cm.

Además, la norma en su Art. 35 cuenta con una lista de 18 especies de aprovechamiento condicionado, entre ellas *Cedrela. montana* y *Cedrela. odorata* que son parte de este estudio, y en su Anexo 4 se encuentra un listado de los Diámetros Mínimos de Corta (DMC) establecidos por Región y por Especie, en la cual también se indica que las especies que no se encuentren en esta lista, se le considerará un DMC de 60 cm.

### **2.2.2. Diámetro mínimo de corta (DMC)**

Lamprecht (1990), define el diámetro mínimo de corta (DMC) como un sistema silvicultural en el cual se aprovechan los árboles de mayor diámetro que corresponden a especies atractivas para el sector maderero, manteniendo las clases diamétricas medias y bajas con el fin de garantizar la regeneración natural y una producción maderable sostenible.

El DMC consiste en un límite de diámetro asignado a ciertas especies forestales para poder aprovechar su madera. Su asignación obedece a estrategias que permitan garantizar la regeneración natural para cosechas futuras (Salguero, Arias, y González, 2014). La definición



de un DMC se lo puede hacer mediante análisis de distribuciones diamétricas de las especies, análisis de la edad de mortalidad de los árboles, tipo de producto a cosechar y fabricar, costos de extracción de la madera, y otros. Lo importante en la definición de diámetros mínimos de corta es mantener un registro continuo que permita determinar tasas de crecimiento, mortalidad, reclutamientos para así poder planificar un buen manejo forestal.

Un DMC óptimo, en términos de rentabilidad y productividad, se establece en un punto en el que un árbol deje de crecer y llegue a su madurez, es decir que el diámetro a la altura del pecho (DAP) se encuentre entre el crecimiento medio anual máximo y el punto donde el árbol no crece más (Louman y Stanley, 2002).

Para Ecuador, según las Normas para el Manejo Forestal Sustentable de los Bosques Andinos, en su Anexo 4, se indica el DMC por especies y regiones, con nombres científicos y familias de acuerdo al Sistema de Clasificación APG III del 2009. De igual forma dicha normativa menciona que, para *Cedrela montana* y *Cedrela odorata* el DMC es de 60cm. Cabe recalcar que la especie de *C. montana* no consta en el listado del Anexo 4 de la normativa, sin embargo, se acoge a las anotaciones que se describen en la mismo Anexo, que menciona que las especies que no se encuentren en esta lista se le considerara un DMC de 60 cm.

### **2.2.3. Turno biológico de corta (TBC)**

El turno biológico de corta es el período entre el fin de un aprovechamiento maderero y el inicio de otro en la misma área o cuartel de aprovechamiento, durante el cual no es posible efectuar intervenciones en el bosque con el fin de extraer madera (MAE, 2015).

Los bosques no se deben aprovechar a una tasa mayor de su crecimiento, por lo tanto, es necesario estimarlo para conocer el momento de máximo incremento leñoso, de tal manera que los rodales no sean utilizados antes o después de la edad en que se alcanza el mismo (Juárez et al., 2005).

Mackay (1964), señala que, al coincidir las curvas del Incremento Corriente Anual (ICA) e Incremento Medio Anual (IMA), representan el máximo crecimiento medio y determina la edad de corta (t) establecida con criterio de máxima renta por especie (máxima producción de m<sup>3</sup>/ha/año). Por lo tanto, el punto donde se intercepta el ICA y el IMA se denomina Turno Biológico de Corta (TBC).

Según Giménez y Ríos (1999), para estimar el crecimiento de un árbol o de una masa forestal hay que conocer la edad. Es ampliamente aceptado que la determinación más precisa de la edad en árboles radica en el conteo de anillos de crecimiento.

Los estudios sobre la estructura de edad y la dinámica de los bosques, turnos de aprovechamiento, establecimiento de las relaciones entre crecimiento leñoso, fructificación y variaciones climáticas entre otras, o la reacción de un bosque a un tratamiento silvícola determinado, necesita del fechado y la evaluación de los ritmos pasados y presentes del crecimiento (Villalba, Villagra, Boninsegna, Morales, y Moyano, 2000).

Según Stahle (1999) y Worbes, Staschel, Roloff, y Junk (2003) el análisis de anillos de crecimiento tiene un gran potencial como herramienta para evaluar las prácticas de manejo forestal debido a la información directa que provee sobre la edad de árboles cosechables.

#### **2.2.4. Incremento medio anual (IMA)**

Según Imaña y Encinas (2008), el IMA expresa la media del crecimiento total a cierta edad del árbol, es decir, el incremento acumulado dividido entre el número de años contados. Estos mismos autores expresan, cuando el IMA alcanza su valor máximo, se define en los sistemas de manejo como el mejor momento desde el punto de vista silvicultural, para poder intervenir con los raleos o cortas de explotación.

#### **2.2.5. Incremento corriente anual (ICA)**

Según Huamán (2011), el ICA expresa el crecimiento ocurrido entre el inicio y el final de la

estación de crecimiento, en un período de 12 meses, o entre dos años consecutivos. Es la diferencia entre las medidas tomadas al principio y al fin de un año en estudio. Las curvas de incremento corriente anual e incremento medio anual pueden ser derivadas de la curva acumulativa de crecimiento. El incremento corriente anual crece, culmina y decrece rápidamente. El incremento medio anual crece más lentamente teniendo un máximo más tarde hasta llegar e igualar al ICA; a continuación de aquel punto, empieza a declinar gradualmente.

### **2.3. Dendrocronología**

La dendrocronología es la ciencia que posibilita la datación de los anillos de crecimiento de los árboles, que servirán para realizar estudios ambientales e históricos (Zuñiga, 2012). Es decir, existe una relación muy estrecha entre los árboles y el tiempo. La palabra dendrocronología se deriva del griego *dendron* –árbol-, *crono* –tiempo,- y *logo* –conocimiento- que denomina 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. El objetivo principal es establecer cronologías o series maestras (series promedio) (Gutiérrez, 2009).

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, también son muy útiles para datar eventos que hayan afectado a los árboles (perturbaciones), datar objetos, y construcciones de madera (Gutiérrez, 2009).

Además, la Dendrocronología al reunir una gran cantidad de datos, contribuye a la toma de decisiones en la gestión forestal, porque contienen registros de crecimiento, caracterización y seguimiento de los volúmenes de la 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 para permitir la observación de la heterogeneidad, su formación y defectos (Rosero, 2009).

Como conclusión Rosero (2009), Zúñiga (2012) y Gutiérrez (2009) señalan que la Dendrocronología tiene su aplicación en múltiples eventos ambientales estudiados por disciplinas como Dendroclimatología, Dendroecología, Dendroclimatografía, Dendrohidrología, Dendrogeomorfología, Dendrosismología, Dendroglaciología, Dendroarqueología.

### **2.3.1. Condiciones de la dendrocronología**

La dendrocronología permite disponer de registros ecológicos y climáticos de alta resolución, a partir de las variaciones en el crecimiento del ancho de los anillos de especies leñosas, con lo cual logra abarcar largos períodos de tiempo y así realizar reconstrucciones del pasado (Rivera, Moya, y Shea, 2010).

Stokes y Smiley (1968), señalan cuatro condiciones necesarias para que estos patrones sean usados en el fechado de las especies.

Primero: que los árboles deben incluir un anillo por cada estación de crecimiento, es decir un anillo cada año.

Segundo: El crecimiento anual total de una especie, es el resultado de la interacción de factores genéticos y ambientales. Sólo un factor ambiental debe ser predominante en limitar el crecimiento (Stokes y Smiley, 1968). En bosques tropicales andinos del sur de Ecuador los factores ambientales que influyen directamente en el crecimiento de las especies son la precipitación y la temperatura (Pucha, 2007).

Tercero: El factor ambiental limitante del crecimiento debe variar en intensidad anualmente y el anillo anual resultante debe reflejar tal variación en su ancho, es decir que cuando el factor climático es la precipitación, se espera que en años de sequía los anillos sean más finos que

aquellos formados durante años lluviosos.

Cuarto: El factor ambiental limitante del crecimiento, debe ser uniformemente efectivo sobre un área geográfica grande. Si esto no sucede, las cronologías compuestas se tendrían que realizar para cada área pequeña. Existen diferencias en las características en áreas pequeñas, pero el patrón de los anillos es semejante y lo suficiente para permitir el fechado entre árboles que crecen distanciados unos de otros.

### **2.3.2. Principios de la dendrocronología**

Los principios de la dendrocronología en las especies de árboles tropicales son adoptados de zonas templadas (Tomazello, Botosso, y Lisi, 2001).

Entre estos principios se destaca el principio de uniformidad, el cual indica que los procesos físicos y biológicos que influyen en el crecimiento de un árbol en la actualidad también estuvieron presentes en el pasado (McCarthy, 1998).

El principio de los factores limitantes, afirma que, del conjunto de factores que intervienen en el proceso de crecimiento de los árboles, siempre suele haber uno que limita el proceso.

Finalmente, se considera el principio de la datación cruzada. Este último según Merino (2009) es el principio básico de la dendrocronología, cuyo proceso consiste en hacer coincidir patrones de anillos de árboles que crecieron en la misma época, en el mismo sitio, bajo las mismas condiciones medioambientales. Una correcta sincronización de los anillos de crecimiento deriva en una adecuada datación (Fritts, 1976; Schweingruber, 1988; Kaennel y Schweingruber, 1995; Luckman, 2007).

### **2.3.3. Anillos de crecimiento en especies tropicales**

Los anillos de crecimiento son bandas concéntricas o casi concéntricas compuestas de distinta proporción de tejidos o por distinto tamaño o morfología de células.

La dendrocronología como ciencia inició reconociendo un patrón de anillos de crecimiento anual para árboles de distintas regiones templadas. Sin embargo, a principios del siglo XX se desarrollaron estudios que señalan la presencia de bandas de crecimiento en árboles tropicales (Coster, 1927; 1928).

Estudios relacionados con anillos de crecimiento reportan que el tronco de los árboles permite una medición indirecta y aproximada del clima, de las tasas de crecimiento y la edad de especies arbóreas tropicales, que son datos importantes para conocer sobre su ecología y dinámica, además de ser fundamental para el aprovechamiento sustentable de los recursos maderables (Arabe, Rodríguez, Chaves, Alvarado, y Custodio, 2011; Pineda, Valdez, López, Manzano y Salgado, 2015).

El crecimiento periódico de los árboles se manifiesta mediante características estructurales, reflejadas en los incrementos del tejido de la madera (xilema) del tallo. En plantas leñosas, el cámbium vascular se activa durante el crecimiento, formando xilema hacia el interior y floema hacia el exterior (Kozlowski, 1979). En climas templados, si estos cambios son anuales, se le nombra anillo de crecimiento anual asociados al fotoperiodo o al cambio en temperatura. En las regiones tropicales y subtropicales, los anillos son formados por una alternancia de temporadas secas y de lluvias (Gutierrez, 2009).

Las condiciones severas de sequía (Gourlay, 1995) provoca la presencia de anillos falsos de crecimiento en algunas especies, mientras que en otras la visibilidad y periodicidad del anillo

puede ser por las condiciones físicas donde se desarrollan, como suelos profundos y bien drenados (Pineda et al., 2015).

A más de las severas sequías los anillos falsos se forman debido a que el crecimiento es interrumpido por otras situaciones como las heladas, defoliación por ataque de insectos, granizo, pérdida temporal del follaje causada por heladas tardías, ataques de hongos, de insectos o debido al estímulo de crecimiento fuera de la época motivado por condiciones favorables como precipitaciones. No reflejan una dominancia cambial. Estos anillos pueden mostrarse como bandas discontinuas o como anillos continuos, generalmente son distintos a un anillo verdadero. Asimismo, existe otra categoría de anillos falsos, como son los anillos sobrepuestos que son causados por un crecimiento irregular especialmente en árboles con aletones o inclinados (Brienen y Zuidema, 2003; Escalante, 2014).

La primera especie tropical estudiada de América tropical fue posiblemente *Cordia alliodora*, por Pérez (1954), quien supuso acertadamente que los anillos eran anuales. Posteriormente, Heinrich Tschinkel demostró la anualidad de los anillos de esta especie (Giraldo, 2011).

Grau, Easdale y Paolini (2003) en su estudio de dendroecología subtropical en Argentina, encontraron 14 especies con potencial dendroecológico con edades entre los 40 a los 300 años, destacando las familias Juglandaceae, Meliaceae y Fabaceae. Los estudios sobre la identificación de anillos de crecimiento en los árboles tropicales y anualidad de estos se han realizado en diversas partes del mundo, como por ejemplo los realizados por Bräuning, Homeier, Cueva, Beck, Günter. (2008) en Ecuador; David et al. (2014) y Maingi et al. (2006) en África; Melandri et al. (2007) en Venezuela; Harley et al. (2011) en Estados Unidos de América; y Cusatis et al. (2013); Worbes (1985) en Brasil.

Por lo tanto, se puede concluir que el análisis de anillos de crecimiento es una herramienta necesaria para determinar las edades de los árboles, y además que puede ser aplicada a gran

escala. Pero se ve limitada sólo a las especies que forman anillos anuales (Brienen y Zuidema, 2005).

#### **2.3.4. Patrones de los anillos verdaderos en *Cedrela* sp**

Un patrón de anillos de crecimiento se puede definir como la forma que presenta una serie cronológica debido a la dinámica y características del crecimiento de determinada especie.

En la actualidad, se conocen varias especies de árboles tropicales que presentan un claro potencial dendrocronológico, entre ellas las especies del género *Cedrela*. Estudios realizados por Tomazello et al. (2001), estudiaron la potencialidad de la familia Meliaceae para dendrocronología en regiones tropicales y subtropicales. Donde árboles de *Cedrela odorata*, *C. fissilia*, *C. angustifolia*, *Switenia macrophylla* y *Toona ciliata* Var. *australis*, provenientes tanto de poblaciones naturales como de plantaciones, presentaban estacionalidad cambial, en relación con el comportamiento fenológico y con las condiciones climáticas de las áreas de estudio, que inducen a la formación de anillos anuales de crecimiento. La nítida marcación de estos anillos de crecimiento, por la presencia de parénquima axial inicial de los anillos con porosidad semicircular, es resultado del reinicio del ciclo de crecimiento de estas especies, lo cual hace posible la medición. Estas características de los anillos de crecimiento verdaderos de *Cedrela*, también fueron descritas en diferentes estudios por autores como Villalba (1995) en Argentina; Dünisch., Bauch., y Gasparotto, (2002) en Brasil; Brienen y Zuiema (2005) en Bolivia; Pucha (2006) en Ecuador; Pereira et al. (2013) en Perú; Baker, Santos, Gloor, y Brienen. (2017) en tres países de Sudamérica (Venezuela, Ecuador y Bolivia); Pereira et al. 2018) en Brasil; y Peña, Santini y Tommasiello (2019); Rodríguez, Woodman, Balsley, Mabres, y Phipps, (1993) en Perú.



## 2.4. Descripción de las especies en estudio

El nombre Cedro fue asignado por españoles, debido a la fragancia de la madera que era muy similar a la de los *Cedrus sp.*, (Loján, 2003). En 1680 Turcz describió a la especie de *Cedrela montana*. Sin embargo, el género *Cedrela* fue establecido por P. Browne en 1756 y en 1759 Linnaeus describió a *Cedrela odorata* (Patiño, Kageyama, Linares, Navarro, y Patiño, V., 1997). Moritz ex Turcz (1858) hizo la última descripción de la especie de *Cedrela montana*, misma que es identificada como *C. bogotensis* Triana & Planchon; *C. subandina* Cuatrecasas; *C. Rosei* Blake y *C. mexicana* Roem.

En 1960 Smith efectuó una revisión del género *Cedrela*, a partir de eso, las especies de cedro en Asia y Australasia se colocaron en el género *Toona*, quedando el género *Cedrela* en América con solamente nueve especies (Lamb, 1968). Por su parte Pennington (1981) revisó el género junto con otros investigadores y reconocen solamente siete especies *C. fissilis* Vellozo; *C. lilloi* C. de Candolle; *C. montana* Moritz ex Turczaninoy; *C. oaxacensis* C. de Candolle & Rose; *C. odorata* Linnaeus; *C. salvadorensis* Standley y *C. tonduzii* C. de Candolle. Para este estudio se realizó la descripción las especies de *C. montana* y *C. odorata*.

### 2.4.1. *Cedrela montana* Moritz ex Turcz

#### 2.4.1.1. Descripción taxonómica

La descripción taxonómica se la hizo de acuerdo al sistema de clasificación APG IV. 2016.

- **Reino:** Plantae
- **Subreino:** Embryobionta
- **División:** Magnoliophyta (angiospermas)
- **Clase:** Magnolopsida
- **Subclase:** Rosidae
- **Orden:** Sapindales
- **Familia:** Meliaceae

- **Género:** *Cedrela*
- **Especie:** *montana*
- **Nombre científico:** *Cedrela montana* Moritz ex Turcz
- **Nombre común:** Cedro, Cedro bogotano, Cedro clavel, Cedro colorado, Cedro de montaña, Cedro de tierra fría, Cedro mondé, Cedro negro y Cedro rosado.

#### 2.4.1.2. Descripción dendrológica

A continuación, se hace una descripción general de *Cedrela montana* siguiendo la revisión y estudio de esta especie por Aguirre et al. (2013); Aguirre et al. (2015); MAE y FAO (2014); Mahecha et al. (2012); Pucha (2007; 2016).

*Cedrela montana* es un árbol de lento crecimiento que alcanza de 20 a 35 metros de altura y un DAP de 30 cm. Tiene un fuste cilíndrico de base recta, corteza color café oscuro y fisurado longitudinalmente (Figura 1). Tiene copa abierta y globosa, follaje color verde oscuro, la parte interna de la corteza es de color rosado, tiene un sabor amargo característico y carece de látex.



Figura 1. Árboles de *Cedrela montana* en un bosque siempreverde montano bajo de la RBSF.

Las hojas (Figura 2 a) son alternadas compuestas y paripinadas, de 7 a 12 pares de folíolos generalmente opuestos; folíolos de 8 a 10 cm de largo por 3 a 4 cm de ancho, pubescentes y con el borde entero; son caducifolias (Beck et al. 2008). Las flores son terminales y pequeñas; el cáliz es regular y lobulados. Los frutos (Figura 2 b y c) son capsulas leñosas con lenticelas, dehiscentes y caféas, en su interior contienen semillas aladas (Figura 2 d). La inflorescencia es un racimo compuesto, las flores son bisexuales, de color blanco azulado, con cáliz y corola presente, con sépalos y pétalos libres (MAE y FAO 2014; Pucha, 2007).

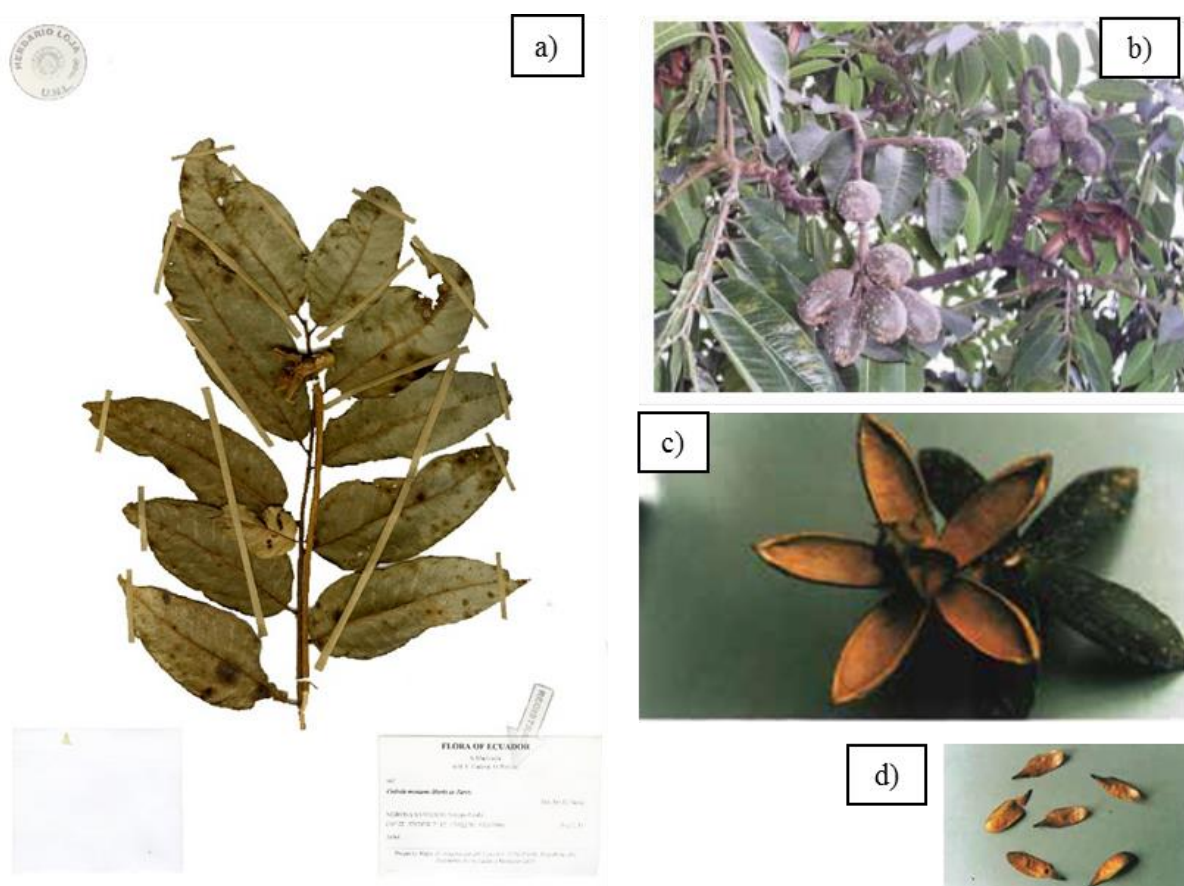


Figura 2. Partes botánicas de *Cedrela montana*. a) Hojas, b) frutos verdes, c) frutos abiertos, d) semillas. Fuente: Herbario Reinaldo Espinosa- UNL-Loja (2019); Pucha (2007); Mahecha et al. (2012).

#### 2.4.1.3. Distribución y hábitat

La especie crece en suelos con buen drenaje, sueltos o de textura arenosa, pH neutro o alcalino y buena fertilidad. El árbol retarda su crecimiento en suelos con baja fertilidad y de textura arcillosa, es susceptible a suelos inundados. Crece en ecosistemas de bosque seco Pre-Montano

(bs-PM), bosque húmedo Pre-Montano (bh-PM), bosque seco Montano-Bajo (bs-MB) y bosque húmedo Montano-Bajo (bh-MB). También se lo encuentra fuera de su hábitat natural como árbol ornamental. Se lo confunde con *Cedrela fissilis* Veil que crece en la parte Amazónica entre 0 – 1500 m s. n. m. (MAE y FAO, 2014).

En Ecuador se lo encuentra desde 1500 hasta 3500 m s. n. m., con una temperatura promedio anual entre el rango de 10 a 20 °C y una precipitación anual de 500 a 2000 mm. En las provincias de Azuay, Bolívar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Loja, Napo, Pichincha y Tungurahua. (Jorgensen y León 1999).

#### **2.4.1.4. Fenología**

La defoliación comienza en junio hasta agosto mediados de octubre (Bräuning et al., 2008). La floración se inicia en noviembre y declina en enero; la fructificación se inicia en diciembre y declina en marzo. Bendix et al. (2006) afirman que al sur del Ecuador en la RBSF se encontró que florece en el periodo de menor humedad y tiene su máxima fructificación en el periodo de mayor humedad y la colección de semillas se debe hacer en el mismo árbol, antes de que la capsula se abra y bote las semillas. Además, la considera como una especie decidua facultativa dependiendo del sitio y condiciones climáticas.

*Cedrela montana* es una de las pocas especies deciduas de las más de 250 que han sido identificadas dentro del área de estudio y presenta diferenciación de anillos de crecimiento a simple vista. Generalmente el género *Cedrela* es apreciado en carpintería, para exteriores e interiores y especialmente para muebles debido a su color, grano y trabajabilidad, caracterizado por su dureza y alta durabilidad, la madera es usada para contrachapados, cajas de cigarrillo, construcción naval, botes deportivos, instrumentos musicales, como piezas en la construcción y para esculturas (Loján, 2003; Nieto y Rodríguez, 2003; Guerrero y López, 1993).

#### **2.4.1.5. Anatomía de la madera**

La madera de Cedro presenta anillos claramente definidos así como se muestra en la Figura 3 a, (MAE y FAO, 2014), tiene la albura de color marrón muy pálido (10 YR 8/3) y duramen marrón (7,5 YR 5/4), transición abrupta entre albura y duramen. Olor y sabor no distintivo. Lustre alto. Grano recto ha inclinado. Textura mediana, moderadamente dura y pesada (Barrera et al., 2018; León, 2006; 2009).

Los Anillos de crecimiento están definidos por porosidad semicircular y parénquima marginal (Figura 3 b). Presenta poros sin patrón definido de disposición; solitarios, múltiples radiales de 2- 3, algunos arracimados y múltiples tangenciales; 4-9 poros por mm<sup>2</sup>; diámetro tangencial (90-) 145-173 (-250)  $\mu\text{m}$ , longitud de elementos vasculares (220-) 369-377 (- 610)  $\mu\text{m}$ , platinas de perforación simple, punteaduras intervasculares alternas, circulares a ovaladas, pequeñas, diámetro 5-6,25  $\mu\text{m}$ , punteaduras radiovasculares similares a las intervasculares, depósitos de goma en los poros. Fibras septadas y no septadas, paredes delgadas, longitud (900-) 1,150-1,233 (-1,460)  $\mu\text{m}$ , punteaduras indistintamente areoladas. Parénquima paratraqueal escaso, vasicéntrico, ocasionalmente aliforme de ala corta, marginal (Figura 3 b); se encuentra en series de (2-) 4-5 (-8) células (Figura 3 c). Radios homocelulares de células procumbentes (Figura 3 d) y heterocelulares con 1 (-2) rutas de células marginales; 3-7 radios por mm lineal; 2-6 células de ancho, altura (210-) 269-382 (-540)  $\mu\text{m}$ . Cristales prismáticos en células parenquimáticas radiales y, ocasionalmente, en parénquima axial, un cristal por célula (León, 2006; 2009; MAE y FAO, 2014; Armijos, Quezada, Veintimilla y Pucha, 2017). Presencia de tilosis en el duramen (no muy frecuente), se muestra como la penetración de una célula parenquimatosa axial o radial que se introduce a la cavidad de un elemento vascular a través de las puntuaciones, obstruyendo parcial o totalmente el lumen de este. Microscópicamente toman un aspecto brillante en los poros o vasos (Mamani, 2015).



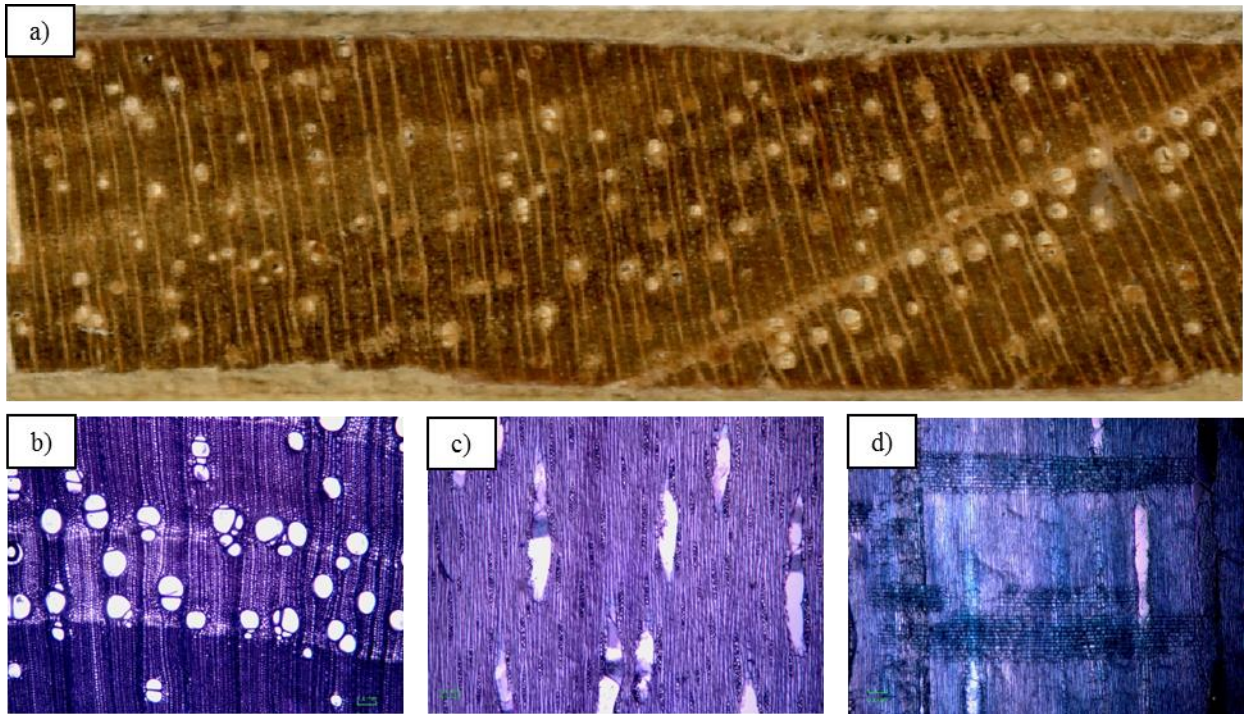


Figura 3. Características macro y microscópicas de la madera de *Cedrela montana* (a) Vista macroscópica: madera de color marrón pálido y duramen marrón, transición entre albura y duramen, anillos de crecimiento visibles. (b) corte transversal: anillos definidos por poros semicirculares, solitarios y/o agrupados, de distribución no definida y parénquima marginal en bandas. (c) corte tangencial: radios dispersos y solitarios de 1 a 3 series de células, dos tamaños de radios bien diferenciados y (d) corte radial: células procumbentes, cuadráticas, marginales. Presencia de tilosis y cristales en células cuadráticas (Armijos, Quezada, Veintimilla, y Pucha 2017).

#### 2.4.2. *Cedrela odorata* L.

##### 2.4.2.1. Descripción taxonómica

- **Reino:** Plantae
- **Subreino:** Embryobionta
- **División:** Magnoliophyta (angiospermas)
- **Clase:** Magnolopsida
- **Subclase:** Rosidae
- **Orden:** Sapindales
- **Familia:** Meliaceae
- **Género:** *Cedrela*
- **Especie:** *odorata*
- **Nombre científico:** *Cedrela odorata* Linneo.

- **Nombre común:** Cedro, Cedro Cebollo, Cebollo, Cedro Amargo, Cedro Caquetá, Cedro Blanco, Cedro Caobo, Cedro Colorado, Cedro Oloroso y Cedro Rojo (Castaño, Cárdenas y Rodríguez, 2007).

Esta especie se conoce comercialmente con el nombre vernáculo de Cedro, en las Islas del Caribe y América Latina. Además, recibe otros nombres vernaculares, entre ellos: Cedro paraíso (Argentina). Cedro cebolla (Panamá), nogal cimarrón (Guanajuato, México), Cedro cubano (Centroamérica), Cedro amargo, Cedro colorado (Chiapas, México, Centroamérica, Venezuela), cedar, cigarbox, red ceda (ciudades de habla inglesa) y más (Amález y Flores, 1988).

#### 2.4.2.2. Descripción dendrológica

Es un árbol grande, puede crecer hasta 40m de altura y 2m de diámetro. El fuste es cilíndrico; la corteza externa es agrietada, desprendible en placas grandes de color gris; la corteza interna es fibrosa, rosada a rojo pardo. Las hojas (Figura 4) son alternas paripinnadas, sin estípulas, agrupadas al final de la rama, de 5 a 11 pares de folíolos opuestos, lanceolados a ovalados (Figura 4) (Amález y Flores, 1988; MAE y FAO, 2014; Nacimba, 2015).



Figura 4. Partes botánicas de *Cedrela odorata*. Tomado de: Aguirre, Loja, Solano, Aguirre N. (2015); Herbario Reinaldo Espinosa- UNL-Loja (2019)

Las flores son de color blanco, agrupadas en racimos florales o panículas grandes de 30 a 50 cm., con cáliz irregularmente dentado. Son unisexuales y presentan cinco pétalos pubescentes color crema verduzco. En flores femeninas las anteras son delgadas, el estigma es verde, globoso y capitado. La cápsula leñosa es redondeada en ambos extremos. Los frutos son cápsulas con dehiscencia longitudinal septicida (se abren en cinco carpelos), es leñoso, color café oscuro, de superficie externa lenticelada y lisa, este se desprende una vez liberada la semillas (Figura 4).

Las semillas son ortodoxas, este tipo de semillas puede almacenarse con contenidos de humedad de 6 a 7% y temperaturas  $\leq 0^{\circ}\text{C}$ ; tales condiciones permiten mantener la viabilidad por varios años. Generalmente las semillas ortodoxas presentan algún tipo de latencia. (Amález y Flores, 1988).

#### ***2.4.2.3. Distribución y hábitat***

El Cedro es un árbol del Neotrópico, encontrándose en los bosques de las zonas de vida subtropical o tropical húmedas o estacionalmente secas, desde la latitud  $26^{\circ}$  N. en la costa pacífica de México, a través de la América Central y las Indias Occidentales, hasta las tierras bajas y el pie de los cerros de la mayoría de la América del Sur hasta una elevación de 1,200 m, con su límite sureño alrededor de la latitud  $28^{\circ}$  S. en Argentina.

