



**Efecto de la temperatura y precipitación sobre la longitud de los anillos de crecimiento
de *Eucalyptus globulus* y *Pinus sylvestris* en el cantón Rumiñahui**

Calle Andrade, Gyna Paola

Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniería Agropecuaria

Ing. Pérez Guerrero, Patricio Alejandro PhD

04 de Febrero del 2022



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación "**Efecto de la temperatura y precipitación sobre la longitud de los anillos de crecimiento de *Eucalyptus globulus* y *Pinus sylvestris* en el cantón Rumiñahui**" fue realizado por la señorita **Calle Andrade, Gyna Paola**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 04 de febrero del 2022



Firmado electrónicamente por:
PATRICIO
ALEJANDRO PEREZ
GUERRERO

Ing. Pérez Guerrero, Patricio Alejandro PhD

C.C.: 1802941011



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Responsabilidad de autoría

Yo, **Calle Andrade, Gyna Paola**, con cédula de ciudadanía n° 1725890972, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Efecto de la temperatura y precipitación sobre la longitud de los anillos de crecimiento de *Eucalyptus globulus* y *Pinus sylvestris* en el cantón Rumiñahui** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 04 de febrero del 2022

Calle Andrade, Gyna Paola

C.C.: 1725890972



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Autorización de publicación

Yo, **Calle Andrade, Gyna Paola**, con cédula de ciudadanía n° 1725890972 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Efecto de la temperatura y precipitación sobre la longitud de los anillos de crecimiento de *Eucalyptus globulus* y *Pinus sylvestris* en el cantón Rumiñahui** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 04 de febrero del 2022

Calle Andrade, Gyna Paola

C.C.: 1725890972

Reporte de verificación de similitud de contenidos



TESIS GYNA CALLE V2.docx

Scanned on: 19:28 February 3, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	289
Words with Minor Changes	0
Paraphrased Words	0
Ommited Words	2275



Transfer this QR code to your phone:
PATRICIO
ALEJANDRO PEREZ
GUERRERO

Ing. Pérez Guerrero, Patricio Alejandro PhD

C.C.: 1802941011

Dedicatoria

Este logro lo dedico a mis padres Gina Andrade y Enrique Calle, quienes han sido mi apoyo incondicional desde el primer día en el que empezó ésta trayectoria de mi formación universitaria.

Agradecimiento

En primer lugar expreso mi agradecimiento a mis padres por siempre estar a mi lado, por su esfuerzo, sus consejos, sus enseñanzas, cariño y por siempre creer en mí, ya que gracias a ellos y en conjunto con mi esfuerzo estoy consiguiendo un logro más en mi vida.

A la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA I de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por los conocimientos aportados en mi formación profesional.

A mi director de tesis Ing. Patricio Alejandro Pérez Guerrero PhD, por brindarme su apoyo, su tiempo y sus conocimientos brindados durante el proceso de realización de mi tesis.

A la Ing. Elizabeth Urbano y al Ing. Marcelo Arce por su tiempo dedicado y sus acertadas observaciones que ayudaron a mejorar mi trabajo de investigación.

Al Dr. Jorge Ron, Ing. Dayana Sandoval e Ing. Arianna Drouet por facilitarme las instalaciones y permitirme realizar la fase de laboratorio de mi proyecto de investigación.

A mis amigos por su acompañamiento, amistad y momentos vividos durante mi trayectoria en la universidad.

Índice de contenidos

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Responsabilidad de autoría.....	3
Autorización de publicación.....	4
Reporte de verificación de similitud de contenidos.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenidos.....	8
Índice de tablas.....	13
Índice de figuras.....	14
Resumen.....	15
Abstract.....	16
Capítulo I.....	17
Introducción.....	17
Antecedentes.....	17
Justificación.....	18
Objetivos.....	18
Objetivo general.....	18
Objetivos específicos.....	19
Hipótesis.....	19

Capítulo II.....	20
Revisión de literatura	20
Crecimiento de los árboles	20
Anillos de crecimiento	21
Influencia de la temperatura y precipitación en el crecimiento.	21
Precipitación.....	21
Temperatura.....	22
Formación de anillos de crecimiento en los árboles.	23
Estructura anatómica en coníferas	23
Traqueidas.....	24
Parénquima o células parenquimáticas.....	25
Canales resiníferos	26
Estructura anatómica en latifoliadas.....	27
Poros/vasos.....	27
Parénquima xilemático axial	29
Fibras	29
Anomalías en la anatomía del crecimiento radial.....	29
Anillos ausentes.....	29
Anillos falsos	30
Descripción de las tres caras del corte en árboles.....	30
Corte transversal (CT)	30

	10
Longitudinal tangencial (Ltg)	30
Longitudinal radial (Lra)	31
Estimación del crecimiento de los árboles mediante modelos de ecuación.....	31
Criterios de evaluación.....	32
Coeficiente de determinación	33
Distancia de Cook (d-Cook)	33
Error Cuadrático Medio de Predicción (ECPM).....	34
Factor de inflación de varianza (VIF)	34
Criterio de Información Bayesiano (BIC).....	35
Criterio de Información Akaike (AIC)	35
Características de las especies arbóreas seleccionadas	36
Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	36
Pino (<i>Pinus sylvestris</i>).....	37
Metodologías utilizadas en estudios dendroclimáticos	37
Marcas en el anillado	38
Sustancias contrastantes.	39
Exactitud y precisión de la medición.....	39
Medida del ancho de los anillos.....	39
Capítulo III.....	41
Metodología.....	41
Ubicación del área de estudio.....	41

	11
Métodos.....	42
Fase de laboratorio	42
Selección de sitios de muestreo y obtención de la muestra.	43
Recolección de muestras.....	45
Tratamiento de las muestras.	48
Análisis microscópico de las muestras	49
Recolección de datos meteorológicos.	50
Variables medidas.....	51
Capítulo IV.....	52
Resultados y discusión	52
Análisis microscópico de las especies arbóreas.	52
Obtención de datos meteorológicos	54
Relación entre el ancho de los anillos con la precipitación y temperatura.	55
Análisis de regresión lineal	57
Modelos lineales para árboles de Eucalyptus globulus.	57
Modelos lineales para árboles de Pinus sylvestris.....	60
Discusión	63
Anillos de crecimiento de las especies arbóreas.	63
Relación del crecimiento y la temperatura	64
Relación del crecimiento y la precipitación.....	65
Modelos de ecuación para árboles de Eucalyptus globulus y Pinus sylvestris	65

	12
Capítulo V.....	68
Conclusiones y recomendaciones.....	68
Conclusiones.....	68
Recomendaciones.....	69
Bibliografía.....	70

Índice de tablas

Tabla 1 Valores de z para tres niveles de confianza.	44
Tabla 2 Medidas resumen de las dos especies arbóreas.....	44
Tabla 3 Ubicación geográfica de árboles muestreados de eucalipto.	46
Tabla 4 Ubicación geográfica de árboles muestreados de pino.....	48
Tabla 5 Anillos periódicos de crecimiento de 27 árboles de eucalipto y 6 árboles de pino.....	53
Tabla 6 Resumen de los modelos lineales obtenidos para estimar la longitud de los anillos de crecimiento en árboles de <i>Eucalyptus globulus</i>	59
Tabla 7 Resumen de los modelos lineales obtenidos para estimar la longitud de los anillos de crecimiento en árboles de <i>Pinus sylvestris</i>	62
Tabla 8 Estimación de los parámetros del modelo 2 de <i>Eucalyptus globulus</i> y su significancia.....	66
Tabla 9 Estimación de los parámetros del modelo 2 de <i>Pinus sylvestris</i> y su significancia.....	67

Índice de figuras

Figura 1 Corte transversal de leño de pino.....	25
Figura 2 Radios medulares en cortes radiales de leño de Gimnospermas.	26
Figura 3 Canales resiníferos en corte transversal y tangencial de pino.	27
Figura 4 Tipos de porosidad.....	28
Figura 5 Diagrama tridimensional de las tres caras del corte de la madera.....	31
Figura 6 Posición de los anillos de crecimiento.....	39
Figura 7 Anillos de crecimiento de Eucalyptus globulus y Pinus sylvestris.	40
Figura 8 Localización del área de estudio	42
Figura 9 Ubicación geográfica de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA I.	43
Figura 10 Recolección de muestras.....	46
Figura 11 Tratamiento de las muestras recolectadas.....	49
Figura 12 Análisis microscópico de las muestras.....	50
Figura 13 Ubicación geográfica de la estación meteorológica.....	51
Figura 14 Vista microscópica de una muestra de Eucalyptus globulus.	52
Figura 15 Vista microscópica de una muestra de Pinus sylvestris.	53
Figura 16 Datos meteorológicos del sitio de estudio.....	54
Figura 17 Relación de los anillos de crecimiento Eucalyptus globulus y variables meteorológicas.....	56
Figura 18 Relación de los anillos de crecimiento Pinus sylvestris y variables meteorológicas.....	56
Figura 19 Gráficos de normalidad y homocedasticidad de los tres modelos de eucalipto.....	58
Figura 20 Graficos de normalidad y homocedasticidad de los modelos de pino.....	60
Figura 21 Distancia de cook de los modelos seleccionados para árboles de eucalipto y pino respectivamente.....	62

Resumen

El objetivo del presente estudio fue desarrollar modelos lineales a partir de métodos no destructivos para estimar la longitud de los anillos de crecimiento de dos especies arbóreas (*Eucalyptus globulus* y *Pinus sylvestris*) ubicadas en las parroquias rurales que conforman el Cantón Rumiñahui, lugar en el que se muestrearon 27 individuos de eucalipto y 6 de pino a partir de un censo forestal existente de ésta área. Las muestras obtenidas se analizaron microscópicamente para la identificación y medición de los anillos de seis periodos de crecimiento en dirección longitudinal de corteza a médula, usando el software Mshot Image Analysis System. Mediante criterios estadísticos se evaluaron seis modelos lineales para estimar la relación existente entre la longitud de los anillos y los factores climáticos (precipitación y temperatura) a un nivel de significancia del 5%, de los modelos generados los que cumplieron los supuestos y que mejor se ajustaron para estimar la longitud de los anillos fueron: $L_{(eucalipto)}=2,52+0.0033(\text{precipitación})$ y $L_{(pino)} = 2+0.0023 (\text{precipitación})$. Dichos modelos obtenidos se podrán utilizar para estimar la longitud de los anillos de crecimiento de especies arbóreas a partir de la precipitación acumulada por periodo, siempre y cuando las especies a ser estudiadas se encuentren en las condiciones que se han detallado en el presente estudio.

Palabras clave: Precipitación, temperatura, anillos de crecimiento.

Abstract

The objective of this study was to develop linear models from non-destructive methods to estimate the length of the growth rings of two tree species (*Eucalyptus globulus* and *Pinus sylvestris*) located in the rural parishes that make up the Rumiñahui Canton, where 27 individuals of eucalyptus and 6 of pine were sampled from an existing forest census of this area. The samples obtained were analyzed microscopically for the identification and measurement of the rings of six growth periods in the longitudinal direction from cortex to medulla, using the Mshot Image Analysis System software. Using statistical criteria, six linear models were evaluated to estimate the relationship between the length of the rings and climatic factors (precipitation and temperature) at a significance level of 5%, of the generated models those that met the assumptions and that best adjusted to estimate the length of the rings were: $L_{(eucalyptus)}=2.52+0.0033(\text{rainfall})$ and $L_{(pine)} = 2+0.0023 (\text{rainfall})$. These models obtained can be used to estimate the length of the growth rings of tree species from the accumulated precipitation per period, as long as the species to be studied are in the conditions that have been detailed in this study.

Keywords: Precipitation, temperatura, growth rings.

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

Los anillos de los árboles presentan cambios sistemáticos longitudinales y anatómicos, que se desarrollan en relación a las condiciones ambientales y fisiológicas a las que ha sido expuesto. Es así que variables como: densidad de la madera, longitud de los anillos, longitud de las células estructurales (vasos o traqueidas), han sido usadas para estudios dendroclimáticos (Gené, Espelta, Garcia, & Retana, 1993).

La estructura de los anillos de crecimiento refleja la influencia de factores externos e internos, como lo son: el clima, suelos, competencia, situación del anillo en el tronco, edad del árbol, etc. Si hablamos de la influencia de los factores climáticos en el crecimiento de las especies arbóreas podemos destacar la precipitación y temperatura como principales ya que la variabilidad del clima a lo largo de los años tienen gran influencia sobre el comportamiento de las plantas (Camarero, Guerrero, & Gutiérrez, 1997; Domínguez, 2014).

En sitios como Ecuador el clima es tropical el cual varía con la altitud y las regiones, es así que en el Cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha se presenta un clima subtropical, además claramente posee dos períodos climáticos al año como lo son el invierno y verano (Torres, 2014), por lo que en el crecimiento de especies forestales se refleja en esas características al mantener un ciclo anual compuesto por estos dos periodos climáticos a los que se les relaciona con la etapa de crecimiento en invierno y de latencia en verano. La diferencia en cuanto al crecimiento de los tejidos del leño temprano y tardío, se presentan en capas concéntricas de células leñosas a los que se los denomina anillos de crecimiento (Brienen, Schöngart, & Zuidema, 2016; Juárez & Ardisson, 2005).

Justificación

Los eventos ambientales reflejan su influencia en el crecimiento de las especies forestales mediante sus anillos de crecimiento que son de gran utilidad para establecer patrones de crecimiento geográfico (Brienen & Zuidema, 2003). La proporción de árboles que presentan un cambio abrupto en su crecimiento es una medida de la intensidad del evento climático (Brienen, Schöngart, & Zuidema, 2016); por lo que, los anillos de los árboles y otras plantas leñosas constituyen una fuente de información para diversos estudios científicos, y si tiene suficiente longevidad en la mayoría de los casos pueden utilizarse para llevar a cabo estudios dendrocronológicos (Juárez & Ardisson, 2005)

Bajo este contexto existen estudios relacionados con la influencia que tienen los factores climáticos en el comportamiento del crecimiento de los anillos en diferentes especies arbóreas del grupo de coníferas y latifoliadas, en países como España, Argentina, Perú, Bolivia, entre otros; pero en Ecuador se registran escasos estudios de este tipo por lo que mediante la presente investigación se ha planteado el estudio del efecto de los factores climáticos (precipitación y temperatura) sobre el desarrollo de los anillos de crecimiento de las especies arbóreas *Eucalyptus globulus* y *Pinus sylvestris* presentes en el Cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha; y mediante la combinación de estas variables establecer una ecuación para determinar un patrón de crecimiento en cada especie y se lo relacione con variables climáticas conocidas a través del tiempo.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto de la precipitación y temperatura sobre la longitud de los anillos de crecimiento en árboles de *Eucalyptus globulus* y *Pinus sylvestris*.

