UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

TEMA:

RECONSTRUCCIÓN HISTÓRICA CLIMÁTICA A TRAVÉS DE LOS ANILLOS DE LOS ÁRBOLES CON ÉNFASIS EN LA MEJORA DE LA NORMATIVA AMBIENTAL EN EL CANTÓN MACARÁ.

Trabajo de investigación previo a la obtención del título de Magíster en Gestión Ambiental

Autor:
Peña Moreno Kelly Yohanna
Tutor:
Santos Fabián Ph.D

QUITO – ECUADOR

2021

AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Kelly Yohanna Peña Moreno, declaro ser autor del Trabajo de Investigación con el nombre "**RECONSTRUCCIÓN HISTÓRICA CLIMÁTICA A TRAVÉS DE LOS ANILLOS DE LOS ÁRBOLES CON ÉNFASIS EN LA MEJORA DE LA NORMATIVA AMBIENTAL EN EL CANTÓN MACARÁ",** como requisito para optar al grado de Magister en Gestión Ambiental Mención Planificación Ambiental y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo acepto, que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los 15 días del mes de septiembre de 2021, firmo conforme:

Autor: Kelly Yohanna peña Moreno

Firma:

Número de Cédula: 2100384201

Dirección: Pichincha, Quito, La Gatazo.

Correo electrónico: shelmade@hotmail.com Teléfono: 0939243031

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación "RECONSTRUCCIÓN HISTÓRICA CLIMÁTICA A TRAVÉS DE LOS ANILLOS DE LOS ÁRBOLES CON ÉNFASIS EN LA MEJORA DE LA NORMATIVA AMBIENTAL EN EL CANTÓN MACARÁ" presentado por Kelly Yohanna Peña Moreno, para optar por el grado de Magister en Gestión Ambiental Mención Planificación Ambiental,

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Quito, 04 de septiembre del 2021

Firmado electrónicamente por:
ERNESTO FABIAN SANTOS GARCIA

Ph.D. Ernesto Fabian Santos

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Magister en Gestión Ambiental Mención Planificación Ambiental, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Quito, 01 de septiembre del 2021

Kelly Yohanna Peña Moreno
CI: 2100384201

APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: "RECONSTRUCCIÓN HISTÓRICA CLIMÁTICA A TRAVÉS DE LOS ANILLOS DE LOS ÁRBOLES CON ÉNFASIS EN LA MEJORA DE LA NORMATIVA AMBIENTAL EN EL CANTÓN MACARÁ", previo a la obtención del Título de Magister en Gestión Ambiental Mención Planificación Ambiental, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Quito, 3 de septiembre del 2021

LAURA INES SALAZAR COTUGNO
Firmado digitalmente por LAURA INES SALAZAR COTUGNO
Fecha: 2021.10.28 16:56:32 -05'00'

……..
Laura Salazar-Cotugno, Dr.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO PATRICIO BONILLA BEDOYA

…….
Santiago Bonilla-Bedoya, Dr.
VOCAL

Firmado electrónicamente por:
ERNESTO FABIAN SANTOS GARCIA

…….
Ernesto Fabián Santos
VOCAL

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico, a mi familia por la paciencia y comprensión; de manera especial a mis padres José y María, quienes me motivaron para alcanzar esta investigación.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a los directivos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) de la provincia de Pichincha, por la información proporcionada. A los directivos de la Reserva Natural “Laipuna”. Al Dr. Fabían Santos por su paciencia y guía en esta investigación. Finalmente, a la Universidad Tecnológica Indoamérica.

INDICE DE CONTENIDOS

AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA ii
APROBACIÓN DEL TUTOR iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD iv
APROBACIÓN TRIBUNAL v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS viii
ÍNDICE DE TABLAS x
ÍNDICE DE GRÁFICOS xi
RESUMEN EJECUTIVO xii
ABSTRACT xiii
INTRODUCCIÓN 1
Importancia y actualidad 1
Justificación 2
Planteamiento del problema 4
OBJETIVOS 5
Objetivo General 5
Objetivos específicos 5
MARCO TEÓRICO 5
Dendrocronología Tropical 5
Estadísticos de la cronología 6
Dendrocronología Tropical 7
Factores climáticos: Temperatura y precipitación 8
Eventos extremos El Niño y La Nina asociado a la dendrocronología 10
Reconstrucción climática 11
Estadísticos de la reconstrucción climática 12
Normativas Ambientales 12
Potencial dendroclimático 16
DISEÑO METODOLÓGICO 18