El Cedro se puede encontrar de manera natural en suelos bien drenados, a menudo, pero no de manera exclusiva en piedra caliza y tolera una larga temporada seca pero no prospera en las áreas con una precipitación de más de 3000 mm o en los sitios con suelos densos o anegados. Los individuos se encuentran esparcidos en los bosques mixtos semisiempreverdes o semicaducifolios dominados por otras especies (Cintrón, 1990). En Ecuador se encuentra desde



0-2 000 m s. n. m., en las provincias de Esmeraldas, Galápagos, Guayas, Los Ríos, Loja, Morona y Napo (Aguirre, 2012).

#### **2.4.2.4. Fenología**

Nacimba (2015) realizó un estudio sobre Crecimiento y dendrocronología de *Cedrela odorata* en un bosque de la Amazonía ecuatoriana y observó que en el mes mayo y junio esta especie presenta hojas maduras y frutos; y en los meses de septiembre y octubre observó la caída de hojas senescentes y ausencia de frutos.

#### **2.4.2.5. Anatomía de la madera**

La corteza es de color pardo-grisáceo, fisurada, con numerosas lenticelas redondeadas, distribuidas en forma irregular y dispuesta longitudinalmente. La madera muestra un cambio gradual entre albura y duramen (Figura 5 a); la albura tiene vetas amarillo claro y pardo grisáceo (7 /2 hue-1 O YR, Light yellow brownish gray) y el duramen una coloración grisácea pardo rojiza (5/4 hue-5 YR, Gray reddish brown). En condición verde, la madera tiene sabor y olor desagradables (olor a ajo), característicos de la familia Meliaceae; en condición seca, el aroma es agradable y el sabor desagradable. Los anillos de crecimiento son evidentes a simple vista y los límites están definidos por bandas oscuras y regulares que pertenecen al leño tardío (Amález y Flores, 1988).

La madera es de color rosado a rojizo, de grano entrecruzado y con una densidad de 0.30-0.50 g/cc. Presencia de poros aislados o asociados radialmente de 2 a 3 (Figura 5 b), formando casi siempre una zona semiporosa, poco numerosos (2 a 5 por mm<sup>2</sup>) y grandes (diámetro superior a 200 micras en el inicio del anillo y de 160 a 220 micras en promedio). Perforación simple en los elementos vasculares. El tamaño de las puntuaciones intervasculares es de 7 a 9 micras. Presenta parénquima de tres formas (Figura 5 b): asociado a los poros, en líneas o bandas

terminales y en células aisladas frecuentemente con cristales dispersos dentro del tejido fibroso. Radios de 2 a 3 células (Figura 5 e), en número de 4 a 5 por mm, de estructura subhomogénea. Puntuaciones radio vasculares idénticas en tamaño a las inter vasculares. Presencia o no de cristales en las células terminales. Fibras con puntuaciones simples (Tullume, 2000).

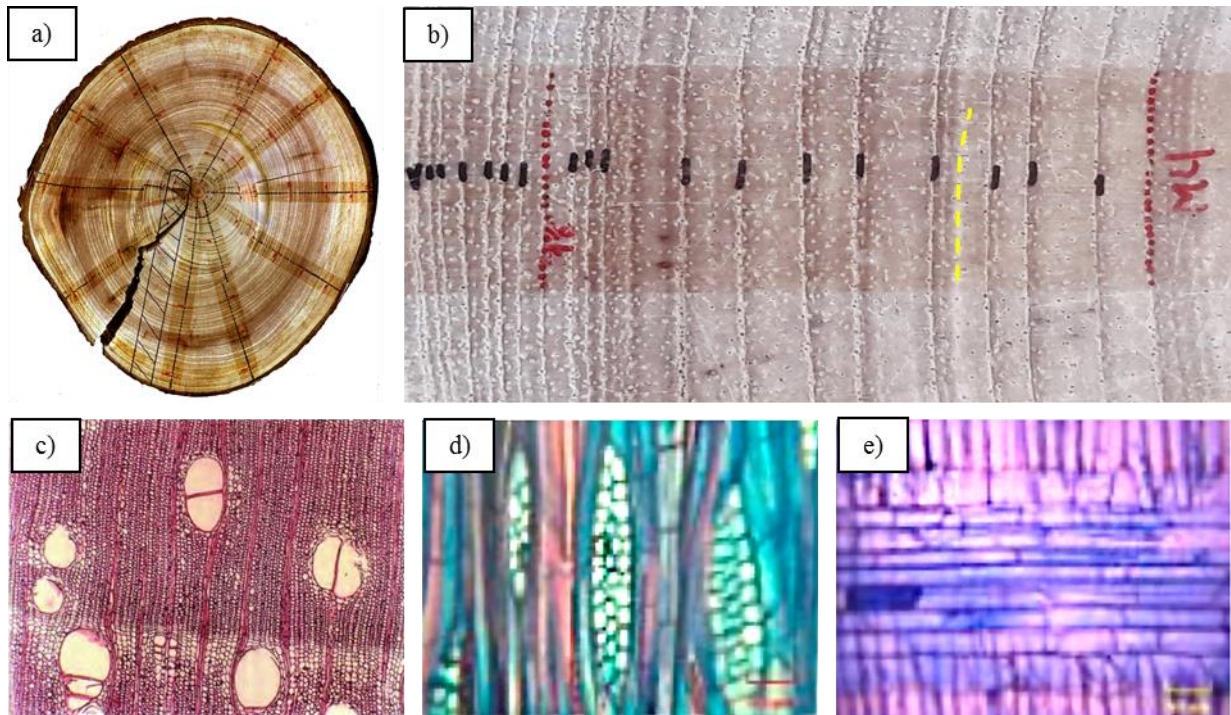


Figura 5. Características macro y microscópicas (4x) de la madera de *Cedrela odorata* (a) Vista macroscópica: diferenciación inconspicua entre duramen y albura, (b) Anillos de crecimiento claramente visibles, así como tenues líneas que representan los anillos falsos (línea entrecortada amarilla representando un anillo falso), (c) corte microscópico transversal: poros difusos y redondos, solitarios y múltiples radiales de 2 a 4, parénquima en bandas de tipo marginal, paratraqueal, vasicéntrico y apotraqueal difuso, (d) corte tangencial: radios cortos biseriados y triseriados. (e) corte radial: células procumbentes (Barrera, Castro, Muñoz, y Pucha, 2018).

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Sitio de estudio

Para el desarrollo de la presente investigación se consideró dos escenarios: el primero fue en el predio del Ing. José Castillo, que se ubica en la parroquia El Tambo del cantón Catamayo de la provincia de Loja y el segundo en la Reserva Biológica San Francisco (RBSF) perteneciente a la parroquia Sabanilla del cantón Zamora de la provincia de Zamora Chinchipe (Figura 6).

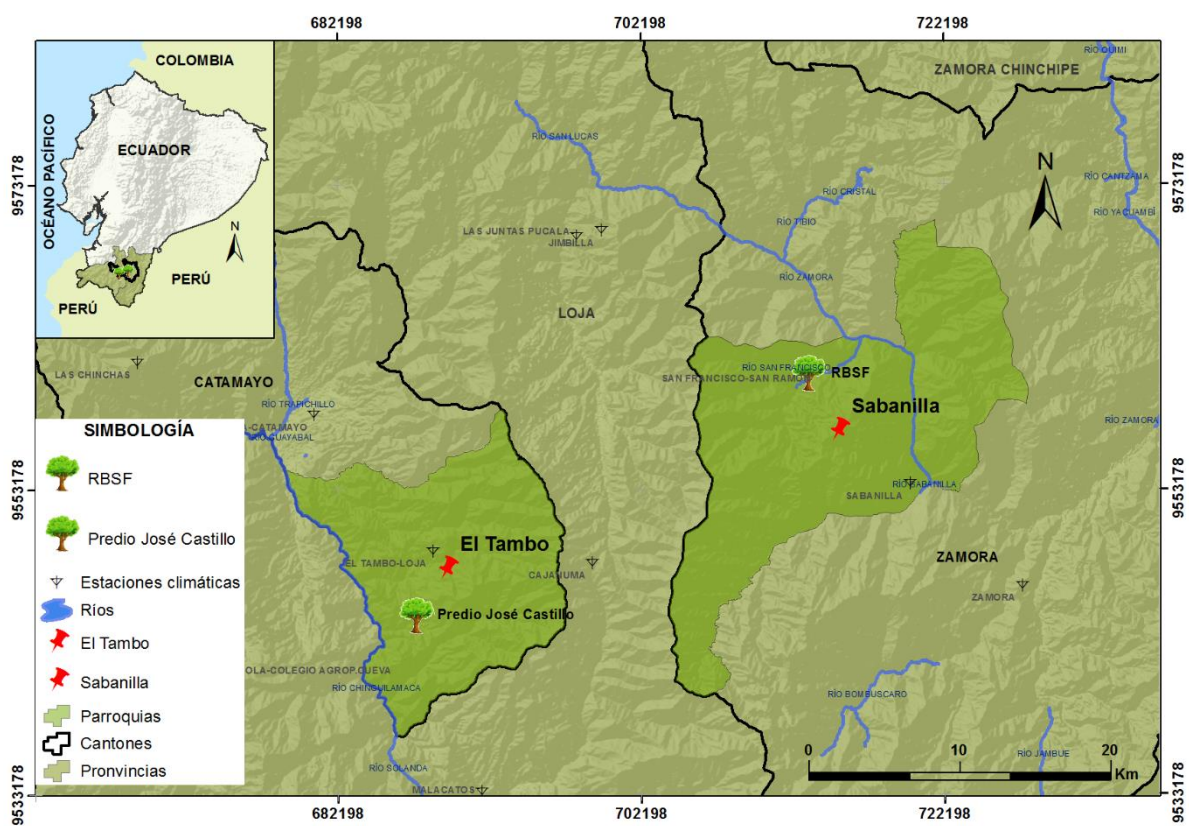


Figura 6. Ubicación del área de estudio en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

##### 3.1.1. El Tambo

El cantón Catamayo se encuentra a 36 Km Noroeste de la ciudad de Loja, tiene una extensión de 649,89 km<sup>2</sup>, está compuesto por una parroquia urbana: Catamayo y cuatro parroquias rurales: El Tambo, Guayquichuma, San Pedro de la Bendita y Zambi (Gobierno autónomo descentralizado municipal de Catamayo, 2014).

Al sur-este del cantón Catamayo se ubica la parroquia El Tambo, la cual corresponde a la zona alta de la cuenca hidrográfica del Río Catamayo-Chira, con una altitud que va desde los 1300 a 2800 m s. n. m. y tiene una extensión de 203,88 km<sup>2</sup> (ZEDIFRAMA, 2014).

Dentro de la parroquia El Tambo se encuentra el área donde se colectó las muestras para este estudio, la misma que se ubica geográficamente en las coordenadas; 687354 m E y 9544970 m S; en el predio del Ing. José Castillo (Figura 7).

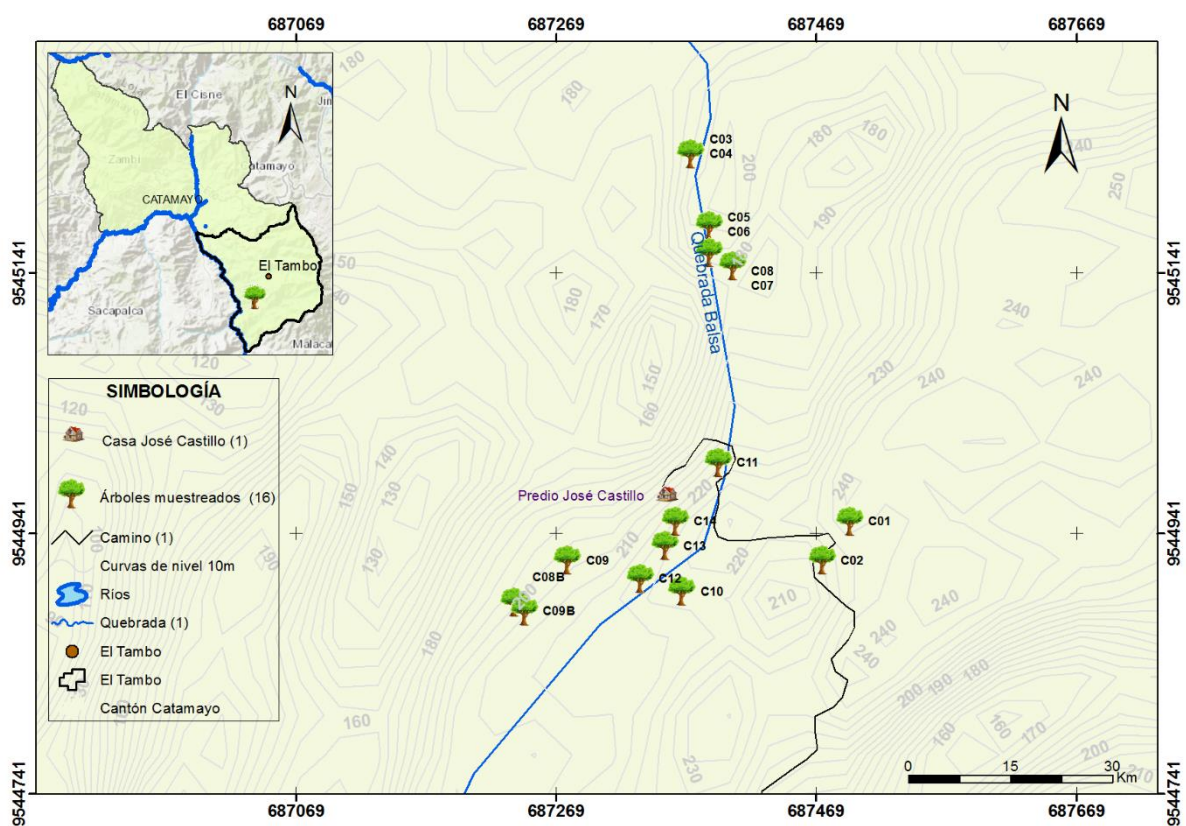


Figura 7. Localización de los árboles muestreados en la parroquia El Tambo de la provincia de Loja.

Dentro del sitio de estudio no se cuenta con datos meteorológicos, sin embargo para obtener datos de precipitación y temperatura se aplicó el método de los polígonos de Thiessen, el cual consiste en interpolar bidimensionalmente datos cuantitativos, permitiendo identificar las estaciones que tiene mayor influencia en el área de estudio (Ver Anexos 17 y 18), luego con información proporcionada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INHAMI), se obtuvo datos climáticos mensuales y anuales de las siguientes estaciones meteorológicas: La



Toma Catamayo ubicada a 15 km de distancia (solo datos mensuales) y Malacatos a 12 km de distancia. Al realizar el polígono de Thiessen, se pudo observar que en el área de estudio influyen 2 estaciones, pero la estación El Tambo como se muestra en el Anexo 17 no contaba con datos de temperatura por lo que se decidió elegir la estación próxima más cercana al sitio de estudio que en este caso fue la estación Malacatos (Figura 8 a y b).

En base a lo anterior como se muestra en la Figura 8 (a y b) en la parroquia El Tambo la precipitación mensual es aproximadamente de 56,91 mm/mes, presenta dos marcadas estaciones una lluviosa durante los meses Octubre – Abril y la estación seca de Mayo a Septiembre, los valores anuales oscilan entre 400 y 900 mm/año (ZEDIFRAMA 2014), la temperatura media anual varía entre los 18 °C y 20 °C (IHAMI, 2019).

Según la clasificación bioclimática y ecológica del Ecuador de Cañadas (1983) la zona de influencia de la parroquia El Tambo posee un clima subtropical seco, y de acuerdo a los pisos altitudinales la zona se clasifica en Bosque Seco Premontano (bs-PM), Bosque Seco Montano bajo (bs-MB), Bosque Seco Montano (bs-M). El área donde se colectaron los árboles corresponde a un bosque y arbustal semideciduo montano bajo (MAE, 2013), ecosistema que se caracteriza por bosques con un dosel abierto que alcanza entre 8 y 12 m de alto, el sotobosque con presencia de abundantes arbustos y hierbas de tipo estacional, se encuentran en quebradas, hondonadas, laderas y cimas, sobre suelos pedregosos, ubicados aproximadamente entre 1200 y 2200 m s. n. m. (MAE, 2013).

La parroquia es netamente agrícola, cubriendo el mercado local y del sur de la región, razón por la cual se la ha denominado como “la despensa agropecuaria del sur”. Los productos agrícolas de la zona son: yuca, maíz, tomate de riñón, pepino, pimiento, fréjol, caña, frutales. Además, la parroquia es zona ganadera en su parte alta (Chamorro, 2012).

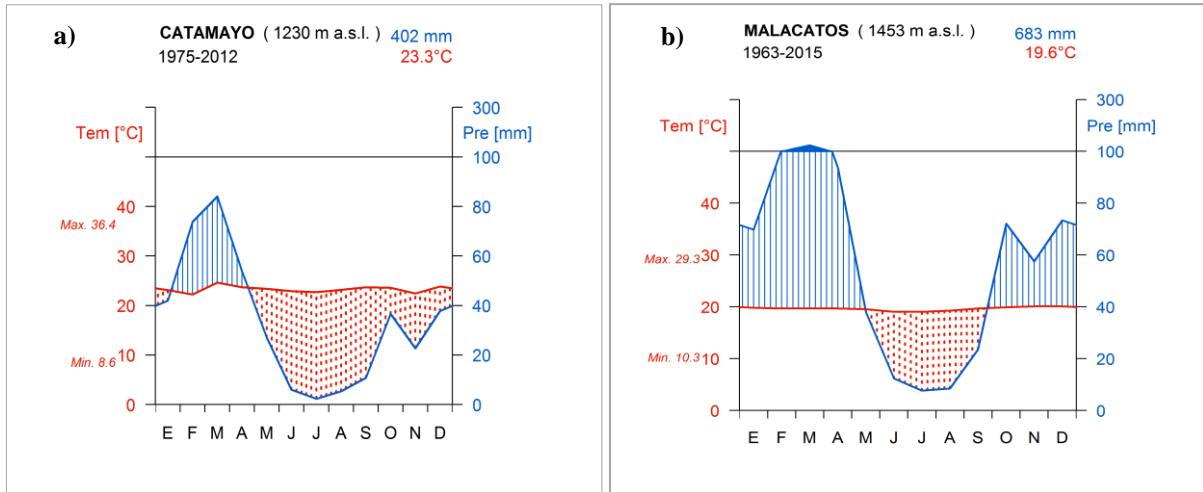


Figura 8. Promedio mensual de precipitación y temperatura para El Tambo: Diagramas climáticos de Walter y Lieth para a) periodo 1975-2012 de la estación La Toma Camayo 1230 m s. n. m. y b) periodo 1963-2015 de la estación Malacatos a 1453 m s. n. m. (INHAMI ,2019).

### 3.1.2. Reserva Biológica San Francisco (RBSF)

La RBSF, abarca 1000 hectáreas de la extensión norte de la Cordillera de Consuelo, se encuentra en uno de los “puntos calientes” de biodiversidad, la zona donde los Andes tienen su menor elevación, conocida como Depresión de Huancabamba a 713301 m E y 9560756 m S, en la provincia Zamora-Chinchipec, Ecuador, bordeado por el Parque Nacional Podocarpus. Con un rango altitudinal que va desde los 1 800 m s. n. m. a 3 150 m s. n. m. (Figura 9) (Bussmann, 2003; Pucha, 2016).

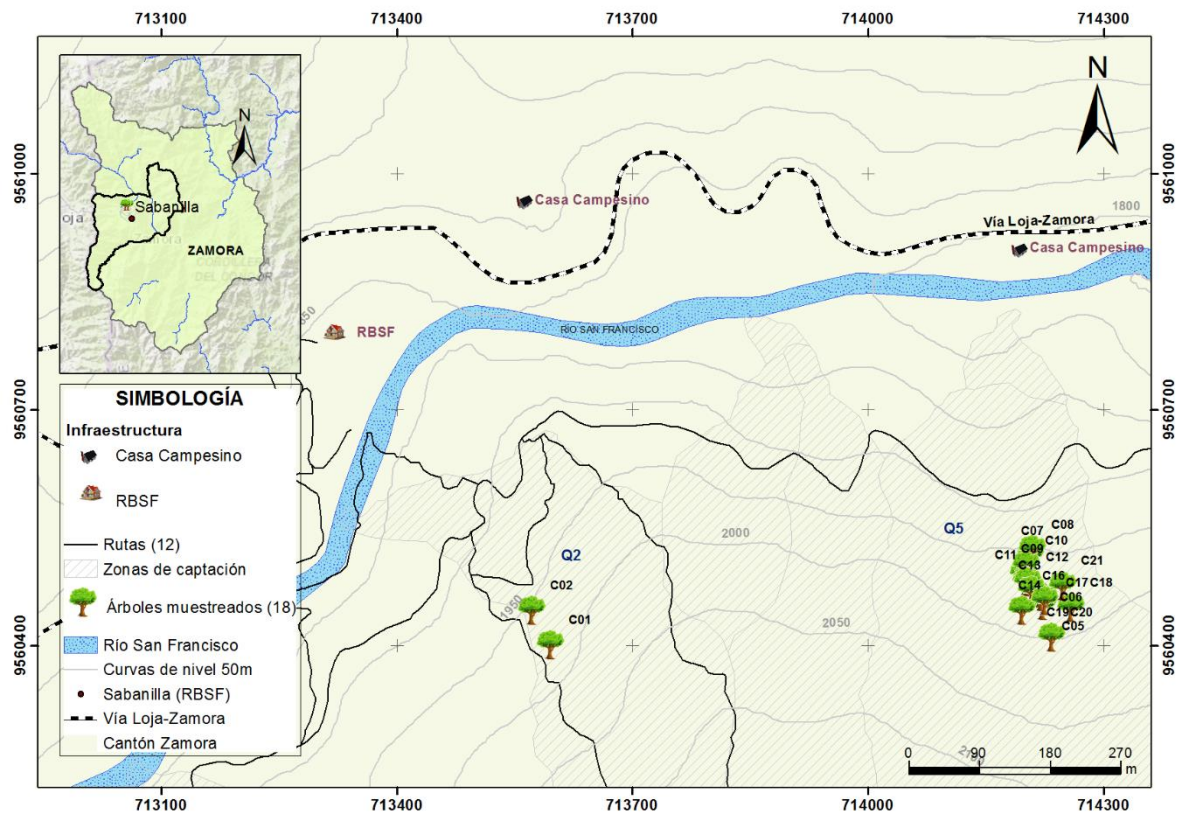


Figura 9. Ubicación de los árboles muestreados en la RBSF.

La RBSF incorpora un transecto completo de los bosques montanos de la región bien conservados y áreas antropicamente perturbados. La topografía es inmensamente escarpada con pendientes entre  $40^{\circ}$  -  $60^{\circ}$  y frecuentemente llegando a  $90^{\circ}$  (Bussmann, 2003; Beck et al., 2008). La precipitación media mensual es de 179,92 mm/mes, los valores anuales son de 2023 mm/año, y la temperatura media anual oscila entre 15 y  $17^{\circ}\text{C}$  (Figura 10) (INHAMI, 2019). Los meses de mayor precipitación son Febrero-Marzo y Junio-Septiembre, ambos períodos seguidos por épocas secas que pueden causar cortas temporadas casi áridas especialmente en los meses Octubre y Enero (Bussmann, 2003; INHAMI, 2019).

La zona es altamente lluviosa, por lo que las características de los suelos varían en función de la altitud y temperatura. Los suelos son profundos, de colores pardos amarillentos y rojizos, debido a las fuertes pendientes los suelos son frágiles y sensibles a la erosión hídrica (Wilcke et al., 2002).

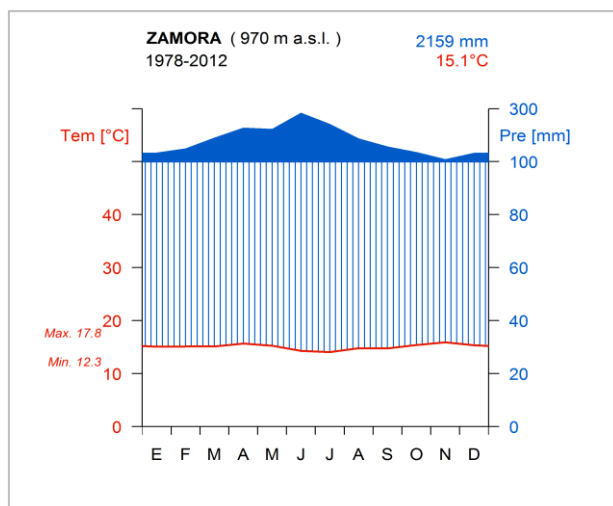


Figura 10. Promedio mensual de precipitación y temperatura en la RBSF periodo 1964-2012 representado con un Diagrama climático de Walter y Lieth con datos de la estación Zamora (INHAMI ,2019).

En el área de estudio se diferencian 4 tipos de formaciones vegetales Arbustal Siempreverde montano alto del páramo sur, bosque montano bajo (1700 a 2150 m s. n. m.), bosque montano alto (2150 a 2650 m s. n. m.), bosque subalpino o ceja andina (2650 a 3000 m s. n. m.) y el páramo (2700 a 3150 m s. n. m.) (Homeier et al., 2008). Este estudio se realizó en el bosque siempreverde montano bajo (MAE, 2013).

### 3.2. Fase de campo

Para este estudio se utilizaron muestras que fueron colectadas en el año 2017 (20 de septiembre; 26 de septiembre y el 5 de noviembre) por estudiantes de la carrera de Ingeniería Forestal en la Reserva Biológica San Francisco (RBSF) y en la parroquia El Tambo (01 de septiembre), dentro del proyecto de investigación “Determinación de turnos biológicos de corta para el manejo forestal sostenible al sur del Ecuador” de la Carrera de Ingeniería Forestal de la UNL, a cargo del Dr. Darwin Pucha. Se tomó núcleos de madera de 33 árboles, donde 7 árboles fueron de *Cedrela odorata* del sitio El Tambo y 26 árboles de *Cedrela montana* de la RBSF.

Para ajustar el número necesario de muestras, se realizó una segunda salida de campo al sector El Tambo (26 de enero del 2019).



### 3.2.1. Obtención de las muestras en campo

Se seleccionaron 7 árboles con un diámetro igual o mayor a los 30 cm, utilizando el barreno de Pressler, se extrajo como mínimo 2 muestras de radios diferentes por cada individuo, considerando el rumbo en que el que se tome las muestras, y procurando en el mejor de los casos llegar a la médula. Una vez obtenidas las muestras (27 muestras radiales), se procedió a montarlas en un soporte de madera (regleta acanalada de madera de 50 cm) asegurándolas con cinta masking, y asignando un código por cada muestra, el mismo que contiene el sitio, la especie, el número de árbol, el número de muestra y la dirección en la fue tomada, por ejemplo en el caso de El Tambo la codificación fue: ETCO09A1N. Adicionalmente se tomó datos fitogeográficos del sitio de muestreo teniendo como base 23 criterios, de los cuales se consideró los criterios del 1 al 10 y el 17 para efecto de este estudio tal y como se muestra en la siguiente hoja de campo (Figura 11). Es importante mencionar que en el sector El Tambo los individuos de *Cedrela* se encontraron únicamente en bosques de galería porque son los únicos remanentes boscosos donde se pudo muestrear, ya que estas áreas en su mayoría son de uso agrícola.

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:	_____
<b>1. Fecha - Hora</b>	<b>4. Código muestra</b>	<b>5. Dirección de la muestra</b>	<b>23. Comentario muestra</b>
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

Figura 11. Hoja de campo para la evaluación de los individuos

### **3.3. Fase de laboratorio**

#### **3.3.1. Preparación y organización de las muestras**

Se contó con un total de 14 muestras de *Cedrela odorata* (07 árboles) de El Tambo y de 44 muestras de *Cedrela montana* (19 árboles) de la Reserva Biológica San Francisco, se verificó si la información de las hojas de campo coincide con base de datos digital (Anexos 2 y 3), así mismo que no hayan errores en la codificación de las muestras, luego de eso se procedió a ordenarlas y continuar con el proceso de preparación de las mismas.

En el caso de las nuevas muestras (27) colectadas de El Tambo, se procedió a pasar todos los datos de las hojas de campo en la base digital, y luego continuar con la preparación de las muestras tomadas

#### **3.3.2. Montaje de muestras**

El montaje se realizó retirando la cinta adhesiva y las muestras de su soporte, se colocó la suficiente cantidad de pegamento en el soporte, antes de colocar la muestra nuevamente, también se consideró la dirección de las fibras de la muestra, pues estas deben estar en sentido vertical, con la finalidad de que el plano transversal de la muestra colectada esté siempre mirando hacia arriba al momento del montaje, las muestras fueron montadas en la misma dirección en la que fueron tomadas en campo y se las aseguró con cinta masking, dejando pasar 24 horas con el objeto de que la goma se seque completamente y la muestra esté bien pegada.

#### **3.3.3. Lijado de muestras**

Una vez montadas las muestras, se procedió a lijarlas, para ello se siguió un protocolo de lijado (Tabla 1), el mismo que consiste en un trabajo combinado consecutivo de lijado con una lijadora

de mano y un lijado manual, iniciando con lijas que van desde un grano grueso a uno más fino, el tamaño la lija fue 100 hasta el 4000, con la finalidad de realzar la visualización de los anillos de crecimiento. Las primeras lijas (100 a 360) permitieron rebajar e igualar la muestra en un 50%, así como corregir rayaduras, las lijas finales (600 a 4000) permitieron pulir las muestras con la finalidad de realzar la visualización de los anillos de crecimiento.

Tabla 1 Protocolo de lijado para *Cedrela montana* y *Cedrela odorata*

<b>Numero de lija</b>	<b>Tipo de lijado</b>	<b>Descripción</b>
100	Lijadora rotativa	Rebajar e igualar muestras
100	Lijado manual	Rebajar e igualar muestras
180	Lijadora rotativa	Corregir fallas y rayaduras
180	Lijado manual	Corregir fallas y rayaduras
240	Lijadora rotativa	Corregir fallas y rayaduras
240	Lijado manual	Corregir fallas y rayaduras
360	Lijadora rotativa	Corregir rayaduras
360	Lijado manual	Corregir rayaduras
600	Lijadora rotativa	Pulir
1000	Lijadora rotativa	Pulir
2000	Lijadora rotativa	Pulir
4000	Lijado manual	Pulir

Una vez concluido el proceso de preparación de las muestras, se continuó con la medición, sincronización y análisis de datos.

### **3.3.4. Identificación de patrones de anillos verdaderos**

Para la identificación de los patrones de anillos verdaderos de *Cedrela sp.*, se utilizó como base dos secciones transversales completas (2 discos) de *Cedrela odorata* (Figura 12) y cortes anatómicos de *Cedrela montana* (Figura 13). En los discos se pudo observar los anillos completos desde el primer año, y los cortes anatómicos permitieron identificar las diferentes estructuras que presenta la madera y así poder definir un patrón de anillos de crecimiento verdaderos. En su estructura anatómica se pudo observar que los anillos están claramente delimitados por parénquima marginal y presentan una porosidad semicircular, se distingue el engrosamiento de las paredes en las fibras de la madera tardía al finalizar el anillo permitiendo

la diferenciación entre madera temprana y madera tardía (Figura 14). Para diferenciar anillos verdaderos de falsos se tomó en cuenta que cumplan al menos dos de los siguientes patrones:

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

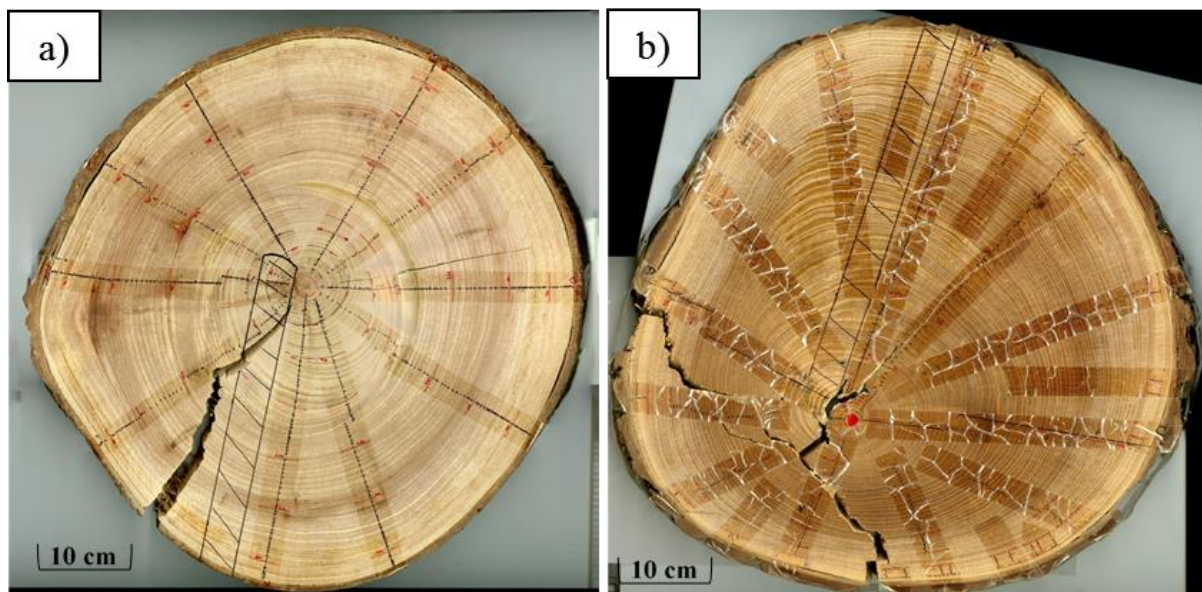


Figura 12. Sección transversal (Disco) de *Cedrela* (a) y (b), con anillos de crecimiento identificados

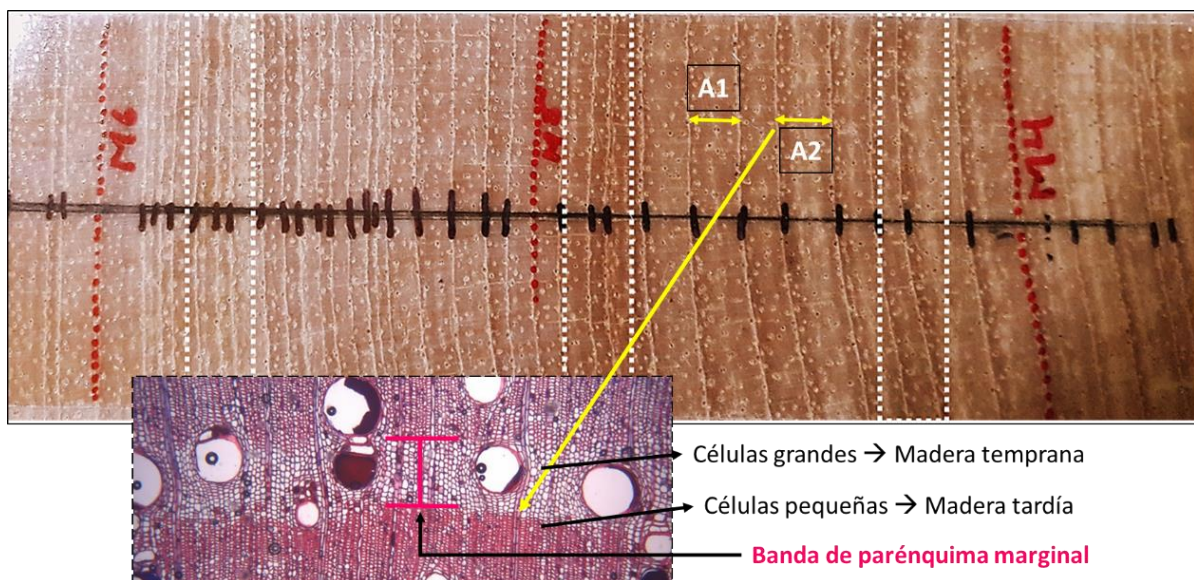


Figura 13. Identificación de patrones de anillos de crecimiento verdaderos de *Cedrela* sp. Nótese la presencia de mayor cantidad de células de parénquima en la madera temprana, y mayor cantidad de fibras caracterizadas por su color más rojizo en la madera tardía. Anillo de crecimiento señalado con A1 y A2.