Objetivos específicos

Determinar la relación entre la longitud de los anillos de crecimiento periódicos de dos especies arbóreas y las variables climáticas (precipitación y temperatura).

Desarrollar un modelo de ecuación que interrelacione el efecto de la precipitación y temperatura en la longitud de los anillos de crecimiento de dos especies arbóreas.

Hipótesis

H1. La longitud de los anillos de crecimiento de árboles de *Eucalyptus globulus* y *Pinus sylvestris* presenta una relación directamente proporcional con los factores climáticos (precipitación y temperatura).

H0. La longitud de los anillos de crecimiento de árboles de *Eucalyptus globulus* y *Pinus sylvestris* no presenta una relación directamente proporcional con los factores climáticos (precipitación y temperatura).

Capítulo II

Revisión de literatura

El crecimiento anual en diámetro de las plantas arbóreas es un rasgo importante que se utiliza en la elección de especies y su uso tanto en la reforestación, como en la restauración ecológica y la reconstrucción en zonas urbanas verdes. Así también estudios relacionan la tasa de crecimiento con variables climatológicas como lo son la temperatura y precipitación (Interián *et al.*, 2014), a partir de la información proporcionada por las características anatómicas que posee el ancho de los anillos de crecimiento (Rozas, Quesne, & Rojas, 2016).

Crecimiento de los árboles

Un conjunto de células indiferenciadas que al dividirse producen nuevas células conforman los meristemas primarios y secundarios que con su accionar son los responsables del crecimiento de los árboles y plantas leñosas, en cuanto a altura (meristema primario) y grosor (meristema secundario o cambium), éste último se encuentra entre el xilema y el final del sistema vascular primario de la planta que al conectarse entre sí forman un anillo continuo (cilindro vascular) alrededor de la planta, dónde se produce mayor cantidad de xilema secundario al interior del tallo, mientras que el floema secundario se produce hacia afuera. El desarrollo del cambium varía de acuerdo a la fase climática en el que se encuentre expuesto, de tal manera en periodos de verano produce elementos de un mayor diámetro lo que generaría a lo que se conoce como leño temprano y elementos de menor diámetro pero con paredes gruesas que conforman el leño tardío, en periodos de invierno (Bárcenas, Ángeles, Ronzón, & Ortega, 2005; Beltrán, 2011; Brenes, Reyes, & Moya, 2012).

Anillos de crecimiento

El desarrollo de los anillos de crecimiento se considera como el resultado de los factores ambientales y endógenos a los que se encuentra expuesto el individuo, por lo que mediante la visualización de una muestra de corte transversal del tronco se podrán encontrar diversas secciones con diversas tonalidades y estructuras formadas a través del tiempo que a su vez se diferenciarán entre individuos o especies. Por lo que el conocimiento de los patrones de crecimiento en cuanto a variaciones de densidad y amplitud de los incrementos de crecimiento puede ser de utilidad para facilitar el manejo de los organismos o poblaciones, o bien la reconstrucción presente o pasada del ambiente en el cual los organismos se han desarrollado (Juárez & Ardisson, 2005).

El crecimiento de los anillos en zonas templadas es anual ya que existe un periodo vegetativo en cada año, de tal manera con individuos de ese medio se podrá realizar una datación y determinar la edad de las especies forestales, mientras que en zonas tropicales por el hecho de que la temperatura no tiene una notable variabilidad se menciona que los árboles que se desarrollan en estas zonas no desarrollan anillos de crecimiento ya que no se exponen a un estrés climático. Sin embargo, se sabe que mediante estudios realizados en muchas especies de árboles en los trópicos tienen la capacidad de formar anillos, tanto por variaciones en temperatura o por cambios en el balance hídrico, siendo así moderadamente más sensibles a las lluvias ya que los periodos secos reducen el crecimiento (Brienen, Schöngart, & Zuidema, 2016; Worbes, 2002).

Influencia de la temperatura y precipitación en el crecimiento.

Precipitación

La precipitación como parte de la climatología es considerada una de las propiedades biológicas de gran importancia, debido a que su función en la naturaleza

depende de su disponibilidad y cantidad, para la formación de bosques y suelos, descomposición de rocas, erosión, etc. De igual manera la limitación del agua influye en el rendimiento y crecimiento de las plantas, ya que en un prolongado periodo de sequía (poca lluvia) el crecimiento de las partes aéreas de las plantas sería continuo hasta que las raíces reduzcan la absorción del agua por su nula disponibilidad, lo que conduce a que el contenido de agua en las hojas disminuya y por ende se genere una reducción del volumen celular, de la turgencia, de la expansión foliar por paredes celulares débiles. Así también, las raíces van creciendo en busca de agua mientras que los productos fotosintéticos que no están participando en el crecimiento foliar se acumulan en los extremos de las misma, por lo que la relación entre la biomasa de las raíces aéreas se encuentra controlada por un equilibrio entre la absorción de agua por las raíces y la fotosíntesis en las partes aéreas (Suntaxi, 2010; Yépez & Silveira, 2011).

Temperatura

Es un factor climático que indica el grado de calor o frío sensible en la atmósfera, en la zona ecuatorial los rayos de sol caen perpendicularmente y calientan más de una superficie. La incidencia de la temperatura se torna determinante en la distribución y el desarrollo de las plantas, además mediante características particulares en la acción celular y metabólica se expone si existe afección por un efecto del exceso de exposición al calor, ya que cuando las plantas han sido expuestas a temperaturas con 5°C sobre la temperatura óptima para el crecimiento y desarrollo de la planta presentan un estrés calórico, con lo que se desencadena una serie de problemas como lo son: menor síntesis de proteínas, aumento en la velocidad de transcripción de proteínas y durante periodos temporales éstas proteínas podrían aumentar sus niveles, dando como resultado un nulo crecimiento de las plantas, un deterioro en los órganos y finalmente desencadenarse en la muerte (Suntaxi, 2010; Yépez & Silveira, 2011).

Formación de anillos de crecimiento en los árboles.

Según Portal (2019), un árbol puede considerarse un elemento capaz de registrar los fenómenos que ocurren en su entorno (suelo y aire) e influir en las propiedades de los anillos que se genera en la madera, afectando su tasa de crecimiento y productividad. El tronco está formado por anillos delgados y anchos, los mismos que se van agregando cada periodo o cada año debajo de la corteza; el grosor de un anillo determina el crecimiento radial del tallo que a causa del cambium se forma xilema primario y floema secundario, que en conjunto forman el anillado donde se guarda información de la influencia de factores ambientales sobre su crecimiento. Los anillos de crecimiento se van formando por dichas circunstancias de cada año, presentándose como leño tardío a la sección formada por elementos de mayor diámetro producidos por el cambium de primavera y el leño tardío con elementos de menor diámetro pero con paredes gruesas (Vera *et al.*, 2011).

A la formación de los anillos de crecimiento de las especies forestales se lo relaciona con la actividad fotosintética y la disposición de auxinas, ya que el diámetro celular y el desarrollo de sus paredes con una óptima funcionalidad fotosintética dependerán de la cantidad de auxinas presentes en el árbol. Al final de la estación de crecimiento, los factores tales como sequía, radiación solar o factores químicos reducen la concentración de auxinas y por lo tanto fomentan producción de células de diámetro pequeño; mientras tanto, la acumulación de inhibidores de crecimiento causa reducción en el ritmo de producción de nuevas células, cesando a su vez el crecimiento de nuevos brotes y desarrollo de nuevas hojas (Vera *et al.*, 2011).

Estructura anatómica en coníferas

El grupo de coníferas pertenecen a las plantas gimnospermas, incluyen árboles o arbustos leñosos (pinos, cipreses, abetos, cedros) de forma cónica que poseen hojas

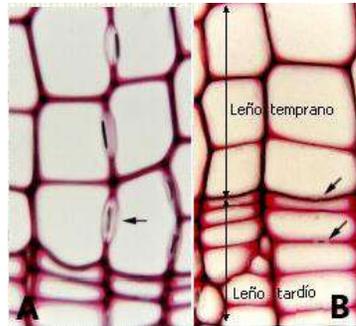
perennes, son de crecimiento rápido; estas especies son originarias de países con estaciones bien definidas, sin embargo han sido introducidas en países como Ecuador, Colombia, Bolivia, Perú, Venezuela, Argentina, lugares dónde se han adaptado. El tejido leñoso de las gimnospermas está compuesto principalmente por:

Traqueidas

Son células alargadas de 2 a 4 mm de largo y 0,30 a 0,60 mm de ancho, que forman el componente fibroso en las coníferas, con extremos cerrados, se comunican con células vecinas mediante orificios (puntuaciones areoladas) de sus paredes distribuyéndose en bandas perpendiculares al eje longitudinal, su función es regular la cantidad y calidad de fluidos que transportan entre ellas. En el corte transversal se diferencia el leño temprano (sección clara) en el que las traqueidas son de mayor diámetro, otorgando una mejor eficiencia en el transporte de agua, en cambio en el leño tardío (sección oscura) las traqueidas son de diámetros estrechos con menor capacidad de transportar agua (Figura 1); ésta característica en particular se asocia generalmente a una considerable resistencia a la cavitación para lo cual influyen características estructurales de las puntuaciones y de las células, como lo son: el espesor, diámetro y longitud de las paredes celulares; una vez que la conducción del agua se ve afectada pues queda vulnerable a la cavitación (fenómeno relacionado a la resistencia al déficit hídrico) y por ende a una disminución del 50% de conductividad hidráulica (Bulfe & Fernández, 2017; Diodato & Gregorio, 2015).

Figura 1

Corte transversal de leño de pino.



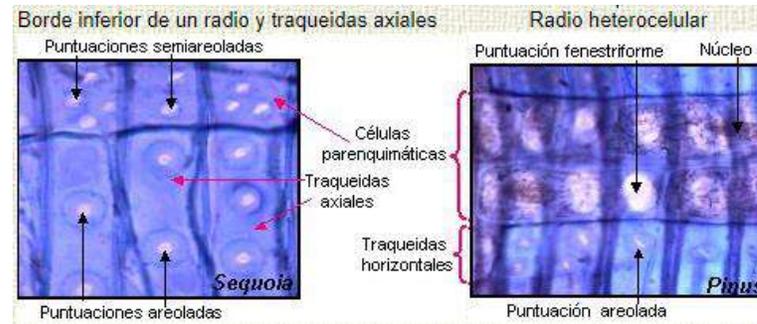
Nota: En la imagen se identifica: A) Traqueidas, puntuaciones en paredes radiales y B) Fibrotraqueidas, puntuaciones en paredes tangenciales. Adaptado de “Morfología de plantas vasculares: estructura secundaria del tallo”, por A. Gonzáles, 2019, (<http://www.biologia.edu.ar/botanica/print/Hipertextos-2019.pdf>).

Parénquima o células parenquimáticas

Son las únicas células vivas del xilema presentes en la albura, cuya función es la conducción y el almacenamiento de sustancias nutritivas (almidones). El parénquima se desarrolla de manera radial ubicándose uno arriba de otro en grupos, radios, pero en las coníferas se desarrolla el parénquima longitudinal (células con paredes delgadas) paralelo a las traqueidas, que se las distingue porque presentan un color oscuro por estar relleno de sustancias nutritivas de este color (Diodato & Gregorio, 2015).

Figura 2

Radios medulares en cortes radiales de leño de Gimnospermas.



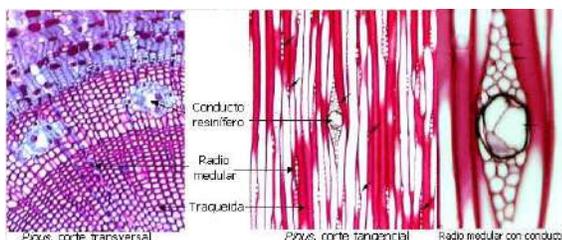
Nota. La imagen representa estructuras anatómicas de angiospermas. Adaptado de "Morfología de plantas vasculares: estructura secundaria del tallo", por A. González , 2019, (<http://www.biologia.edu.ar/botanica/print/Hipertextos-2019.pdf>).

Canales resiníferos

Son estructuras secretoras alargadas formadas por un espacio hueco compuesto por células epiteliales y vierten resina que debido a sus compuestos tóxicos protegen a la planta de los herbívoros, insectos y patógenos, son típicos de las coníferas donde se pueden desarrollar radialmente y longitudinalmente. Sus principales funciones son: el almacenamiento de grasas, almidón, cristales y taninos (Diodato & Gregorio, 2015; Moreira, Ramos, Sampedro, Zas, & Solla, 2008).

Figura 3

Canales resiníferos en corte transversal y tangencial de pino.



Nota. La imagen representa los canales resiníferos del pino. Adaptado de “Morfología de plantas vasculares: estructura secundaria del tallo”, por A. González , 2019, (<http://www.biologia.edu.ar/botanica/print/Hipertextos-2019.pdf>).

Estructura anatómica en latifoliadas

Los árboles planifolios de hojas planas, como robles, castaños, hayas, chopos, pertenecen al grupo de angiospermas, tiene una estructura compleja del xilema secundario, por lo que se los describe como heteroxilo (Carlquist, 2012). En este caso la diferenciación de los anillos se realiza mediante el análisis del diámetro de los vasos que conforman (los agujeros que se puede observar en la figura 4) las secciones de madera temprana y tardía, aunque en ciertos casos se encuentran unas células de menor diámetro y de color oscuro al final del anillo, lo que ayudaría a delimitar estas secciones.

Poros/vasos

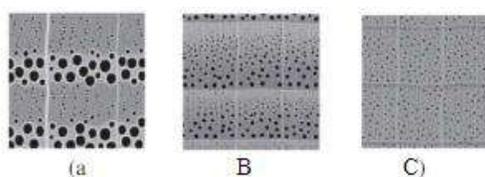
La madera del grupo de latifoliadas presentan vasos los cuales son verdaderos tubos (constituido por células tubulares) que se encargan de la conducción del agua, sabia y sales minerales desde la raíz hasta las hojas mediante agujeros que se conectan con otro vaso o células (parenquimatosas radiales), son claramente distinguibles por su mayor lumen, pueden variar en cuanto a su distribución y

dimensión, por ejemplo en ciertas especies de latifoliadas los vasos son grandes y se concentran mayormente en la madera temprana, de tal manera que esta porosidad es notoriamente visible al ojo, pero también los vasos pueden ser muy pequeños ($< 50 \mu\text{m}$). El corte transversal de los vasos da origen a los poros que son orificios o agujeros de células tubulares de diferente tamaño (Carlquist, 2012; Hudson, Razanatsoa, & Feild, 2010; Sano, Morris, Shimada, Ronse, & Jansen, 2011).