Paradigma y tipo de investigación ... 18
Operacionalización de las variables ... 19
Delimitación del área de estudio ... 19
Fase 1. Desarrollo de las dos cronologías completa y truncada ... 22
Selección y preparación de muestra ... 22
Medición del ancho de los anillos anuales ... 23
Elaboración de la cronología completa y truncada ... 24
Fase 2. Modelación de la reconstrucción climática ... 26
Datos regionales de precipitación y temperatura ... 26
Reconstrucción climática con la dendrocronología ... 27
Fase 3. Mejoras en la Normativa Ambiental ... 28
Potencial dendrocronológico ... 28
RESULTADOS ... 30
Desarrollo de dos cronologías a través de los anillos de los árboles ... 30
Cronología de los anillos de los árboles ... 30
Modelación de la reconstrucción climática ... 32
Construcción de serie de temperatura y precipitación regional ... 32
Reconstrucción de temperatura completa y truncada ... 33
Modelo de regresión lineal simple rwi-temperatura ... 34
Mejoras en la Normativa Ambiental ... 39
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES ... 43
Cronologías a través de los anillos ... 43
Modelación de la reconstrucción climática ... 44
Mejora en la Normativa Ambiental ... 46
RECOMENDACIONES ... 47
Referencias Bibliográficas ... 48
ANEXO 1 Medición de los anillos de los árboles en micras usando AmScope ... 59
ANEXO 2 Delimitación de los anillos de la especie *B. graveolens* ... 60
ANEXO 3 Correlación movil desde treeclim paquete en R ... 61
ANEXO 4 Códigos para cronologías y la reconstrucción climática en R…….. 62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Métricas de las cronologías. 8
Tabla 2. Especies con potencial dendroclimático Americalatina 17
Tabla 3. Características y anatomía de *B. graveolens* 22
Tabla 4. Especies diagnósticas del bosque seco de Laipuna 28
Tabla 5. Resumen de características dendrocronológicas 31
Tabla 6. Periodos del fenomeno de El Niño y La Niña 32
Tabla 7. Correlación de precipitación y temperatura completa y truncada 33
Tabla 8. Estadísticos de calibración y verificación de las cronologías 34
Tabla 9. Estadísticos del modelo de reconstrucción climática 34
Tabla 10. Periodos de crecimiento de El Niño y La Niña 35
Tabla 11. Especies con potencial dendrocronológico para la normativa Macará 40

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1 Bosque seco de la Reserva Natural Laipuna 20
Gráfico N°2. Flujograma de la metodología 21
Gráfico N°3. a) Límites de los anillos y b) Rodaja y core de *B. graveolens*.....24
Gráfico N°4. Método de suavizado detrending por spline de 32 años. 25
Gráfico N° 5. Ubicación de las estaciones climáticas de Macará 26
Gráfico N° 6. Cronología completa y cronología truncada 30
Gráfico N° 7. Recosntrucción de temperatura 1826-2020 38
Gráfico N° 8. Reconstrucción de temperatura 1890-2020 39

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

INDOAMÉRICA

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

TEMA: RECONSTRUCCIÓN HISTÓRICA CLIMÁTICA A TRAVÉS DE LOS ANILLOS DE LOS ÁRBOLES CON ENFASIS EN LA MEJORA DE LA NORMATIVA AMBIENTAL EN EL CANTON MACARÁ