### 3.3.5. Medición de anillos de crecimiento en núcleos de madera.

Para las mediciones dendrocronológicas, al igual que en los estudios desarrollados en maderas de diferentes especies tropicales de Perú por Campos (2009); Espinoza (2014); Huamán (2011); y Rosero (2009); se descartó los árboles que presentaron anomalías como: madera torcida, madera de reacción, y anillos falsos e indiferenciados.

Con los patrones definidos se procedió a identificar los anillos verdaderos en las muestras de cedro y la medición de los mismos. Para ello se siguió la metodología establecida por Stokes y Smiley (1968), donde se utilizó el sistema Lintab 6 Pro y software TSAPWin Pro, que permitieron la visualización y medición de anillos anuales. El proceso consistió en identificar y marcar los anillos de crecimiento en los núcleos de madera (Figura 14), con ayuda de un estereoscopio (Figura 16) conectado electrónicamente a una platina de base deslizante, se colocó la muestra sobre la base deslizante y con la vista en el estereoscopio (lente con una cruz guía) se alineó la dirección de los radios de la madera fijando el límite del anillo colocando la respectiva marca. Una vez identificados los anillos de crecimiento se registraron los metadatos de los principales parámetros de la cada muestra (Figura 15), luego se procedió a medir el ancho de los mismos deslizando la platina base, y siguiendo las marcas desde anillo más cercano a la médula hasta el último anillo cerca a la corteza. Las muestras que presentaron múltiples anillos falsos, poco claros y mal estado fueron excluidas en este estudio.



Figura 14. Identificación y marcaje de anillos verdaderos en núcleos de *Cedrela*



Dataset header												
Header	Location	Dates	Tree	Timber	Math	Images	Comments	Bibliography	Archeology	Geography	Forestry	User defined
Keycode	Project	Location	Species	Length	DateBegin	DateEnd						
TC01A1N	Dendro_un1	EL TAMBO	ETC001A	48	1970	2017						
Keycode:	TC01A1N	Location:	EL TAMBO	Key number:	TC01A1N							
Project:	Dendro_un1											
Species code:	ETC001A	Sp. name:	Cedrela odorata									
Tree no.	01	Length:	48	Data type:	Ringwidth	Dated:	Dated					
Radius no.		Pith:		Unit:	1/100 mm	Date begin:	1970					
Core no.		Sapwood:		Series type:	Single curve	Date end:	2017					
Stem disk no.		Waldkante:		Series starts with:	Ringwidth	Series ends with:						
Comment:	SILVANA PATIÑO											

Figura 15. Metadatos con la principal información para la medición de cada muestra.



Figura 16. Sistema Lintab6 Pro para la medición de anillos de crecimiento en *Cedrela sp.*

### 3.3.6. Verificación y sincronización de las series anuales

Con las series obtenidas en la medición con el Lintab 6 Pro, conjuntamente con el Software TSAP-Win Pro, se realizó la sincronización de series dendrocronológicas dentro de las mediciones radiales por cada individuo, luego se obtuvo un promedio por cada individuo y con ello se realizó dendrogramas de similitud (uno por cada sitio) utilizando la función Hierarchical

Clustering “hclust” del paquete de estadístico R “stat” utilizando el método Ward.D por mostrar agrupaciones más claras (Ver código en el Anexo 5 y los dendrogramas en el Anexo 6) lo que permitió identificar el grupo de árboles que presentaban mayor similitud y así mejorar la sincronización de acuerdo al grupo seleccionado, para finalmente obtener una cronología maestra o promedio por especie y sitio. Para realizar los dendrogramas primero se importó los archivos fh (Formato Heidelberg de archivos con lo que se trabaja en el programa TSAPWin Pro) en el programa RStudio.

### **3.4. Metodología para estimar la edad media de los árboles de *Cedrela montana* Moritz ex Turcz., y *Cedrela odorata* L.**

#### **3.4.1. Análisis de datos**

El análisis de datos para estimar las edad media de los árboles de Cedro y obtener un resumen estadístico, se efectuó mediante la plataforma de programación estadística de código abierto R (R Development Core Team, 2009) Se determinó el tamaño de muestra mediante el estadístico Expressed Population Signal (EPS por sus siglas en ingles), se realizó el relleno de datos de las muestras que no presentaron médula, la visualización de los datos, la estimación de la edad media y del TBC. Para ello se exportó los archivos del Programa TSAPWin a Excel en formato csv (Ver procedimiento en el Anexo 1).

En la primera datación de los anillos de crecimiento con el programa TSAPWin, se eliminó muestras que exhibieron correlaciones muy bajas con las demás. Al final se analizaron 141 radios: 82 (23 árboles) de *Cedrela montana* y 59 (12 árboles) de *Cedrela odorata*.

El paquete Dendrochronology Program Library in R (dplR permitió la visualización de datos mediante la función Plot Rings (plotRings) y Smoothing Spline with User-Specified Rigidity and Frequency Cutoff (ffsaps). Con la ejecución del plotRings se obtuvieron los datos del IMA,

ICA y la curva del ICA suavizada, con los cuales se estimó el TBC de cada una de las especies en estudio. Los códigos utilizados para la obtención del EPS, el relleno de datos y cada una de las gráficas se detallan en los Anexos 4, 8 y 9.

Cabe recalcar que en la RBSF se encontró que ocho de los individuos muestreados tuvieron un tratamiento silvicultural que consistió en la eliminación de árboles competidores el cual se llevó a cabo en el año 2004 para evaluar la regeneración natural de un bosque tropical (Muñoz y Muñoz, 2010). Por esta razón también se evaluó el crecimiento corriente anual y acumulativo de los individuos con y sin tratamiento (Anexo 16).

### **3.4.2. Tamaño de la muestra**

Para determinar el tamaño de muestra se utilizó el paquete `dplR` el cual permitió determinar el tamaño de muestra o EPS (Anexo 4), mediante la función `Chronology Stripping (strip.rwl)`. El estadístico EPS calcula la similitud entre varios árboles de una población y se expresa en porcentaje de 0 a 1. El tamaño de muestra de una población es representativo cuando el valor del EPS llega como mínimo a 0,85, esto quiere decir que la muestra representa el 85% de la varianza cronológica que corresponde a una señal común, mientras que el 15% restante significa que es una varianza cronológica residual (Bunn 2008). Para este cálculo se utilizó la función `Chronology Stripping strip.rwl ()` del paquete `dplR` que utiliza la correlación media de todas las series de ancho de anillos entre los diferentes radios y árboles. Luego de medir 23 árboles de la Reserva Biológica San Francisco, y los 12 árboles de El Tambo se calculó los valores EPS en ambos sitios para ver si llegan al valor 0.85 para medir su grado de correlación y conocer si la muestra es representativa.

### **3.4.3. Relleno de datos**

Varias muestras colectadas con el barrenado de Pressler no llegaron a la médula lo que significa



que faltan datos de los primeros años del árbol. Esto ocurrió en campo al no poder calcular la dirección y ubicación exacta de la médula, dado que cada árbol tiene un crecimiento diferente, razón por la cual se realizó el relleno de los años faltantes (Ver código en el Anexo 8). Al contar con muestras que sí tuvieron médula (distancia importante para calcular el TBC), se las utilizó como referencia para generar un gráfico promedio o patrón de crecimiento (Ver código en Anexo 7) con anillos completos de los primeros años (Figura 17) utilizando la función `plotRings()` del paquete `dpLR`. Este gráfico fue impreso en una hoja transparente de acetato, el cual se lo colocó sobre los núcleos de madera con anillos faltantes haciendo coincidir la curvatura del gráfico con la curvatura de los anillos más cercanos a la médula, y de esta manera se contó los anillos que faltaban siguiendo el grafico promedio impreso en acetato hasta llegar a la médula del árbol (Figura 18).

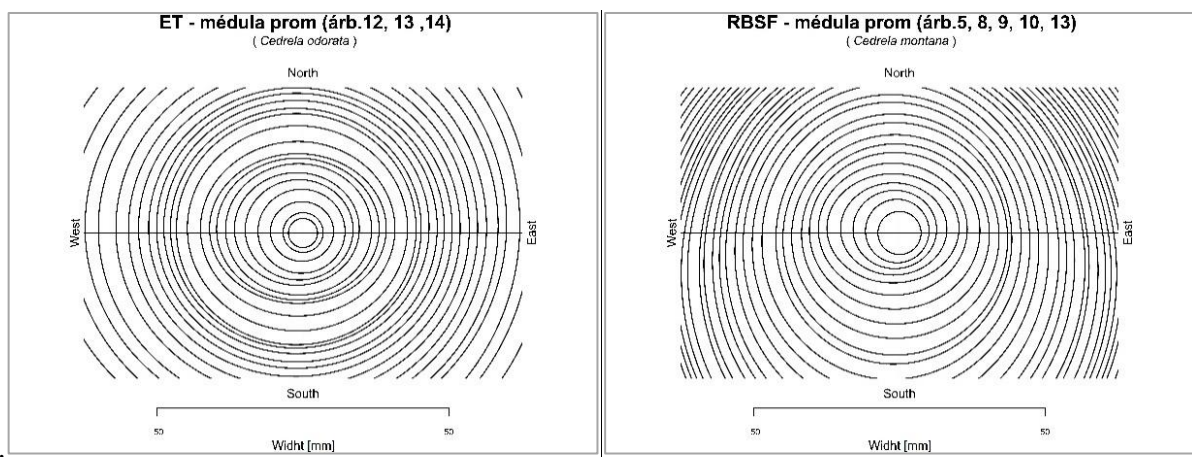


Figura 17. Gráfico promedio de árboles de *Cedrela* con médula.

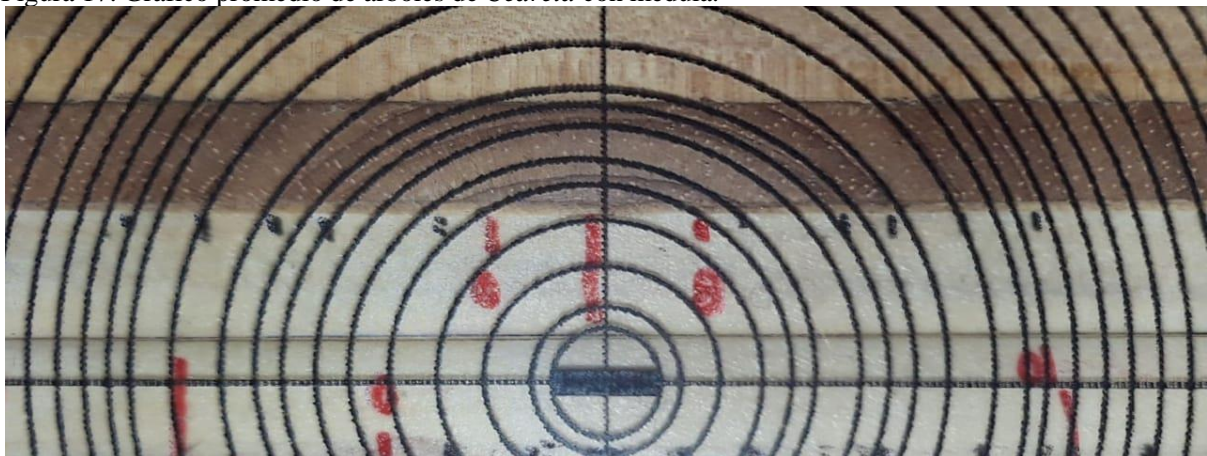


Figura 18. Estimación de anillos de crecimiento faltantes basado en un patrón promedio de los árboles con médula, para estimar el número de anillos faltantes.

Una vez contabilizado el número de anillos faltantes para cada muestra, se hizo el relleno de datos aplicando un análisis de funciones ortogonales empíricas (Taylor, Losch, Wenzel y Schröter, 2013) a través de la función EOF (Empirical Orthogonal Functions analysis) del paquete estadístico `sinkr()` de R. con lo que se generó un documento en formato csv, el mismo que fue trabajado en Excel para realizar el relleno. El documento con los datos rellenos, se lo convirtió nuevamente en formato csv, para determinar el TBC de cada especie en estudio.

### **3.5. Metodología para estimar el Turno Biológico de Corta (TBC) para *Cedrela montana* Moritz ex Turcz., y *Cedrela odorata* L., a partir de series anuales de crecimiento**

Al completar el relleno de datos en las series anuales de los anillos de crecimiento se realizó un resumen estadístico de las series mediante la función `Calculate Descriptive Summary Statistics on Ring-Width Series (rwl.stats)`, con la cual se calcula los principales estadísticos descriptivos de cada serie como: edad máxima, mínima, promedio, media, mediana, desviación estándar, sensibilidad y auto-correlación.

El paso siguiente fue el análisis para determinar el TBC, para ello se tomó los valores promedio del ancho de los anillos de crecimiento como Incremento Corriente Anual (ICA) (Anexos 12 y 13), y se los ejecuto en un algoritmo R basado en la función `plotRings()` para generar los estadísticos anuales de área basal (G) e Incremento Medio Anual (IMA). Esta función es parte de la librería `dpLR` especializada en análisis estadístico de dendrocronología (Bunn, 2008), con la que se generó los gráficos radiales de los 35 individuos medidos entre los dos sitios de estudio para verificar las mediciones de todos los radios y visualizar la forma del plano transversal en cada árbol (Anexo 10 y 11) y una matriz detallada en formato csv con datos de área basal, ICA, IMA, entre otros, de cada uno de los individuos medidos (Tabla 2 y Anexos 14 y 15).

Con esta información se generó la curva del promedio del incremento radial anual por cada individuo y sitio (Anexo 12 y 13). Para determinar el TBC por cada sitio se graficó las curvas promedio del ICA e IMA en un mismo plano cartesiano, donde la intercepción de las mismas indicó el año del TBC. Una vez obtenido el año del TBC se identificó también el diámetro alcanzado a esta edad con los valores en la gráfica de diámetros acumulados (Figura 19).

Tabla 2 Datos de la función plotRings() para el cálculo del área basal en mm.

Año	Edad	RN	RS	RE	RW	Prom	Prom.acum por 2	Prom.acum IMA	Prom.acum ICA	Area basal	Area basal acum.	IMA	ICA
1977	1	3.22	4.41	3.08	3.87	3.65	7.29	3.65	4.71	41.74	41.74	41.74	102.70
1978	2	6.44	5.13	5.62	5.38	5.64	18.58	4.64	4.75	270.99	229.25	135.49	223.43
1979	3	5.00	5.66	4.67	5.18	5.13	28.83	4.81	4.72	652.80	381.81	217.60	339.65
1980	4	8.36	3.94	5.53	5.09	5.73	40.29	5.04	4.60	1274.92	622.13	318.73	447.67
1981	5	5.33	1.85	3.87	4.56	3.90	48.10	4.81	4.42	1816.73	541.80	363.35	548.18

RN=Radio Norte; RS=Radio Sur; RE=Radio Este; RW=Radio Oeste.

Para obtener el TBC, de ésta tabla generada por la función plotRings() se utilizaron los valores de las columnas finales: Área basal acumulada, IMA (mm) e ICA (mm).

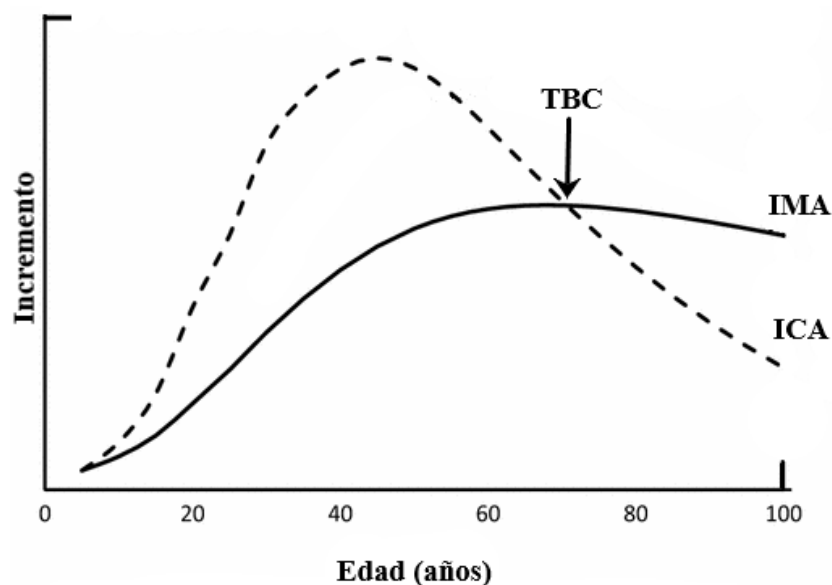


Figura 19. Esquema del TBC que es el punto de intercepción del IMA e ICA. Modificado de Roberge et al. (2016).

### **3.6. Metodología para la difusión de resultados**

La difusión de los resultados de la presente investigación se realizó mediante la elaboración de posters científicos que se expusieron en dos eventos académicos. La primera fue una exposición que se realizó en la semana del estudiante organizado por la carrera de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional de Loja, el 14 de febrero del 2019 (Figura 25) (Registro fotográfico Anexo 21 y el certificado en el Anexo 22). La segunda exposición fue en el congreso internacional “Past plant diversity, climate change and mountain conservation”, el 12 de marzo del 2019 en la Universidad de Cuenca (Figura 26) (Ver Anexo 23 y Anexo 24).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Edad media de *Cedrela montana* en la Reserva Biológica San Francisco y de *Cedrela odorata* en la parroquia El Tambo

Los árboles de *Cedrela montana* muestreados en la RBSF crecieron desde 1946 hasta 2017, registrándose una edad media de 57 años, el árbol más joven presentó una edad de 30 años y el más longevo de 72 años, con un crecimiento promedio radial anual o de ancho de anillo de 2,69 mm (5,38 mm/año de diámetro) . Por otro lado, en el sitio El Tambo los árboles muestreados de *Cedrela odorata* crecieron desde 1940 hasta el 2019 con una edad media de 46 años, el árbol más joven alcanzó los 26 años y el más longevo los 76 años, con un crecimiento promedio radial anual o de ancho de anillos de 4,27 mm (8,54 mm/año de diámetro). (Ver resumen estadístico en la Tabla 3). Tómese en cuenta que en este estudio se analizó un total de 35 árboles (145 núcleos o series radiales) entre las dos especies estudiadas. En la Reserva Biológica San Francisco se analizó 23 árboles (87 radios) de *Cedrela montana*, y en el sitio El Tambo 12 árboles (58 radios) de *Cedrela odorata*.

Tabla 3 Resumen estadístico del análisis de las mediciones 34 árboles de Cedro en los sitios de estudio.

<b>ESTADÍSTICO</b>	<b>RBSF</b>	<b>EL TAMBO</b>
Periodo de crecimiento	1946-2017	1940-2019
Edad Máxima	72	76
Edad Media	57	46
Edad Mínima	30	26
Promedio de crecimiento radial o del ancho de anillos (mm/año)	2,69	4,27
Mediana de crecimiento radial o del ancho de anillos (mm/año)	2,42	4,43
Promedio del crecimiento en diámetro (mm/año)	5,38	8,54
Varianza ancho de anillos ( % )	1,64	2,92
Desviación estándar del ancho de anillos (mm)	0,73	0,65
Máx. ancho de anillo (mm)	5,71	8,99
Mín. ancho de anillo (mm)	1,02	1,42
Expressed Population Signal (EPS)	0.75	0.91
Sensibilidad	0,34	0,34
Auto-correlación	0,46	0,48

Se encontró grandes diferencias de crecimiento anual entre individuos, con una mayor varianza de las series cronológicas en los individuos de El Tambo con un 2,92 % (D. estándar 0,73 mm), mientras que en la RBSF fue de 1,64 % (D. estándar 0,65 mm). Las series de crecimiento tuvieron una autocorrelación media de 0,46 en la RBSF y de 0,48 en El Tambo, así como una sensibilidad media de 0,34 para ambas especies. Asimismo, se evidenció que los árboles de la RBSF mostraron un rango de crecimiento anual mínimo de 1,02 mm y máximo de 5,71 mm/año, presentando la mediana del ancho de anillos de 2,42 mm, y en El Tambo el rango de crecimiento anual mínimo fue de 1,42 y máximo de 8,99 mm/años con la mediana de ancho de anillo de 4,43 mm. Respecto al estadístico EPS (Expressed Population Signal) para determinar el número de muestra se obtuvo un valor de 0,75 para la RBSF, y un alto valor de 0,91 para El Tambo, dando como resultado un número menor de muestreo para El Tambo con sólo 12 árboles, mientras que en la RBSF se necesitó 23 árboles.

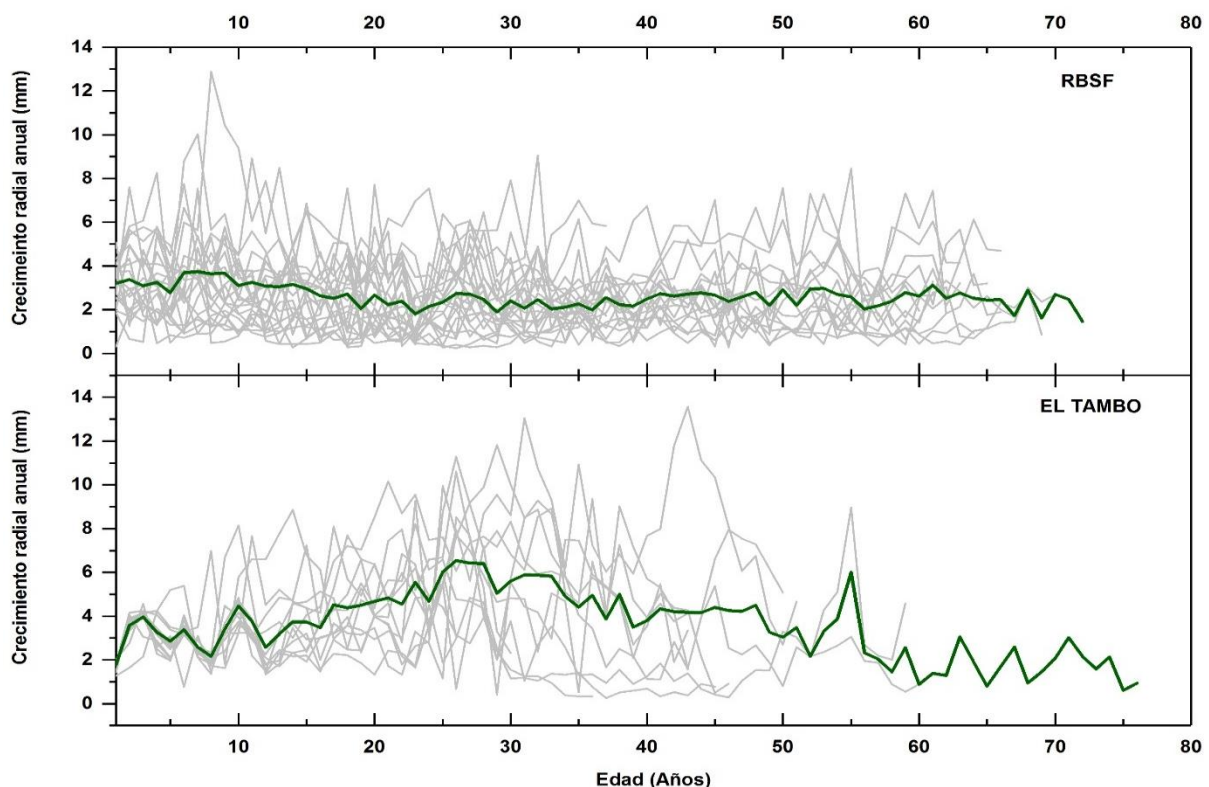


Figura 20. Series individuales del crecimiento radial anual de *Cedrela montana* en la Reserva Biológica San Francisco (RBSF) y *Cedrela odorata* en El Tambo. Las líneas grises muestran el crecimiento anual promedio de cada individuo, y la línea verde muestra el valor promedio de todos los individuos. Todas las series están ordenadas desde su primer año de crecimiento.

Tomando en cuenta sólo los valores promedio de los árboles de *Cedrela* en la Figura 20 se pudo observar una notable diferencia en el patrón de crecimiento de cada especie y sitio. Los árboles de El Tambo presentaron mayor crecimiento que los de la RBSF. En El Tambo los árboles exhibieron un mayor crecimiento desde el año 18 hasta el año 38, siendo el año 27 donde alcanzaron su máximo crecimiento, desde el año 39 hasta el año 52 su crecimiento disminuyó, para luego volver a subir llegando a un segundo pico alto en el año 55, en los últimos 30 años a partir del año 56 su crecimiento bajó y se mantuvo hasta el año 76.

En la RBSF los árboles de Cedro tuvieron una tendencia de crecimiento equilibrada, su crecimiento fue mayor en los primeros 14 años, presentando su máximo crecimiento en el año 7, seguido por el año 6 y 8, a partir del año 14 su crecimiento disminuyó paulatinamente manteniéndose hasta el año 57, para volver a subir a partir del año 58 y alcanzar su siguiente pico alto en el año 61, en los 11 últimos años su crecimiento disminuyó progresivamente.

#### **4.2. Turno Biológico de Corta (TBC) para *Cedrela montana* Moritz ex Turcz., y *Cedrela odorata* L. a partir de series anuales de crecimiento.**

En este estudio se observó un ICA con una clara tendencia descendente en los árboles de la RBSF (*Cedrela montana*), mientras en los árboles de El Tambo (*Cedrela odorata*) el ICA se comportó diferente alcanzando rápidamente su pico más alto a los 26 años y desde allí descendiendo hasta el final (Figura 21).

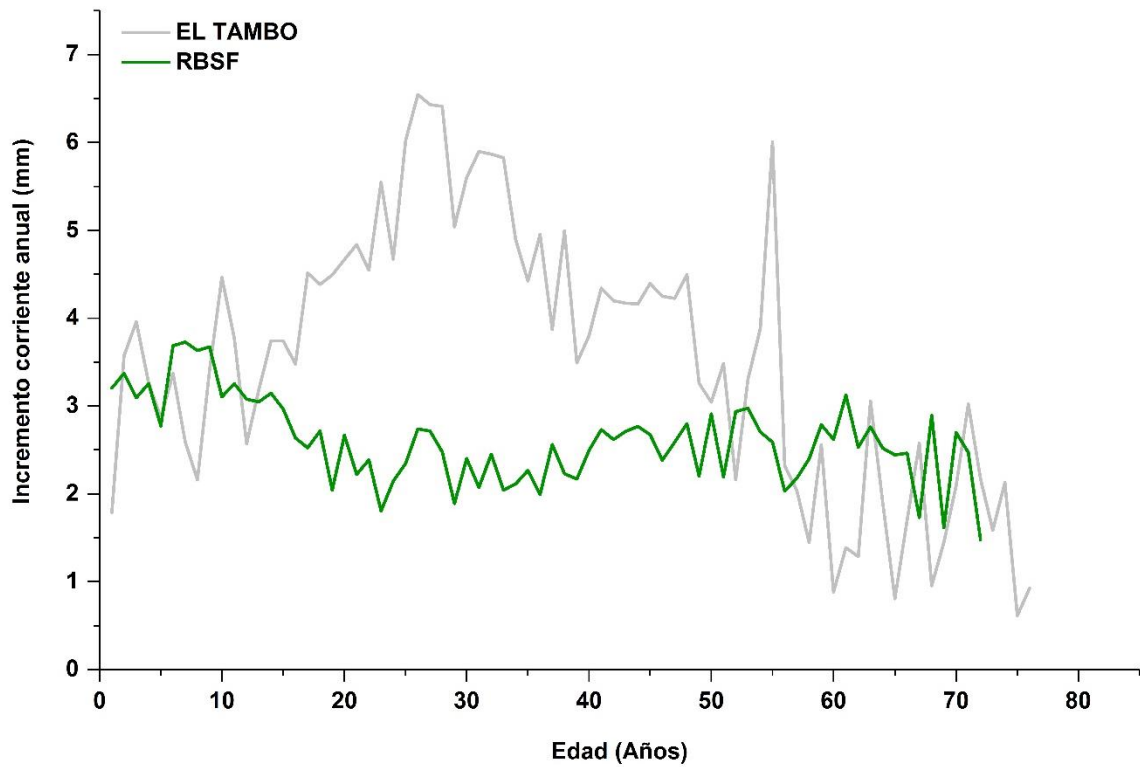


Figura 21. Incremento Corriente Anual de *Cedrela odorata* en El Tambo y *Cedrela montana* en la Reserva Biológica San Francisco (RBSF).

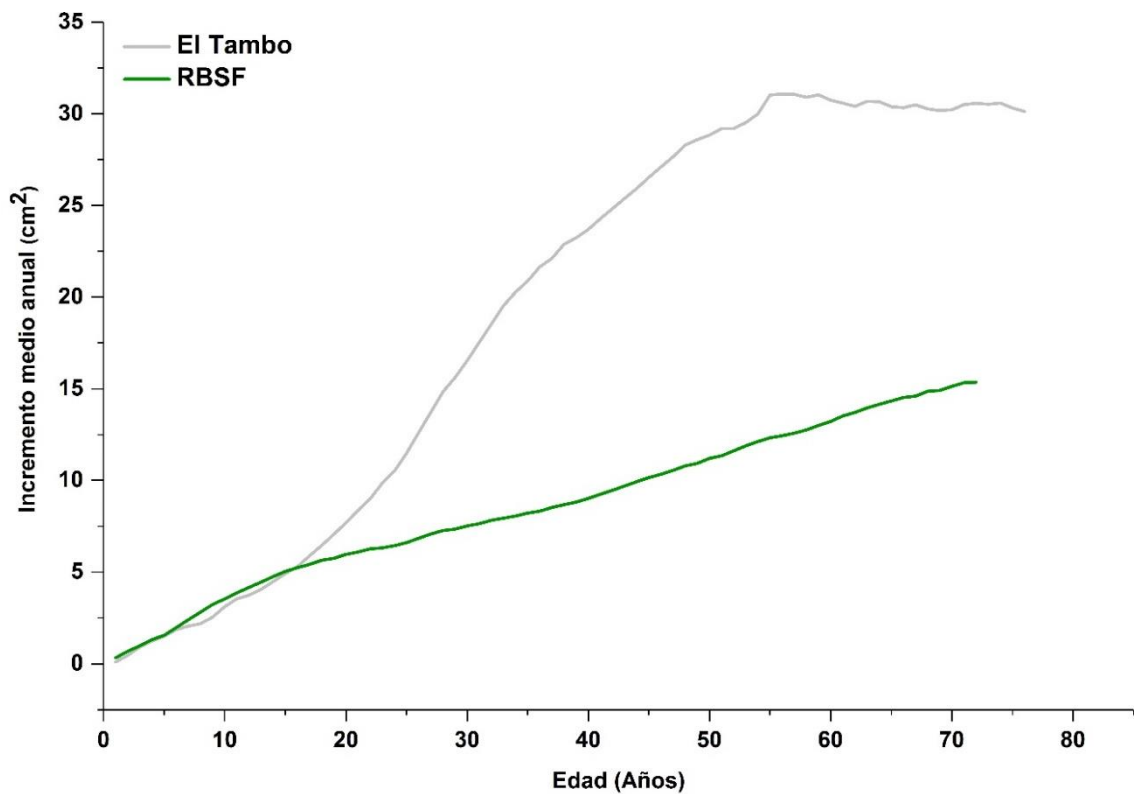


Figura 22. Incremento Medio Anual en base al área basal de los árboles de *Cedrela odorata* en El Tambo y *Cedrela montana* en la Reserva Biológica San Francisco (RBSF).