La porosidad puede ser de tres tipos: difusa, se refiere a vasos con un mismo diámetro presentes en toda la sección del anillo, se los encuentra en la mayoría de especies tropicales; circular, se refiere a una variación en el diámetro de los vasos ya que al inicio del anillo se presentan de mayor diámetro, mientras que abruptamente disminuyen su tamaño en la zona terminal del anillo; semicircular, se refiere a la porosidad con un tamaño de poros mayor al inicio del anillo pero el diámetro de los poros se va reduciendo gradualmente hacia la zona terminal del anillo, éstas maderas se encuentran en climas templados (León, 2015; López, Valdez, & Terrazas, 2006; Villalba, Villagra, & Boninsegna, 2000).

Figura 4

Tipos de porosidad



Nota. Los tipos de porosidad son: A) circular, B) semicircular y C) difusa. Adaptado de “Feature extraction of tree-related high impedance faults as a source of electromagnetic interference around medium voltage power lines Corridors” (p. 15), por N. Bahador, F. Namdari, & H.Reza, 2017, *Progress In Electromagnetics Research* 75(1).

Parénquima xilemático axial

Son tejido celular distribuido a lo largo del tronco (parénquima longitudinal) entre las células y a lo ancho del mismo en dirección radial (parénquima radial) más numerosas que en las coníferas, generalmente poseen paredes delgadas y de muy poca resistencia mecánica, su función es de almacenar sustancias de reserva, distribución y segregación de los carbohidratos. Al encontrarse dispersas entre las fibras sirven para no perder la capacidad conductiva ante diversas condiciones ambientales (Carlquist, 2012; Diodato & Gregorio, 2015; Monteoliva, Barotto, & Fernandez, 2015)

Fibras

Son células alargadas con paredes secundarias gruesas comúnmente lignificadas, con los extremos más o menos aguzados y posee lumen reducido. La resistencia mecánica del leño depende en gran medida de estos elementos celulares (Baas & Magendans, 1999; Diodato & Gregorio, 2015).

Anomalías en la anatomía del crecimiento radial.

Anillos ausentes.

Los anillos ausentes son zonas donde no ha existido actividad del cambium vascular por lo que el crecimiento secundario es ausente y en respuesta a la casi nula disponibilidad de recursos el árbol empieza disminuir la producción de hormonas de crecimiento (auxina), lo que conlleva la inactividad en la fase de crecimiento. Son varios los factores que provocarían esta inactividad en la fase de crecimiento del árbol, como por ejemplo: condiciones físicas, condiciones bióticas, sequías extremas, siniestros medioambientales, actividad volcánica, entre otras (Rojas, Alvarez, & Hadad, 2002; Suntaxi, 2010).

Anillos falsos

La presencia de anillos dobles o falsos en un corte transversal del tronco se reconoce porque la banda final de la sección del leño tardío no se refleja bien delineada ya que mejor se entremezcla con la sección clara del leño temprano, asimismo se conoce que esta anomalía puede ser ocasionada producto de las condiciones ambientales a las que está expuesto el árbol (Suntaxi, 2010).

Descripción de las tres caras del corte en árboles

En el estudio estructural de la madera se consideran tres planos o secciones de los cuales se optará por el corte que sea apropiado para el fin del estudio que se esté planteando.

Corte transversal (CT)

Es un corte perpendicular al eje longitudinal del árbol, a través del cual se observan las traqueidas (en gimnospermas) que al ser analizadas microscópicamente se identificará su estructura y dimensión, lo que nos ayudará a señalar el leño tardío con presencia de células de mayor tamaño y células de menor tamaño en el leño temprano, pero también a través de éste corte se podrá visualizar los conductos resiníferos que serán de utilidad para un reconocimiento anatómico del tipo de maderas (Meyen, 1984; Ortega, 2013). Pero en el caso de las angiospermas se podrá visualizar el parénquima radial y los vasos o poros, en el contorno más o menos circular (Déjardin, y otros, 2010)

Longitudinal tangencial (Ltg)

Es paralelo a un plano tangente del anillo de crecimiento, a través del cual se podrán observar los radios (en gimnospermas) que vistos microscópicamente se podrán determinar sus dimensiones tanto de alto como de ancho por la cantidad de células (traqueidas) que muestran sus punteaduras areoladas con torus en vista lateral (Meyen,

1984; Ortega, 2013). Y en las angiospermas nos permitirá observar los radios medulares conformadas por un grupo de células de ancho y por células parenquimáticas (Herendeen, Wheeler, & Baas, 1999).

Longitudinal radial (Lra)

Es un corte que pasa por el eje longitudinal del árbol e incluye a uno o varios radios leñosos; en las gimnospermas se observan los radios medulares de los que se distingue su altura y las traquiedas del radio que muestran sus punteaduras areoladas con torus de frente (Ortega, 2013). Mientras que en las angiospermas se observan los radios medulares, tráqueas, parénquima axial y fibras (Herendeen, Wheeler, & Baas, 1999).

Figura 5

Diagrama tridimensional de las tres caras del corte de la madera.



Nota. La ilustración muestra las secciones de los tres tipos de corte de una muestra de madera. Adaptado de “Modelo paleoclimático basado en los caracteres anatómicos de la madera de las rocas miocénicas de las regiones de Panotla, Tlaxcala y Chajul, Chiapas”, por C. Castañeda, 2007, (<http://132.248.9.195/pd2008/0626915/0626915.pdf>)

Estimación del crecimiento de los árboles mediante modelos de ecuación

La respuesta del crecimiento en relación a las variables climáticas regionales está dada por los índices del ancho de los anillos de crecimiento. Por lo que para la

estimación no destructiva del crecimiento de los árboles se debe contar con modelos matemáticos que estimen la sensibilidad del crecimiento radial en relación a algunas variables climáticas (Rodríguez, Pompa, & Goche, 2014), siendo las más utilizadas para su generación: temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación total, ya que estos factores intervienen en gran parte a la formación de la madera temprana y tardía, la variación en la fenología y características anatómicas del xilema influido por la tasa de crecimiento, lo que genera diferencias en la longitud de los anillos de crecimiento (Reyes, Vargas, & Honorato, 2020).

En estudios realizados basados en análisis de regresión que utilizan las variables antes mencionadas se puede evidenciar, en un primer estudio que mediante regresión lineal la ecuación muestra una asociación significativa entre los anillos de crecimiento y la temperatura máxima con un coeficiente de determinación del 52% (Rodríguez, Pompa, & Goche, 2014); mientras que en un segundo estudio se analizaron modelos de regresión con los índices de los anillos de crecimiento y las variables climáticas (temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación), para explicar de mejor manera la variabilidad interanual, de lo cual considerando como variable independiente la madera temprana presenta mayor variabilidad con la estacionalidad de la lluvia representado con un $R^2 = 52\%$ (López *et al.*, 2018). Cabe mencionar que en este tipo de modelos aun utilizando otros factores climáticos como variables, raramente se logra explicar con valores superiores al 50-60% (Ares, Zalba, & Peinemann, 1992).

Criterios de evaluación

La evaluación de los modelos de ecuación tiene como objetivo la selección de los que presenten un mejor ajuste de datos (Jerome *et al.*, 2015). Para lo cual es necesario definir las variables que se van a seleccionar como parte del modelo final, modelo del que se estimará una mejor estimación del parámetro de interés; por lo que

para la selección de dicho modelo es importante considerar criterios de decisión estadística como la distancia de Cook (d-Cook), el coeficiente de determinación (R^2), coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado), el Error Cuadrático Medio de Predicción (ECMP), el Factor de Inflación de varianza (VIF) (Posada & Rosero, 2007)., el criterio de Información Akaike (AIC) y el criterio de Información Bayesiano (BIC), considerándose los dos últimos para comparar entre modelos ajustados donde se elegiría el modelo que tenga los valores menores de estos criterios (Amaya, 2018; Montesinos, 2011).

Coeficiente de determinación (R^2).

Según Di Rienzo *et al.* (2008), el coeficiente de determinación es la proporción de la variabilidad total en Y por la variación de la variable independiente o la variabilidad total en el modelo se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$R^2 = \frac{SCR}{SCT}$$

Dónde:

R^2 = Coeficiente de determinación.

SCR= Suma de cuadrados de regresión.

SCT= suma de cuadrados total.

Distancia de Cook (d-Cook)

Según Di Rienzo *et al.* (2008), éste estadístico mide la distancia entre las dos variables de estimación, si d-Cook es mayor a 1 se considera que la observación es excesivamente influyente y se debe eliminar esos valores atípicos (Díaz & Martínez, 2004). Se obtiene mediante la ecuación:

$$D_i = \frac{(Y - Y_{(i)})(Y - Y_{(i)})}{ps^2}$$

Dónde:

D_i = distancia de Cook.

Y = vector de los valores predichos.

$Y_{(i)}$ = vector de valores predichos cuando el i-ésimo punto es eliminado.

S^2 = CM_{Error} estimado de la varianza $V(Y_i) = \sigma^2$

Error Cuadrático Medio de Predicción (ECMP)

Según Di Rienzo *et al.* (2008), los modelos que expresan el menor valor en este criterio son los que tienen mayor capacidad de ajuste para su selección, se determina a partir de la siguiente fórmula:

$$ECMP = \sum \frac{(CP - CE)^2}{N}$$

Dónde:

CP = Concentración predicha.

CE = Concentración experimental.

N = El número total de determinaciones.

Factor de inflación de varianza (VIF)

Según Di Rienzo *et al.* (2008), este factor mide en un análisis de regresión la intensidad de la multicolinealidad, proporciona un índice que mide hasta qué punto la varianza de un coeficiente de regresión se incrementa a causa de la colinealidad, si el

valor de VIF es mayor a 10 existe multicolinealidad alta, se estima a partir de la siguiente ecuación:

$$FIV = \frac{1}{1 - R_i^2}$$

Dónde:

R_i^2 : coeficiente de determinación de regresión.

Criterio de Información Bayesiano (BIC)

Permite la selección de modelos entre un conjunto finito de modelos, se basa en la función de probabilidad y está estrechamente relacionado con el criterio de Akaike (Rienzo, Balzarini, González, Casanoves, & Tablada, 2008), se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$BIC = n \text{Log}(1 - R_k^2) + p_k \text{Log}$$

Dónde:

n= Número de observaciones.

R_k^2 = Coeficiente de determinación

p_k = Número de regresoras presentes en el modelo.

Criterio de Información Akaike (AIC)

Se utiliza para penalizar un exceso de parámetros ajustados (Di Rienzo *et al*, 2008), se estima con la siguiente ecuación:

$$AIC = n * LN\left(\sum_{i=1}^n (\text{observado} - \text{predicho})^2\right) * 2p$$

Dónde:

N=Valor observado para cada árbol.

P=Número de parámetros del modelo.

Características de las especies arbóreas seleccionadas

Eucalipto (Eucalyptus globulus)

Es una especie arbórea perteneciente al grupo de las latifoliadas, de origen australiano e introducida en la serranía ecuatoriana a lo largo del Callejón interandino en lugares con una altitud entre 2200 a 3300 msnm, es priorizada para la reforestación con fines comerciales debido a su adaptabilidad, rápido crecimiento y rentabilidad. Su tasa de crecimiento es elevada, por lo cual requiere grandes cantidades de agua (50 lt/día en árboles adultos); el mejor crecimiento se presenta en lugares donde la precipitación es de 800-1500 mm/año y una temperatura media entre 10.8 - 16.8 °C, llega alcanzar hasta 50 metros de altura y 5 metros de diámetro (Arias, 2016; Ecuador Forestal, 2013). Clasificación taxonómica de *Eucalyptus globulus* (Cahuana & Condori, 2017; Solisor, 2021):

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Rosidae

Orden: Myrtales

Familia: Myrtaceae

Especie: *Eucalyptus globulus*

Pino (Pinus sylvestris)

Es una especie arbórea perteneciente al grupo de las coníferas, originaria de California e introducida en la serranía ecuatoriana en lugares con una altitud entre 1400-3200 msnm, es priorizada para la reforestación con fines comerciales debido a su adaptabilidad, rápido crecimiento y rentabilidad de su producción. El mejor crecimiento se presenta en lugares donde la precipitación es de 800-1300 mm/año y una temperatura media entre 11-17 °C, llega alcanzar hasta 50 metros de altura y 2 metros de diámetro (Ecuador Forestal, 2010; Oleas, Ríos, Peña, & Bustamante, 2016).

Clasificación taxonómica de *Pinus sylvestris* (Olmedo, 2012):

Reino: Plantae

División: Pinophyta

Clase: Pinopsida

Orden: Pinales

Familia: Pinaceae

Subgénero: Pinus

Especie: Pinus sylvestris

Metodologías utilizadas en estudios dendroclimáticos

El estudio del incremento en diámetro de un árbol mediante la aplicación de los anillos de crecimiento demuestra cómo las condiciones medioambientales y las variaciones del ecosistema generan las temporadas de crecimiento del árbol. Es así que para la medición del incremento en diámetro se considera dos métodos uno destructivo en el que se tala el árbol y se obtiene una rodela completa del tronco y otro no destructivo en el que la muestra se toma con un barreno, siendo el método destructivo

una opción que demanda un gran trabajo y presenta limitaciones en cuanto a: la elección del árbol que se desee y el tratamiento de las muestras si se trata de árboles de gran diámetro (Mendivelso, Camarero, & Gutiérrez, 2016); mientras que con el método estándar no destructivo solo se requiere un barrenador Pressler con el que se realizará la extracción de un testigo o cilindro de madera (Gutiérrez, 1990). Al considerar cualquiera de estos dos métodos es primordial el marcado del número de árbol y de su sección externa (Brienen & Zuidema, 2003), para posteriormente colocarlas en una estufa a 60°C por 24 horas y así evitar que la madera se manche y puedan crecer hongos (Gutiérrez & Ricker, 2014).

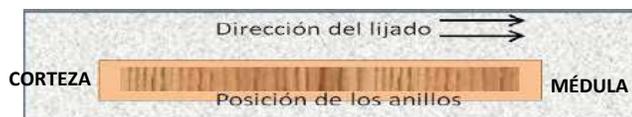
Por consiguiente para la determinación precisa de los límites de cada anillo, las muestras de madera se montan en tablillas donde serán lijadas y pulidas con lijas de diferentes granos para que los anillos sean más visibles (Gené *et al*, 1993; Vera *et al.*, 2011). Una vez que las muestras han sido pulidas, se puede iniciar el conteo de los anillos y mediciones, para lo cual se consideran algunas técnicas:

Marcas en el anillado

En el análisis microscópico de las muestras se considera un marcaje de las mismas (con lápiz), para que sirva como guía en el caso de que otro dendrocronólogo desee seguir con el estudio de los anillos medidos y a su vez esta guía sirve para el conteo de los anillos, que se empieza por el que se ha formado debajo de la corteza y se sigue en dirección a la médula (Figura 6), pero también se considera un marcaje de las anomalías en la madera como los son los anillos falsos y los anillos ausentes (Gutiérrez, 2009).