AUTOR: Kelly Yohanna Peña Moreno
TUTOR: Fabián Santos. Ph.D

RESUMEN EJECUTIVO

De acuerdo al problema de investigación ¿Cómo la asociación de los anillos de los árboles junto a los datos climáticos contribuye a la reconstrucción climática? y ¿Cómo a través de la mejora a la Normativa Ambiental promovería la utilización de especies forestales con potencial dendroclimático para enfoques de reconstrucción climática? Los objetivos específicos fueron desarrollar dos cronologías a través de los anillos de los árboles, modelar una reconstrucción climática por métodos dendrocronológicos, seguido de proponer mejoras a la Normativa Ambiental para promover la utilización de especies con potencial dendroclimático. La construcción de las cronologías fue, usando el paquete dplR, en el software R. La reconstrucción climática se realizó en el paquete treeclim de R y se modeló por regresión lineal simple para la predicción. En la mejora a la Normativa Ambiental, a través de 15 artículos científicos se determinó especies con potencial dendroclimático para mejorar el Art. 027 Facultades de los municipios. En resultados obtenidos, las cronologías mostraron potencial dendroclimático de acuerdo la señal de población expresada y a su sensibilidad media. En la reconstrucción climática, se cumplió con los supuestos del modelo. En la mejora a la Normativa Ambiental, se incluyó en el COA, una facultad más al Art. 27, siendo esta elaborar un Plan para la protección y manejo de especies con potencial dendroclimático. Concluimos que los anillos de los árboles están influenciados por el clima y a través de la mejora a la Normativa Ambiental se fortalece la utilización de especies con potencial dendroclimático para reconstrucciones climáticas.

DESCRIPTORES: anillos de los árboles, dendrocronología, normativa, reconstrucción de clima.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

INDOAMÉRICA

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

THEME: CLIMATE HISTORICAL RECONSTRUCTION THROUGH THE RINGS OF THE TREES WITH EMPHASIS ON IMPROVING ENVIRONMENTAL REGULATIONS IN THE CANTON MACARÁ.

AUTHOR: Peña Moreno Kelly Yohanna
TUTOR: Fabian Santos Ph.D.

ABSTRACT

According to the research problem, how does the association of tree rings with climate data contribute to climate reconstruction? And how, through the improvement of Environmental Regulations, would you promote the use of forest species with dendroclimatic potential for approaches to climate reconstruction? The specific objectives were to develop two chronologies through the tree rings, to model a climate reconstruction by dendrochronological methods, followed by to propose improvements to the Environmental Regulations to promote the use of species with dendroclimatic potential. The construction of the chronologies was, using the dplR package, in the R software. The climatic reconstruction was performed in the R treeclim package and was modeled by simple linear regression for the prediction. In the improvement of the Environmental Regulations, through 15 scientific articles, species with dendroclimatic potential were determined to improve Art. 027 Faculties of the municipalities. In the results obtained, the chronologies demonstrated dendroclimatic potential according to the expressed population signal and its average sensitivity. In the climatic reconstruction, the assumptions of the model were met. In the improvement of the Environmental Regulations, a further faculty to Art. 27 was included in the COA, this being the elaboration of a Plan for the protection and management of species with dendroclimatic potential. We conclude that the tree rings are influenced by the climate and through the improvement of the Environmental Regulations, the use of species with dendroclimatic potential for climatic reconstructions is strengthened.

KEYWORDS: climate reconstruction, dendrochronology, regulations, tree rings

INTRODUCCIÓN

Importancia y actualidad

El presente trabajo se ajusta a la línea de investigación del funcionamiento del medio biofísico, considerado como un proyecto de desarrollo, mismo que se alinea al contexto de bienestar social frente a los efectos del cambio climático. De tal forma que se desarrolla una reconstrucción histórica climática y su relación con el crecimiento anual de los árboles, con el fin de proponer mejoras en la normativa ambiental que permitan fortalecer la preservación y conservación de especies forestales que sean idóneas para realizar reconstrucciones climáticas y así las autoridades competentes del municipio de Macará puedan apoyarse en estos estudios de variabilidad del clima a larga escala para la toma de decisiones. De tal forma que nos alineamos a los criterios del Reglamento al Código Orgánico de Ambiente (COA), Registro Oficial N° 507 de 12 de junio del 2019, Titulo VIII Régimen Forestal, capítulo III, Conservación y Manejo forestal Sostenible, en el Art. 294 Enfoques y Principios, se cumplirán los siguientes principios según lo establecido en el COA: a) Son elementos de manejo forestal actividades de conservación de la estructura y composición del bosque, b) El manejo forestal se articulará con la planificación territorial nacional, local bajo un enfoque paisajístico y ecosistémico y c) Se incluye en el manejo forestal la protección contra incendios forestales (Reglamento Al Código Orgánico Del Ambiente, 2019).