De igual forma, las curvas del IMA difieren en ambos sitios de estudio. En los árboles de la RBSF muestran una marcada tendencia del área basal que continúa en forma ascendente hasta el final, en cambio en El Tambo el IMA presenta un notable incremento a partir del año 18, continuando en forma ascendente hasta el año 56, para finalmente estabilizar su incremento hasta el año 76 (Figura 22). Nótese que los árboles de la RBSF que tuvieron tratamiento silvicultural (Muñoz y Muñoz, 2010) no mostraron mayor diferencia con los árboles sin tratamiento en el crecimiento acumulativo anual, sin embargo, se evidenció diferencias en el ICA a partir de 1985 (Anexo 16).

Una vez puestas las curvas de ICA e IMA en un mismo eje como se observa en la Figura 23 los árboles de *Cedrela montana* de la RBSF no alcanzaron su TBC a sus 72 años, pero con una proyección con las líneas de tendencia que mejor se ajustan a cada curva, tendencia lineal para el IMA y tendencia polinómica para el ICA, se determinó que los árboles de la RBSF alcanzarán su TBC a los 95 años (Figura 23). Las curvas del IMA e ICA mostraron un incremento ascendente paralelo, donde el IMA tuvo una tendencia lineal y el ICA en cambio mostró un notable incremento a partir del año 32, posteriormente al año 60 su incremento fue nuevamente notable hasta que finalmente la curva del ICA decreció y el IMA mantuvo su tendencia.

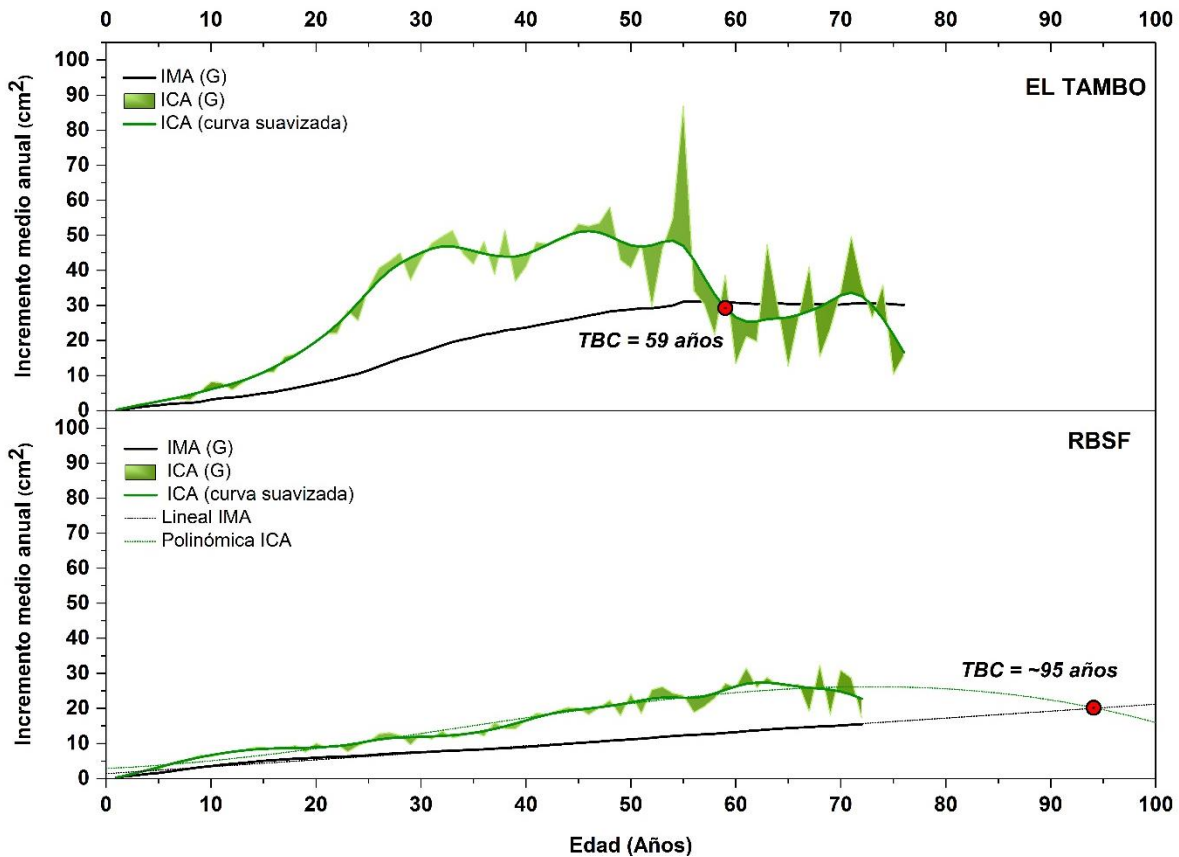


Figura 23. Variación con la edad según el Área basal, IMA (Incremento Medio Anual) e ICA (Incremento Corriente Anual) de los árboles de *Cedrela montana* la Reserva Biológica San Francisco (RBSF) y *Cedrela odorata* en El Tambo.

En el caso de El Tambo, como se observa en la Figura 23 los árboles de *Cedrela odorata* alcanzaron su TBC a los 59 años. Las curvas del IMA e ICA mostraron un incremento ascendente paralelo, hasta el año 20 donde el IMA mantuvo una tendencia ascendente y el ICA en cambio mostró un notable incremento a partir del año 21, posteriormente al año 59 el ICA decreció e interceptó la curva del IMA, indicando así el TBC de la especie, finalmente la curva del ICA decreció y del IMA mantuvo su tendencia.

Adicionalmente, al relacionar el diámetro con el TBC, se pudo observar que en el caso de la Reserva Biológica San Francisco (RBSF) los árboles en promedio alcanzaron un diámetro de 29,38 cm, un máximo de 54,32 cm y un mínimo de 16,2 cm. Al realizar una proyección del diámetro se determinó que a los 95 años que cumpliría su TBC alcanzaría los 50 cm de diámetro (Figura 24).

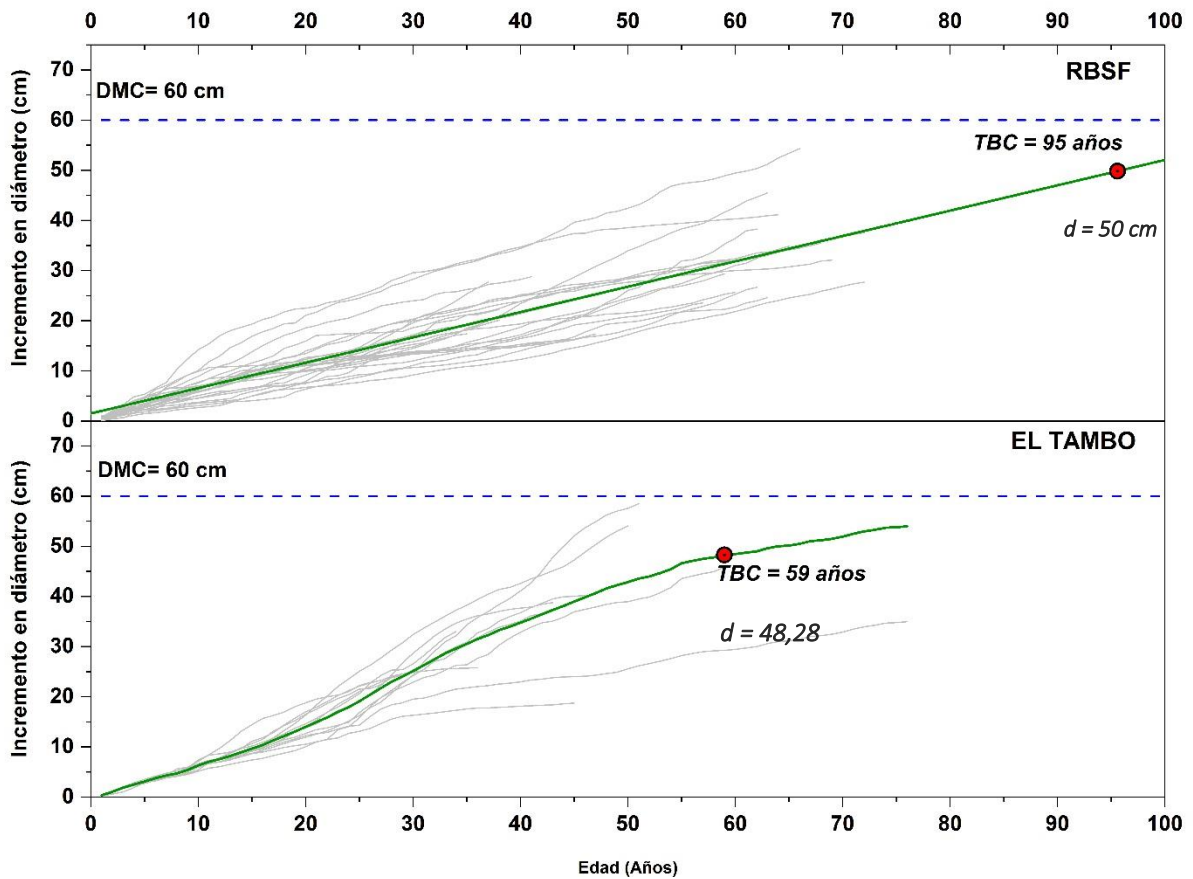


Figura 24. Incremento acumulado en diámetro de *Cedrela montana* en la Reserva Biológica San Francisco (RBSF) y *Cedrela odorata* en El Tambo. La línea horizontal azul indica el Diámetro Mínimo de Corta (DMC) para el Cedro en Ecuador.

Por su lado, en El Tambo los árboles alcanzaron un diámetro promedio de 36,24 cm, un máximo de 58,49 cm y mínimo de 18,73 cm (Figura 24). El TBC lo cumplieron cuando alcanzaron los 48,28 cm de diámetro.

En la Figura 24 se observa diferencias en la tendencia del diámetro promedio, en la RBSF este valor promedio tiene una tendencia ascendente continua, en este caso los árboles aun no llegan a su diámetro máximo, en cambio en El Tambo a pesar de tener un mayor crecimiento, en los últimos años este tiende a estabilizarse disminuyendo su crecimiento.

Con el análisis de éstos resultados, y considerando el valor del Diámetro Mínimo de Corta (DMC) establecido por el MAE para el Cedro (60 cm), y los resultados del TBC determinado en este estudio, el diámetro de los árboles de *C. odorata* y *C. montana* en ambos sitios no supera

los 60 cm establecidos en la normativa forestal del año 2006 para bosques andinos (MAE, 2006). Los resultados evidencian que el ciclo de corta de 20 años para árboles con diámetro 60 cm, sugerido para el Cedro en la normativa ecuatoriana, no parece sostenible debido a que algunos árboles pueden tardar más de 76 años en alcanzar el diámetro mínimo de corta.

#### **4.3. Difusión de resultados**

La difusión de resultados se realizó mediante la presentación de dos posters científicos en diferentes eventos académicos.

El primer poster se expuso tanto a estudiantes como docentes de la facultad en la *Semana del Estudiante* organizada por la Carrera de Ingeniería Forestal (CIF) de la Universidad Nacional de Loja, en el Hall de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, el 14 de Febrero del 2018 a las 10h00 (am) como parte de las investigaciones desarrolladas como proyectos de pregrado en la unidad de Titulación por los estudiantes del X ciclo de la CIF (Anexo 19). El segundo poster fue presentado en la primera conferencia internacional “*Past plant diversity, climate change and mountain conservation*” en la Universidad de Cuenca, Ecuador, del 11-15 Marzo del 2019 atendiendo a la invitación del comité organizador (Anexo 20). Para lo cual fue necesario enviar un breve resumen del tema de investigación e inscribirse dentro de un tema afín con la misma (“*Practical scenarios for mountain forest conservation*” /Escenarios prácticos para la conservación del bosque de montaña). La exposición del poster se realizó el día 12 de marzo del 2019, a partir de la 14h00 (pm) hasta las 16h00 (pm) y tuvo gran acogida de investigadores locales como internacionales (Figura 26)

# 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)

Silvana del Carmen Patiño-Rosario<sup>1</sup>, Darwin Pucha-Cofrep<sup>1</sup>

1. Universidad Nacional de Loja, Laboratorio de Dendrocronología, Ciudadela Universitaria "Guillermo Falconí" 110111 Loja, Ecuador.

## 1 Introducción

El Cedro es una de las especies más valiosas de los bosques tropicales, no solo por su importancia ecológica, si no por su gran demanda en el mercado. Sin embargo, las diferentes especies de Cedro están vedadas para el aprovechamiento forestal (Leischner, y Bussmann, 2003; López, y Muñoz, 2017). En la normativa forestal ecuatoriana se le atribuye un Diámetro Mínimo de Corta (DMC) de 60 cm sin ajustarse en una base técnica o verídica de su edad. Es por ello, con la presente investigación se busca llenar este vacío para conocer el Turno Biológico de Corta (TBC) de *Cedrela montana* y *Cedrela odorata* mediante métodos dendrocronológicos en la Reserva Biológica San Francisco (Zamora Chinchipe) y en un bosque natural del sector El Tambo (provincia de Loja) para contribuir con información base para el manejo adecuado de las especies en estudio.

## 2 Metodología

Los árboles se muestrearon en dos zonas: en la provincia de Loja y de Zamora Chinchipe (Figura 1). Se utilizaron métodos dendrocronológicos para el muestreo, medición y datación de anillos de los árboles con el sistema Lintab 6 y el software TsapWin.

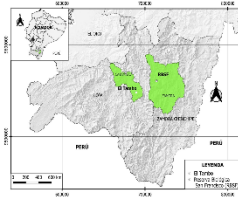


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo en la provincia de Loja y Zamora Chinchipe. Cada símbolo indica el sitio donde se colectaron las muestras.

El análisis de los datos se realizó a través del programa estadístico R utilizando principalmente el paquete dplR para la determinación del TBC a través del Incremento Corriente Anual (ICA) y el Incremento Medio Anual (IMA).

## 3 Resultados

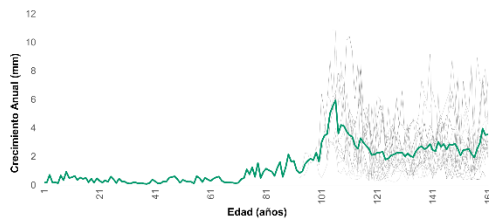


Figura 2. Series individuales de crecimiento anual de *Cedrela montana* en la Reserva Biológica San Francisco. Las líneas grises muestran el crecimiento anual de cada individuo, y la línea en verde muestra el valor promedio. En el eje X se muestra la edad de los árboles.

Como resultados preliminares de la Reserva Biológica San Francisco (RBSF) se obtuvo que el árbol más longevo alcanzó los 158 años y el árbol más joven los 44 años. Lo árboles presentan un crecimiento radial promedio de 2.6 mm/año (Figura 2). En este sitio *Cedrela montana* no alcanzó su TBC (Figura 3) y presentó un diámetro promedio de 30 cm (Figura 4).

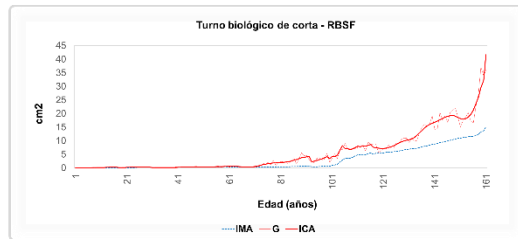


Figura 3. Turno Biológico de Corta de *Cedrela montana* en la RBSF: Las curvas del IMA e ICA no se interceptan por lo tanto esta especie aun no llega a su TBC.

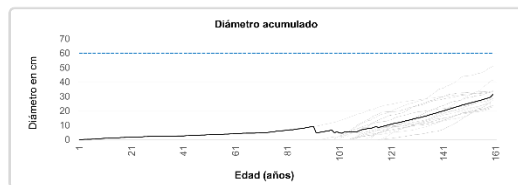


Figura 4. Diámetro anual acumulado de *Cedrela montana* en la RBSF: La línea azul muestra el Diámetro Mínimo de Corta determinado por el Ministerio del Ambiente (MAE). La línea negra es el diámetro anual promedio.

## 4 Conclusiones

Los árboles de *Cedrela montana* presentaron un marcado estrés, reflejado en la formación de sus anillos de crecimiento, causado por las condiciones en las que se desarrollan. Es por ello que cuando los árboles tienen recursos limitados, su crecimiento es lento, son más longevos y tardan más en cumplir con su TBC.

## Bibliografía

Leischner, B., y Bussmann, R. W. (2003). Mercado y uso de madera en el Sur de Ecuador. *Lyonia*, 5(1), 51-60.  
 López, N., y Muñoz, J. (2017). La producción forestal una actividad con alto potencial en el Ecuador requiere un cambio de visión. *Bosques Lattid Cero*, 7(11).  
 Becerra, V y Zevallos, P. (2013). Determinación del Turno de Corta de *Cedrela odorata* L., *Retrophyllum respigiosii* Pilger y *Prunopitys harmsiana* Pilger a través del estudio dendrocronológico en San Ignacio, Región Cajamarca-Perú.


SEMANA DEL ESTUDIANTE  
EXPO FORESTAL  
11 al 15 de febrero de 2019, Loja Ecuador


Figura 25. Póster científico presentado en la CIF-UNL.

# DETERMINATION OF THE BIOLOGICAL ROTATION AGE IN *Cedrela montana* AND *Cedrela odorata* FROM SOUTHERN ECUADOR.

Silvana del Carmen Patiño-Rosario<sup>1</sup>, Darwin Alexander Pucha-Cofrep<sup>1</sup>

<sup>1</sup>. Universidad Nacional de Loja, Laboratorio de Dendrocronología, Ciudadela Universitaria "Guillermo Falconi" 110111 Loja, Ecuador.

## 1. Introduction

Tree growth dynamics is very important as a tool for forest management, specially in timber species with high commercial importance (Tinco., Guillen., And Arizapana, 2013). However, in our region there are few studies and permanent plots to know the annual tree growth. For that reason, this study wants to know the Biological Rotation Age (BRA) in *Cedrela montana* Moritz ex Turcz. and *Cedrela odorata* L. through dendrochronological methods in two sites, the Reserva Biológica San Francisco-RBSF (Zamora Chinchipe province) and in a natural forest El Tambo (Loja province).

## 2. Methodology

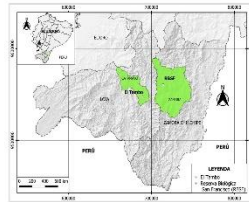


Figure 1. Location of the sampling sites in the province of Loja and Zamora Chinchipe. In green are indicated the sites where the samples were collected

A total of 34 trees were sampled in two different forest, 13 *C. odorata* in El Tambo site (province Loja) and 21 *C. montana* in the RBSF (province Zamora Chinchipe) (Figure 1). Dendrochronological methods were used for the sampling, measurement and dating of tree-rings with the Lintab 6 system. The analysis of the data was carried out through the 'dplR' (Dendrochronology Program Library in R) package of the statistical program R, where the annual growth, MAI, CAI, and BRA was calculated.

## 3. Results

It was determined that the *Cedrela montana* trees of the RBSF have different ages: 44 years the youngest and 156 years the longest tree (period 1862-2017) (Figure 2). *Cedrela montana* reached its BRA at 74 years (Figure 3) with an average diameter of 43 cm (Figure 4).

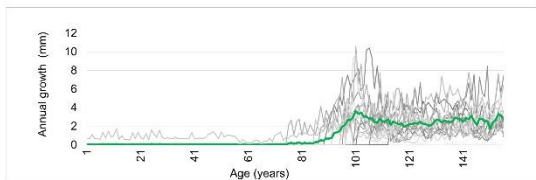


Figure 2. Individual series of annual growth of *Cedrela montana* in the RBSF. The gray lines show the annual growth of each individual, and the green line shows the mean value.

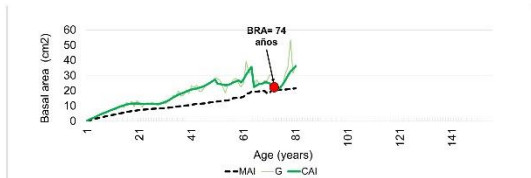


Figure 3. BRA. Annual variation of the basal area (G), Mean Annual Increment (MAI) and Current Annual Increment (CAI) of the *Cedrela montana* trees from RBSF. The curves of the MAI and CAI cross at 74 years, age when those trees in average reached its TBC. The BRA is at the red circle indicated with the black arrow.

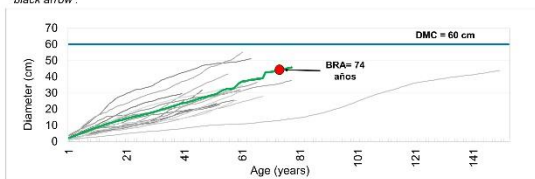


Figure 4. Accumulated annual diameter of *Cedrela montana* in the RBSF. The blue straight line shows the Minimum Cut Diameter (MCD) determined by the MAE at 60 cm. The green line represents the total mean annual diameter of *C. montana*. The red circle indicates the diameter of *C. montana* at its BRA.

**Acknowledgements:** We thank very much to Naturaleza y Cultura Internacinal-NCI and Ing. José Castillo to let us sampling trees in these studied sites.

**References:** Tinco, M. I. C., Guillen, J. G. I., y Arizapana, M. A. (2013). Aplicación de cuatro modelos de crecimiento a series dendrocronológicas de *Cedrela montana* (Meliaceae)-Comunidad Nativa de Shaani, región Ucayali, Perú. *Xilema*, 26(1), 48-56.

It was determined that the trees of *Cedrela odorata* in the El Tambo sector have a mean age of 36 years, the youngest is 32 years old and the longest 72 years (period 1946-2017) (Figure 5). *Cedrela odorata* reached its BRA at their 45 years (Figure 6) and presented an mean diameter of 50 cm (Figure 7).

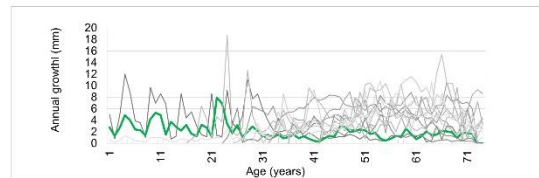


Figure 5. Individual series of annual growth of *Cedrela odorata* in El Tambo. The gray lines show the annual growth of each individual tree, and the green line shows the mean value.



Figure 6. BRA. Variation with age according to the basal area, MAI and CAI of trees of *Cedrela odorata* in El Tambo. The BRA is at the red circle indicated with the black arrow.

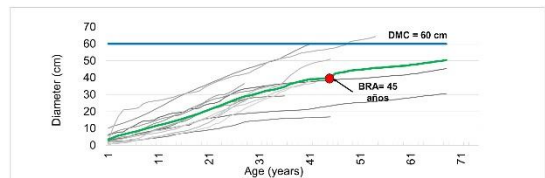


Figure 7. Accumulated annual diameter of *Cedrela odorata* in El Tambo. The blue straight line shows the Minimum Cut Diameter determined by MAE at 60cm. The green line represents the total mean annual diameter of *C. odorata*. The red circle indicates the diameter of *C. odorata* at its BRA.

## 4. Conclusions

- Dendrochronological methods are an effective tool to determine the age of trees, the MAI, CAI and BRA of different species of *Cedrela* genus from tropical forests with poorly marked climatic seasons.
- The BRA was different in each site and tree species, still it is not well defined if it depends of the site or the tree species.
- Both tree species of *Cedrela* do not reach the MCD established by the MAE which is 60 cm. More sites needs to be include to have a better overview.



Universidad Nacional de Loja

Laboratorio de Dendrocronología

International Conference: "Past plant diversity, climate change and mountain conservation" March 11-15, 2019- Universidad de Cuenca, Ecuador

Ingeniería Forestal



Figura 26. Póster científico expuesto en el congreso de la Universidad de Cuenca.

## 5. DISCUSIÓN

El crecimiento de *Cedrela* está muy ligado a la zona de vida donde se desarrolla esta especie (Cárdenas et al., 2015), siendo muy sensitiva a los cambios sobretodo de precipitaciones, por su parte Brienen (2003) menciona que los meses con precipitaciones menores a 60 mm influyen en la formación de anillos de crecimiento. Dentro de algunos anillos de *Cedrela montana* y *Cedrela odorata* de este estudio fue frecuente encontrar bandas muy tenues de parénquima las cuales pudieron estar ligadas a las precipitaciones menores a 60 mm, pero se los consideró como anillos falsos (ver Figura 5). Sin embargo, los anillos verdaderos fueron fáciles de reconocer por ser muy claros y visibles ya que su formación está vinculada directamente a la defoliación anual de estas especies. *Cedrela* 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, (Espinoza, Guillen, Morales, y Arisméndiz. 2014; Brienen, y Zuidema, 2006).

Dünisch, Montóia, y Bauch, (2003) demostraron que la actividad de cambium en *Cedrela odorata* se limitó al período lluvioso y según Espinoza et al. (2014) consideran que el mayor crecimiento de *Cedrela odorata* sería durante la estación lluviosa y luego entraría en un periodo de latencia durante la época seca. El estado de latencia terminaría con el fin de la época seca y el inicio de la época lluviosa. Pennington y Muellner (2010) afirman que los árboles crecen más en bosques tropicales de tierras bajas y con lluvias estacionales. Toledo, Chevallier, Villarroel, y Mostacedo (2008) de acuerdo a sus estudios sobre la ecología y silvicultura de tres especies de *Cedrela* en Bolivia, reportan que los factores más importantes para el crecimiento en altura de estas especies son la apertura del dosel y la presencia de competidores. Por otro lado, Marcon et al. (2019) demostraron que el mejor predictor de crecimiento radial de *Cedrela fissilis* es la temperatura, debido a su comportamiento estacional, que, bajo condiciones de buen riego,

parece tener un efecto dominante en las respuestas de crecimiento. Tomando en cuenta todas estas características propias de la especie, en este estudio se identificó diferentes patrones en los anillos de crecimiento del Cedro caracterizados por: la diferenciación de madera temprana y tardía, presencia de bandas de parénquima marginal y vasicéntrico, presencia de tilosis (no en todos los casos), y la agrupación y tamaño de los poros alrededor del anillo. Esta descripción es similar a la de otros autores como Amáez et al. (1988); Dünisch et al. (2003); Espinoza et al. (2014); Barrera et al. (2018); Peña, Santini, y Tommasiello. (2019). Cabe recalcar, que para estudios dendrocronológicos es muy crítico poder determinar la anualidad de los anillos de crecimiento para asegurar la veracidad de resultados. En este estudio se tomó muy en cuenta los aspectos fenológicos del Cedro, en el sitio El Tambo la estacionalidad de lluvias es más marcada, y en época seca los árboles pierden sus hojas a partir del mes de mayo (comunicación personal del Ing. Castillo José) lo que verifica la anualidad de los anillos en *Cedrela odorata*. Por otro lado, en la RBSF (Bendix et al., 2006) determinaron también que *Cedrela montana* pierde sus hojas una vez al año a partir del mes de Junio hasta los meses de Octubre o Noviembre coincidiendo con los meses de mayor radiación solar. Al igual que Bräuning et al. (2008) demostraron que *Cedrela montana* exhibe períodos prolongados de crecimiento suspendido, estas interrupciones no se limitan a los meses sin hojas (agosto a mediados de octubre), sino que persisten durante toda la temporada de fuertes lluvias, recalcando que el crecimiento secundario ya en abril o incluso algunas semanas antes lo que podría atribuirse a una disminución de la productividad fotosintética debido a las bajas intensidades de luz en la temporada de lluvias de abril a junio.

El total de árboles analizados en este estudio que fue de 35 entre los dos sitios: 23 árboles de *Cedrela montana* de la RBSF y 12 árboles de *Cedrela odorata* de El Tambo, los árboles de la RBSF alcanzaron un menor EPS=0,749, mientras que en El Tambo con sólo 12 árboles se alcanzó un mayor valor EPS=0,907. La correlación media entre series anuales fue también



mayor en El Tambo con 0,48, mientras que en la RBSF fue de 0,46; y la sensibilidad media fue igual en ambos sitios de 0,34. Estos valores son diferentes a los reportados por Castañeda, Guillen, y Arizapana. (2013) en su estudio realizado en Perú, en 20 árboles de *Cedrela montana*, provenientes de una plantación, obteniendo una correlación menor entre series de 0,339 con una sensibilidad mayor de 0,365 (este autor no reporta valores sobre EPS). A su vez, Espinoza et al. (2014) en su estudio reportaron una menor correlación entre series de 0,26, con un EPS =0,87 y una sensibilidad menor de 0,27 en 27 árboles de *Cedrela odorata* en la Selva Central del Perú. Finalmente, en un estudio realizado por Pucha (2016) en la RBSF, en 15 árboles de *Cedrela montana*, se obtuvo una correlación menor entre series de 0,36, un EPS de 0,72 y una sensibilidad mayor de 0,52. Con estos antecedentes se puede establecer que la mayor similitud o correlación entre series anuales de crecimiento no depende del número de árboles analizados, sino más bien responde a las condiciones de los microhábitas así como a la dinámica interna de cada árbol para formar anillos de crecimiento similares entre árboles de un mismo sitio (Villalba, 1995).

### **5.1. Edad media de los árboles de *Cedrela montana* en la Reserva Biológica San Francisco (RBSF) y de *Cedrela odorata* en la parroquia El Tambo**

Los árboles de *Cedrela montana* (23 individuos) del bosque siempreverde montano bajo de la RBSF, durante el período 1946-2017, alcanzaron una edad media de 57 años, y un crecimiento moderado en diámetro promedio de 5,38 mm/año, un máximo de 5,71 mm/año y un mínimo de 1,02 mm/año. Este valor es similar al reportado por Castañeda et al. (2013) en Perú al aplicar 4 modelos de crecimiento a 20 árboles (~100 años) procedentes de una parcela de corta anual, determinaron mediante el modelo Schumacher 2 con el paquete nls2 de R, que el incremento medio anual en diámetro de Cedro fue de 4,06 mm/año. En otro estudio realizado Beck, Bendix, Kottke, Makeschin, y Mosandl (2008) reportaron una tasa de crecimiento moderado en 16 árboles de *Cedrela montana* de la RBSF de 0,41 mm/mensual, valor determinado con

dendrómetros colocados a la altura del pecho, durante 3 años. Por lo tanto se puede concluir que el crecimiento de *Cedrela montana* es moderado, lo cual puede ser atribuido a varios factores como la disponibilidad de luz, disponibilidad de nutrientes y el nivel de competencia (Pucha, 2007).

El cuanto a *Cedrela odorata* (12) del bosque y arbustal semideciduo montano bajo de El Tambo exhibió mayor crecimiento en relación al obtenido en la RBSF, durante el periodo de 1942-2019 alcanzaron una edad media de 46 años, el incremento promedio en diámetro fue de 8,54 mm/año, con un máximo de 8,99 mm/año y mínimo de 1,42 mm/año. Valores que se contrastan con los reportados por Nacimba (2015), en su investigación en el Parque Nacional Yasuní en *Cedrela odorata* (28) en el periodo 1865-2012, donde los árboles alcanzaron edades entre los 48 y 148 años, presentando un crecimiento anual de 6,27 mm, en un rango de 0,3 mm a 36,58 mm. Y superan a los reportados por Dünisch et al. (2003) en la Amazonia Central en *Cedrela odorata*, durante el periodo 1890-2000, lo árboles presentaron edades entre los 73 a 157 años y un crecimiento radial medio de 2,95 mm/año (5.9 mm/año de diámetro). La diferencia en el crecimiento de *Cedrela odorata* puede estar condicionado por el tipo de clima y las características del sitio en el que se desarrollan.

En El Tambo los árboles de Cedro se desarrollan en un bosque remanente, a una distancia entre individuos aproximada de 40 a 60 m, condición que puede favorecer su crecimiento debido a que la competencia es menor, en el área son árboles dominantes, además la mayoría de los árboles de este estudio se encuentran cerca de una quebrada, lo que coincide con Marcon et al. (2019) quienes mencionan que en sitios donde la temperatura es mayor y presenta un comportamiento estacional, y el tener un buen riego, parece favorecer el crecimiento de los árboles. En otro estudio realizado Muñoz, J y Muñoz, M (2010) en la Estación Científica San Francisco, demostraron que la intervención silvicultural favoreció el establecimiento de

plántulas de Cedro al aplicar una intervención fuerte, pues consideran que al género de *Cedrela* le favorecen la apertura de claros en el bosque, ya que son especies consideradas como heliófilas durables es decir que requieren luz para desarrollarse. Condición similar a la reportada en Bolivia por Toledo et al. (2008) al reunir información sobre la ecología y silvicultura de tres especies de Cedro: *C. fissilis*, *C. odorata* y *C. lilloi* donde mencionan que los individuos de *Cedrela* tienen un mayor crecimiento y regeneración en claros que en sotobosque, y que a pesar de crecer en diferentes ambientes puede ser muy demandante en cuanto a sus requisitos de suelo: con buen drenaje (ricos en arena), profundos y húmedos (Murillo, Domínguez, Martínez, Lagunes, Aldrete. 2017).

Los anillos de crecimiento de Cedro muestran una gran variación del diámetro de árboles con la edad, así lo demuestra Nacimba (2015) donde los árboles con mayores tasas de crecimiento tuvieron entre 400 y 800 mm de diámetro, mientras los individuos más grandes 1000 a 1200 mm de diámetro crecieron menos. Al igual que Arenas, Fernández y Jordano (2015) expresan que debido a la gran variabilidad en el crecimiento de los árboles, no es posible usar el diámetro del tronco como predictor de la edad.

Finalmente, y de acuerdo a estudios en diferentes especies forestales se puede concluir que el crecimiento de los árboles, no solo se ve influenciado por la precipitación y temperatura, sino también por otros factores como la radiación solar, la luminosidad, la genética de la especie, el sitio o microclima donde se desarrolla y el suelo (Gadow, Sánchez y Álvarez, 2007; Galván, Louman, Galloway y Obando, 2005; Louman, 2001; Mora, Muñoz, Meza, y Fonseca. 2015; y Salas, 1987).