Figura 6

Posición de los anillos de crecimiento.



Nota. Posición de los anillos de crecimiento con respecto a la dirección del lijado y su posterior observación microscópica.

Sustancias contrastantes.

Cuando los anillos no son muy distinguibles o no presentan una diferencia marcada entre leño tardío y temprano, se recurre a la utilizar sustancias (safranina, azul de metileno, alcohol, kerosén, acetona, tinner, entre otros) que facilitarán la delimitación, medición y análisis de estas secciones de los anillos (Beltrán & Valencia, 2013). Sin embargo también se recomienda que las muestras antes de ser examinadas se remoje durante una hora en agua, a fin de que vuelva a sus dimensiones iniciales, ya que las muestras permanecen almacenadas hasta que se proceda con su análisis en el laboratorio (Díaz, 2010; Moglia *et al*, 2010).

Exactitud y precisión de la medición

Primeramente, la validez de cada marca anual o periódica, un error en un registro invalida los resultados. En segundo lugar, la precisión al momento de medir ya que como en cualquier sistema de medición existe un porcentaje considerado como error ya sea del equipo o un error humano (Purata, Gerez, & Peters, 2016; Yner, 2014).

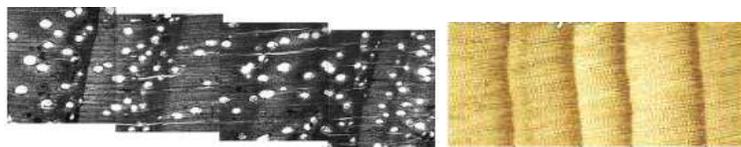
Medida del ancho de los anillos

Se considera que para la medición de los anillos es necesario un software específico que haya sido diseñado para este tipo de análisis a partir de fotografías o

imágenes escaneadas mediante análisis bajo un microscopio estéreo de alta resolución (Amoroso & Suárez, 2015). En el caso del grupo de latifoliadas la medición es algo difícil porque presentan una estructura de los anillos más compleja ya que están formados por una mayor diversidad de células. En este caso los anillos se diferencian por el diámetro de los vasos conductores (los agujeros blancos que se puede observar en la Figura 7) que forman la madera temprana y la tardía. En algunos casos también se forman unas células más pequeñas y oscuras al final de cada anillo que ayudan a interpretar sus límites (Brookhouse & Brack, 2006; Leal, Pereira, Grabner, & Wimmer, 2014). Por otro lado las coníferas presentan una madera temprana más clara formada por células mayores mientras que la madera tardía es más oscura y está formada por células menores. Como anteriormente se lo ha explicado hay veces que al presentarse sequías extremas, el árbol detiene su periodo de crecimiento y por estas circunstancias existiría la presencia de bandas pequeñas de color oscuro al interior del anillo lo que podría ser una limitante para una correcta (Camarero, Guerrero, & Gutiérrez, 1997; Gutiérrez & Ricker, 2019).

Figura 7

Anillos de crecimiento de Eucalyptus globulus y Pinus sylvestris.



Nota. Adaptado de “The ring structure and climatic effects in young *Eucalyptus globulus* Labill. grown at two Portuguese sites: preliminary results”, p. 142, S. Leal *et al.*, 2014, *Dendrocinología*, 21(3); “Influencia del clima en el crecimiento radial en cuatro especies de coníferas en la sierra de San Antonio Peña Nevada (Nuevo León, México)”, p. 6, G. Gutierrez & M. Ricker, 2019, *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90(1).

Capítulo III

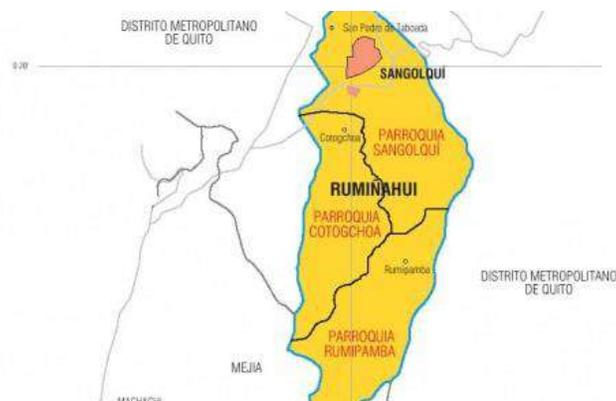
Metodología

Ubicación del área de estudio

La presente investigación en su fase de campo se llevó a cabo con muestras (probetas) de árboles vivos situados en las parroquias que conforman el Cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha, el cual se encuentra localizado en las coordenadas 0°20'04" LS 78°26'51" LO y altitud de 2500 m.s.n.m. El cantón Rumiñahui constituye uno de los ocho cantones que integran la provincia de Pichincha y se encuentra ubicado al sureste de la misma, el cantón está constituido por tres parroquias urbanas: San Pedro de Taboada, San Rafael y Sangolquí; y dos parroquias rurales: Cotogchoa y Rumipamba. Se caracteriza por un clima templado, presenta una temperatura promedio de 15°C, la temperatura mínima se encuentra en los 6.5 °C y la máxima en 25.6 °C, la precipitación promedio anual es de 824,8 mm y posee una extensión de 134,15 km² (Gobierno de la Provincia de Pichincha, 2017).

Figura 8

Localización del área de estudio



Nota. Ilustración de las parroquias que conforman el cantón Rumiñahui, lugar del que se obtuvieron las muestras. Adaptado de Caracterización de Cantón Rumiñahui, por Gobierno de la Provincia de Pichincha, (2017).

Métodos

Fase de laboratorio

La fase de laboratorio se llevó a cabo en los laboratorios de Agrobiotecnología y de Sanidad Animal de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA I - ESPE, Hacienda El Prado, Provincia de Pichincha, Cantón Rumiñahui, Parroquia San Fernando, con coordenadas geográficas $0^{\circ}23'37.6''S$ y $78^{\circ}24'48.0''W$ (Figura 9). En dónde se realizó el tratamiento de las muestras y el análisis microscópico de las mismas.

Figura 9

Ubicación geográfica de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA I.



Nota. Lugar en el que se realizó la fase de laboratorio. Adaptado de Google Earth, 2020.

Selección de sitios de muestreo y obtención de la muestra.

A partir del censo forestal del año 2018 del proyecto de vinculación:

Remediación forestal de las áreas verdes y cuencas hídricas dentro del área urbana del Cantón Rumiñahui, primera etapa; se determinó que la población con un diámetro a la altura del pecho (DAP) entre 20 - 60cm, fue de 10 150 árboles de eucalipto y 1 195 de pino. De lo cual se realizó un muestreo aleatorio simple (Mostacedo & Fredericksen, 2000) en base a la variable DAP a un nivel de confianza del 95% y se obtuvo un total de 27 árboles de eucalipto y 6 árboles de pino (Tabla 3), mediante la siguiente fórmula (Rodríguez & García, 2017):

$$n = \frac{Z^2 * S^2 * N}{(N * e^2) + (Z^2 * S^2)}$$

Dónde:

n= tamaño de la muestra

Z= nivel de confianza (95%), expresado como valor del cuantil “z” de una distribución normal estándar, que separa la curva en dos áreas de tamaño $1 - \alpha/2$ (Tabla 1).

S= desviación estándar

N= tamaño de la población

e= error muestral (5%).

Tabla 1

Valores de z para tres niveles de confianza.

Nivel de confianza	Z
90%	1.64
95%	1.96
99%	2.58

Nota. Niveles de confianza de 90%, 95% y 99% con sus valores de Z. Adaptado de Estadística II, por A. Rodríguez & M. García, 2017, (http://fcasua.contad.unam.mx/apuntes/interiores/docs/20172/contaduria/3/apunte/LC_1353_03106_A_estadisticall.pdf).

Tabla 2

Medidas resumen de las dos especies arbóreas.

Especie	Variable	N	D.E.
<i>Eucalyptus globulus</i>	DAP	10150	13.28
<i>Pinus sylvestris</i>	DAP	1195	6.23

Nota. N: tamaño de la población; D.E.: desviación estándar de la población.

Cálculo de la muestra por especie:

$$n(Eucalipto) = \frac{1.96^2 * 13.28^2 * 10\ 150}{(10\ 150 * 5^2) + (1.96^2 * 13.28^2)} = 27.03 \approx 27 \text{ árboles.}$$

$$n(Pino) = \frac{1.96^2 * 6.23^2 * 1\ 195}{(1\ 195 * 5^2) + (1.96^2 * 6.23^2)} = 5.93 \approx 6 \text{ árboles.}$$

Recolección de muestras

Una vez obtenido el número total de muestras de cada especie se procedió a la recolección de las probetas de madera (tarugos) de árboles vivos situados en las coordenadas geográficas que se encuentran en el registro del censo forestal del cantón Rumiñahui, los cuales fueron seleccionados mediante la función Aleatorio en la base de datos de Excel. Las muestras de leño se extrajeron a la altura del pecho (1.30 cm) por medio de un método no destructivo con ayuda del barrenador Pressler de 5.1 mm de diámetro por 250 mm de largo, el cual se penetró unos centímetros en el tronco y se empezó a girar en dirección a las manecillas del reloj hasta alcanzar la longitud deseada de la probeta. Una vez alcanzada la profundidad de la probeta, se introdujo el extractor dentro de la misma para sacar la probeta del eje hueco y se retiró lentamente, posteriormente la probeta fue identificada con el código del árbol, especie y fecha de recolección, además se geo referenció cada sitio de colecta en la aplicación Epicollect.

Figura 10

Recolección de muestras.

**Tabla 3**

Ubicación geográfica de árboles muestreados de eucalipto.

Especie	Código	DAP	Coordenadas		Sector
			X	Y	
<i>Eucalyptus</i>	3334	20	785951.539	9960583.3	Jatumpungo
<i>globulus</i>	69	27	785951.539	9960583.3	San Jorge
	2130	25	783645	9961263	Cotogchoa
	761	40	782821	9962920	Capelo
	565	28.7	786416	9959440	Gavilanes
	2159	40	786406.758	9959595.67	Jatumpungo
	2093	40	786223.338	9959816.65	Jatumpungo
	2145	25.5	783656	9961318	Cotogchoa
	261	40	785077	9958814	Cotogchoa

Especie	Código	DAP	Coordenadas		Sector
			X	Y	
<i>Eucalyptus</i>	296	37.8	783570	9964987	Santa Clara
<i>globulus</i>	2830	55	786448.36	9958912.14	Jatumpungo
	15	44.8	784898	9964851	Mushuñán
	339	60	782728	9960016	Cotogchoa
	2664	60	785524	9960633	Jatumpungo
	1002	35.3	784524	9965443	ESPE
	2252	60	783309.916	9958150.76	Cotogchoa
	154	48.7	782689	9965169	Capelo
	98	60	782825	9963084	San Pedro
	842	60	784426	9961538	Inchalillo
	1499	28.6	783142	9960742	Cotogchoa
	1316	31	784664	9965042	ESPE
	27	53.2	786464	9961389	Selva Alegre
	101	36.6	785603	9963182	Colibrí
	1015	53.5	784553	9965449	ESPE
	114	40	783118	9959952	Cotogchoa
	91	53	783183	9959641	Cotogchoa
	24	42.3	781752	9965236	Capelo

Nota. Identificación de los árboles muestreados de eucalipto en el Cantón Rumiñahui.

Tabla 4

Ubicación geográfica de árboles muestreados de pino.

Especie	Código	DAP	Coordenadas		Sector
			X	Y	
<i>Pinus sylvestris</i>	773	30.24	784448	9965319	ESPE
	602	42.98	787041	9959923	San Fernando
	847	51.24	784417	9965308	ESPE
	863	59.84	784417	9965308	ESPE
	152	23.87	783682	9964505	San Jorge
	60	34.4	783594	9964766	San Jorge

Nota. Identificación de los árboles muestreados de pino en el Cantón Rumiñahui.

Tratamiento de las muestras.

Las probetas recolectadas fueron colocadas y selladas en fundas de papel periódico, para su posterior almacenamiento en una estufa que se mantuvo a 60°C durante 24 horas. Este procedimiento es muy importante realizarlo lo más pronto posible porque de lo contrario pueden crecer hongos y manchan la madera. Para proceder con el análisis microscópico de las muestras se procedió a montarlas en tablillas de madera de 1 cm de alto, colocándolos de tal manera que las fibras estén perpendiculares a la tablilla y sea visible la sección transversal (Figura 6 y 11), la cual será pulida con lijas de diferentes granulometrías (80, 120, 320, 400, 600 grano/plg²) para resaltar y visualizar los anillos de crecimiento (Gené *et al.*, 1993; Vera *et al.*, 2011), posterior a ello se colocan las muestras en agua a ebullición continua durante 15 minutos ya que de esta manera el agua hirviendo expulsa los restos del lijado que

quedan en los poros por lo que se incrementa la visibilidad de las secciones de madera tardía y temprana (Ringuelet, 1929).

Figura 11

Tratamiento de las muestras recolectadas.



Nota. Secado de las muestras en estufa a 60°C y lijado para su posterior análisis.

Análisis microscópico de las muestras

En cuanto a la identificación de los anillos de crecimiento se realizó un análisis microscópico de rasgos cualitativos de las muestra con el microscopio óptico NIKON/SMZ745T a un aumento 4X y la cámara digital de alta resolución incorporada (Mshot MS60); en el caso de las probetas de eucalipto mediante la observación de la distribución y la dimensión de los vasos se procedió al marcaje de los límites del anillo, mientras que en las muestras de pino se delimitó los anillos por la visualización del oscurecimiento de las células de madera tardía y características de las traqueidas; para luego proceder con la captura de las fotografías de cada segmento a un aumento de 0.67X, considerando la disposición de las muestras en el sentido corteza-médula, una vez obtenidas las fotografías de los anillos de crecimiento se midieron mediante un analizador de imágenes usando el software específico (Mshot Image Analysis System) del equipo.

Figura 12

Análisis microscópico de las muestras.



Nota. Delimitación, identificación y medición de los anillos de crecimiento.

Recolección de datos meteorológicos.

La información acerca de la temperatura y precipitación fue proporcionada por parte de la estación meteorológica (C08) instalada en la Hacienda El Prado situado geográficamente en $0^{\circ}23'31.7''$ de latitud sur, $78^{\circ}24'51.3''$ de longitud oeste y 2728 msnm, en la provincia de Pichincha, Cantón Rumiñahui, Barrio San Fernando.

Figura 13

Ubicación geográfica de la estación meteorológica.



Nota. Lugar del que se obtuvieron los datos meteorológicos. Adaptado de Google Earth, 2021.

Variables medidas.

En las muestras de eucalipto se midieron los vasos para la identificación de los anillos de crecimiento y su posterior medición, así también al identificarse las secciones en la madera de las muestras de pino se midió la longitud de los anillos de crecimiento.

Capítulo IV

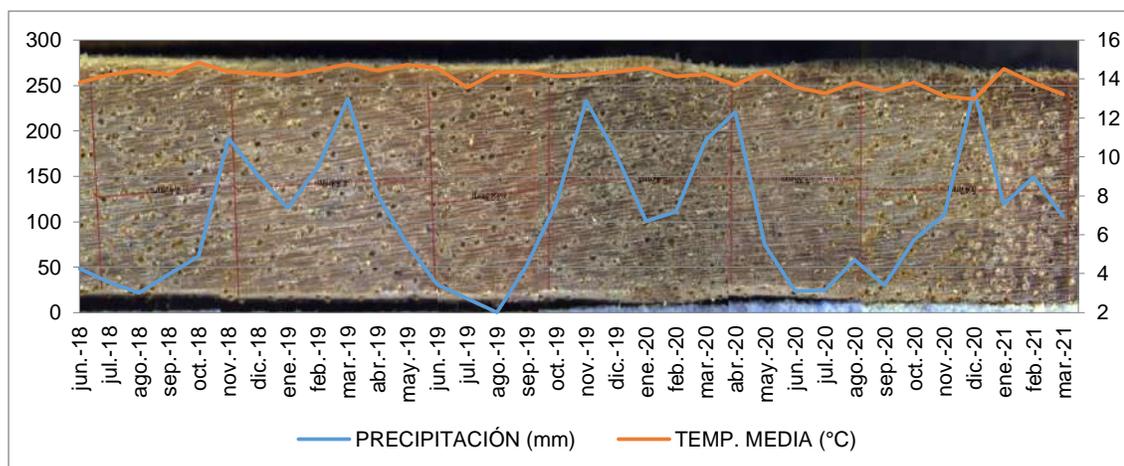
Resultados y discusión

Análisis microscópico de las especies arbóreas.

La identificación de los anillos de crecimiento por periodos se realizó con el software Mshot Image Analysis System mediante la cámara Mshot MS60 incorporada en el estereomicroscopio de marca NIKON, a través de las secciones transversales de cada una de las muestras de madera (tarugos) en sentido corteza-médula, de donde se obtuvo la longitud del anillo de los últimos seis periodos de crecimiento, tal como se aprecia en la Tabla 5.

Figura 14

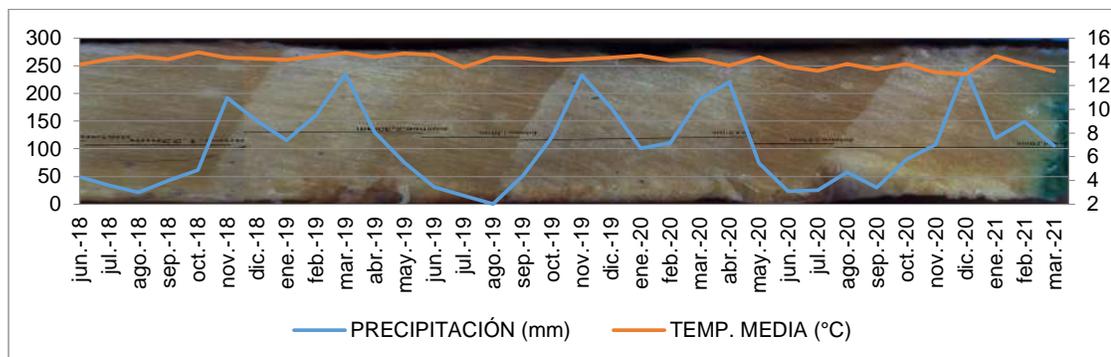
Vista microscópica de una muestra de Eucalyptus globulus.



Nota. Longitud de seis anillos periódicos de crecimiento de una muestra de eucalipto.

Figura 15

Vista microscópica de una muestra de *Pinus sylvestris*.



Nota. Longitud de seis anillos periódicos de crecimiento de una muestra de pino.

Tabla 5

Anillos periódicos de crecimiento de 27 árboles de eucalipto y 6 árboles de pino.

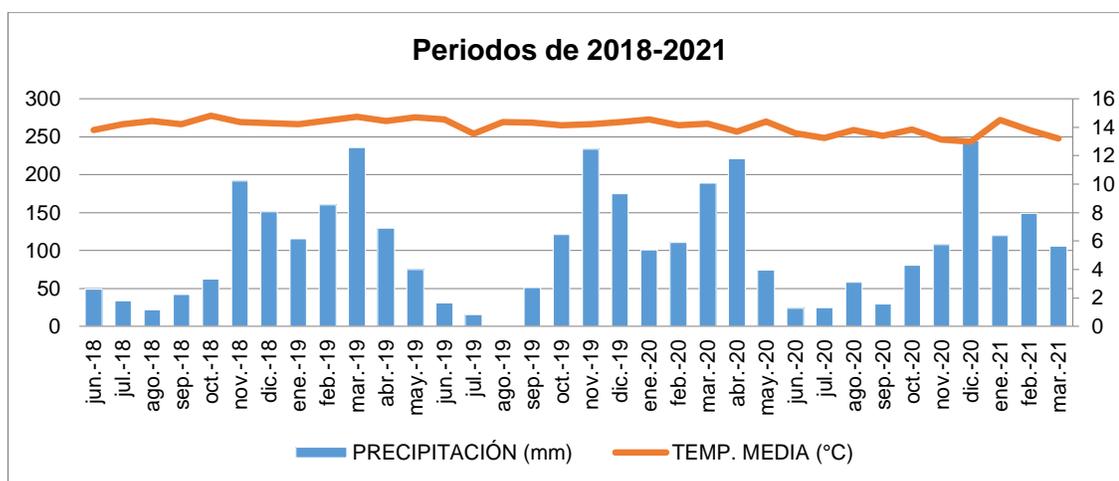
Especie	Periodos	Longitud de los anillos (mm)		
		Promedio	Mín	Máx.
<i>Eucalyptus globulus</i>	1 (I)	5.94	3.95	7.92
	2 (V)	2.61	1.18	4.6
	3 (I)	6.35	4.09	9.43
	4 (V)	2.96	1.9	5.01
	5 (I)	5.86	3.55	7.9
	6 (V)	2.95	1.05	6.10
<i>Pinus sylvestris</i>	1 (I)	4.71	3.39	6.98
	2 (V)	1.97	1.17	2.66
	3 (I)	4.6	2.55	7.35
	4 (V)	2.3	1.52	3.67
	5 (I)	4.39	2.36	7.38
	6 (V)	2.33	0.83	3.75

Obtención de datos meteorológicos

Los datos de los factores ambientales (precipitación y temperatura) fueron obtenidos de los registros de la base de datos de la estación meteorológica C08 ubicada en la facultad de Ingeniería Agropecuaria, siendo ésta la única estación identificada en la zona de estudio. Cuyos datos presentan una precipitación promedio mensual de 103.88 mm y temperatura media mensual de 14.08°C por un período de observación de 34 meses desde junio de 2018 a marzo de 2021. Los seis periodos fueron establecidos en base a los datos de precipitación debido a que se evidencia una notoria variabilidad en sus datos, lo contrario ocurre con las temperaturas, es así que se determinó como época de invierno a los meses que presentaban precipitaciones mayores a 70 mm, por consiguiente la época de verano estaría establecida en el rango de 0 a 69 mm.

Figura 16

Datos meteorológicos del sitio de estudio.



Nota. Climodiagrama, mostrando la temperatura media y precipitación mensual acumulada del Cantón Rumiñahui de los seis periodos analizados en el presente estudio.

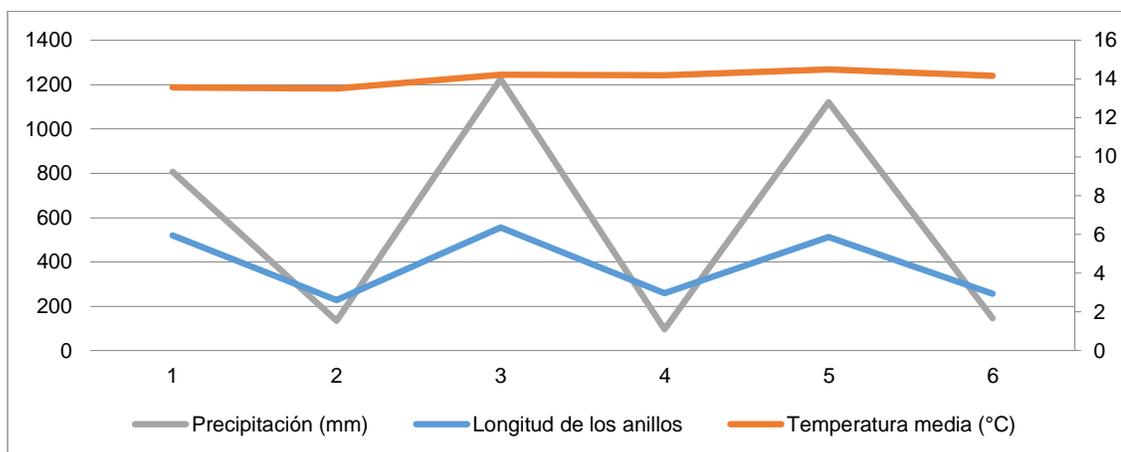
El eucalipto y el pino crecen adecuadamente en climas cálidos o tropicales, por lo cual permitieron identificar los anillos de crecimiento que están formados en la época de invierno (leño temprano) y verano (leño tardío) , siendo la época seca (periodo de 4 a 5 meses) la causa de un menor crecimiento de los anillos por la carencia de agua, mientras que la longitud de los anillos es mayor cuando los meses son relativamente húmedos en periodos de 7 u 8 meses (Tomazello, Roig, & Zevallos, 2009).

Relación entre el ancho de los anillos con la precipitación y temperatura.

En la Tabla 5, se observa que los anillos de crecimiento de las muestras de eucalipto presentaron una mayor longitud (5.94 mm) en el periodo 3 que corresponde a una época de invierno (oct. 19 – may. 20) con una precipitación acumulada de 1225,1 mm, mientras que en el periodo 2 siendo una época de verano (jun. 20 – sep. 20) se refleja en promedio un menor crecimiento de los anillos (2.61 mm) con una precipitación acumulada de 135.9 mm ; así también en el caso de los árboles de pino se refleja un mayor crecimiento de los anillos en el periodo 1 (Oct. 20 - mar.21) y periodo 3 (oct. 19– may. 20) que corresponde a épocas de invierno, mientras que en el periodo 2 (jun. 20 – sep. 20) los anillos identificados crecieron en promedio 1.97 mm debido a la época de verano que se presentaron en esos meses (Figura 17).

Figura 17

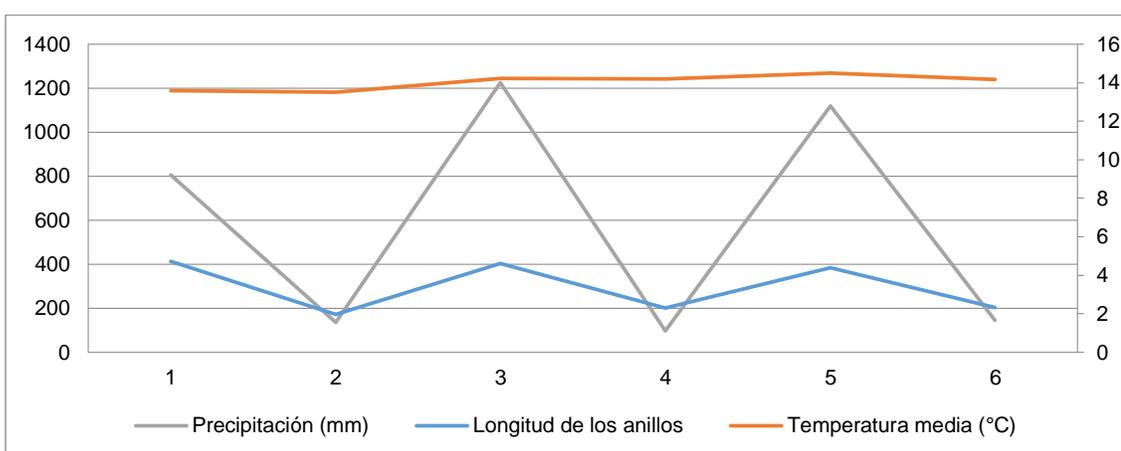
Relación de los anillos de crecimiento Eucalyptus globulus y variables meteorológicas.



Nota. Relación del promedio de la longitud de los anillos de crecimiento de Eucalipto, con la precipitación y temperatura en los 6 periodos analizados entre el año 2018 y 2021.

Figura 18

Relación de los anillos de crecimiento Pinus sylvestris y variables meteorológicas.



Nota. Relación del promedio de la longitud de los anillos de crecimiento de Pino, con la precipitación y temperatura en los 6 periodos analizados entre el año 2018 y 2021.

En el análisis de los anillos de crecimiento hubo la presencia de anillos falsos o dobles, los cuales se identificaron porque éste anillo no estuvo bien delineado ya que el madero tardío gradualmente se entremezcla con las partes claras del madero temprano (Suntaxi, 2010).