## **5.2. Turno biológico de corta de *Cedrela montana* y *Cedrela odorata***

En el país los estudios realizados sobre el Turno Biológico de Corta (TBC) de las especies forestales son recientes y escasos. Los únicos estudios que se conoce con ese fin son los

realizados en *Junglas neotrópica* por Cueva (2018) y en *Cordia alliodora* realizado por Guamán (2019).

En cuanto a las especies de *Cedrela*, no se han reportado estudios sobre el TBC en el país, por lo que éste sería el primero en Ecuador.

En la RBSF se calculó que *Cedrela montana* alcanzaría su TBC cuando llegue a los 95 años, alcanzando un diámetro aproximado de 50 cm. Estos resultados difieren del reportado por Castañeda et al. (2013) en Perú para árboles de *Cedrela montana* provenientes de una parcela de corta anual en un bosque pluvial premontano tropical donde obtuvieron un TBC a los 14 años. Esta diferencia se debe a que en el modelo aplicado para la estimación del TBC no fue el adecuado, debido a que arrojó datos que no son biológicamente ni económicamente viables y según los propios autores el criterio del ICA máximo llevaría al aprovechamiento de árboles muy pequeños.

En El Tambo los árboles de *Cedrela odorata*, alcanzaron su TBC a los 59 años con un diámetro de 48,28 cm. Estos resultados difieren a los reportados por Montalvo y Pollito (2014) en Perú en árboles de *Cedrela odorata* que alcanzaron su turno de corta (TC) a los 113 años (TC en base al diámetro) y un turno óptimo a los 84 años, valor obtenido en base a dos criterios, uno económico que se formaliza mediante el valor actual neto y otro ambiental que recoge el nivel de captura de carbono en la biomasa vegetal. Lo que demuestra que las condiciones de sitio y el tipo de ecosistema influyen en el crecimiento de los árboles siendo aun de la misma especie (Brienen, 2005). En otro estudio realizado en un bosque húmedo subtropical cálido en Guatemala por Martínez (2015) reportó un turno biológico de corta para *Cedrela odorata* de 85 años con un DAP de 65 cm, en árboles que alcanzaron edades entre 35 y 110 años. En este caso los árboles provienen de la zona de uso múltiple de concesiones forestales alrededor de la Reserva de Biosfera Maya, donde todavía se encuentran especies clímax de alto valor comercial

como lo es el Cedro en ecosistemas manejados para un aprovechamiento sostenible.

De los 35 árboles estudiados, el 50% (6) de los Cedros de El Tambo cumplen su TBC entre los 30 y 44 años. En la RBSF el 13% (3) de los Cedros alcanzaron el TBC entre los 43 y 45 años. En ambos sitios los árboles no llegan al DMC obtenido en base al TBC de 48,28 cm para El Tambo y 50 cm para la RBSF. Por otro lado, en El Tambo el diámetro máximo obtenido fue de 58,49 cm, alcanzado a los 51 años, y en la RBSF fue de 54,32 cm obtenido a los 66 años. La variabilidad en el crecimiento de los árboles se ve reflejada en individuos procedentes de un mismo sitio esto puede ser el resultado de la dinámica interna de cada árbol y de factores externos (enfermedades, disponibilidad de nutrientes, competencia por luz) (Pucha, 2007; Villalba, 1995).

Finalmente, al comparar el diámetro obtenido en base al TBC de cada especie, y el Diámetro Mínimo de Corta (DMC) establecido por MAE en la Normativa para el Manejo Sustentable de los Bosques Andinos se puede concluir que los valores obtenidos no están muy alejados de los 60 cm establecidos en la normativa, puesto que para *Cedrela odorata* de la RBSF se determinó un diámetro de 50 cm, y para *Cedrela odorata* de El Tambo de 48,28 cm.

## 6. CONCLUSIONES

- *Cedrela montana* y *Cedrela odorata* presentan anillos anuales de crecimiento claramente visibles, porque son especies caducifolias, y se caracterizan por presentar una transición de color entre la madera temprana y tardía, presencia de bandas de parénquima marginal, y agrupación de poros de mayor tamaño alrededor del anillo (porosidad semicircular), lo que garantiza la identificación de un anillo verdadero en *Cedrela*.
- Los estudios dendrocronológicos son un efectivo método para determinar la edad media y el turno biológico de corta de *Cedrela montana* y *Cedrela odorata* en ecosistemas tropicales.
- La edad media de los árboles de *Cedrela montana* (56 años) en la RBSF es mayor que la de *Cedrela odorata* (32 años) en El Tambo.
- *Cedrela montana* de la RBSF alcanza su TBC aproximadamente a los 95 años con un diámetro de 50 cm, mientras que *Cedrela odorata* de El Tambo alcanza su TBC a los 59 años con un diámetro de 48,28 cm.
- El actual DMC (60 cm) establecido por la normativa forestal ecuatoriana, no se considera sostenible para el aprovechamiento de las especies del género *Cedrela*, porque para alcanzar los 60 cm estas especies tardan más de 95 años.

## 7. RECOMENDACIONES

- Para aplicar el análisis de anillos de crecimiento en el manejo forestal es necesario complementar con estudios anatómicos, dendrológicos, ecológicos, fisiológicos, climáticos y silviculturales.
- Considerar dentro de futuros estudios variables que puedan ayudar a explicar fenómenos de crecimiento tales como cercanía de árboles a fuentes de agua, posición en la pendiente, tipo de suelo, y características fenotípicas.
- Al realizar estudios dendrocronológicos en especies arbóreas evitar sitios donde existan fuentes de agua cercanas, zanjas naturales, pendientes pronunciadas entre otros factores que puedan influir en los resultados de la investigación.
- Es necesario replicar este tipo de estudios en otros sitios donde se distribuye la especie del género *Cedrela*, para verificar si el DMC de 60 cm establecido por el MAE se aproxima al diámetro determinado a través del TBC.
- Promover estos estudios en otras especies forestales de bosques montanos, por ser ecosistemas amenazados, vulnerables a las variaciones climáticas, a la agricultura migratoria y la tala ilegal.
- Fomentar el manejo de las especies forestales nativas con potencialidades económicas y ecológicas; así mismo, fomentar mayor investigación en el manejo forestal del género *Cedrela*.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, Z. (2012). Especies forestales de los bosques secos del Ecuador. Guía dendrocronológica para su identificación y caracterización. Proyecto Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático. MAE/FAO-Finlandia. Quito, Ecuador. 140 p
- Aguirre, Z., Gutiérrez, M., y Merino, B. (2013). Principales familias de árboles, arbustos y hierbas del sur del Ecuador. Universidad Nacional de Loja. 112 p. Recuperado de: [https://www.academia.edu/8450870/Guia\\_de\\_las\\_familias\\_bot%C3%A1nicas\\_del\\_sur\\_del\\_Ecuador](https://www.academia.edu/8450870/Guia_de_las_familias_bot%C3%A1nicas_del_sur_del_Ecuador)
- Aguirre, A. D. (2010). Proyecto para la producción y exportación de Cedro en la provincia del Guayas (Tesis de grado). Recuperado de: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3860/1/6387.pdf>
- Aguirre, O. A. (2015). Manejo forestal en el siglo XXI. Madera y Bosques 21 (Núm. esp.). 17-28 pp. Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-04712015000400002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712015000400002)
- Aguirre, Z. (2008). Diversidad florística de la provincia de Zamora Chinchipe. Revista Naturaleza y Desarrollo, 1(1), 71-80.
- Aguirre, Z. (2015). Biodiversidad Ecuatoriana, estrategias e instrumentos para su manejo y conservación. Universidad Nacional de Loja, p 133.
- Aguirre, Z., Loja, Á., Solano, C., y Aguirre, N. (2016). Especies forestales más aprovechadas en la región sur del Ecuador. (EDILOJA, Ed.). Loja, Ecuador: Universidad Nacional de Loja. Recuperado de:



[https://www.researchgate.net/publication/299761463\\_Especies\\_forestales\\_mas\\_aprovechadas\\_del\\_sur\\_del\\_Ecuador](https://www.researchgate.net/publication/299761463_Especies_forestales_mas_aprovechadas_del_sur_del_Ecuador)

Aguirre, Z., y Geada, G. (2017). Estado de conservación de los bosques secos de la provincia de Loja, Ecuador. *Arnaldoa*, 24(1), 207-228. Recuperado de: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2413-32992017000100007](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992017000100007)

Amález, E y Flores, E. (1988). Características de la madera de *Cedrela odorata* L. (Cedro amargo, Meliaceae) en Costa Rica. *Rev. Biol. Trop*, 36(1), 67-73. Recuperado de: [http://www.doc-developpement-durable.org/file/Arbres-Bois-de-Rapport-Reforestation/FICHES\\_ARBRES/Cedrela%20odorata/Caracteristicas\\_de\\_la\\_madera\\_de\\_Cedrela\\_odorata.pdf](http://www.doc-developpement-durable.org/file/Arbres-Bois-de-Rapport-Reforestation/FICHES_ARBRES/Cedrela%20odorata/Caracteristicas_de_la_madera_de_Cedrela_odorata.pdf)

Andrade, A y Solís, L. (2004). Las bondades del Cedro rojo. *Revista de Divulgación Científica y Tecnología de la Universidad Veracruzana*. Vol. 17. No. 3. México. Recuperado de: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/5611/2/20043P17.pdf>

APG IV. 2016. The Linnean Society of London, *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2016, 181, 1–20

Arabe, A. V., Rodríguez, R. O., Chaves, P. P., Alvarado, J. R., y Custodio, M. C. (2011). Avances en la caracterización e identificación anatómica de los anillos de crecimiento de la especie *Junglans neotropica* Diels (Nogal) para estudios dendrocronológicos en el fundo La Génova, Junín (Perú). *Xilema*, 24(1), 5-11.

Arenas, S., Fernández, J., y Jordano, D. (2015). Estructura de edades, tamaños y crecimiento en una población local de piruétano (Córdoba, España). *Revista Ecosistemas*, 24(2), 7-14.

- Armijos, A., Quezada, N., Veintimilla, J., y Pucha, D. (2017). Anatomía de la madera de *Cedrela montana* Moritz ex Turcz. Poster presentado en la carrera de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/314054142\\_Anatomia\\_de\\_la\\_madera\\_de\\_Cedrela\\_montana\\_Moritz\\_ex\\_Turcz](https://www.researchgate.net/publication/314054142_Anatomia_de_la_madera_de_Cedrela_montana_Moritz_ex_Turcz)
- Baker, J. C., Santos, G., Gloor, M., y Brienen, R. J. (2017). Does *Cedrela* always form annual rings? Testing ring periodicity across South America using radiocarbon dating. *Trees*, 31(6), 1999-2009.
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Revista Ecosistemas*, 21(1-2). Recuperado de: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/33>
- Barrera, E., Castro, J., Muñoz, D., y Pucha, D. (2018). Variabilidad anatómica de la madera en cuatro especies forestales de diferentes procedencias al sur del Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 8 (2), 16-29.
- Beck E., Makeschin F., Haubrich F., Richter M., Bendix J., Valerezo C. (2008). El ecosistema (Reserva Biológica San Francisco). En: Beck E., Bendix J., Kottke I., Makeschin F., Mosandl R. (eds) Gradientes en un ecosistema de montaña tropical del Ecuador. Estudios ecológicos (análisis y síntesis), vol 198. Springer, Berlín, Heidelberg
- Beck, E., Bendix, J., Kottke, I., Makeschin, F., y Mosandl, R. (Eds.). (2008). Gradients in a tropical mountain ecosystem of Ecuador [Gradientes en un ecosistema de montaña tropical del Ecuador] (Vol. 198). Springer Science & Business Media.

- Bendix J., Homieier J., Cueva E., Emck P., Breckle S., Richter M. y Beck E. (2006). Seasonality of weather and tree phenology in a tropical evergreen mountain rain forest. [Estacionalidad del clima y fenología de los árboles en un bosque tropical lluvioso de montaña de hoja perenne]. *Int J Biometeorol* (2006) 50: 370–384
- Bendix, J., Beck, E., Bräuning, A., Makeschin, F., Mosandl, R., Scheu, S., y Wilcke, W. (Eds.). (2013). Ecosystem services, biodiversity and environmental change in a tropical mountain ecosystem of South Ecuador (Vol. 221). Springer Science & Business Media.
- Benítez, J. R. (2011). Construcción y datación de curvas de crecimiento de *Cedrela montana* Moritz ex Turcz del bosque montano y sus implicaciones con la dendrocronología, fenología, anatomía y silvicultura (Tesis de grado). Universidad Nacional de Loja-UNL, Loja- Ecuador 136 p.
- Boucher, D., Elias, P., Lininger, K., May-Tobin, C., Roquemore, S y Saxon, E. (2011). The Root of the Problem: What's Driving Tropical Deforestation Today? [La raíz del problema: ¿Qué está impulsando la deforestación tropical en la actualidad?] (*Cambridge, MA: Union of Concerned Scientists*). Recuperado de: ([https://www.ucsusa.org/sites/default/files/legacy/assets/documents/global\\_warming/UCS\\_RootoftheProblem\\_DriversofDeforestation\\_FullReport.pdf](https://www.ucsusa.org/sites/default/files/legacy/assets/documents/global_warming/UCS_RootoftheProblem_DriversofDeforestation_FullReport.pdf))
- Bräuning A., Homeier J., Cueva E., Beck E.,y Günter S. (2008) Growth Dynamics of Trees in Tropical Mountain Ecosystems. In: Beck E., Bendix J., Kottke I., Makeschin F., Mosandl R. (eds) Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador. Ecological Studies (Analysis and Synthesis), vol 198. Springer, Berlin, Heidelberg

- Bräuning, A.; Volland-Voigt, F.; Burchardt, I.; Ganzhi, O.; Nauß, T.; y Peters, T. (2009): Climatic control of radial growth of *Cedrela montana* in a humid mountain rainforest in southern Ecuador. In *Erd* 63 (4), pp. 337–345. DOI: 10.3112/erdkunde.2009.04.04.
- Brienen, R. y Zuidema, P (2003). Anillos de crecimiento de árboles maderables en Bolivia: su potencial para el manejo de bosques y una guía metodológica. PROMAB/ IGEMA Informe Técnico Nro. 7, 2003.
- Brienen, J.W., Schöngart, J. y Zuidema, P. (2016). Tree rings in the tropics: insights into the ecology and climate sensitivity of tropical trees. En: Goldstein, G., Santiago, L.S. (eds.), *Tropical Tree Physiology: Adaptations and Responses in a Changing Environment*, pp. 439–461. Springer, Suiza.
- Brienen, J. W., y Zuidema, P. A. (2005). Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. [Relacionar el crecimiento de árboles con las precipitaciones en los bosques tropicales bolivianos: una prueba para seis especies usando análisis de anillos de árboles]. *Oecologia*, 146 (1), 1–12. doi: 10.1007 / s00442-005-0160-y
- Brienen, J. W., y Zuidema, P. A. (2006 a). Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. [Patrones de crecimiento de por vida y edades de los árboles de la selva tropical boliviana obtenidos por análisis de anillos de árboles]. *Journal of Ecology*, 94 (2), 481–493. doi: 10.1111 / j.1365-2745.2005.01080.x
- Brienen, J. W., y Zuidema, P. A. (2006 b). The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species. [El uso de anillos de árboles en el manejo de bosques tropicales: Proyectando rendimientos de madera de cuatro

especies de árboles bolivianos]. *Forest Ecology and Management*, 226 (1-3), 256–267.  
doi: 10.1016 / j.foreco.2006.01.038

Bunn, A. (2008). A Dendrochronology Program Library in R (dplR). *Dendrochronology*, 26(2), 115-124. doi: 10.1016/j.dendro.2008.01.002. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1125786508000350>

Bussmann, R. W. (2005). Bosques andinos del sur de Ecuador, clasificación, regeneración y uso. *Revista peruana de Biología*, 12(2), 203-216. Recuperado de: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1727-99332005000200006&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1727-99332005000200006&script=sci_arttext&tlng=en)

Campos, F., Peralvo, M., Cuesta, F., y Luna, S. (eds). (2007). *Análisis de vacíos y áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad en el Ecuador continental*. Instituto Nazca de Investigaciones Marinas, EcoCiencia, Ministerio del Ambiente, The Nature Conservancy, Conservación Internacional, Proyecto GEF: Ecuador Sistema Nacional de Áreas Protegidas, BirdLife International y Aves & Conservación, Quito, Ecuador. 84 p.

Campos, L. E. (2009). Dendrocronología en árboles de Tornillo, *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Fabaceae), del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera en el noreste de la Amazonia, Región Loreto-Perú. (Tesis de Maestría).

Cañadas, L. (1983). Mapa bioclimático y ecológico del Ecuador. In *Mapa bioclimático y ecológico del Ecuador*. Banco Central del Ecuador.

Cárdenas, D., Arboleda, N. C., Tunjano, S. S., Barrera, L. Q., Rodríguez, M. B., Rodríguez, S. G., y Peinado, Á. J. V. (2015). Planes de manejo para la conservación de abarco, caoba,

Cedro, palorosa y canelo de los andaquíes. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI.

Castaño, N., Cárdenas, D., y Rodríguez, E. (2007). Ecología, aprovechamiento y manejo sostenible de nueve especies de plantas del departamento del Amazonas, generadoras de productos maderables y no maderables. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas" SINCHI".

Castañeda M. I., Inga J. G. y Arizapana M. A. (2013). Aplicación de cuatro modelos de crecimiento a series dendrocronológicas de *Cedrela montana* (Meliaceae) - Comunidad Nativa de Shaani, región Ucayali, Perú. Xilema16, 48-56.

Chamorro, K. (2012). Diagnóstico situacional Turístico de La Parroquia Rural El Tambo Perteneciente al Cantón Catamayo, Provincia De Loja (Tesis de grado). Universidad Nacional de Loja, UNL. Loja – Ecuador. 247 p. Recuperado de: <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/934>

Cintrón, B. B. (1990). *Cedrela odorata* L. Cedro hembra, Spanish cedar. Silvics of North America, 2(654), 250.

Coster, C. (1927) Zur Anatomie und Physiologie der Zuwachszonen- und Jahresringbildung in der Tropen. I. Ann. Jard. Bot. Buitenz. 37: 49 -161. 1927.

Coster, C. (1928). Zur Anatomie und Physiologie der Zuwachszonen- und Jahresringbildung in der Tropen. II. Ann. Jard. Bot. Buitenz. 38:1 -114. 1928.

Cueva, A. L. (2018). Estimación del turno biológico de corta para *Juglans neotropica* Diels a través de métodos dendrocronológicos en dos ecosistemas forestales andinos de la provincia de Loja (Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja).

- Cusatis, A.C., Trazzi, P.A., Junior, M., e Higa, A. R. (2013). Dendroecologia de *Cedrela fissilis* na floresta ombrófila mista. Brazilian. [*Cedrela fissilis* dendroecología en el bosque mixto ombrófilo. Brasileño]. Journal of Forestry Research. 33(75): 287-297.
- David, E., Chhin, S., y Skole, D. (2014). Dendrochronological potential and productivity of tropical tree species in western Kenya. [Potencial dendrocronológico y productividad de especies de árboles tropicales en el oeste de Kenia]. Tree-ring research 70(2): 119-135.
- Dünisch, O., Bauch, J., y 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, 23(2), 101-119.
- Dünisch, O., Montóia, V. R., y Bauch, J. (2003). Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L (Meliaceae) in the central Amazon. Trees. [Investigaciones dendroecológicas sobre *Swietenia macrophylla* King y *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) en la Amazonía central], 17(3), 244-250.
- Escalante, C. O. (2014). Caracterización anatómica de anillos de crecimiento de Huamanzamana Jacaranda copaia (Aublet) D. Don y Huangana Caspi Senefeldera inclinata P. Franco confines dendrocronológicos, Tingo María.
- Espinoza, J. P., Guillen, J. I., Morales, M. S., y Arisméndiz, R. R. (2014). Potencialidad de *Cedrela odorata* (Meliaceae) para estudios dendrocronológicos en la selva central del Perú. Revista de Biología Tropical, 62(2), 783-793.
- Franquis, F. R., e Infante, A. M. (2003). Los bosques y su importancia para el suministro de servicios ambientales (No. Bajados de internet/2013). Revista Forestal Latinoamericana.

Fritts, H. C. (1976). *Tree-rings and climate*. Academic Press. London. 567 p.

Gadow, K. V., Sánchez Orois, S., y Álvarez González, J. G. (2007). Estructura y crecimiento del bosque. Recuperado: [http://bida.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/9722/Estructura\\_y\\_crecimiento\\_del\\_bosque1-2.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bida.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/9722/Estructura_y_crecimiento_del_bosque1-2.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Galván, O., Louman, B., Galloway, G., y Obando, G. (2005). Efecto de la iluminación de copa en el crecimiento de *Pentaclethra macroloba* y *Goethalsia meiantha* Implicaciones para la silvicultura de los bosques tropicales húmedos. *Recursos Naturales y Ambiente*, (46-47). recuperado de : <http://bco.catie.ac.cr/portal-revistas/index.php/RRNA/article/view/260>

Giménez, A. M., y Ríos, N. A. (1999). Crecimiento de *Schinopsis quebracho-colorado* (Schlecht.) Barkl. et Meyer, Anacardiaceae. *Madera y Bosques*, 5(2), 35-51. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/617/61750204.pdf>

Giraldo, J. A. (2011). *Dendrocronología en el trópico: aplicaciones actuales y potenciales*. Colombia Forestal. 14(1): 97-111

Gobierno autónomo descentralizado municipal de Catamayo (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial del Cantón Catamayo 2014–2019*. Recuperado de [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/1160000400001\\_GADM%20Catamayo%20PDyOT%202014-2019\\_13-03-2015\\_21-07-42.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1160000400001_GADM%20Catamayo%20PDyOT%202014-2019_13-03-2015_21-07-42.pdf) (04 de julio del 2019)



- Gourlay, I. D. (1995). The definition of seasonal growth zones in some African Acacia species- A review. [La definición de zonas de crecimiento estacional en algunas especies de Acacia africana-Una revisión]. IAWA journal, 16(4), 353-359.
- Grau, H.R., Easdale, T.A., Paolini, L. (2003). Subtropical dendroecology-dating disturbances and forest dynamics in northwestern Argentina montane ecosystems. Forest Ecology and Management. 177: 131-143.
- Grijalva, J., Checa, X., Ramos, R., Barrera, P., y Limongi, R. (2012). Situación de los Recursos Genéticos Forestales–Informe País Ecuador. Preparado por el Programa Nacional de Forestería del INIAP con aval del INIAP (p. 95). FAO/MAE/MAGAP/MMRREE. Documento sometido a la Comisión Forestal de la FAO-Roma, para preparación del Primer Informe sobre el Estado de los Recursos Genéticos Forestales en el Mundo. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/i3825e/i3825e20.pdf>
- Guamán, L. A. (2019). Turno biológico de corta para *Cordia alliodora* (Ruiz y Pav.) Oken a través de métodos dendrocronológicos en la quinta experimental " El Padmi", Zamora Chinchipe (Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja).
- Guerrero, C. y López, F. (1993). Árboles nativos de la provincia de Loja. Fundación Ecológica Arcoiris. Loja-Ecuador. 63-63 pp
- Gutiérrez, E. (2009) La dendrocronología: métodos y aplicaciones. En “Arqueología náutica mediterránea” X. Nieto i M.A. Cau (eds.). Monografías del CASC. Generalitat de Catalunya. pp. 309-322.
- Harley, G. L., Grissino-Mayer, H. D., y Horn, S. P. (2011). The dendrochronology of *Pinus elliottii* the lower Florida keys: chronology development and climate response. [La

dendrocronología de *Pinus elliottii* los cayos más bajos de Florida: desarrollo cronológico y respuesta climática] Tree-ring research. 67(1): 39-50.

Holl, K. D. (2013). *Restoring Tropical Forest*. Nature Education Knowledge 4(4):4  
<http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/restoring-tropical-forest-97756726>

Huamán, C. (2011). Dendrocronología de árboles de azúcar huayo (*Hymenae acourbaril* L.) en la región de Madre de Dios (provincia de Tahuamanu) – Perú. (Tesis de maestría. Universidad Nacional Agraria de la Molina) – Escuela de Pos Grado). 112 p.

Imaña, J. y Encinas, O. (2008). Edometría Forestal. Universidad de Brasilia Departamento de Engenharia Florestal, Universidad de los Andes de Venezuela, Facultad de Ciencias forestales y del Ambiente. Brasilia, Brasil, Mérida-Venezuela. pp 54.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INHAMI). (2019). Base de datos climáticos hasta el año 2015.

Jorgensen, M., y León, S. (1999). Catalogue of the vascular plants of Ecuador. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden.

Juárez, M., Giménez, A., Ríos, N., y Balzarini, M. (2005). Modelación de crecimiento en *Prosopis alba* Griseb., empleando dos modelos biológicos. Quebracho - Revista de Ciencias Forestales, (12), 34-42. Recuperado de:  
<http://www.redalyc.org/html/481/48101203/>

Kaennel, M. y Schweingruber, H. (1995). Multilingual glossary of dendrochronology. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, WSL/FNP. Paul Haupt Publisher. Berne. 463 p.

- Kozłowski, T. T. (1979). *Tree Growth and Environmental Stress*. The Geo. S. Long publication series. University of Washington Press. Seattle, USA. 192 p.
- Lamb, A. F. (1968). Fast growing timber trees of the lowland tropics. *Cedrela odorata*. [Árboles de madera de rápido crecimiento de los trópicos de tierras bajas. *Cedrela odorata*]. Commonwealth Forestry Institute, Oxford. 2: 46.
- Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas-posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido*. (GTZ) GMBH, Eschborn, Alemania.
- Leischner, B., y Bussmann, R. W. (2003). Mercado y uso de madera en el Sur de Ecuador. *Lyonia*, 5(1), 51-60.
- León, W. (2006). Anatomía de la madera de 13 especies del orden Sapindales que crecen en el estado Mérida, Venezuela. *Acta Botánica de Venezuela*. 29 (2): 269-296.
- León, W. J. (2009). Anatomía de la madera y clave de identificación para especies forestales vedadas en Venezuela. *La Revista Forestal Venezolana*, 53(1), 51-63.
- Loján, L. (2003). El verdor de los Andes ecuatorianos, realidades y promesas. Proyecto Apoyo al Desarrollo Forestal Comunal/DFG/FAO Ministerio del Ambiente. Ecuador. Pág. 55-64.
- Louman, B. (2001). *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central* (Vol. 46). CATIE.
- Louman, B. y Stanley S. (2002). Análisis e interpretación de resultados de inventarios forestales. En L. Orozco, & C. Brumér (Eds.), *Inventarios forestales para bosques*

latifoliados en América Central. (pp. 216-248). Turrialba: CATIE. ISBN: 9977-57-384-0

Lozano, P. (2002). Los tipos de bosque en el sur de Ecuador. Botánica Austroecuatorialiana. Estudios sobre los recursos vegetales en las provincial de El Oro, Loja y Zamora-Chinchipe. Abya-Yala, Quito, 29-49. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/profile/Pablo\\_Lozano/publication/233936622\\_Los\\_tipos\\_de\\_bosque\\_en\\_el\\_sur\\_del\\_Ecuador/links/09e4150d2590560376000000/Los-tipos-de-bosque-en-el-sur-del-Ecuador.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Pablo_Lozano/publication/233936622_Los_tipos_de_bosque_en_el_sur_del_Ecuador/links/09e4150d2590560376000000/Los-tipos-de-bosque-en-el-sur-del-Ecuador.pdf)

Luckman, B. H. (2007). Dendroclimatology. Encyclopedia of Quaternary Science 1: 465-475.

Mackay, E. (1964). Fundamentos y Métodos de la Ordenación de Montes. Madrid. Escuela de Ingenieros de Montes. España

Mahecha, G. E., Ovalle, A., Camelo, D., Rozo, A. y Barrero, D. (2012). *Vegetación del territorio CAR, 450 especies de sus llanuras y montañas* (Segunda edición). Bogotá D.C., Colombia: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR.

Maingi, J. K. (2006). Growth rings in tree species from the Tana river floodplain, Kenya. [Anillos de crecimiento en especies arbóreas de la llanura aluvial del río Tana, Kenia]. *Journal of East African Natural History*. 95(2): 181-211.

Mamani, J. E. (2015). Caracterización macroscópica y microscópica de especies maderables en cuatro aserraderos de Tambopata-Madre de Dios.

Marcelo, J. L., Santini, L., y Tommasiello, M. (2019). Wood anatomy and growth rate of seasonally dry tropical forest trees in the Marañón River Valley, northern Peru.

Dendrochronologia. Recuperado de:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1125786518300754>

March, I. J., Carvajal, M. A., Vidal, R. M., San Román, J. E., y Ruiz, G. (2009). Planificación y desarrollo de estrategias para la conservación de la biodiversidad. *Capital natural de México*, 2, 545-573.

Marcon, A. K., Longhi-Santos, T., Galvão, F., Martins, K. G., Botosso, P. C., y Blum, C. T. (2019). Climatic response of *Cedrela fissilis* radial growth in the Ombrophilous Mixed Forest, Paraná, Brazil [Respuesta climática del crecimiento radial de *Cedrela fissilis* en el Bosque Mixto Ombrófilo, Paraná, Brasil]. Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE). Recuperado de:  
<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1110648/1/2019P.BotossoFloramClimatic.pdf>

Martínez, A. E. (2015). Interpretación dendroecológica y desarrollo de modelos de crecimiento en dos especies tropicales: *Swietenia macrophylla* y *Cedrela odorata* en la Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala.

McCarthy, B. (1998). Dendrochronology Seminar. PBIO-69 Dendrochronology Seminar 500 Server. Ohio University.

Melandri, J. L., Dezzeo, N., y Espinoza, N. (2007). Growth ring periodicity in *Pinus caribaea* var. *hondurensis* from a Mérida State plantation, Venezuela. [Periodicidad del anillo de crecimiento en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de una plantación del estado de Mérida, Venezuela]. *Revista Forestal Venezolana*. 51(1): 57-66.

Mena, P. (2005). La biodiversidad de los páramos en el Ecuador. (En línea) 16 p. Recuperado de: <http://www.banrepcultural.org>.

Merino, E. G. (2009). La dendrocronología: métodos y aplicaciones. In *Arqueología náutica mediterránea* (pp. 309-322).

Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE). (2010). Cuarto Informe Nacional para el Convenio sobre la Diversidad Biológica. Quito. Recuperado de: <https://www.cbd.int/doc/world/ec/ec-nr-04-es.pdf>

Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT (FAO). (2015). *Especies forestales leñosas arbóreas y arbustivas de los bosques montanos del Ecuador*. Quito

Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2014). *Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales*. Quito, Ecuador. 105 p. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i4407s.pdf>

Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). (2015). *Normas para el aprovechamiento forestal sustentable de los bosques andinos*. Acuerdo Ministerial No. 128. Quito, Ecuador. 27 p.

Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). (2015). *Normas para el aprovechamiento forestal sostenible de los bosques nativos húmedos*. Acuerdo Ministerial No. 125. Quito, Ecuador. 27 p.

Mogrovejo, P. R. (2017). *Bosques y cambio climático en Ecuador: el regente forestal como actor clave en la mitigación del cambio climático* (Master's thesis, Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador).

- Montalvo, V. B., y Pollito, A. Z. (2014). Determinación del turno de corta de *Cedrela odorata* L., *Retrophyllum rospigliosii* Pilger y *Prumnopitys harmsiana* Pilger a través del estudio dendrocronológico en San Ignacio, región Cajamarca-Perú. *Ceprosimad*, 2(2), 33-47.
- Mora, F., Muñoz, R., Meza, V., y Fonseca, W. (2015). Factores edáficos que influyen en el crecimiento de *Vochysia guatemalensis* en la región Huetar Norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. Recuperado de: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v39n1/a06v39n1.pdf>
- Moritz ex Turcz. (1858). *Cedrela montana*. *Bulletin de la Société Impériale des 135 Naturalistes de Moscou* 31(2): 415.
- Muñoz, J., y Muñoz, L. (2010). Evaluación de la Composición Florística de la Regeneración Natural del Bosque Tropical de Montaña en la Estación Científica San Francisco bajo diferentes intensidades de raleo selectivo. *Ecología Forestal*, 1(1), 88-99.
- Murillo, Y., Domínguez, M., Martínez, P., Lagunes, C., Aldrete, A. (2017). Índice de sitio en plantaciones de *Cedrela odorata* en el trópico húmedo de México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 49(1), 15-30.
- Nacimba, M. A. (2015). Crecimiento y dendrocronología de *Cedrela Odorata* en un bosque de la Amazonía ecuatoriana (Tesis de Grado). Pontificia Universidad Católica Del Ecuador – PUCE, Quito – Ecuador. 37p. Recuperado de: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/9661/Tesis%20Mayra%20Nacimba.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- National Group on Tropical Forests (GNFT). (2012). Tropical Forests: taking stock and new challenges. What guidance for French stakeholders? [Bosques tropicales: haciendo

balance y nuevos retos ¿Qué orientación para los interesados franceses?] 3rd report by the National Group on Tropical Forests, 192 p.

Navarrete, R. (2005). La preservación de la biodiversidad, el medio ambiente y la utilización de los recursos naturales para impulsar el desarrollo sustentable y la seguridad. XXXII. (Disertación para maestría). Quito: Instituto de Altos Estudios Nacionales.

Nieto, V. M., y Rodríguez, J. (2003). *Cedrela montana* Moritz x Turcz. Tropical tree seed manual. Washington, 384-385.

Patiño, F., Kageyama, Y., Linares, B., Navarro, P., y Patino, V. (1997). Recursos genéticos de *Swietenia* y *Cedrela* en los Neotrópicos: Propuestas para acciones coordinadas (No. 583.250415 R298r). Roma, IT: FAO.