Análisis de regresión lineal

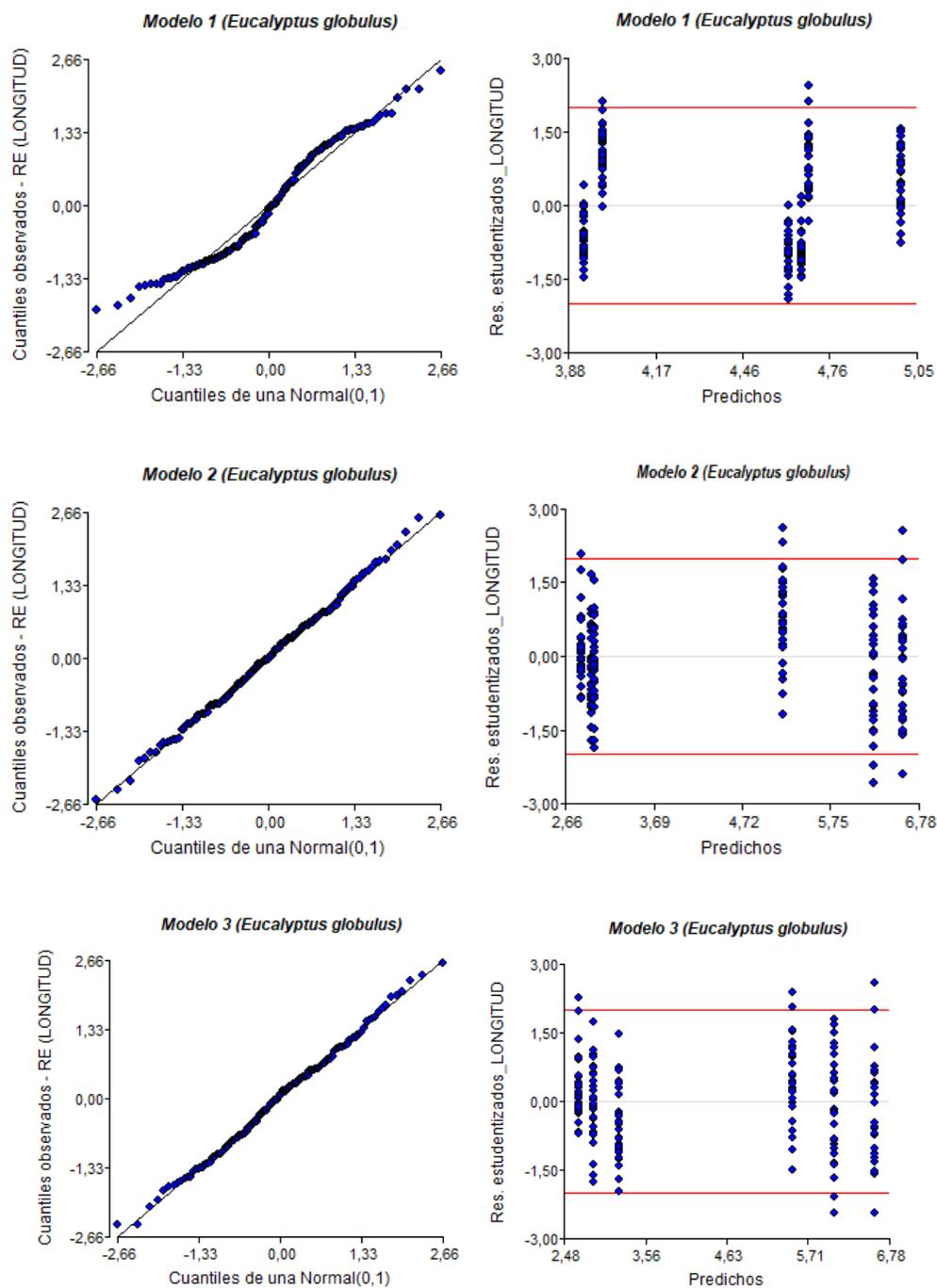
Los datos se organizaron por cada periodo de medición por especie para proceder con el análisis de regresión lineal que incluye a cada variable independiente (precipitación y temperatura) con el fin de evaluar el ajuste de las variables propuestas, una vez obtenidos los modelos se precede a la verificación de los supuestos de normalidad y homocedasticidad de cada ecuación lineal mediante los gráficos de qq-plot y de residuos estandarizados vs los valores predichos, para posteriormente seleccionar los modelos que cumpla con los parámetros establecidos.

Modelos lineales para árboles de *Eucalyptus globulus*.

Se encontraron tres modelos lineales de longitud de los anillos de crecimiento para árboles de *Eucalyptus globulus*, con los cuales se procede a la verificación de los supuestos y se observa incongruencias en el supuesto de normalidad del modelo 1 en el que se consideró la variable temperatura, mientras que el modelo 2 cumple con los supuestos de homocedasticidad y normalidad, dado esto se propuso formular un modelo lineal múltiple de la combinación de las variables independientes, ya que mediante la utilización de las funciones de varianza admite una flexibilización de los supuestos (Pinheiro & Bates, 2000). Una vez obtenido el tercer modelo se verifica que en efecto cumple con los supuestos que están siendo evaluados (Figura 19).

Figura 19

Gráficos de normalidad y homocedasticidad de los tres modelos de eucalipto



De la verificación de los modelos propuestos se obtiene que el modelo 2 y 3 cumplen con los mismos, por consiguiente se realiza la selección del modelo que mejor

relaciona las variables mediante la evaluación de los criterios: AIC, criterio de información Akaike; BIC, criterio de información Bayesiano; R², coeficiente de determinación; R² A.J., coeficiente de determinación ajustado; ECMP, error cuadrático medio de predicción, y distancia de cook. Es así que el modelo 2 cumplió con todos los criterios (Tabla 6), obtuvo un coeficiente de determinación alto y el menor nivel de significancia (R² =0,70; p<0, 0001), no siendo éste el caso del modelo 3 que unos de los parámetros (temperatura) incluidos presentó el incumplimiento del criterio Cp-Mallows con un valor de 6.66, además el error relativo de la ecuación fue de 32%, lo cual no es admisible para la selección de éste modelo.

Tabla 6

Resumen de los modelos lineales obtenidos para estimar la longitud de los anillos de crecimiento en árboles de Eucalyptus globulus.

	Modelo	R²	p-Valor	ECMP	AIC	BIC
1.	L = -10, 60+1, 07T	0, 04	0, 0096	3,61	667, 68	676, 95
2.	L = 2, 52+0.0033P	0, 70	<0, 0001	1,13	479, 96	489, 22
3	L = 10, 53-0.58T+0.0035P	0,71	0, 0186	1,12	476, 30	488, 65
			<0, 0001			

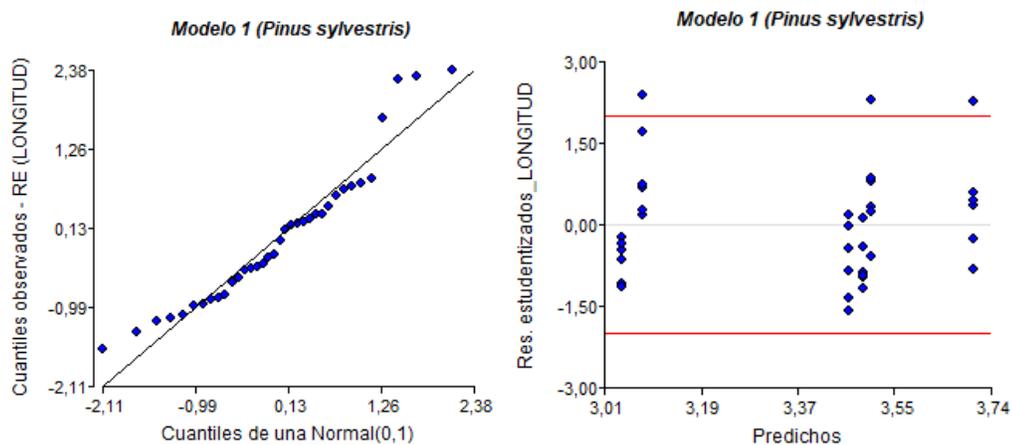
Nota. L: longitud del anillo de crecimiento (mm); T: temperatura media (°C); P: precipitación (mm); R² AJ.: coeficiente de determinación ajustado; ECMP: error cuadrático medio de predicción; AIC: Criterio de información Akaike; BIC: criterio de información Bayesiano.

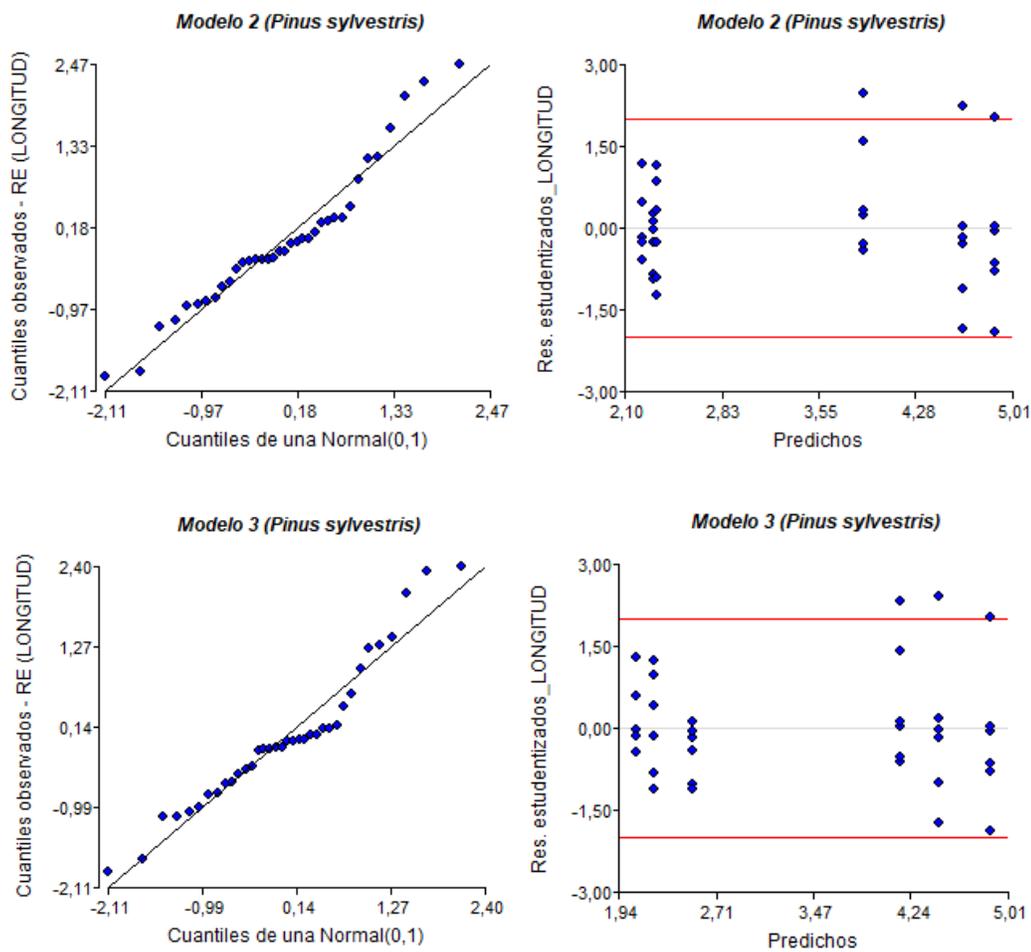
Modelos lineales para árboles de *Pinus sylvestris*.

Se encontraron tres modelos lineales de longitud de los anillos de crecimiento para árboles de *Pinus sylvestris*, con los cuales se procede a la verificación de los supuestos y se observa incongruencias en el supuesto de normalidad del modelo 1 en el que se consideró la variable temperatura, mientras que el modelo 2 cumple con los supuestos de homocedasticidad y normalidad, dado esto se propuso formular un modelo lineal múltiple de la combinación de las variables independientes, ya que mediante la utilización de las funciones de varianza admite una flexibilización de los supuestos (Pinheiro & Bates, 2000).. Una vez obtenido el tercer modelo se observa que no cumple con los supuestos que están siendo evaluados (Figura 20).

Figura 20

Graficos de normalidad y homocedasticidad de los modelos de pino.





Por consiguiente para ser seleccionado se verifica que el modelo 2 cumple con los criterios antes mencionados, y efectivamente presenta un coeficiente de determinación del 45% y todos los parámetros fueron significativos a un nivel de significación del 5% (Tabla 7).

Tabla 7

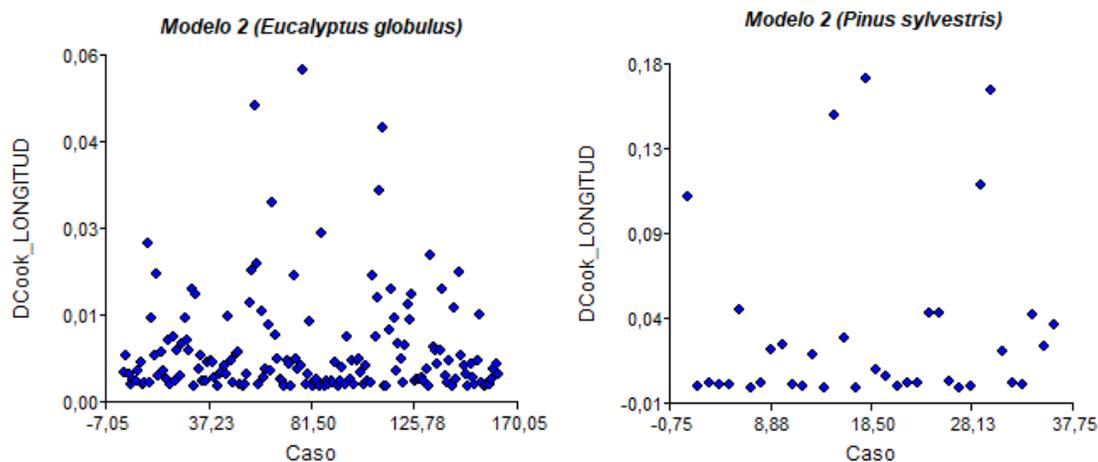
Resumen de los modelos lineales obtenidos para estimar la longitud de los anillos de crecimiento en árboles de *Pinus sylvestris*.

	Modelo	R ²	p-Valor	ECMP	AIC	BIC
1.	$L = -6 + 0.67 T$	0,02	0,4022	3,25	144,3	149,05
2.	$L = 2 + 0.0023 P$	0,45	<0,0001	1,81	123,29	128,04
3.	$L = 9.08 - 0.51 T + 0.0025 P$	0,46	0,4260	1,94	124,59	130,92
			<0,0001			

Nota. L: longitud del anillo de crecimiento (mm); T: temperatura media (°C); P: precipitación (mm); R²: coeficiente de determinación; ECMP: error cuadrático medio de predicción; AIC: Criterio de información Akaike; BIC: criterio de información Bayesiano.

Figura 21

Distancia de cook de los modelos seleccionados para árboles de eucalipto y pino respectivamente.



De los modelos que finalmente cumplieron con los supuestos y los criterios de evaluación, se graficó la distancia de cook de los valores de longitud en las dos especies, esto con el fin de validar las ecuaciones. De ésta manera se observa que para el modelo 2 de regresión lineal de eucalipto los valores de distancia no superan el 1 siendo la distancia que mayor valor presentaba con un 0.04, de igual manera el modelo 2 de pino en el cual el mayor valor difería con una distancia de 0.17, por lo que se considera que las ecuaciones antes mencionadas cumplen con todos los criterios de evaluación y quedan validadas para la estimación del crecimiento de los anillos de crecimiento en relación a la precipitación.

Discusión

Anillos de crecimiento de las especies arbóreas.

El crecimiento de los anillos está influenciado por factores climáticos como la precipitación, temperatura, radiación solar, entre otros que interactúan entre sí, además el crecimiento se puede limitar debido a uno de dichos factores (Vera *et al.*, 2011). El incremento radial de eucalipto y pino refleja anatómicamente secciones de madera temprana y tardía, de igual manera la presencia de irregularidades en su estructura como por ejemplo los anillos dobles o falsos que se podría relacionar con condiciones meteorológicas, en este caso en la época invernal por la mayor disponibilidad de agua favorece al crecimiento (López, y otros, 2018) de las especies arbóreas estudiadas, mientras que en el periodo comprendido entre los meses de junio y septiembre presenta una disminución en cuanto a las precipitaciones, por lo que el crecimiento se ve interrumpido y tanto las traqueidas como los vasos tienden a ser de menor tamaño, de tal manera la longitud de los anillos en ese periodo estuvo entre 1.18 y 5.01 mm en árboles de eucalipto y de 0.83 a 3.75 mm en pino.

De acuerdo con los resultados de esta investigación, las especies en estudio forman anillos de crecimiento periódicos visibles; sin embargo, en algunas muestras los anillos crecieron muy pequeños y no se lograban identificar con facilidad, encontrándose múltiples anillos, lo que podría estar asociado a la competencia entre especies, en cuanto a factores como: luz, agua y nutrientes (Worbes, 2002) ya que la variación de algunos de estos factores limita el crecimiento de los árboles (Mendoza, 2015) y dicha competencia entre especies es posible debido a que en los sitios de estudio donde se muestrearon los árboles se observó la presencia de maleza y otras especies vegetales.

Para la identificación de los anillos verdaderos en *Eucalyptus globulus*, el estudio anatómico de la madera fue clave. Los anillos verdaderos en los individuos de pino de ésta investigación se caracterizaron por la presencia de finas líneas continuas bien definidas que forma el límite del anillo de crecimiento vistas a nivel microscópico (Figura 14 y 15), lo que coincide con el estudio de (Gebrekirstos, Mitlöhner, Teketay, & Worbes, 2008). En el caso del eucalipto los vasos mostraron un diámetro radial de tendencia difusa, la variación del diámetro y número de vasos fue diferente en los distintos segmentos de madera, ya que los vasos de mayor tamaño se agrupan en la madera temprana y en la madera tardía hay pocos y pequeños vasos (Monteoliva, Barotto, & Fernandez, 2015).

Relación del crecimiento y la temperatura

Según los resultados obtenidos en esta investigación, la temperatura media no presenta relación con la longitud de los anillos de crecimiento periódicos de los árboles de eucalipto y pino, por lo que esta variable no fue considerada en la ecuación final de cada especie estudiada. Esto debido a la poca variabilidad de la temperatura media en

los periodos marcados, ya que la diferencia entre el mes más caliente (14.83°C) y el más frío (12.97°C) es solamente de 1.86°C.

Relación del crecimiento y la precipitación

Los análisis de regresión entre la longitud de los anillos y los datos climáticos de la precipitación del Cantón Rumiñahui (2018-2020) indican que la precipitación presenta una relación directamente proporcional con el crecimiento ya que los meses del periodo de invierno tuvieron precipitaciones acumuladas entre 806.68 a 1225.1 mm, mientras que en los periodos que menos precipitaciones acumuladas tuvieron estuvo en el rango de 97.79 y 146.2 mm.

Modelos de ecuación para árboles de *Eucalyptus globulus* y *Pinus sylvestris*

Los resultados resaltan lo importante que es la precipitación para las especies arbóreas estudiadas, ya que al presentarse periodos con precipitaciones mensuales entre 70 a 245 mm ha sido determinante para el desarrollo y crecimiento de los anillos. Por lo que mediante un ANOVA por especie (Tabla 8 y 9) el efecto de esta variable se mostró significativa a un nivel del 5%, mientras que la variable temperatura media no resultó significativa, por ende se seleccionó el modelo de regresión simple que incluye la precipitación.

Los modelos de regresión lineal ajustados se muestran en la Tabla 7 con un R^2 bajo para la ecuación del pino, lo que concuerda con los estudios de (Vericat, Piqué, & Trasobares, 2013) que obtuvo como resultado un modelo de regresión con un $R^2=0.31$ y el de (López, *et al.*, 2018) que obtuvo una ecuación que incluye a este factor climático con un $R^2=0.49$, concluyendo así que la precipitación representa un factor clave para el desarrollo de la especie (Rigling, Waldner, Forster, & Bräker, 2011). Por otro lado en el caso del eucalipto el coeficiente del modelo seleccionado es mayor ($R^2=0.70$), éste resultado coincide con el estudio de (Yáñez, Cantú, González, & Uvalle, 2014) que

trabajó con tres especies de eucalipto y resultado de la regresión lineal que comprometía la precipitación y el crecimiento, se representan con rangos del coeficiente de determinación entre 40 al 82% y reconoce que el balance hídrico disponible es de suma importancia para el desarrollo y crecimiento de esta especie.

Ares, Zalba, & Peinemann (1992) mencionan que en este tipo de modelos aun utilizando otros factores climáticos como variables, raramente se logra explicar con un coeficiente de determinación de valores superiores al 50 y 60%.

Tabla 8

Estimación de los parámetros del modelo 2 de Eucalyptus globulus y su significancia.

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	410, 82	1	410, 82	371, 64	<0, 0001
Precipitación	410, 82	1	410, 82	371, 64	<0, 0001
Error	176, 87	160	1, 11		
Total	587, 69	161			

Nota. F.V.: factores de variación; SC: suma de cuadrados; gl: grados de libertad; CM: cuadrado medio; F: F-fisher.

Tabla 9

Estimación de los parámetros del modelo 2 de Pinus sylvestris y su significancia.

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	45, 51	1	45, 51	28, 23	<0, 0001
Precipitación	45, 51	1	45, 51	28, 23	<0, 0001
Error	54, 80	34	1, 61		
Total	100, 31	35			

Nota. F.V.: factores de variación; SC: suma de cuadrados; gl: grados de libertad; CM: cuadrado medio; F: F-fisher.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

La precipitación presentó un efecto significativo a un nivel de significancia del 5% sobre la longitud de los anillos de crecimiento de *Eucalyptus globulus* y *Pinus sylvestris*, mientras que la temperatura media de los periodos climáticos analizados no influyó significativamente en el crecimiento de los anillos ya que la variabilidad de los datos climáticos entre el mes más caliente (14.83°C) y el más frío (12.97°C) es solamente de 1.86°C.

Los anillos de crecimiento de las muestras de eucalipto y pino presentaron una relación significativa con la precipitación, ya que los meses del periodo de invierno tuvieron precipitaciones acumuladas entre 806.68 a 1225.1 mm, mientras que en los periodos que menos precipitaciones acumuladas tuvieron estuvo en el rango de 97.79 a 146.2 mm, y esto no afectó significativamente en el crecimiento de las especies arbóreas estudiadas.

Se desarrollaron modelos de regresión lineal para estimar el valor de la longitud de los anillos de crecimiento, de lo cual resultó que la longitud de los anillos y la precipitación se relaciona positivamente mediante los siguientes modelos matemáticos:

$L_{(\text{eucalipto})} = 2,52 + 0.0033P$ ($R^2: 0.70$; $p < 0, 0001$) y $L_{(\text{pino})} = 2 + 0.0023 P$ ($R^2: 0.45$; $p < 0, 0001$).

Recomendaciones

Las investigaciones dendrocronológicas de las especies forestales existentes en Ecuador aún son escasas, y para el análisis de los anillos de crecimiento existen algunas especies que demuestran un gran potencial para su aplicación. Aunque las especies muestran irregularidades en los anillos, pueden ser aplicados en estudios de manejo forestal basándose en las condiciones climáticas de los bosques ecuatorianos; por lo que recomienda considerar este tipo de investigaciones para conocer más sobre la ocurrencia de los anillos en la diversidad de especies arbóreas existentes en nuestro país.

Una variabilidad del crecimiento entre individuos de cierta población arbórea puede ser relativamente alta y con la obtención de curvas individuales de crecimiento a partir de la medición de los anillos puede ser utilizada para estimar las tasas de crecimiento usando las ecuaciones de incremento de las diferentes clases de tamaño de una población, lo que revela la importancia de esta información para su evaluación en prácticas de manejo forestal.

Bibliografía

- Amaya, L. (2018). *Criterio de Akaike para la selección de modelos con transformaciones*. [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio de la Universidad Santo Tomás.
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/12544/2018leonelamaya.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Amoroso, M., & Suárez, L. (2015). La aplicación del análisis de los anillos de crecimiento a interrogantes ecológicos: Un breve repaso de la Dendroecología en Hispanoamérica. *Revista científica de ecología y medio ambiente*, 24(2), 1-6.
doi: <https://doi.org/10.7818/ECOS.2015.24-2.01>
- Ares, A., Zalba, P., & Peinemann, N. (1992). Relaciones entre factores de sitio y el crecimiento de coníferas introducidas en Ventanía (Provincia de Buenos Aires), Argentina. *Revista de la facultad de agronomía*, 66, 37-48.
<http://revista.agro.unlp.edu.ar/index.php/revagro/article/view/1671>
- Arias, V. (02 de septiembre de 2016). *Los árboles patrimoniales de Quito*. Fondo ambiental Quito.
http://fondoambientalquito.gob.ec/sites/default/files/documentacion-proyectos/2016-09/Arboles_patrimonio_quito%20-%20libro.pdf
- Baas, P., & Magendans, J. (1999). Review and debate: Hardwood fibre pits - Again! *Revista de la Asociación Internacional de Anatomistas de la Madera.*, 20(4), 456-459. https://brill.com/downloadpdf/journals/iawa/20/4/article-p456_14.pdf
- Bahador, N., Namdari, F., & Reza, H. (2017). Feature extraction of tree-related high impedance faults as a source of electromagnetic interference around medium

voltage power lines' Corridors. *Progress In Electromagnetics Research*, 75, 13-26. doi: 10.2528/PIERB17022802

Bárceñas, G., Ángeles, G., Ronzón, P., & Ortega, F. (2005). Structure-properties relationship of Mexican hardwoods. *Universidad y ciencia*, 21(42), 35-45.
<https://www.redalyc.org/pdf/154/15404201.pdf>

Beltrán, L. (2011). *Caracterización anatómica de anillos de crecimiento de especies forestales tropicales maderables con valor comercial para dendrocronología - Selva central*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro de Perú].
Repositorio de la Universidad Nacional del Centro de Perú
<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/2595/Beltran%20Gutierrez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Beltrán, L., & Valencia, G. (2013). Anatomía de anillos de crecimiento de 80 especies arbóreas potenciales para estudios dendrocronológicos en la Selva Central, Perú. *Revista Biología Tropical*, 61(3), 1025-1037. doi: 10.15517/rbt.v61i3.11778

Brenes, O., Reyes, D., & Moya, R. (2012). Estudio de la anatomía del xilema secundario de seis especies del género Citrus cultivadas en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9(23), 35-45. doi: <https://doi.org/10.18845/rfmk.v9i23.489>

Brienen, R., & Zuidema, P. (2003). Informe técnico de *anillos de crecimiento de árboles maderables en Bolivia: su potencial para el manejo de bosques y una guía metodológica*. PROMAB / IGEMA (Nro. 7). Gobierno de Bolivia.

Brienen, R., Schöngart, J., & Zuidema, P. (2016). Tree Rings in the Tropics: Insights into the Ecology and Climate Sensitivity of Tropical Trees. *Tropical Tree Physiology*, 6(3), 439-461. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-27422-5_20

- Brookhouse, M., & Brack, C. (2006). Crossdating and analysis of eucalypt tree rings exhibiting terminal and reverse latewood. *Trees*, 20(6), 767-781. doi: 10.1007/s00468-006-0092-0
- Bulfe, N., & Fernández, M. (2017). Anatomía funcional del leño juvenil de *Pinus taeda* L: variabilidad genotípica y plasticidad anatómica ante déficit hídrico. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 116(2), 225-240.
<https://revistas.unlp.edu.ar/revagro/article/view/6177>
- Cahuana, L., & Condori, T. (2017). *“Efectividad inhibitoria in vitro del extracto etanólico del Eucalyptus globulus sobre cepas de Streptococcus mutans y Candida albicans Puno 2017.”* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio de la Universidad Nacional del Altiplano.
http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4181/Cahuana_Pineda_Lizbeth_Vanessa_Condori_Cueva_Tania_Vaneza.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Camarero, J., Guerrero, J., & Gutiérrez, E. (1997). Formación del anillo de crecimiento y clima: un ejemplo de modelos para *Pinus uncinata* Ram. y *Pinus sylvestris* en los pirineos centrales. *Ecología*, 1(11), 235-254.
<http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/49690/1/145421.pdf>
- Carlquist, S. (2012). How wood evolves: a new synthesis. *Botany*, 90(10), 901-940. do: <https://doi.org/10.1139/b2012-048>
- Castañeda, C. (2007). *Modelo paleoclimático basado en los caracteres anatómicos de la madera de las rocas miocénicas de las regiones de Panotla, Tlaxcala y Chajul, Chiapas.* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio de la Universidad Nacional Autónoma de México.
<http://132.248.9.195/pd2008/0626915/0626915.pdf>