Pennington, T. D. y Muellner, A. N. (2010). Una monografía de *Cedrela* (Meliaceae) .Dh libros. Inglaterra.112 p.

Pennington, T. D. (1981). A monograph of the neotropical Meliaceae. [Una monografía de las Meliaceae neotropicales]. Flora Neotropica. New York. The New York Botanical Gardens. 360–390.

Pereira, A., Barbosa, M., Torbenson, A., Stahle, W., Granato, D., Santos, D., y Barbosa, D. (2018). La respuesta climática del ancho de anillo anual de *Cedrela Fissilis* en la cuenca del río São Francisco, Brasil. *Tree-Ring Research*, 74 (2), 162-171. doi: 10.3959 / 1536-1098-74.2.162

Pérez, C. A. (1954). Estudio forestal del laurel, *Cordia alliodora* (R. & P.) Cham., en Costa Rica (No. Thesis P438es). IICA, Turrialba (Costa Rica).



- Perez, C., Locatelli, B., Vignola, R., y Imbach, P. (2007). Importancia de los bosques tropicales en las políticas de adaptación al cambio climático. *Recursos Naturales y Ambiente*, (51-52), 6-13.
- Pineda, E., Valdez, I., López, M., Manzano, F., y Salgado, H. (2015). Incremento en diámetro y periodicidad de anillos de crecimiento de dos especies arbóreas en una selva húmeda del norte de Oaxaca, México. *Madera y bosques*, 21(3), 55-68.
- Pucha, D. (2007). Variación a largo plazo de la deposición del calcio en el bosque lluvioso montano bajo de la estación científica San Francisco (Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja).
- Pucha, D. (2016). Environmental signals in radial growth, stable isotope variations and nutrient concentration of trees from different forest ecosystems in southern Ecuador. (Tesis doctoral, University of ErlangenNuremberg).
- Rivera, M. A., Moya, J., y Shea, D. E. (2010). Dendrocronología en la Pampa del Tamarugal, Desierto de Atacama, Norte de Chile. *Diálogo Andino-Revista de Historia, Geografía y Cultura Andina*, (36).
- Rodríguez, R., Woodman, R., Balsley, B., Mabres, A., y Phipps, R. (1993). Avances sobre estudios dendrocronológicos en la región costera norte del Perú para obtener un registro pasado del fenómeno el Niño. *Bull. Inst. Fr. d'Etudes Andines*, 22(1), 267-281.
- Rosero, J. (2009). Dendrocronologia de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla* King., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica do Departamento de Madre de Dios, Perú. (Tesis de Maestría). Universidade de São Paulo, Piracicaba.

- Salas, G. (1987). Suelos y ecosistemas forestales: con énfasis en América Tropical (No. 80). IICA.
- Salguero, M., Arias, B., y González, B. (2014). Lineamientos técnicos de manejo forestal. Guatemala. 46 p. Recuperado de: [http://www.itto.int/files/itto\\_project\\_db\\_input/2972/Technical/Lineamientos%20Técnicos%20de%20Manejo%20Forestal.pdf](http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2972/Technical/Lineamientos%20Técnicos%20de%20Manejo%20Forestal.pdf)
- Schlotzhauer, P., y Navarrete, B. T. (2017). Análisis de la cadena de producción y comercialización de madera en pequeños productores de la Amazonía Ecuatoriana. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/318378807\\_Analisis\\_de\\_la\\_cadena\\_de\\_produccion\\_y\\_comercializacion\\_de\\_madera\\_en\\_pequenos\\_productores\\_de\\_la\\_Amazonia\\_Ecuatoriana](https://www.researchgate.net/publication/318378807_Analisis_de_la_cadena_de_produccion_y_comercializacion_de_madera_en_pequenos_productores_de_la_Amazonia_Ecuatoriana)
- Schweingruber, F. H. (1988). Tree-rings: Basics and application of dendrochronology. D. Reidel Publishing Co. Dordrecht. 276 p.
- Sierra, R. (ed.) (1999). Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRG & EcoCiencia, Quito. 194 pp
- Stahle, W. (1999). Useful strategies for the development of tropical tree-ring chronologies. IAWA Journal 20: pp 249-253.
- Stokes, M., y Smiley, T. (1968). An introduction to tree-ring dating. The University of Chicago Press, Chicago, Illinois. pp 73.
- Taylor, M., Losch, M., Wenzel, M., y Schröter, J. (2013). On the sensitivity of field reconstruction and prediction using empirical orthogonal functions derived from

gappy data [reconstrucción y predicción de la sensibilidad del campo utilizando funciones ortogonales empíricas derivadas de los datos gappy]. *Journal of Climate*, 26(22), 9194-9205. doi: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00089.1>

Toledo, M., Chevallier, B., Villarroel, D., y Mostacedo, B. (2008). Ecología y silvicultura de especies menos conocidas Cedro, *Cedrela* spp (No. 634.9756 E19). Instituto Boliviano de Investigación Forestal, Santa Cruz (Bolivia).

Tomazello, F. M., Botosso, P. C., y Lisi, C. (2001). Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores. In: Maia, N., Martos, H., Barrella, W. (Org.). *Indicadores ambientais conceitos e aplicações*. São Paulo: Educ. 117-143 p.

Tullume, C. (2000). Características anatómicas y propiedades físico mecánicas del Cedro (*Cedrela odorata* L), proveniente de Satipo (Tesis doctoral, para optar el título de Ingeniero Forestal. UNALM-Perú).

Varea, A. (2004). Iniciativas para conservar la biodiversidad. *Universitas*, 1(4), 7-44. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8463/1/Iniciativas%20para%20conservar%20la%20biodiversidad.pdf>

Villalba, R. (1995). Dendrocronología y la Selva Subtropical de Montaña: implicaciones para su manejo y desarrollo. *Investigación, Conservación y Desarrollo de la Selva Subtropical de Montaña*, 59-68.

Villalba, R., Delgado, S., De Membiela, M., y Mendoza, D. (2006). Variabilidad interanual de los caracteres anatómicos en el leño de *Cedrela lilloi* en el noroeste de Argentina. *Ecología y producción de Cedro (género Cedrela) en las Yungas australes*. LIEY ProYungas, Tucumán, 59-82.



- Villalba, R., Villagra, P., Boninsegna, A., Morales, M., y Moyano, V. (2000). Dendroecología y dendroclimatología con especies del género *Prosopis* en Argentina. *MULTEQUINA* 9(2): pp 1-18.
- Webster, G. L. (1995). The Panorama of Neotropical Cloud Forest. En Churchill, S.P.; H. Balslev; E. Forero y J.L. Luteyn (Eds.): Biodiversity and conservation of neotropical montane forests, 53-78. Nueva York: NYBG.
- Wilcke, W., Yasin, S., Abramowski, U., Valarezo, C., y Zech, W. (2002). Nutrient storage and turnover in organic layers under tropical montane rain forest in Ecuador. *European Journal of Soil Science*, 53(1), 15-27.
- Worbes, M. (1999). Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela [Anillos de crecimiento anuales, crecimiento dependiente de la lluvia y patrones de crecimiento a largo plazo de árboles tropicales de la Reserva Forestal de Caparo en Venezuela]. *Journal of Ecology* 87:391-403.
- Worbes, M. (1985). Structural and other adaptation to long-term flooding by trees in Central Amazonia. *Amazoniana: Limnologia et Oecologia Regionalis Systematis Fluminis Amazonas*, 9(3), 459-484.
- Worbes, M. (1995). How to measure growth dynamics in tropical trees: a review. *IAWA Journal* 16: 337–351.
- Worbes, M., Staschel, R., Roloff, A., y Junk, W. (2003). Tree ring analysis reveals age structure, dynamics and wood production of a natural forest stand in Cameroon. *For. Ecol. And Manage.* 173: pp 105–123.
- ZEDIFRAMA. (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, Parroquia El Tambo. Loja- Ecuador. 128 p.

Zuñiga, C. (2012). Aplicación de la dendrocronología para evaluar la influencia de la precipitación y la temperatura en el crecimiento de *Tectona grandis* L.f. procedente del Fundo Génova-Junín. (Tesis Ing. Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina – UNALM). Lima, Perú. 97 p.

## 9. ANEXOS

### Anexo 1. Procedimiento para la importación y exportación de datos

#### Exportación de datos desde el programa TsapWin

- Una vez realizadas las mediciones de todos los radios, se guarda los datasets en un solo grupo  en dos formatos: fh y csv .

#### Importación de datos al programa Tsap-Win

- Verificar que todos los datos tengan solo dos decimales.
- La primera columna de la tabla debe tener el nombre: Year
- Guardar el archivo como texto por tabulaciones (\*.txt).
- Abrir el archivo generado anteriormente en un editor de texto (Ej. Bloc de notas) y verificar que no existan comas, en caso de haber eliminarlas. Seguidamente guardar el archivo txt.
- Configurar las opciones de importación en el TsapWin. Para ello ir a *opciones*, dar clic en la pestaña “*file format*” y en la sección “matrix” seleccionar el delimitador por tabulaciones (“Tab”).
- Luego cargar el archivo txt (Ctrl+A) seleccionando en “Files of type” la opción Matrix (ASCII) (\*.txt;\*.\*)).
- Una vez seleccionado el archivo, se da clic en “Open”, se verifica que se hayan cargado correctamente los archivos, y finalmente.
- Guardar este archivo como agrupado en formato \*.fh.

**Anexo 2.** Información de los árboles de *Cedrela odorata* muestreados en la parroquia El Tambo en la finca del Ing. José Castillo

N° árbol	Código de muestra	Coordenadas X (long)	Coordenadas Y (lat)	Altitud (m s. n. m..)	Follaje (%)	CAP cm	DAP cm	HT m	HC m	Luz del dosel (%)	Cobertura dosel (%)	Tipo de copa
1	ETCO01A1**-	687495	9544950	1501	95	177.5	56.5	16.0		13	87	Dominante
1	ETCO01B1**-	687495	9544950	1501	95	177.5	56.5	16.0		13	87	Dominante
2	ECTO02A1	687474	9544920	1494	95	160.2	51.0	14.0	6.0	15	85	Dominante
2	ECTO02B1	687474	9544920	1494	95	160.2	51.0	14.0	6.0	15	85	Dominante
2	ECTO02C1	687474	9544920	1494	95	160.2	51.0	14.0	6.0	15	85	Dominante
2	ECTO02D1	687474	9544920	1494	95	160.2	51.0	14.0	6.0	15	85	Dominante
3	ECTO03A1	687373	9545232	1505	75	101.8	32.4	13.0	7.0	18	82	Dominante
3	ECTO03B1	687373	9545232	1505	75	101.8	32.4	13.0	7.0	18	82	Dominante
3	ECTO03C1	687373	9545232	1505	75	101.8	32.4	13.0	7.0	18	82	intermedia
4	ECTO04A1	687373	9545232	1505	80	125.2	39.9	13.0	7.0	27	78	intermedia
4	ECTO04B1	687373	9545232	1505	80	125.2	39.9	13.0	7.0	27	78	intermedia
5	ECTO05A1	687387	9545177	1500	60	88	28.0	14.0	6.0	41	59	intermedia
5	ECTO05B1	687387	9545177	1500	60	88	28.0	14.0	6.0	41	59	intermedia
6	ECTO06A1	687387	9545156	1487	80	104.2	33.2	17.0	7.0	12	88	dominante
6	ECTO06B1	687387	9545156	1487	80	104.2	33.2	17.0	7.0	12	88	dominante
6	ECTO06C1	687387	9545156	1487	80	104.2	33.2	17.0	7.0	12	88	intermedia
6	ECTO06D1	687387	9545156	1487	80	104.2	33.2	17.0	7.0	12	88	intermedia
7	ECTO07A1-	687405	9545146	1494	85	93.2	29.7	17.0	6.0	14	86	intermedia
7	ECTO07B1	687405	9545146	1494	85	93.2	29.7	17.0	6.0	14	86	intermedia
8	ECTO08A1-	687405	9545146	1495	85	112	35.7	20.0	8.0	13	87	intermedio
8	ECTO08B1-	687405	9545146	1495	85	112	35.7	20.0	8.0	13	87	intermedio
9	ECTO09A1-*	687278	9544920	1467	80		0.0	11.0	6.0			intermedio
9	ECTO09B1-*	687278	9544920	1467	80		0.0	11.0	6.0			intermedio
8	ETCO08A1	687237	9544888	1466	100	105	33.4	12.0	3	75	25	intermedio
8	ETCO08B1	687237	9544888	1466	100	105	33.4	12.0	3	75	25	intermedio
8	ETCO08B2	687237	9544888	1466	100	105	33.4	12.0	3	75	25	intermedio
9	ETCO09A1	687245	9544881	1475	75	92	29.3	15.0	4	27	73	dominante
9	ETCO09B1	687245	9544881	1475	75	92	29.3	15.0	4	27	73	dominante
10	ETCO10A**	687366	9544896	1463	80	146.4	46.6	12.0	3	22	78	dominante
10	ETCO10A1**	687366	9544896	1463	80	146.4	46.6	12.0	3	22	78	dominante
10	ETCO10B**	687366	9544896	1463	80	146.4	46.6	12.0	3	22	78	dominante
10	ETCO10B1**	687366	9544896	1463	80	146.4	46.6	12.0	3	22	78	dominante
10	ETCO10C1**	687366	9544896	1463	80	146.4	46.6	12.0	3	22	78	dominante
11	ETCO11A1	687394	9544995	1492	90	164	52.2	13.0	4	37	63	dominante
11	ETCO11B1	687394	9544995	1492	90	164	52.2	13.0	4	37	63	dominante
11	ETCO11C1	687394	9544995	1492	90	164	52.2	13.0	4	37	63	dominante
11	ETCO11C2	687394	9544995	1492	90	164	52.2	13.0	4	37	63	dominante
12	<b>ETCO12A1</b>	687334	9544906	1475	100	136	43.3	15.0	1.5	56	44	dominante

Continuación												
12	ETCO12A2	687334	9544906	1475	100	136	43.3	15.0	1.5	56	44	dominante
12	ETCO12B1	687334	9544906	1475	100	136	43.3	15.0	1.5	56	44	dominante
12	ETCO12B2	687334	9544906	1475	100	136	43.3	15.0	1.5	56	44	dominante
12	ETCO12C1	687334	9544906	1475	100	136	43.3	15.0	1.5	56	44	dominante
13	ETCO13A1	687353	9544931	1461	80	141.2	44.9		2.5	43	57	dominante
13	ETCO13B1	687353	9544931	1461	80	141.2	44.9		2.5	43	57	dominante
13	ETCO13C1	687353	9544931	1461	80	141.2	44.9		2.5	43	57	dominante
13	ETCO13D1	687353	9544931	1461	80	141.2	44.9		2.5	43	57	dominante
14	ETCO14A1	687361	9544950	1479	70	138.9	44.2	16	9			dominante
14	ETCO14B1	687361	9544950	1479	70	138.9	44.2	16	9			dominante
14	ETCO14C1	687361	9544950	1479	70	138.9	44.2	16	9			dominante
14	ETCO14D1	687361	9544950	1479	70	138.9	44.2	16	9			dominante

\* =Árbol quemado; \*\*= Árbol hueco; **Negrita**=Árbol bifurcado; Muestras no consideradas = -

### Anexo 3. Información de los árboles de *Cedrela montana* muestreados en la RBSF

N° árbol	Código de muestra	Coordenadas X (long)	Coordenadas Y (lat)	Altitud (m s. n. m..)	Follaje (%)	CAP (cm)	DAP (cm)	HT (m)	HC (m)	Luz del dosel (%)	Cobertura dosel (%)	Tipo de copa
5	SFCF05A1	714223	9560451	1946	90		28.8	16	10	22	78	intermedia
5	SFCF05B1	714223	9560451	1946	90		28.8	16	10	22	78	intermedia
6	SFCF06A1*	714221	9560462	1948	5		44.7	18	9	28	72	intermedia
6	SFCF06B1*	714221	9560462	1948	5		44.7	18	9	28	72	intermedia
6	SFCF06C1*	714221	9560462	1948	5		44.7	18	9	28	72	intermedia
7	SFCF07A1	698920	9556015	1857	30	113	36.0	15	9	19	81	intermedia
7	SFCF07B1	698920	9556015	1857	30	113	36.0	15	9	19	81	dominante
8	SFCF08A1	714210	9560522	1888	10	91.7	29.5	18	13	11	89	dominante
8	SFCF08B1	714210	9560522	1888	10	92.7	29.5	18	13	11	90	dominante
9	SFCF09A1	714198	9560491	1913	10	116.2	37.0	17	7	14	86	dominante
9	SFCF09B1	714198	9560491	1913	10	116.2	37.0	17	7	14	86	dominante
10	SFCF10A1	714202	9560502	1912	10	83.5	26.6	8	14	14	86	dominante
10	SFCF10B1	714202	9560502	1912	10	83.5	26.6	8	14	14	86	dominante
11	SFCF11A1	714202	9560483	1945	10	102.6	32.7	15	7	14	86	dominante
11	SFCF11B1	714202	9560483	1945	10	102.6	32.7	15	7	14	86	dominante
12	SFCF12A1	714203	9560481	1931	5	99.1	31.5	15	8	22	78	dominante
12	SFCF12B1	714203	9560481	1931	5	99.1	31.5	15	8	22	81	dominante
13	SFCF13A1	714209	9560470	1940	5	139.7	44.5	18	11	19	81	dominante
13	SFCF13B1	714209	9560470	1940	5	139.7	44.5	18	11	19	81	dominante
13	SFCF13C1	714209	9560470	1940	5	139.7	44.5	18	11	19	81	dominante
13	SFCF13D1	714209	9560470	1940	5	139.7	44.5	18	11	19	81	dominante
14	SFCF14A1	714196	9560445	1960	20	120.8	38.5	24	17	20	80	dominante
14	SFCF14B1	714196	9560445	1960	20	120.8	38.5	24	17	20	80	dominante
14	SFCF14C1	714196	9560445	1960	20	120.8	38.5	24	17	20	80	dominante
16	SFCF16A1	744225	9560457	1959	5		33.2	15	5	13	87	dominante



Continuación												
16	SFCF16B1	744225	9560457	1959	5		33.2	15	5	13	87	dominante
17	SFCF17B2*-	714259	9560448	1969	5		42.2	21	15	15	85	dominante
17	SFCF17C1*-	714259	9560448	1969	5		42.2	21	15	15	85	dominante
17	SFCF17Z1*-	714259	9560448	1969	5		42.2	21	15	15	85	dominante
18	SFCF18A1	714259	9560448	1969	5		29.5	18	11	12	88	dominante
18	SFCF18B1	714259	9560448	1969	5		29.5	18	11	12	88	intermedio
19	SFCF19A1	714234	9560411	1979	10		34.0	17	11	17	83	intermedio
19	SFCF19A2	714234	9560411	1979	10		34.0	17	11	17	83	dominante
19	SFCF19B1	714234	9560411	1979	10		34.0	17	11	17	83	dominante
20	SFCF20A1	714234	9560411	1979	10		30.0	17	11	19	81	dominante
20	SFCF20B1	714234	9560411	1979	10		30.0	17	11	19	81	dominante
21	SFCF21A1	714248	9560476	1953	10		34.1	18	14	14	86	dominante
21	SFCF21B1	714248	9560476	1953	10		34.1	18	14	14	86	intermedio
1	<b>SFCM01A1-</b>	713568	9560372	1955	90	98	31.2	20	5.5	49	51	intermedio
1	<b>SFCM01B1-</b>	713568	9560372	1955	90	99	31.5	20	5.5	49	51	intermedio
2	<b>SFCM02A1</b>	790436.63	35829.74	1957	50	89.7	28.6	23	18	26	74	intermedio
2	<b>SFCM02A2</b>	790436.63	35829.74	1957	50	89.7	28.6	23	18	26	74	intermedio
2	<b>SFCM02B1</b>	790436.63	35829.74	1957	50	89.7	28.6	23	18	26	74	dominante
2	<b>SFCM02B2</b>	790436.63	35829.74	1957	50	89.7	28.6	23	18	26	74	dominante

\*=Árbol plus; **Negrita**= Q2; Muestras no consideradas = -

#### Anexo 4. Código R para el análisis del EPS

# Limpiar espacio de trabajo

```
rm(list = ls())
graphics.off()
```

# Definir directorio de trabajo

```
setwd("C:/ANALISIS R/R_ET/New_analisis_ET/MEAN_ET")
```

# Seleccionar la librería de dendrocronología en R

```
library("dplR")
```

# Importar archivo con datos en formato TSAPWin \*.fh

```
et <- read.fh("GRUPO2_ET.fh")
```

# Ver nombres de columnas

```
View(colnames(et))
```

```
et.ids <- read.ids(et, stc = c(1,3,4) )
```

```
et.strip <- strip.rwl (et,ids = et.ids, verbose = TRUE)
```

```
View(colnames(et.strip))
```

```
read.ids(et.strip, stc = c(1,3,4) )
```

**Anexo 5.** Código R para generar dendrogramas por el método de agrupación Ward.D, de los sitios de muestreo.

```
# Limpiar ambiente de trabajo
```

```
rm(list=ls()) # limpiar ambiente
```

```
# Fijar directorio
```

```
setwd("C:/ANALISIS
```

```
R/Silvana_22may2019/R_RBSF/CORREGIDOS_25Abril2019/SIN_15MAY2019")
```

```
# Seleccionar la librería de dendrocronología en R
```

```
library(dplr)
```

```
# Importar archivo con datos en formato TSAPWin *.fh
```

```
data <- read.fh("RBSF_mean.fh")
```

```
spag.plot(data, sfac = 0.1)
```

```
seg.plot(data)
```

```
# Remover valores en blanco
```

```
data <- data[complete.cases(data), ]
```

```
seg.plot(data)
```

```
# Convertir archivo a matrix
```

```
data <- data.matrix(data)
```

```
matplot(data, type = "l")
```

```
# Transponer datos
```

```
data <- t(data)
```

```
# Paleta de colores y roturas
```

```
my_palette <- colorRampPalette(c("red", "yellow", "forestgreen"))(n = 299)
```

```
col_breaks = c(seq(0, 1,length=100), # rojo
```

```
seq(1.1, 4,length=100), # amarillo
```

```
seq(4.1, 9,length=100)) # verde
```

```
# Distancia y agrupamiento jerárquico
```

```
distance= dist(data, 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")
```

```
# Grupos
```

```
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)
```

```
# Agrupaciones
```

```
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)
```

```

# Exportar dendrogramas en formato pdf

pdf("Dendrogramas_Cedrela_Todos.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 montana.",
    "\nHierarchical Cluster Method: ", HC_method[i] ))

  dev.off()

# Seleccionar librería para activar funciones para extender objetos dendrogramas.
library(dendextend)

# Abrir complementos
source("C:/ANALISIS R/Silvana R/attr_access.R")
source("C:/ANALISIS R/Silvana R/color_branches.R")
# Conseguir algunos colores
cols_branches <- c("black", "cyan", "tan1", "blue")

# Establecer los colores de 4 ramas.
for (i in 1:8) {
  assign(paste("dend1_", HC_methodName[i], sep=""), color_branches(dend1_List[[i]], k = 3, col =
  cols_branches))

# Configuración manual para los objetos que no funcionan con K = 4.
dend1_clusterM <- color_branches(dend1_clusterM, k=2, col = cols_branches) # K=2
dend1_clusterCt <- color_branches(dend1_clusterCt, k=3, col = cols_branches) # K=3
plot(dend1_clusterCm)
plot(dend1_clusterW2, main="Cedrela RBSF" (DW2))

# Obtener los colores de las puntas del dendrograma:
methodName <- c("Cm", "S", "A", "M", "W", "W2", "Ct", "MQ")

col_labels_Cm <- as.character(get_leaves_branches_col(dend1_clusterCm))
col_labels_S <- as.character(get_leaves_branches_col(dend1_clusterS))
col_labels_A <- as.character(get_leaves_branches_col(dend1_clusterA))
col_labels_M <- as.character(get_leaves_branches_col(dend1_clusterM))
col_labels_W <- as.character(get_leaves_branches_col(dend1_clusterW))
col_labels_W2 <- as.character(get_leaves_branches_col(dend1_clusterW2))
col_labels_Ct <- as.character(get_leaves_branches_col(dend1_clusterCt))
col_labels_MQ <- as.character(get_leaves_branches_col(dend1_clusterMQ))

col_labels_List <-list(col_labels_Cm, col_labels_S, col_labels_A, col_labels_M, col_labels_W,
col_labels_W2, col_labels_Ct, col_labels_MQ)

# Orden de los datos
col_labels_Cm <- col_labels_Cm[order(order.dendrogram(dend1_clusterCm))]
col_labels_S <- col_labels_S[order(order.dendrogram(dend1_clusterS))]
col_labels_A <- col_labels_A[order(order.dendrogram(dend1_clusterA))]
col_labels_M <- col_labels_M[order(order.dendrogram(dend1_clusterM))]
col_labels_W <- col_labels_W[order(order.dendrogram(dend1_clusterW))]
col_labels_W2 <- col_labels_W2[order(order.dendrogram(dend1_clusterW2))]
col_labels_Ct <- col_labels_Ct[order(order.dendrogram(dend1_clusterCt))]

```

```

col_labels_MQ <- col_labels_MQ[order(order.dendrogram(dend1_clusterMQ))]

# Creando Mapa de Calor (HeatMap)
#if(!require(gplots)) install.packages("gplots")

# Seleccionar librería para activar herramientas de programación de R para trazar datos
library(gplots)

# Exportar HeatMap en formato pdf
pdf("HeatMaps.pdf", onefile=TRUE, paper="a4r", width=0, height=0)

for (i in 1:8) {

heatmap.2(data,
  main = paste("Set 01", "\nH-Cluster method: ", HC_method[i]),
  sub= "YEAR",
  trace="none",
  margins =c(5,7),
  col=my_palette,
  breaks=col_breaks,
  dendrogram="row",
  Rowv = dend1_List[[i]],
  Colv = "NA",
  key.xlab = "Ring Width (Cedrela San Francisco)",
  cexRow =0.8,
  cexCol = 0.8,
  na.rm = TRUE,
  RowSideColors = col_labels_List[[i]] # to add nice colored strips
  #colRow = col_labels_List[[i]])}

dev.off()

max(data)

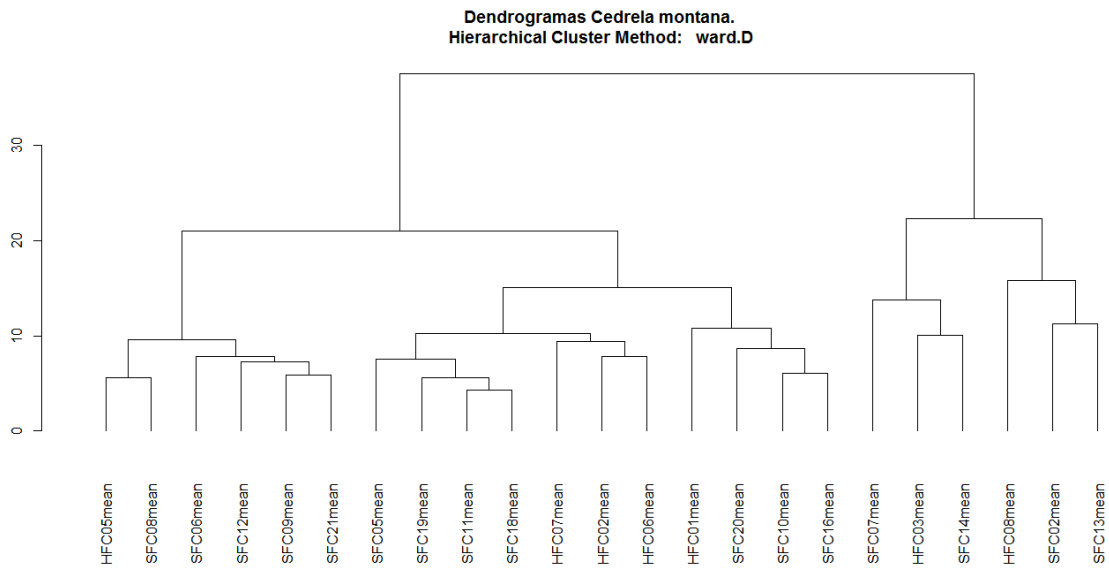
# Solo el plot
heatmap.2(data,
  main = paste(" Set 01", "\nH-Cluster method: McQuitty", sep=""),
  sub= "YEAR",
  trace="none",
  margins =c(5,7),
  col=my_palette,
  breaks=col_breaks,
  dendrogram="row",
  Rowv = dend1_clusterMQ,
  Colv = "NA",
  key.xlab = "Concentration (index)",
  cexRow =0.8,
  cexCol = 0.8,
  na.rm = TRUE,
  RowSideColors = col_labels_MQ # to add nice colored strips
  #colRow = col_labels_MQ)

# The Rowv and RowSideColors doesn't match

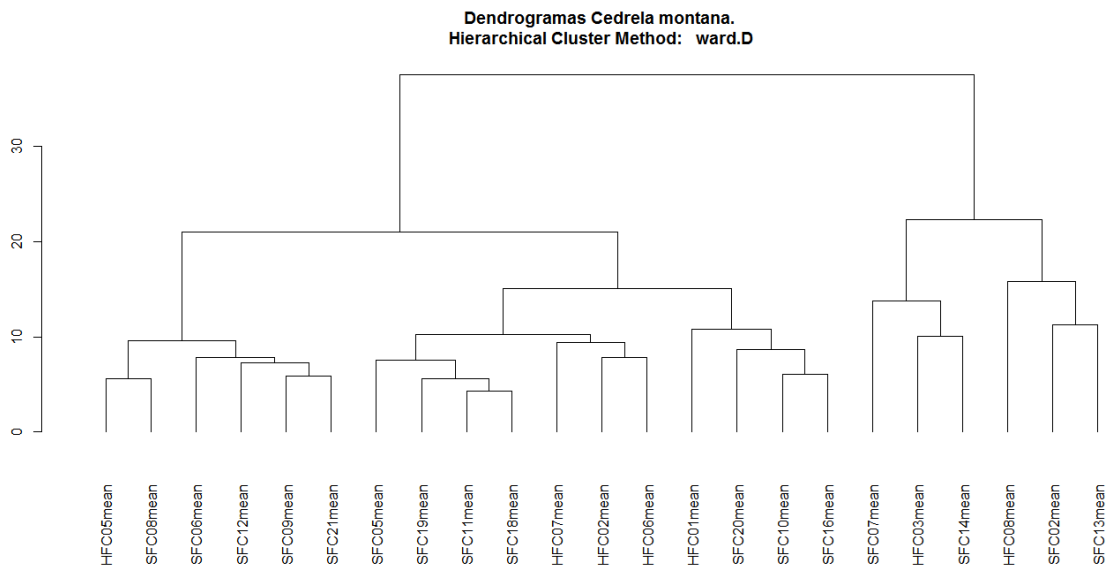
```

## Anexo 6. Dendrogramas por el método de agrupación Ward.D, de los sitios de muestreo.

### Reserva Biológica San Francisco



### El Tambo



## Anexo 7. Código R para generación de grafico de patrón anillos de crecimiento

```
# Limpiar ambiente de trabajo
```

```
rm(list = ls()) # Limpiar objetos
```

```
graphics.off() # Cerrar y limpiar ventana de gráficos
```

```
# Fijar directorio
```

```
setwd("C:/ANALISIS
```

```
R/Silvana_22may2019/R_RBSF/CORREGIDOS_25Abril2019/SIN_15MAY2019/RBSF_ConMedula
```

```
") # Fijar directorio de trabajo
```

```

# Importar archivo con datos en formato csv
data.sf.medula <- read.csv("SF_MEDULA_relleno.csv")
### Promedio árboles con médula
#tabla de promedios
data.sf.prom <- data.frame(row.names = data.sf.medula$AÑ.o,
  N=rowMeans(data.sf.medula[, c("SFC05A1N", "SFC08A1N", "SFC09A1N", "SFC10A1N",
"SFC13C1N")], na.rm = T),
  S=rowMeans(data.sf.medula[, c("SFC05A1S", "SFC08A1S", "SFC09A1S", "SFC10A1S",
"SFC13C1S")], na.rm = T),
  E= rowMeans(data.sf.medula[, c("SFC05B1E", "SFC08B1E", "SFC09B1E", "SFC10B1E",
"SFC13A1E" )], na.rm = T),
  W=rowMeans(data.sf.medula[, c("SFC05B1W", "SFC08B1W", "SFC09B1W", "SFC10B1W",
"SFC13B1W", "SFC13A1W" )], na.rm = T))

# Función Plot Rings
#Scripts
# plotRings v2.2
source("C:/ANALISIS R/R_RBSF/plotRings v2.2.R")
# plotRings v1. junio2018
source("C:/ANALISIS R/R_RBSF/plotRings jun2018.R")
year.sf.prom <- seq(1:nrow(data.sf.prom))
prom.medula <- mean(c(500, 1000, 900, 500, 800))
#Crear data.frame PJN01 a partir de la función plotRings
# plotRings V2
jpeg(filename = "SF_medula_promedio_v2.jpg",
  width = 200, height =100, units = "mm", res=1000)
plotRings2(trwN = data.sf.prom$N,
  trwS = data.sf.prom$S,
  trwE = data.sf.prom$E,
  trwW = data.sf.prom$W,
  title = "RBSF - médula prom (árb.5,8, 9, 10,13)",
  year.labels=F, col.inrings = "black",
  species.name = "Cedrela fissilis",
  year = year.sf.prom,
  ring.ticks = F,
  col.ring.ticks = "black", # "grey40",
  axis.plot = T,
  tick.freq = 10,
  lwd = 1.5,
  length.unit = "1/100 mm",
  animation = FALSE,
  #sys.sleep = 0.2,
  xy.lim = 50,
  d2pith = prom.medula*2) # tamaño de médula
dev.off()