- Déjardin, A., Laurans, F., Arnaud, D., Breton, C., Pilate, G., & Leplé, J. (2010). Wood formation in Angiosperms. *Biologías Comptes Rendus*, 4(333), 325-334. doi: <https://doi.org/10.1016/j.crv.2010.01.010>
- Díaz, A. (2010). *Medición de árboles y masas forestales*. Mundi Prensa. <https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484763864/medicion-de-arboles-y-masas-forestales>
- Díaz, J., & Martínez, O. (2004). Una modificación a la distancia de cook. *Acta Universitaria*, 14(3), 21-31. doi: 10.15174/au.2004.223
- Diodato, M., & Gregorio, S. D. (2015). *Identificación microscópica, una herramienta fundamental en la investigación de estructuras históricas de madera: casos prácticos*. [Tesis de posgrado, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica de Valencia: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/84776/Arq_19.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Di Rienzo, J., Balzarini, M., González, L., Casanoves, F., & Tablada, M. (2008). *Manual del usuario InfoStat*. Universidad Nacional de Córdoba. http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/10346/Manual_INFOSTAT_2008.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Domínguez, J. (2014). *Evaluación de la influencia de la precipitación y temperatura en el crecimiento de Pinus patula y Pinus muricata en plantaciones de la Granja Porcon (Perú) a través de técnicas dendrocronológicas*. [Tesis de pregrado, Universidad Agraria la Molina]. Repositorio de la Universidad Agraria la Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/882/T007174.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Earth, G. (2020). Obtenido de <https://earth.google.com/web/@-0.38486871,-78.41647905,2713.74260299a,1018.86455381d,35y,-146.12856974h,44.99976067t,360r/data=CiCaVRJPCiUweDkxZDViYjVmY2M1O TliNWQ6MHg3MTBkOGY0OWE0ZGJkYzRIKiZJbnN0aXR1dG8gQWdyb3BIY3VhcmlvCIN1cGVyaW9yIEFuZGlubxgBIAE>
- Ecuador Forestal. (2010). *Ficha técnica: Pino. (Nro. 11). Organización Ecuador Forestal.*
- Ecuador Forestal. (2013). *Ficha técnica: Eucalipto (Nro. 10). Organización Ecuador Forestal.*
- Gebrekirostos, A., Mitlöhner, R., Teketay, D., & Worbes, M. (2008). Climate–growth relationships of the dominant tree species from semi-arid savanna woodland in Ethiopia. *Trees*, 22(5), 631–641. doi: 10.1007/s00468-008-0221-z
- Gené, C., Espelta, J., Garcia, M., & Retana, J. (1993). Identificación de los anillos anuales de crecimiento de la encina (*Quercus ilex* L.). *Orsis*, 8, 127-139. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5478967>
- González, A. (2019). *Complemento teórico de la morfología de plantas vasculares: estructura secundaria del tallo.* Universidad Nacional del Nordeste <http://www.biologia.edu.ar/botanica/print/Hipertextos-2019.pdf>
- GoogleEarth. (2021). Obtenido de https://earth.google.com/web/search/IASA,+Sangolqu%c3%ad/@-0.39103982,-78.41458588,2743.90109235a,506.0907624d,35y,-52.51090478h,44.99650165t,0r/data=CnsaURJLCiUweDkxZDViYmJkODY0NDg1MWI6MHhjNmM4YjJiYjZjMDI2OTY5GT2gx4OIr9i_lcJdBxinmIPAKhBJQVNBLCBTYW5nb2xxd

- Gutierrez, E. (1990). Dendroecología de *Pinus sylvestris* L. en Cataluña. *Revista Orsis*, 5(8), 23-41.
<https://www.raco.cat/index.php/Orsis/article/download/24173/89375/0>
- Gutiérrez, E. (2009). *La dendrocronología: métodos y aplicaciones*. ResearchGate:
https://www.researchgate.net/publication/286242684_La_dendrocronologia_metodos_y_aplicaciones
- Gutiérrez, G., & Ricker, M. (2014). *Manual para tomar virutas de madera con el barreno de Pressler en el Inventario Nacional Forestal y de Suelos*. ResearchGate:
https://www.researchgate.net/publication/261876928_Manual_para_tomar_virutas_de_madera_con_el_barreno_de_Pressler_en_el_Inventario_Nacional_Forestal_y_de_Suelos
- Gutiérrez, G., & Ricker, M. (2019). Influencia del clima en el crecimiento radial en cuatro especies de coníferas en la sierra de San Antonio Peña Nevada (Nuevo León, México). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90(1), 1-14.
<http://revista.ib.unam.mx/index.php/bio/article/view/2676>
- Herendeen, P., Wheeler, E., & Baas, P. (1999). Angiosperm wood evolution and the potential contribution of paleontological data. *The botanical review*, 65(3), 278-300. <https://www.jstor.org/stable/4354349>
- Hudson, P., Razanatsoa, J., & Feild, T. (2010). Early vessel evolution and the diversification of wood function: Insights from Malagasy Canellales. *Revista estadounidense de botánica*, 97(1), 80-93. doi: 10.3732/ajb.0900130
- Interián, V., Vaquera, H., Valdez, J., García, E., Romero, A., & Borja, A. (2014). Influence of morphological and environmental factors on diameter growth of

- Caesalpinia gaumeri Greenm in a tropical deciduous forest in Mexico. *Revista Chapingo*, 20(3), 36-51. doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.05.018>
- Jerome, M., Bùrquez, M., Chidumayo, E., Colgan, M., Delitti, W., & Vieilledent, G. (2015). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Revista Global Change Biology*, 20(10), 3177–3190. doi: 10.1111/gcb.12629
- Juárez, A., & Ardisson, P. (2005). *Anillos de crecimiento: fuente natural de información biológica y ambiental*. ResearchGate.
https://www.researchgate.net/publication/231205757_ANILLOS_DE_CRECIMIENTO_FUENTE_NATURALDE_INFORMACION_BIOLOGICA_Y_AMBIENTAL
- Leal, S., Pereira, H., Grabner, M., & Wimmer, R. (2014). The ring structure and climatic effects in young *Eucalyptus globulus* Labill. grown at two Portuguese sites: preliminary results. *Dendrocinología*, 21(3), 139-146. doi: 10.1078/1125.7865.00046
- León, W. (2015). Wood anatomy of 87 species from Ticoporo Forest Reserve (Barinas, Venezuela). *Pittieria*, 39(1), 107-169.
- López, J., Valdez, J., & Terrazas, T. (2006). Growth rings and their periodicity in three tropical species. *Red de Revistas Científicas de América*, 4(1), 533-544.
- López, M., Cerano, J., Valencia, S., Cornejo, E., Villanueva, J., & Esquivel, R. C. (2018). Growth response of *Pinus oocarpa* to climatic variables in Chiapas, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1580-1596. doi: <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i4.32663>.

- Melandri, J., Dezzeo, N., & Espinoza, N. (2007). Growth ring periodicity in *Pinus caribaea* var. *hondurensis* from a Mérida State plantation, Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 1(51), 57-66.
<http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/24466/articulo6.pdf;jsessionid=14AE15B2270CA8DA2DE07B31B88A0AAB?sequence=2>
- Mendivelso, H., Camarero, J., & Gutiérrez, E. (2016). Dendrocronología en bosques neotropicales secos : métodos, avances y aplicaciones. *Revista científica de ecología y medio ambiente.*, 25(2), 66-75. doi:
<https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-2.08>
- Mendoza, M. (2015). *Incremento diamétrico de cinco especies arbóreas con potencial maderable del bosque mesófilo de montaña en el centro de Veracruz*. [Tesis de pregrado, Universidad de Veracruzana]. Repositorio de la Universidad de Veracruzana. <https://www.uv.mx/mcef/files/2018/04/Tesis.pdf>
- Meyen, S. (1984). Basic features of gymnosperm systematics and phylogeny as evidenced by the fossil record. *The Botanical Review*, 50(1), 1-111.
- Moglia, J., Giménez, A., González, D., & Geréz, R. (2010). Growth rings characterization and basic density relationship in *Eucalyptus camaldulensis* wood. *Revista de ciencias forestales-Quebracho*, 18(1.2), 47-57.
- Monteoliva, S., Barotto, A., & Fernandez, M. (2015). Anatomía y densidad de la madera en *Eucalyptus*: variación interespecífica e implicancia en la resistencia al estrés abiótico. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 114(2), 209-217.
- Montesinos, A. (2011). *Estudio del AIC y BIC en la selección de modelos de vida con datos censurados*. CIMAT.

<https://probayestadistica.cimat.mx/sites/default/files/PDFs/TE414MontesinosLopez.pdf>

Moreira, X., Ramos, M., Sampedro, L., Zas, R., & Solla, A. (2008). Densidad y área de los canales resiníferos de pinus pinaster ante tratamientos de fertilización, y su relación con la defensa ante hylobius abietis. *Ciencias forestales*, 26(1), 45-49.

Mostacedo, B., & Fredericksen, T. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. Biodiversidad de Nicaragua. <http://www.bio-nica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologiavegetal.pdf>

Oleas, N., Ríos, B., Peña, P., & Bustamante, M. (2016). *Plantas de las quebradas de Quito: Guía Práctica de Identificación de Plantas de Ribera*. Fondo para la protección del agua.

<http://www.fonag.org.ec/web/imagenes/paginas/fondoeditorial/15.pdf>

Olmedo, J. (2012). Bosques relictos de pinus sylvestris~ I. en la sierra de baza (provincia de Granada, España): análisis y cartografía del estado actual de la vegetacion. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 50(1), 37-61.

Ortega, E. (2013). *Paleoxilología de gimnospermas en el jurásico medio, formación tecomazúchil, de la localidad de Partideño, Oaxaca*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio de la Universidad Nacional Autónoma de México. https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_ortega_chavez.pdf

Pichincha, G. d. (29 de agosto de 2017). Caracterización del Cantón Rumiñahui. Gobierno de Pichincha. <https://www.pichincha.gob.ec/cantones/ruminahui>

Pinheiro, J., & Bates, D. (2000). *A collection of self-starting nonlinear regression models*. New York: Springer.

Portal, M. (2019). *Procesamiento digital de imágenes aplicado al análisis dendrocronológico en algarrobo*. [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. Repositorio de la Universidad de Piura.
https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4118/IME_260.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Posada, S., & Rosero, R. (2007). Comparison of mathematical models: an application for evaluation of animal food. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias.*, 20(2), 141-148. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0120-06902007000200006&lng=es&nrm=isso&tlng=en

Postillón, E. (2011). *Anatomía y propiedades físicas de Prosopis pallida, K. Tumbes*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del centro de Perú]. Repositorio de la Universidad Nacional del centro de Perú.
<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/2573/Postillon%20Trillo%20.pdf?sequence=1>

Purata, S., Gerez, P., & Peters, C. (2016). *Manual para el monitoreo comunitario del crecimiento de los árboles*. People and Plants International.
<http://www.monitoreoforestal.gob.mx/repositorioidigital/files/original/12b4be3e1c1b2299fdedd2f285a0b2f7.pdf>

Reyes, L., Vargas, J., & Honorato, A. A. (2020). Radial growth and stem tapering in thinned plantations of *Pinus patula* schiede ex schlechtendal & chamisso. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(2), 205-214. doi:
<https://doi.org/10.35196/rfm.2020.2.205> .

- Rigling, A., Waldner, P., Forster, T., & Bräker, O. (2011). Ecological interpretation of tree-ring width and intra-annual density fluctuations in *Pinus sylvestris* on dry sites in the central Alps and Siberia. *Canadian Journal of Forest Research*, 31(1), 18-31. doi: <https://doi.org/10.1139/x00-126>
- Ringuelet, E. (1929). Nota de técnica histológica relativa al ablandamiento y examen de maderas. *Revista de la Facultad de ciencias agrarias y forestales de la UNLP*, 19(1), 1-15.
<http://revista.agro.unlp.edu.ar/index.php/revagro/article/view/1621/1336>
- Rodríguez, A., & García, M. (2017). *Estadística II*. Universidad Nacional Autónoma de México.
http://fcasua.contad.unam.mx/apuntes/interiores/docs/20172/contaduria/3/apunte/LC_1353_03106_A_estadisticall.pdf
- Rodríguez, F. d., Pompa, M., & Goche, C. M. (2014). Modelos dendroclimáticos para crecimiento radial forestal. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5(26), 30-37.
- Rojas, M., Alvarez, C., & Hadad, M. (2002). *Anomalías anatómicas en anillos de crecimiento anuales de Austrocedrus chilensis (D. Don) Pic.-Serm. et Bizzarri en el norte de su rango de distribución*. Recuperado el 10 de febrero de 2020, de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-66432017000200269
- Rozas, V., Quesne, C. L., & Rojas, M. (2016). Climatic factors controlling radial growth and formation of wood density fluctuations in *Austrocedrus chilensis* in Valdivia, Chile. *Revista Bosque*, 37(3), 56-63. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002016000300003>

- Sano, Y., Morris, H., Shimada, H., Ronse, L., & Jansen, S. (2011). Anatomical features. *Annals of botany*, 107(6), 953–964.
- Solisor, L. (2021). *Efecto del biochar del eucalipto (Eucalyptus globulus) en la mejora de la calidad de suelo y las características morfológicas del rabanito*. Obtenido de <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/2870>
- Suntaxi, E. (2010). *Realizar una aproximación dendroclimatológica, en un bosque seco utilizando la especie Guasmo (Guazuma ulmifolia) y su relación con la Precipitación y Temperatura en el Período 1974-2007*. Recuperado el 05 de enero de 2020, de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/90666/D-79136.pdf>
- Tomazello, M., Roig, F., & Zevallos, P. (2009). Dendrochronology and tropical dendroecology: history and successful experiences in Latin American countries. *Ecología en Bolivia*, 44(2), 73-82.
- Torres, V. (2014). *Propuesta estratégica para posicionar internacionalmente al cantón Rumiñahui como destino turístico*. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/11921>
- Vera, A., Ortega, R., Pérez, P., & Rosero, J. (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). *La Molina*, 5-11. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/282339902_Avances_en_la_caracterizacion_e_identificacion_anatomica_de_los_anillos_de_crecimiento_de_la_especie_Junglans_neotropica_Diels_Nogal_para_estudios_dentrocronologicos_en_el_fundo_La_Genova_Junin_Peru

- Vericat, P., Piqué, M., & Trasobares, A. (2013). Factores ambientales que afectan al crecimiento de las cuatro principales especies de coníferas en Cataluña. *Ciencias forestales*, 14(2), 1-13.
- Villalba, R., Villagra, P., & Boninsegna, J. (2000). Dendrocinology and dendroclimaology of prosopis species from Argentina. *Multequina*, 9(2), 1-18.
Obtenido de
https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal//multequina/indice/pdf/09_02/9_2_1.pdf
- Worbes, M. (2002). One hundred years of tree-ring research in the tropics - a brief history and an outlook to future challenges. *Dendrochronologia*, 20(2), 217-231.
doi:<https://doi.org/10.1078/1125-7865-00018>
- Yáñez, M., Cantú, I., González, H., & Uvalle, J. (2014). Redistribution of Precipitation in Three Native Brush Species and a Eucalyptus Plantings in Northeastern Mexico. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(1), 3-14.
- Yépez, A., & Silveira, M. (2011). *Plant responses to meteorological events related to climate change - review*. Recuperado el 03 de febrero de 2020, de Colombia Forestal: <https://www.redalyc.org/pdf/4239/423939616005.pdf>
- Yner, F. (2014). *Dasometría: Apuntes de clase y guía de actividades prácticas*. Obtenido de
https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/76185/mod_folder/content/0/DASOMETRIA_Apuntes_de_Clase_y_Guia_de_Ac.pdf?forcedownload=1

<https://drive.google.com/drive/folders/1-lFhirRzc681eAqSyFEU4fG4cEKKh3H?usp=sharing>