```

## Anexo 8. Código R para relleno de datos.

```
# Limpiar ambiente de trabajo
rm(list = ls()) # clear objects
graphics.off() # close/clean graphics windows

# Seleccionar la librería de dendrocronología en R
library(dplR)

# Fijar directorio e importar datos
data.sf.all <- read.fh("C:/ANALISIS
R/Silvana_22may2019/R_RBSF/CORREGIDOS_25Abril2019/SIN_15MAY2019/ALL_RBSF_24jun
io2019.fh")

# Relleno de datos
# Seleccionar librería para activar herramientas para el relleno de datos con el método eof
library(sinkr)

TRW.NAfill <- eof(data.sf.all, recursive=TRUE) # Convert to RSEOF - "Recursively Subtracted
Empirical Orthogonal Functions"
TRW.NAfill_rcn <- eofRecon(TRW.NAfill) # NA data Reconstruction
TRW.NAfill_rcn <- as.data.frame(TRW.NAfill_rcn) # as.data.frame

data.sf.all.filled <- data.sf.all
data.sf.all.filled[, 1:ncol(data.sf.all)] <- TRW.NAfill_rcn[, 1:ncol(data.sf.all)] # Check columns number
to replace data to the original data.frame

#Plot
matplot(data.sf.all, type = "l", main = "Datos originales")
matplot(data.sf.all.filled, type = "l", main = "Datos rellenados")

# Exportación de datos
setwd("C:/ANALISIS
R/Silvana_22may2019/R_RBSF/CORREGIDOS_25Abril2019/SIN_15MAY2019")
write.csv(data.sf.all, file = "SF_TODOS_in R.csv", na = "NA") # original data
write.csv(data.sf.all.filled, file = "SF_TODOS_relleno in R.csv", na = "NA") # filled data
```

## Anexo 9. Código R para gráficos radiales de muestras tomadas con el barreno de Pressler en

### El Tambo y la RBSF

```
# Limpiar ambiente de trabajo
rm(list = ls()) # clear objects
graphics.off() # close/clean graphics windows

# Definir directorio de trabajo
setwd("C:/ANALISIS R/R_ET/New_analisis_ET/MEAN_ET")

# Instalar paquete
library(devtools)
#install_github("marchtaylor/sinkr") #instalacion nuevo paquete
```

```

# Cedrela odorata - EL TAMBO
# Scripts plot Rings
#plotRings v1 (cálculos estadísticos: IMA, ICA, TBC)
source("C:/ANALISIS R/R_RBSF/New_analisis_SF/SF_08032019/plotRings jun2018.R")
# plotRings v2 (Visualización de anillos)
source("C:/ANALISIS R/R_RBSF/New_analisis_SF/SF_08032019/plotRings v2.2.R")

# Importar datos rellenos
et.all.rellenos <- read.csv("ET_TODOS_rellenos.csv", row.names = 1)
spag.plot(et.all.rellenos)

# Cargar Scripts para usar plotRings 1 y 2
#plotRings v1 junio2018
#source("D:/Users/DARWIN/Google Drive/Dendro.unl/Proyecto Dendro-UNL/DendroLab/TRW
mediciones/Ariana/R Ariana/plotRings jun2018.R")

# Arbol ET.01
##ETC01
# plotRings V1

et.01 <- et.all.rellenos[,1:4]
year.et <- as.numeric(row.names(et.all.rellenos))

et.01 <-
plotRings1(trwN = et.all.rellenos$TC01A1N, trwS = et.all.rellenos$TC01A1S,
  trwE = et.all.rellenos$TC01B1E, trwW = et.all.rellenos$TC01B1W,
  year.labels=F,
  col.inrings = "grey40",
  species.name = "Cedrela odorata ET.01 (ET)" ,
  year = year.et,
  length.unit = "mm",
  animation = FALSE,
  sys.sleep = 0.5,
  # d2pith = 4.75, # tamaño de médula
  xy.lim = 50)

matplot(et.01[,14:16], type = "l") # Ver IMA e ICA
write.csv(et.01, file = "et.01.tbc.csv", na = "") # Guardar datos
# plotRings V2
jpeg(filename = "et.01.jpg",
  width = 120, height =120, units = "mm", res=1000)

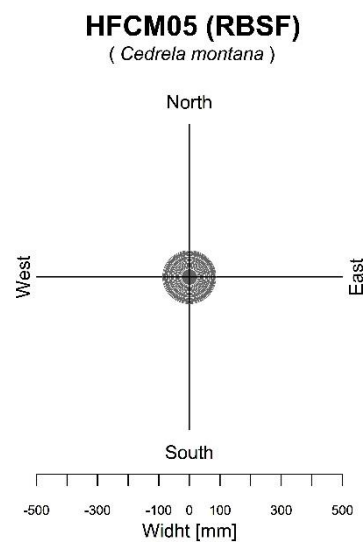
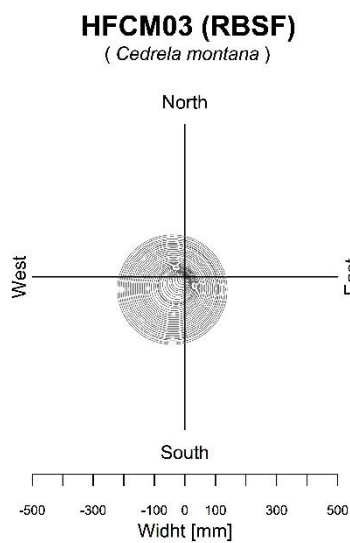
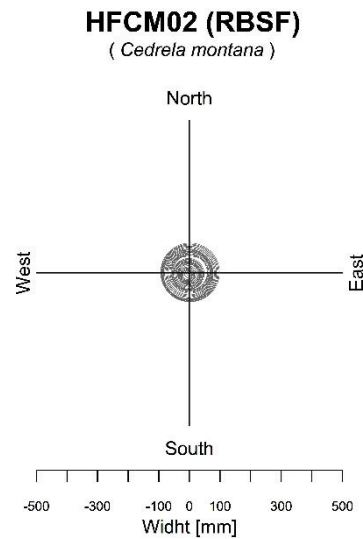
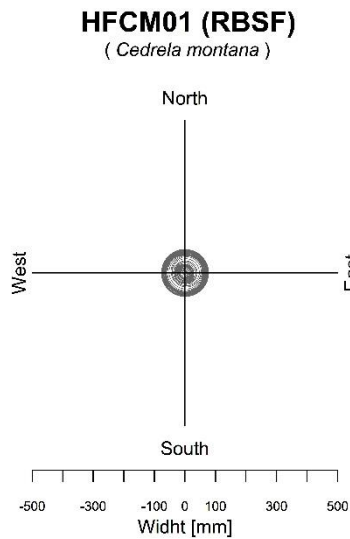
plotRings2(trwN = et.all.rellenos$TC01A1N, trwS = et.all.rellenos$TC01A1S,
  trwE = et.all.rellenos$TC01B1E, trwW = et.all.rellenos$TC01B1W,
  title = "ET.01 (EL TAMBO)",
  year.labels=F,
  col.inrings = "grey40",
  species.name = "Cedrela odorata" ,
  year = year.et,
  ring.ticks = F,
  col.ring.ticks = "black", # "grey40",
  axis.plot = T,
  tick.freq = 5,
  length.unit = "mm",
  lwd= 1.5,

```

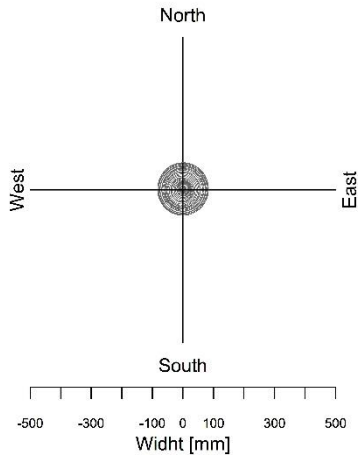


```
animation = FALSE,  
sys.sleep = 0.01,  
d2pith = 4.75, # tamaño de médula  
xy.lim = 200)  
dev.off()
```

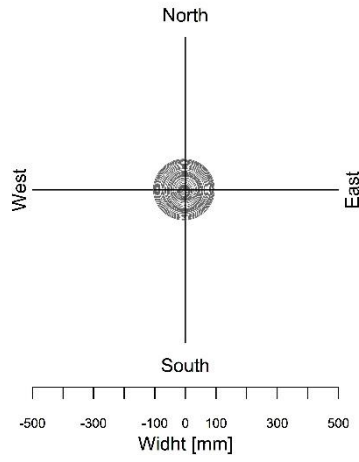
**Anexo 10.** Gráficos generados con la función plotRings de *Cedrela montana* en la RBSF



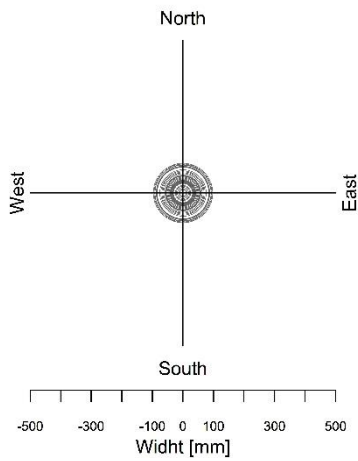
**HFCM06 (RBSF)**  
( *Cedrela montana* )



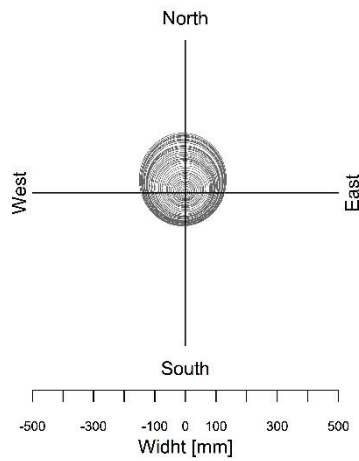
**HFCM07 (RBSF)**  
( *Cedrela montana* )



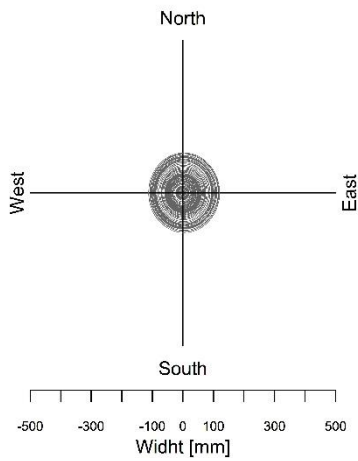
**HFCM08 (RBSF)**  
( *Cedrela montana* )



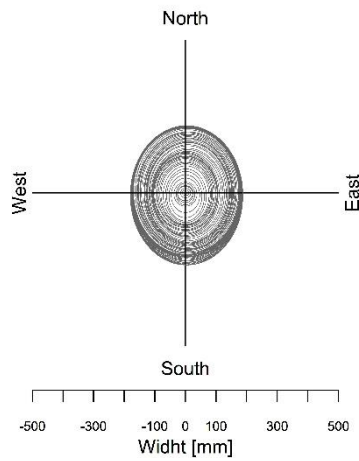
**SFC02 (RBSF)**  
( *Cedrela montana* )



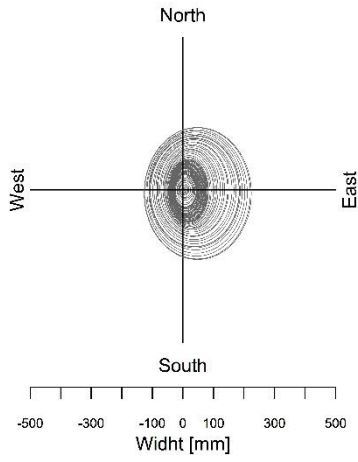
**SFC05 (RBSF)**  
( *Cedrela montana* )



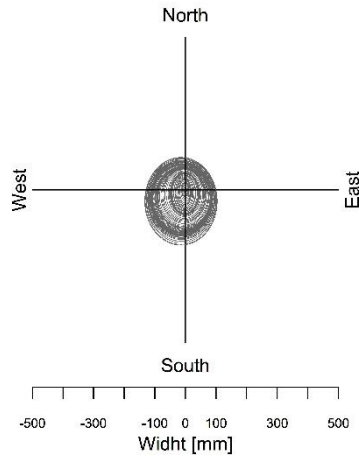
**SFC06 (RBSF)**  
( *Cedrela montana* )



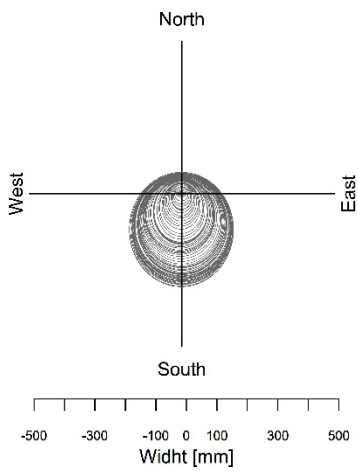
**SFC07 (RBSF)**  
(*Cedrela montana*)



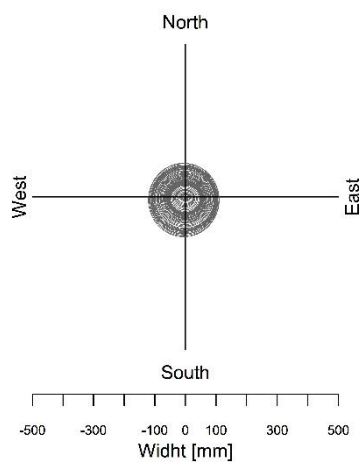
**SFC08 (RBSF)**  
(*Cedrela montana*)



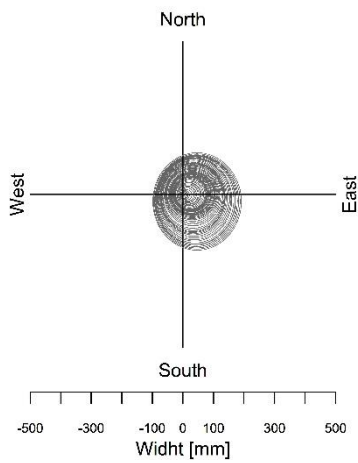
**SFC09 (RBSF)**  
(*Cedrela montana*)



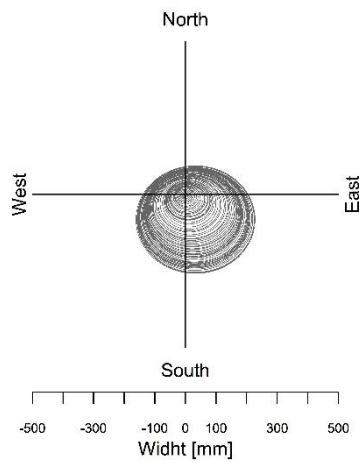
**SFC10 (RBSF)**  
(*Cedrela montana*)



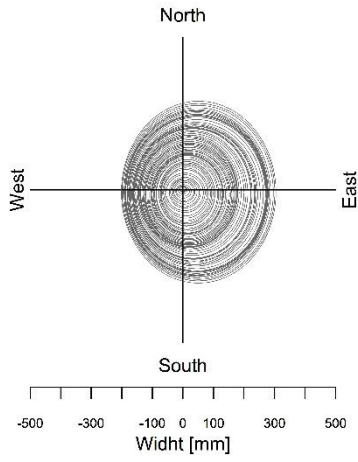
**SFC11 (RBSF)**  
(*Cedrela montana*)



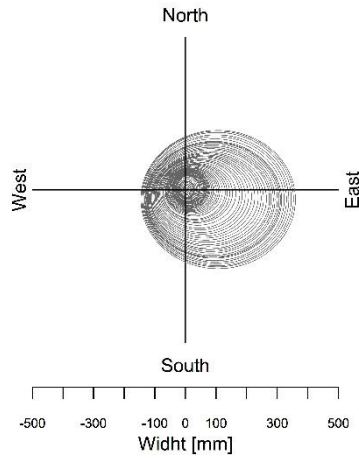
**SFC12 (RBSF)**  
(*Cedrela montana*)



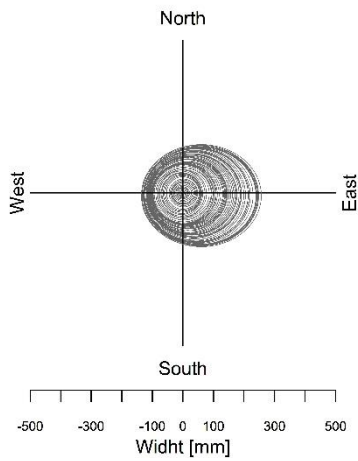
**SFC13 (RBSF)**  
( *Cedrela montana* )



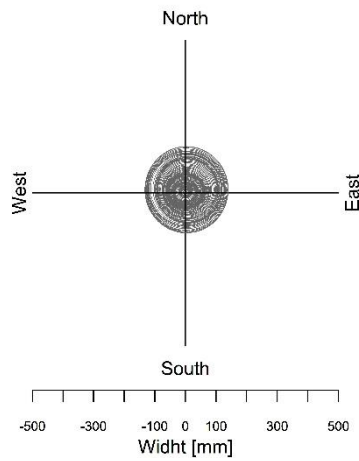
**SFC14 (RBSF)**  
( *Cedrela montana* )



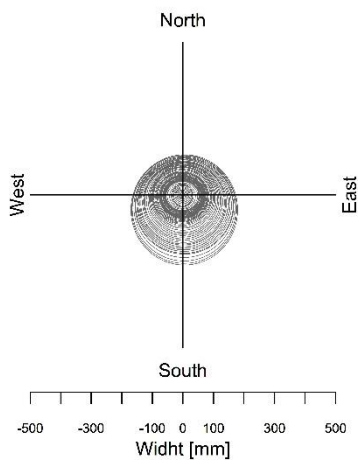
**SFC16 (RBSF)**  
( *Cedrela montana* )



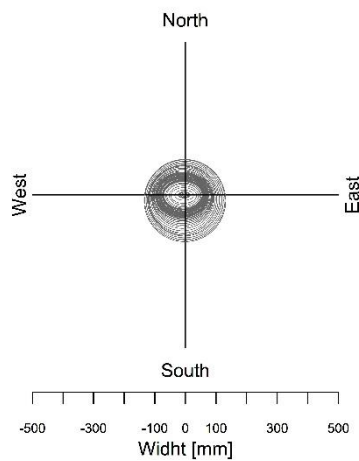
**SFC18 (RBSF)**  
( *Cedrela montana* )



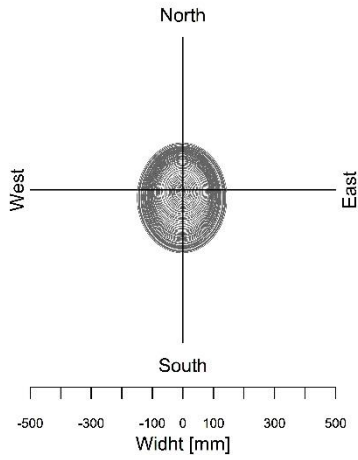
**SFC19 (RBSF)**  
( *Cedrela montana* )



**SFC20 (RBSF)**  
( *Cedrela montana* )

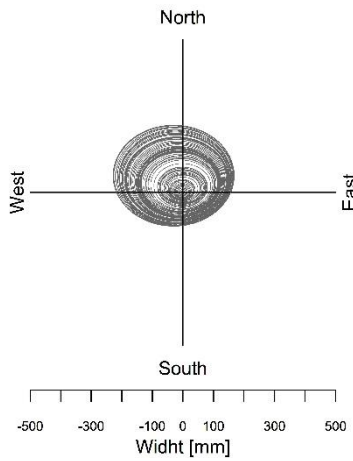


**SFC21 (RBSF)**  
( *Cedrela montana* )

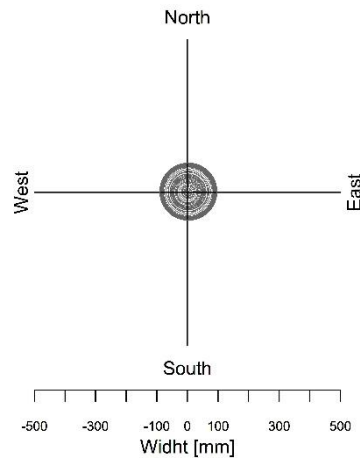


**Anexo 11.** Gráficos generados con función plotRings de *Cedrela odorata* en El Tambo

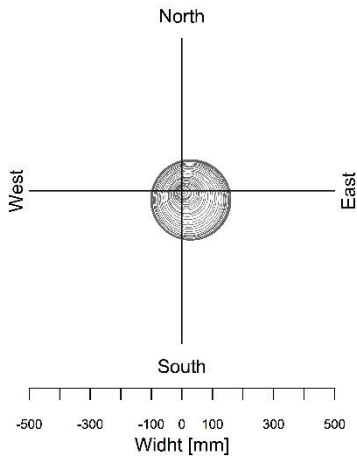
**TC02 (EL TAMBO)**  
( *Cedrela odorata* )



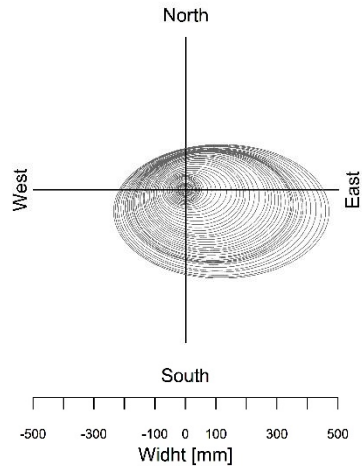
**TC03 (EL TAMBO)**  
( *Cedrela odorata* )



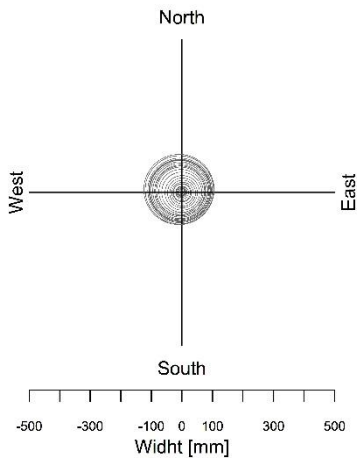
**TC04 (EL TAMBO)**  
( *Cedrela odorata* )



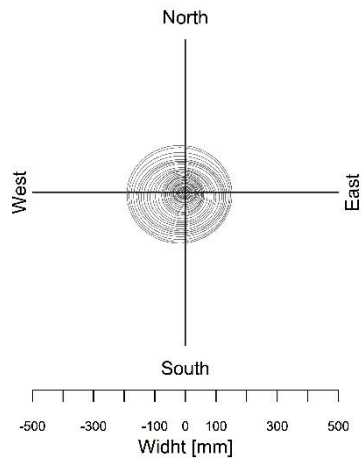
**TC06 (EL TAMBO)**  
( *Cedrela odorata* )



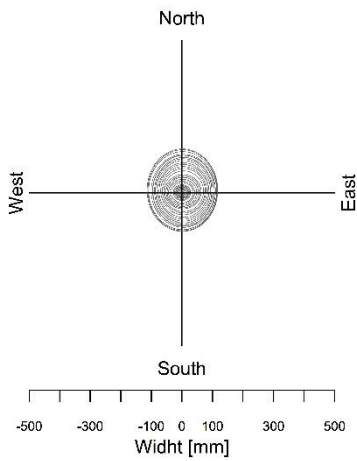
**TC07 (EL TAMBO)**  
( *Cedrela odorata* )



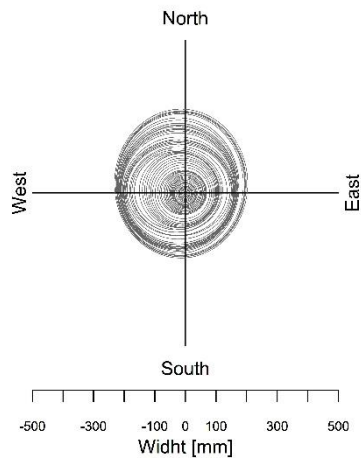
**TC08 (EL TAMBO)**  
( *Cedrela odorata* )



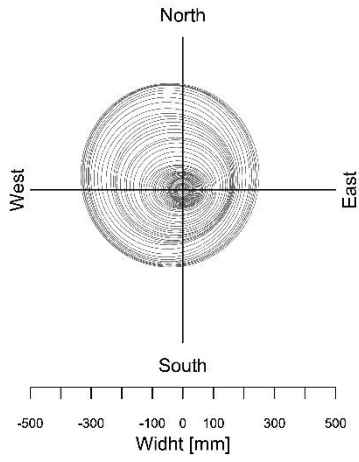
**TC09 (EL TAMBO)**  
( *Cedrela odorata* )



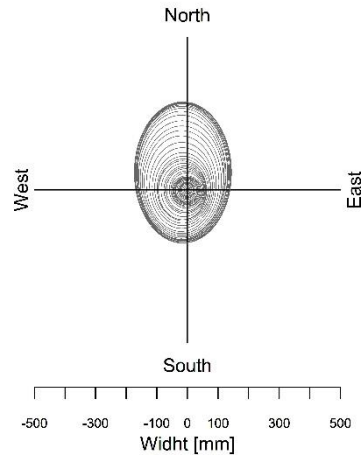
**TC10 (EL TAMBO)**  
( *Cedrela odorata* )



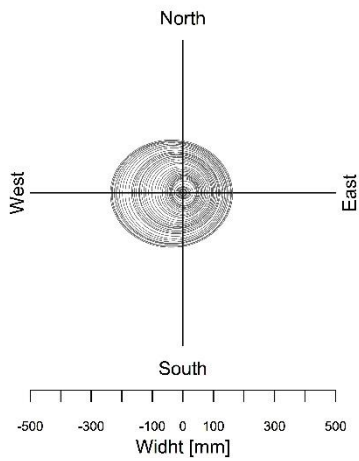
**TC11 (EL TAMBO)**  
(*Cedreia odorata*)



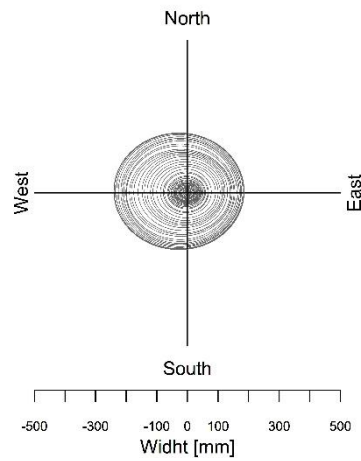
**TC12 (EL TAMBO)**  
(*Cedreia odorata*)



**TC13 (EL TAMBO)**  
(*Cedreia odorata*)



**TC14 (EL TAMBO)**  
(*Cedreia odorata*)



**Anexo 12.** Base de datos del promedio del Incremento radial anual (mm) de muestras de *Cedrela montana* en la RBSF.

YEAR	HFCM01	HFCM02	HFCM03	HFCM05	HFCM06	HFCM07	HFCM08	SFC02	SFC05	SFC06	SFC07	SFC08	SFC09	SFC10	SFC11	SFC12	SFC13	SFC14	SFC16	SFC18	SFC19	SFC20	SFC21
1	5.1	3.7	0.3	2.0	2.5	1.9	2.8	3.6	2.6	4.1	3.9	3.7	2.7	3.7	3.7	3.5	4.3	3.5	3.5	3.5	3.5	2.0	2.3
2	1.3	5.4	1.9	1.7	2.9	0.7	7.6	5.6	1.9	5.8	4.1	1.4	2.0	3.8	4.3	2.9	5.0	2.6	2.9	2.9	2.9	4.9	2.7
3	4.7	5.8	1.5	2.1	2.0	0.5	4.1	5.1	2.4	6.1	4.4	2.3	2.7	2.3	1.7	3.1	4.0	3.1	3.1	3.1	3.1	3.9	3.5
4	3.1	5.5	2.0	1.9	2.7	5.4	4.1	5.7	1.3	8.3	3.1	4.6	2.9	1.9	1.3	3.7	5.8	3.3	3.7	0.5	3.7	1.4	3.1
5	0.5	3.5	1.7	1.3	1.5	4.9	3.9	3.9	3.3	2.6	2.0	3.4	3.7	1.7	2.2	3.4	4.5	3.1	3.4	0.8	3.4	2.6	1.7
6	1.1	2.5	0.9	1.3	0.9	3.4	2.7	3.7	2.8	6.0	4.5	1.0	6.7	3.1	2.6	4.0	7.7	3.7	2.3	0.7	4.0	8.8	3.8
7	1.7	1.8	1.2	1.6	4.8	3.5	7.5	3.7	0.9	5.6	4.2	2.6	5.3	5.4	3.9	3.5	4.1	3.7	3.2	0.9	3.5	10.0	3.4
8	1.2	2.1	1.6	1.2	2.5	1.3	0.5	3.2	0.9	12.9	3.4	3.6	4.1	3.2	3.4	2.5	5.5	2.0	4.6	1.7	3.7	5.7	5.3
9	2.3	3.1	1.1	1.3	1.8	1.3	0.5	5.4	1.8	10.4	5.8	4.6	5.3	2.3	2.3	3.2	5.0	1.7	3.5	2.0	3.9	6.4	2.5
10	2.2	1.8	1.1	1.0	1.0	2.6	0.8	4.5	0.8	9.4	3.4	2.4	2.5	1.8	4.1	3.7	4.5	2.1	4.3	1.6	2.5	3.8	3.0
11	2.2	1.2	1.1	1.4	1.8	2.2	2.0	5.6	1.6	6.0	3.5	2.5	4.7	2.0	2.5	2.5	8.9	2.7	2.5	0.9	2.4	3.8	3.7
12	2.5	2.9	1.1	1.1	1.8	2.0	1.4	4.7	0.9	7.9	1.1	1.7	4.2	4.2	3.4	3.6	5.5	3.1	1.7	0.8	4.5	0.6	3.9
13	1.9	3.6	2.8	1.4	1.4	0.4	2.4	2.9	1.2	5.1	1.0	3.4	3.2	3.5	1.3	3.4	8.5	3.3	3.8	0.9	5.2	0.4	3.6
14	2.1	0.9	3.4	0.3	1.8	1.7	2.4	5.0	4.4	3.3	1.2	2.7	4.0	4.3	3.9	4.8	4.8	1.8	3.6	1.5	3.9	0.4	3.6
15	1.5	2.7	3.3	0.7	2.4	1.6	0.7	6.5	2.7	3.2	1.3	3.3	3.9	2.9	2.8	2.4	6.5	1.2	6.9	3.0	0.7	0.4	3.7
16	0.7	3.7	2.0	1.1	2.4	1.8	2.4	6.0	2.1	4.6	1.6	3.0	3.1	0.8	3.0	0.5	4.4	1.1	3.6	3.1	1.1	0.5	3.4
17	1.0	3.9	3.0	1.2	2.8	4.6	3.4	5.3	2.8	2.7	1.7	1.3	3.9	1.0	1.8	2.3	3.5	1.9	2.7	2.5	0.6	0.9	5.1
18	0.4	1.1	2.4	1.6	0.9	3.3	3.1	5.0	0.3	4.8	1.9	3.5	7.5	0.3	0.3	4.1	4.5	2.2	3.0	1.0	0.6	1.5	5.0
19	0.5	1.6	3.2	4.7	4.2	5.3	3.3	3.3	2.8	2.9	1.6	2.4	3.2	0.9	0.3	2.1	0.7	2.0	2.8	0.8	0.7	0.7	1.0
20	1.5	1.1	4.1	3.0	3.7	4.4	3.2	4.3	0.7	0.9	1.8	1.6	4.1	0.5	2.1	4.0	7.7	1.7	2.2	1.3	2.1	0.9	5.8
21	2.9	1.5	6.2	2.7	3.6	3.4	1.6	2.2	1.6	1.6	1.7	0.8	5.6	0.6	1.2	1.1	3.2	1.9	4.5	0.7	0.6	2.3	3.3
22	4.1	0.6	5.8	1.6	4.2	4.4	2.8	3.4	1.7	3.8	1.5	1.4	0.3	0.6	0.7	1.2	5.0	2.2	4.5	1.1	0.6	1.1	4.7
23	0.6	2.5	7.0	2.7	2.9	0.5	0.5	2.1	0.8	1.7	1.0	1.2	1.0	1.0	1.1	0.4	4.5	1.9	1.8	0.7	2.1	0.5	3.5



<b>Continuación</b>																							
24	3.0	2.7	7.5	3.0	1.4	1.5	0.4	2.0	1.9	2.9	1.6	2.7	0.5	1.5	1.4	4.1	1.9	1.4	2.5	1.4	1.5	0.9	3.6
25	6.4	2.4	4.7	2.3	4.6	0.8	0.9	3.8	1.9	3.2	0.4	2.9	0.3	1.1	1.8	3.4	2.5	2.5	5.1	1.0	1.1	0.3	2.6
26	5.6	3.2	5.0	2.0	3.6	2.6	0.7	3.7	0.7	3.5	1.6	5.0	0.2	1.0	2.8	5.8	3.6	2.2	3.2	2.0	2.4	0.4	3.7
27	3.4	6.1	5.6	2.6	2.6	2.2	5.4	4.6	2.3	4.2	1.8	3.4	0.4	1.1	1.5	6.1	3.1	2.0	5.0	0.8	1.3	0.3	2.3
28	1.6	3.5	5.6	3.1	2.1	2.9	4.3	1.7	1.1	6.5	1.9	2.3	0.7	0.8	2.0	4.7	5.6	3.5	2.9	1.5	0.6	0.4	3.5
29	1.3	2.4	5.6	1.0	3.4	1.1	4.9	2.0	2.0	3.5	1.5	2.5	0.5	1.0	1.5	2.4	2.9	2.5	1.6	0.8	0.9	0.3	2.6
30	1.4	2.9	7.9	2.6	2.0	1.9	4.1	1.5	1.1	4.4	1.3	1.7	3.9	2.0	1.9	5.5	3.6	2.8	1.5	2.4	0.8	0.5	2.1
31	0.8	3.6	5.0	3.0	1.4	3.3	4.4	1.1	0.6	0.9	0.5	2.4	2.2	2.4	1.5	3.5	4.1	3.4	1.5	1.9	1.0	1.1	2.9
32	0.7	1.2	2.8	0.9	2.7	4.8	9.1	4.9	0.9	1.7	0.8	3.3	3.4	2.2	1.4	4.9	3.8	3.1	1.5	1.9	0.9	0.5	2.4
33	0.6	2.2	5.4	1.1	2.3	3.2	1.7	2.4	1.1	2.5	2.1	2.2	3.3	1.8	2.4	1.1	2.9	3.1	1.8	1.8	1.0	0.3	2.5
34	0.5	1.1	6.0	2.6	2.7	2.7	1.7	0.5	1.4	3.5	1.7	1.8	1.9	1.5	2.8	2.6	3.0	4.4	2.3	1.6	1.2	1.5	2.2
35	1.7	1.2	7.0	1.9	1.4	3.0	4.7	2.3	1.4	2.7	1.9	1.9	1.8	2.6	3.4	2.2	2.3	6.1	2.1	1.4	1.9	0.4	1.8
36	0.8	2.3	5.9	1.3		3.2	0.6	1.3	1.8	2.0	1.2	1.5	1.6	2.3	2.7	3.5	2.4	2.7	1.8	0.9	2.9	1.2	2.5
37	0.6	1.7	5.8	3.6		3.3	2.4	3.7	1.2	3.5	1.3	0.7	1.9	2.3	2.9	4.3	4.0	4.8	3.0	1.4	2.5	0.5	2.5
38	0.3			2.6		3.1	2.7	1.3	2.3	3.4	1.0	1.5	2.9	2.7	3.2	2.3	3.0	4.2	2.3	1.6	1.9	0.5	2.0
39	0.7			0.5				1.7	3.3	3.1	1.2	1.2	3.6	1.6	3.2	0.6	2.1	6.1	1.8	1.5	2.1	1.2	1.8
40	1.6			1.8				1.9	2.6	2.0	2.7	1.2	3.5	2.8	3.3	2.9	3.2	6.7	1.2	1.5	2.5	0.6	2.3
41	1.6			2.2				2.6	3.1	3.3	3.3	2.1	3.0	2.0	4.4	1.3	4.1	4.4	2.6	2.1	3.8	1.0	1.5
42	0.9			1.0					2.3	2.8	3.4	1.4	2.4	2.8	2.6	3.1	5.1	5.8	1.6	2.2	2.6	1.3	1.5
43	0.5			1.7					2.1	2.2	5.2	0.9	2.8	2.9	2.9	1.6	5.1	5.8	2.8	2.1	2.6	0.9	1.8
44	1.0			1.5					3.4	2.8	3.8	1.1	1.1	2.0	1.8	3.0	4.9	5.1	3.0	3.1	3.6	1.7	2.1
45	0.6			0.3					3.2	2.4	4.8	0.6	0.8	3.7	2.1	1.4	7.0	5.0	2.1	2.1	3.1	1.8	1.6
46				2.6					4.7	0.3	1.8	1.3	2.8	1.3	2.7	0.5	2.1	5.5	2.9	1.9	3.2	2.5	2.3
47				2.8					3.9	2.8	5.1	0.7	1.1	1.6	2.6	1.7	2.4	5.3	2.1	2.8	4.1	1.0	1.5
48									3.9	1.2	6.7	1.7	2.1	1.7	3.7	1.4	4.7	4.9	1.5	2.4	3.6	1.5	1.0
49									1.0	0.4	4.8	0.5	1.6	2.1	3.3	1.2	1.7	4.6	0.9	2.6	4.1	2.1	2.3
50									1.1	1.2	7.6	0.8	1.4	1.3	3.2	2.4	3.2	6.1	3.8	3.2	3.8	2.9	1.8
51									1.1	1.0	2.9	1.2	0.8	0.9	2.5	3.0	3.5	4.0	2.1	3.2	2.7	2.3	1.7

Continuación																							
52									2.2	1.0	7.3	1.1	0.7	1.9	3.8	3.0	5.3	4.7	1.1	2.9	3.7	3.3	2.1
53									2.1	0.9	5.6	2.2	2.7	2.0	2.9	1.3	7.3	3.9	0.4	2.6	4.2	3.8	2.8
54									3.4	0.7	5.2	1.1	1.2	1.7	0.7	1.7	5.6	5.2	2.1	2.2	3.7	5.0	1.1
55									1.5	0.9	8.4	2.3	1.4	2.3	2.0	0.9	2.7	4.0	3.6	1.4	2.6	3.7	1.0
56									0.8	1.0	1.1	1.9	0.9	3.2	2.4	2.0	1.4	2.6	3.4	2.6	3.8	2.6	0.8
57									0.4	0.9	3.2	3.3	0.8	1.7	2.6	1.8	1.0	2.7	2.8	1.4	3.9	2.7	3.3
58									0.9	0.8	5.1	2.4	0.8		3.6	0.8	2.2	5.8	1.6	2.5	2.8	3.1	1.3
59									0.4	1.1	7.3	3.1	1.5		3.5	1.2	3.3	5.4	0.7	1.6	3.4	4.5	1.9
60									2.5	0.5	5.7	2.0	0.8			0.9	2.6	5.0	1.6	2.6	4.0	4.5	1.4
61									3.9	1.0	7.4		0.5			1.2	2.1	6.0	2.8	2.7	2.2	4.5	3.3
62									2.2	0.9	1.8		0.6			1.8	2.6	4.2	3.0	3.3	5.0	2.4	
63									3.2	1.4			0.4			2.1	4.3	4.1	0.8	2.8	5.7		
64										0.9			1.0			3.6	6.1		0.7	2.1	3.1		
65													1.1			1.8	4.8		1.2	2.6	3.2		
66													1.4			1.9	4.7		2.3	2.0			
67													1.4						2.1	1.7			
68													3.0						2.7	3.0			
69													0.9							2.4			
70																				2.7			
71																				2.5			
72																				1.5			

**Anexo 13.** Base de datos del promedio del incremento promedio anual de *Cedrela odorata* de

El Tambo

YEAR	TC02	TC03	TC04	TC06	TC07	TC08	TC09	TC10	TC11	TC12	TC13	TC14
1	1.8	1.8	1.3	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	2.0	1.4
2	3.8	3.3	1.7	3.8	3.4	3.7	3.6	3.8	4.2	3.9	2.8	4.1
3	4.1	4.0	2.2	4.1	4.2	4.1	4.2	4.1	4.2	4.2	4.6	3.1
4	3.4	2.5	4.2	3.3	2.8	3.2	2.6	3.4	4.1	4.2	2.3	2.9
5	2.8	2.0	5.2	2.6	2.1	2.5	3.1	2.7	3.4	3.5	2.0	2.1
6	3.4	3.8	5.4	3.3	3.3	3.5	0.8	3.6	3.2	3.3	4.0	3.2
7	2.5	2.1	2.1	2.5	3.5	2.3	3.1	2.6	2.9	2.6	2.3	2.4
8	2.1	1.8	1.4	1.9	7.0	1.9	1.5	2.2	2.1	2.3	2.2	1.7
9	2.4	3.7	4.5	3.3	1.8	3.7	3.2	3.4	2.9	3.1	6.7	1.6
10	3.6	4.7	3.9	4.5	5.8	4.8	3.2	4.6	3.7	4.2	8.1	3.2
11	3.2	3.9	3.0	3.0	6.6	2.2	7.7	3.0	2.9	3.3	4.8	3.2
12	1.8	1.4	4.0	3.3	6.6	1.5	4.5	2.3	2.1	1.8	1.3	1.4
13	2.0	2.3	4.8	3.7	7.8	3.3	5.2	3.2	1.7	2.5	1.8	2.3
14	4.6	2.8	4.7	3.0	8.9	4.6	4.7	3.7	2.3	2.3	3.5	2.2
15	4.4	3.2	7.2	4.1	6.8	4.7	4.4	2.9	1.9	2.5	2.4	2.2
16	2.0	1.6	3.5	4.4	6.1	5.1	4.2	3.0	3.0	3.6	3.7	1.5
17	3.7	2.3	5.2	6.5	3.0	4.8	8.1	3.2	3.2	4.3	4.3	2.9
18	3.2	2.2	7.7	7.2	3.6	2.5	5.7	4.0	3.6	5.0	4.3	2.5
19	3.2	1.9	6.6	7.0	5.3	4.7	4.9	2.3	3.4	6.6	5.5	2.4
20	3.5	1.3	6.4	8.5	4.0	4.4	6.4	4.0	2.9	4.0	4.5	4.0
21	1.7	2.4	4.7	10.2	3.7	7.4	4.7	3.6	3.3	3.9	5.7	4.6
22	1.3	2.3	5.4	8.7	2.2	8.0	6.0	1.8	3.0	6.8	5.6	2.8
23	3.3	1.7	6.2	9.6	1.6	5.2	4.9	2.6	4.8	6.4	8.2	9.3
24	2.7	4.5	4.9	7.5	3.6	6.6	3.8	2.8	4.9	3.3	6.1	3.1
25	1.2	1.9	4.4	7.6	6.0	6.7	5.5	10.0	5.5	5.4	6.6	8.8
26	8.5	3.0	3.1	6.1	3.1	10.6	0.7	7.7	8.0	7.6	4.8	11.3
27	7.7	4.8	2.8	7.4		7.5	3.9	7.0	5.6	9.2	4.7	9.1
28	4.0	4.6	3.9	7.6		5.3	7.2	5.9	8.7	9.9	4.4	7.0
29	2.0	2.5	2.4	7.2		0.4	3.3	4.6	9.5	11.8	2.0	7.9
30	3.8	1.2	1.6	8.3		5.7	2.3	4.8	8.6	10.0	5.6	6.8
31	1.0	1.2	1.3	6.5		8.5		4.8	13.1	8.5	4.4	6.1
32	2.7	1.0	1.3	5.9		9.3		2.4	10.8	8.9	4.2	8.6
33	3.5	1.4	0.9	6.0		8.7		5.0	9.3	6.8	3.0	8.9
34	2.6	1.3	0.4	5.8		5.9		4.7	6.2	5.8	7.5	5.1
35	1.3	1.4	0.3	5.0				0.5	10.9	4.0	7.5	4.6
36	1.3	0.8	0.3	5.8				6.5	7.2	3.4	5.9	9.4
37	1.0	0.3		5.3				4.0	6.0	1.7	5.3	4.2
38	1.6	0.5		4.7				9.0	6.8	2.5	4.9	7.3

Continuación												
39	0.9	0.6		2.1				7.2	5.9	2.2	2.7	4.7
40	1.2	0.7		3.9				5.7	7.7	1.1	3.5	4.0
41	1.8	0.3		4.6				5.3	8.0	1.1	5.5	5.0
42	1.0	0.5		3.8				4.2	11.8	2.8	1.9	4.4
43	1.4	0.4		4.1				1.6	13.6	1.6	3.4	4.3
44	0.7	0.9		4.1				4.0	11.1			2.1
45	0.4	0.8		6.6				5.4	10.3			0.5
46	0.3			7.9				2.5	8.1			0.9
47	1.0			7.5				2.2	6.1			
48	1.5			7.3				2.7	6.7			
49	1.5			6.2				1.9	3.9			
50	3.3			5.1				0.8	2.7			
51	3.0							2.6	4.7			
52	2.2							2.2				
53	2.4							4.3				
54	2.7							5.1				
55	3.1							9.0				
56	2.0							2.7				
57	1.9							2.2				
58	0.9							2.0				
59	0.5							4.6				
60	0.9											
61	1.4											
62	1.3											
63	3.1											
64	1.9											
65	0.8											
66	1.7											
67	2.6											
68	1.0											
69	1.4											
70	2.1											
71	3.0											
72	2.2											
73	1.6											
74	2.1											
75	0.6											
76	0.9											

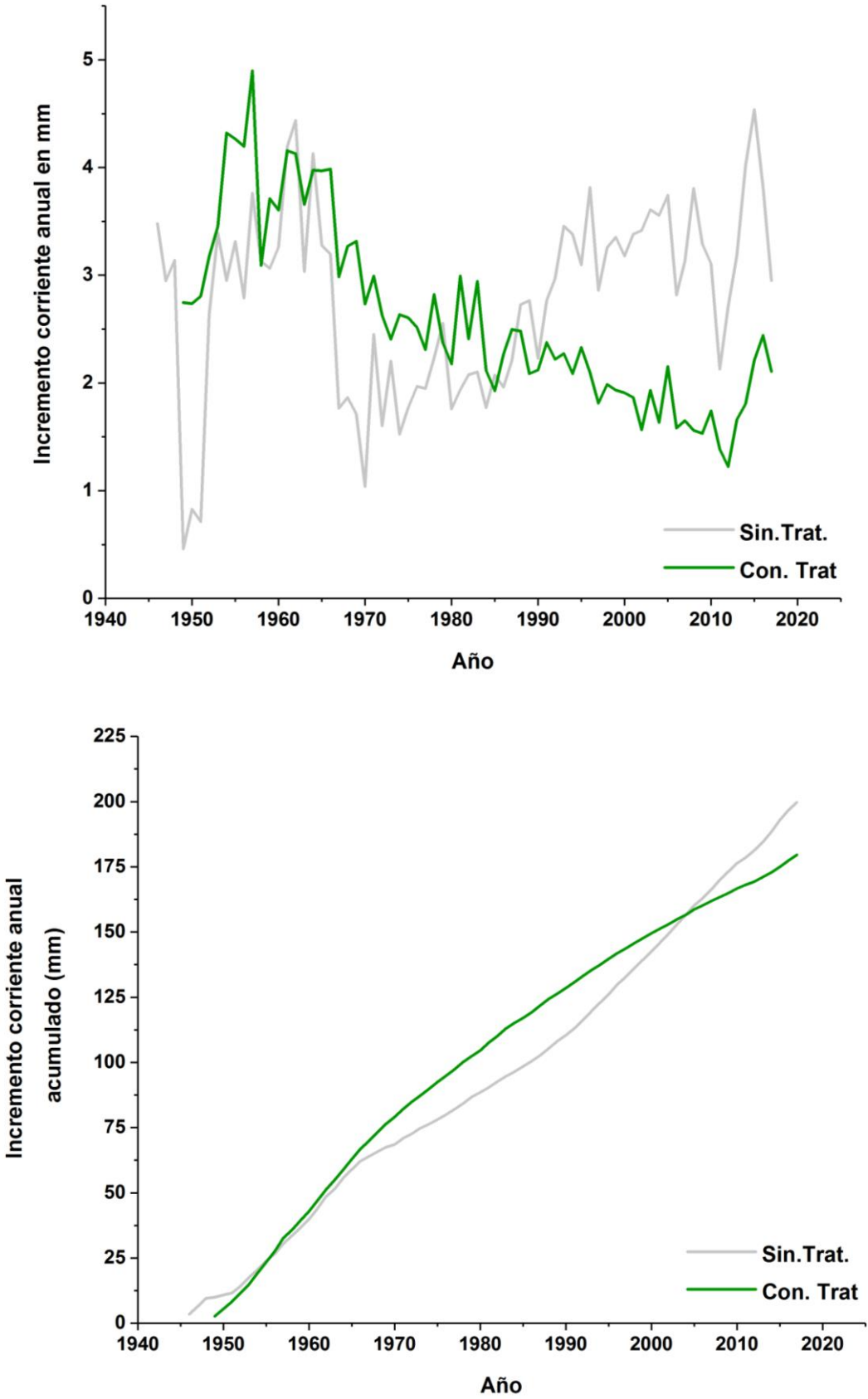
**Anexo 14.** Datos de las curvas de G, IMA e ICA de *Cedrela montana* con la función PlotRinhgs

<b>YEAR</b>	<b>IMA</b>	<b>Área basal</b>	<b>ICA</b>	<b>YEAR</b>	<b>IMA</b>	<b>Área basal</b>	<b>ICA</b>
1	0.32	0.32	0.23	42	9.46	18.28	18.21
2	0.68	1.04	0.94	43	9.69	19.38	18.85
3	0.98	1.58	1.66	44	9.93	20.26	19.33
4	1.31	2.31	2.40	45	10.16	20.04	19.68
5	1.55	2.49	3.17	46	10.33	18.22	19.98
6	1.97	4.06	3.96	47	10.54	20.20	20.33
7	2.40	4.98	4.74	48	10.79	22.32	20.74
8	2.81	5.69	5.47	49	10.93	17.91	21.19
9	3.23	6.60	6.11	50	11.20	24.14	21.73
10	3.53	6.24	6.68	51	11.34	18.52	22.27
11	3.86	7.19	7.18	52	11.61	25.29	22.78
12	4.16	7.41	7.61	53	11.88	26.19	23.06
13	4.45	7.93	7.99	54	12.11	24.29	23.08
14	4.76	8.79	8.28	55	12.32	23.67	22.98
15	5.03	8.86	8.47	56	12.44	18.87	23.00
16	5.24	8.33	8.59	57	12.58	20.54	23.42
17	5.43	8.39	8.66	58	12.76	22.95	24.25
18	5.65	9.47	8.72	59	13.00	27.10	25.29
19	5.74	7.44	8.78	60	13.22	25.94	26.27
20	5.96	10.10	8.89	61	13.52	31.50	27.00
21	6.09	8.75	9.03	62	13.72	25.94	27.33
22	6.26	9.75	9.25	63	13.96	28.79	27.32
23	6.32	7.61	9.57	64	14.16	26.68	27.06
24	6.44	9.31	10.05	65	14.34	26.25	26.66
25	6.61	10.52	10.61	66	14.53	26.85	26.23
26	6.84	12.71	11.14	67	14.60	19.09	25.88
27	7.07	13.07	11.51	68	14.86	32.32	25.64
28	7.26	12.32	11.70	69	14.91	18.28	25.31
29	7.34	9.65	11.79	70	15.14	30.90	24.83
30	7.52	12.61	11.88	71	15.33	28.70	23.96
31	7.63	11.16	12.00	72	15.36	17.32	22.75
32	7.82	13.56	12.15				
33	7.93	11.58	12.34				
34	8.06	12.25	12.62				
35	8.21	13.46	13.02				
36	8.32	12.11	13.53				
37	8.53	15.92	14.15				
38	8.68	14.20	14.86				
39	8.82	14.10	15.66				
40	9.01	16.59	16.55				
41	9.25	18.61	17.43				

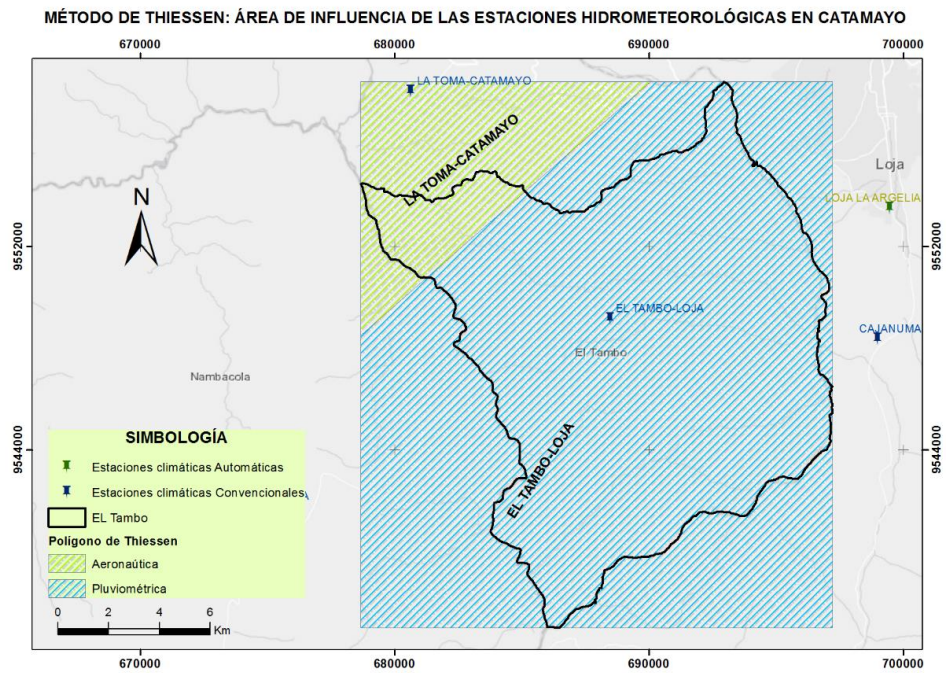
**Anexo 15.** Datos de las curvas de G, IMA e ICA de *Cedrela odorata* con la función PlotRinhgs

YEAR	IMA	G	ICA	YEAR	IMA	G	ICA
1	0.10	0.10	0.25	42	24.84	47.52	47.24
2	0.45	0.80	0.86	43	25.38	48.31	48.70
3	0.91	1.83	1.46	44	25.93	49.29	49.98
4	1.24	2.25	2.04	45	26.53	53.22	50.89
5	1.50	2.52	2.60	46	27.10	52.62	51.19
6	1.85	3.63	3.18	47	27.66	53.46	50.79
7	2.06	3.27	3.80	48	28.30	58.10	49.72
8	2.18	3.05	4.50	49	28.59	42.92	48.28
9	2.54	5.43	5.28	50	28.84	40.68	47.15
10	3.11	8.20	6.08	51	29.20	47.27	46.75
11	3.54	7.91	6.84	52	29.21	29.68	47.14
12	3.74	5.89	7.61	53	29.52	46.00	48.09
13	4.06	7.89	8.53	54	29.99	54.88	48.49
14	4.49	10.08	9.63	55	31.03	86.86	46.98
15	4.92	10.95	10.90	56	31.08	34.12	42.98
16	5.30	10.97	12.36	57	31.07	30.23	37.89
17	5.89	15.37	13.99	58	30.90	21.64	33.07
18	6.46	16.16	15.75	59	31.03	38.61	29.25
19	7.06	17.80	17.64	60	30.74	13.41	26.59
20	7.70	19.84	19.70	61	30.58	21.18	25.42
21	8.38	22.02	21.98	62	30.41	19.73	25.48
22	9.00	22.03	24.57	63	30.68	47.36	26.05
23	9.85	28.63	27.50	64	30.66	29.76	26.33
24	10.51	25.62	30.69	65	30.39	12.66	26.58
25	11.49	35.05	34.04	66	30.33	26.87	27.31
26	12.61	40.68	37.21	67	30.49	41.09	28.37
27	13.72	42.59	39.88	68	30.27	15.33	29.58
28	14.84	45.04	41.97	69	30.17	23.35	31.21
29	15.61	37.22	43.61	70	30.23	33.94	32.87
30	16.53	43.24	45.03	71	30.50	49.61	33.61
31	17.54	47.65	46.17	72	30.57	35.94	32.66
32	18.54	49.58	46.81	73	30.52	26.48	30.08
33	19.53	51.38	46.82	74	30.59	35.74	26.26
34	20.28	44.80	46.27	75	30.32	10.34	21.56
35	20.89	41.79	45.50	76	30.13	15.66	16.65
36	21.65	48.26	44.78				
37	22.12	38.80	44.19				
38	22.89	51.44	43.91				
39	23.25	36.89	43.97				
40	23.69	41.06	44.62				
41	24.28	47.98	45.81				

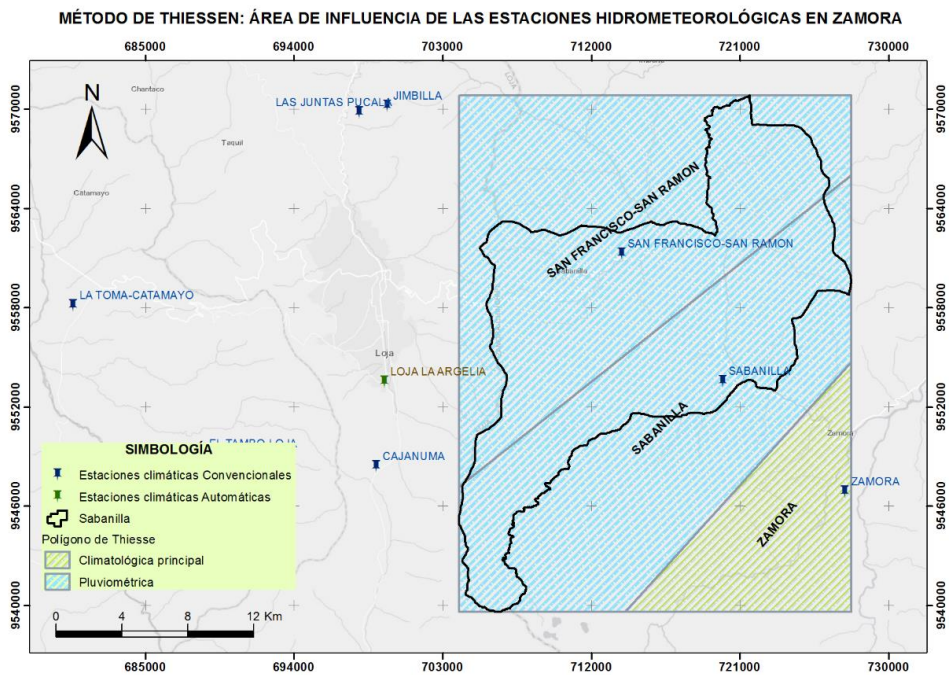
**Anexo 16.** Incremento Corriente Anual y acumulativo entre árboles con y sin tratamiento silvicultural de la RBSF.



## Anexo 17. Mapa de polígono de Thiessen de El Tambo



## Anexo 18. Mapa de Polígono de Thiessen de la parroquia Sabanilla





**Anexo 19.** Programación de Casa abierta – Expoforestal-2019



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE LOJA**



**JUEVES 14 DE FEBRERO**

**CASA ABIERTA –EXPOFORESTAL-2019**

HALL DE LA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**09:00/12:00** PRESENTACION DE TEMATICAS ABORDADAS EN EL TRANCURSO DEL CICLO POR ESTUDIANTES.

**10H00** I SESIÓN DE POSTERS CIENTIFICOS

PRESENTACIONES DE LAS INVESTIGACIONES DESARROLLADAS COMO PROYECTOS DE PREGRADO EN LA UNIDAD DE TITULACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DEL X CICLO DE LA CIF

**11H00** INAUGURACIÓN DE LA SECCIÓN DE LA XILOTECA NACIONAL EN LOS LABORATORIOS DE ANATOMIA Y DENDROCRONOLOGÍA DE LA CIF

INGENIERÍA FORESTAL, FORMANDO PROFESIONALES DE CALIDAD,  
DESDE 1975



**Anexo 20.** Carta de invitación para presentación de poster científico en el congreso sobre “Past plant diversity, climate change and mountain conservation” Universidad de Cuenca, Ecuador, Marzo 11-12, 2019



***International Conference Invitation***  
***Past plant diversity, climate change and mountain conservation***  
***University of Cuenca, Ecuador, March 11-15, 2019***

Dear colleague,

We are pleased to announce a conference on "Past plant diversity, climate change and mountain conservation". The event is hosted by the University of Cuenca in Ecuador, from 11 to 15 March 2019.

The objective of this conference is to bring together scientists from different but complementary disciplines to discuss past plant diversity in relation to climate variability, impacts on the genetic diversity, and how can we take into account the past changes for more accurately predicting the future species ranges and their long-term conservation of the world's mountains.

The conference will last four days, including one-day field excursions to mountainscapes in Azuay province. There will be optional two- or four-day post-conference excursions for you to choose should you want a deeper look at tropandean landscapes of Ecuador.

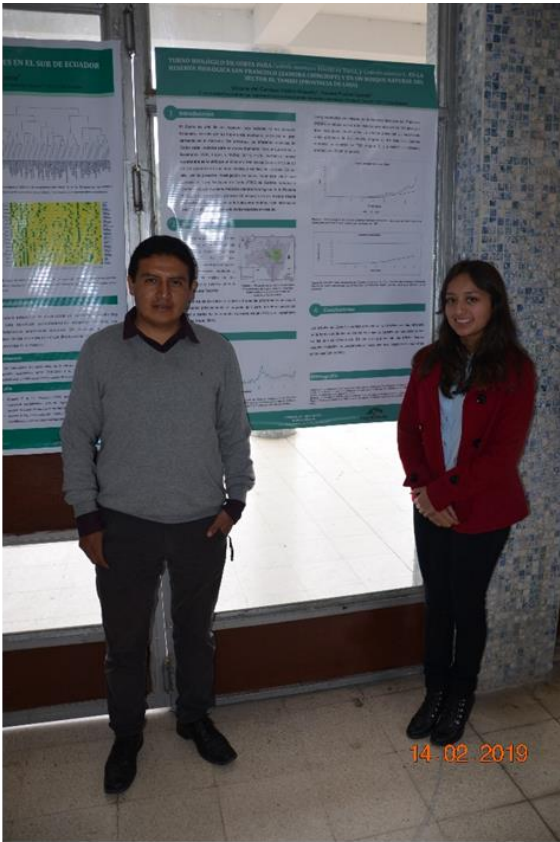
Please visit the website: [www.vulpes-ecuador2019.com](http://www.vulpes-ecuador2019.com) for registration, submission of abstracts, selection of field trips, and other information about sponsors, timetable, discount-sponsored hotels, discount code "NY2HU" in either Delta, AirFrance, KLM, Alitalia, or Aeromexico to Ecuador, and about the city of Cuenca, for the Vulpes.Ecuador.2019 international conference.

We are planning to publish a special issue of a highly recognized journal and a bilingual book of proceedings. Given the importance of your research in these fields, your participation shall be greatly appreciated for contributing to the success of the event.

Please write to [Vulpes.Ecuador.2019@gmail.com](mailto:Vulpes.Ecuador.2019@gmail.com) should you like additional information to join us. We are looking forward to reading from you, and meeting with you in beautiful Cuenca!

Warm regards,  
The Organizing Committee

**Anexo 21.** Socialización de resultados en la Universidad Nacional de Loja, en la semana del estudiante, mediante un póster científico.





**Anexo 22.** Certificado conferido por la CIF, por la presentación de poster científico



 Facultad  
Agropecuaria y de  
**Recursos Naturales  
Renovables**

JORNADAS ACADÉMICAS  
SEMANA DEL ESTUDIANTE  
11 AL 15 DE FEBRERO DEL 2019



Confieren el presente CERTIFICADO  
A:

**SILVANA DEL CARMEN PATIÑO ROSARIO**

Por su participación y presentación en la Unidad de Titulación con el  
**Poster:**  
"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)",

Realizado en la Carrera de Ingeniería Forestal de la Facultad  
Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad  
Nacional de Loja.

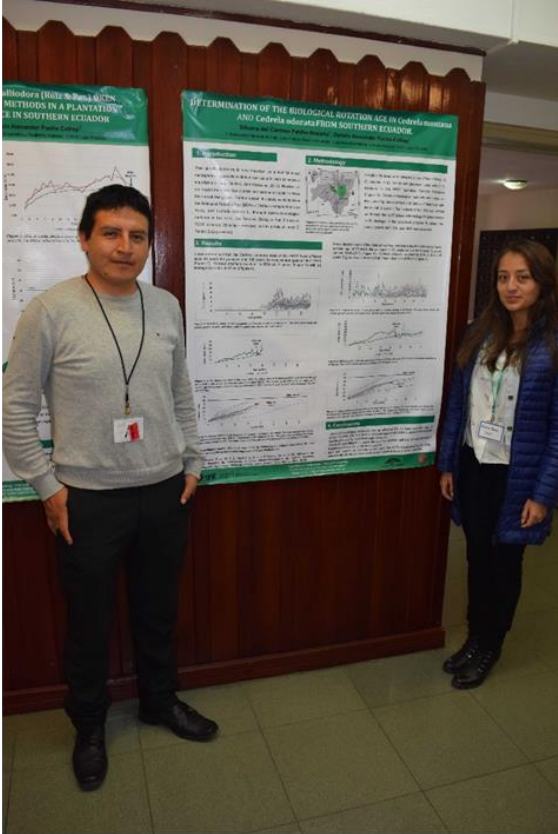
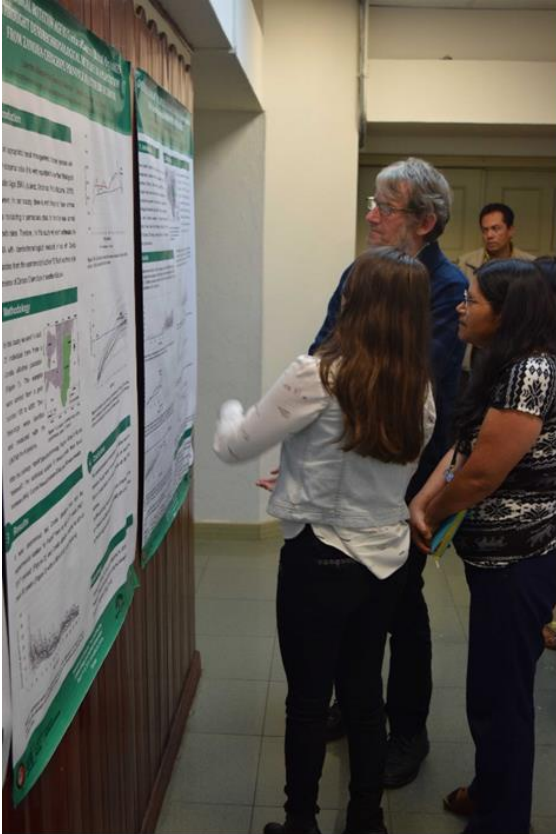
Loja, Febrero del 2019

  
Dr. Jorky Roosevelt Armijos Tituana, Mg. Sc  
DECANO DE LA FACULTAD AGROPECUARIA  
Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

  
Ing. Johana C. Muñoz, MSc.  
GESTORA ACADÉMICA  
CARRERA INGENIERÍA FORESTAL



**Anexo 23.** Socialización de resultados en la Universidad de Cuenca mediante un póster científico. En la imagen superior izquierda socializando resultados al reconocido botánico David Alan Neill.



**Anexo 24.** Certificado por la presentación del póster científico en el congreso internacional en la Universidad de Cuenca