Los bosques, como anfitriones de la biodiversidad terrestre, se consideran los más importantes del mundo. Sin embargo, está siendo alterado por actividades de deforestación y degradación forestal (Liang & Gamarra, 2020). Además, Gomes et al. (2019) señalan que las actividades antrópicas hacen que los bosques tropicales sean vulnerables a los efectos del cambio climático. Según, Amankwah (2019) describe que, a lo largo de la historia, el cambio climático se ha convertido en un fenómeno global por sus importantes consecuencias. Variabilidad climática y la frecuencia de fenómenos extremos, producirán cambios significativos en la ecología de los bosques (Deb et al., 2018). Los bosques tropicales son muy sensibles al estrés hídrico debido a las altas precipitaciones (Santos et al., 2014). Según, Shah & Shah (2015) indica que las interacciones climáticas y las condiciones ambientales se

registran en el ancho de los anillos de los árboles. Análisis de los anillos de los árboles a través de técnicas dendrocronológicas, son el punto de partida para realizar reconstrucciones ambientales históricas (Fuchs et al., 2019). Según Chazdon et al. (2007) sugiere que hay limitadas investigaciones en el campo de la dendrocronología en los Bosques tropicales. A través del uso de la dendrocronología se puede crear cronologías a larga escala (Haury, 2021). Cuando se vuelve difícil identificar una señal común en los anillos jóvenes, optan por crear una cronología truncada (Kern et al., 2014). Norton & Ogden (1987) proponen que la dendrocronología está orientada a la interacción de los factores climáticos con el crecimiento de los árboles y la historia del bosque. Rodríguez et al. (2005b) afirma que, en las especies de *Bursera graveolens* (palo santo) y *Prosopis sp* (algarrobo), se pudo determinar el potencial dendrocronológico y su relación con los efectos de El Niño Oscilación del Sur (ENSO). *B. graveolens* es una especie que pertenece a la familia Burceraceae (Monzote, 2012). Las características anatómicas de la especie *B. graveolens,* muestran que los anillos son visibles con potencial dendroclimático (Pucha-Cofrep et al., 2015). Además, es una especie tropical caducifolia de bosque seco, que presenta sensibilidad en el crecimiento radial frente a las fluctuaciones climáticas como la presencia del El Niño y La Niña (Rodríguez et al., 2005; Enquist & Leffler, 2001). El estudio a través de series dendrocronológicas constituye un registro de tiempo y un archivo de eventos pasados (Gutiérrez, 2009). A través de series anuales desde los anillos de los árboles, es posible crear modelos climáticos para la evaluación del calentamiento global (Shah & Shah, 2015). Según, Del Valle & Giraldo (2021) Sugiere que con la datación de eventos específicos registrados en los anillos de los árboles, se pude plantear resoluciones legales.

Justificación

Las predicciones obtenidas a través de los anillos de los árboles y el clima, son usadas para la toma de decisiones como lo menciona Hughes (2002), que en el documento del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), en el Capítulo 2 (Variabilidad Climática), 226 de 850 publicaciones citadas consideran a las variables de los anillos de los árboles como indicadores climáticos. Además, en el Ecuador, El acuerdo Ministerial vigente N° 061 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del

Ambiente (TULSMA), en el capítulo IV, de los Impactos Ambientales, en el Art .28 de la Evaluación de los Impactos Ambientales, hace referencia en proteger a través de un manejo sustentable a los componente agua, suelo, aire y clima (TULSMA, 2015). Según el COA (2017) manifiesta que la Constitución del Ecuador, en el Art. 400 y 404 respecto a protección de la naturaleza y de los Recursos Naturales son de interés público y se los considera desde el punto de vista ambiental, cultural paisajístico y científico. En la interacción de la dendrocronología y la climatología se determinó que la topografía, las actividades antrópicas y el cambio climático incide en la disminución de la masa forestal (Wang et al., 2020). Los obstáculos, además de no contar con información de épocas pasadas sobre el manejo o degradación forestal, llevan a no considerar importantes estrategias de conservación (Caetano Andrade et al., 2019) como la evaluación de riesgos (Wistuba et al., 2019) o reconstrucciones meteorológicas a largo plazo (Fletcher et al., 2019). Los ecosistemas tropicales necesitan con urgencia cronologías a través de los anillos de los árboles para conocer las respuestas fisiológicas ante el cambio climático (Rozendaal & Zuidema, 2011). Pucha-Cofrep et al. (2015) realizó una reconstrucción dendroclimática con *B. graveolens* en la Reserva Natural "Laipuna". Spannl (2017) determinó que a través de métodos dendrocronológicos es posible conocer los efectos del cambio climático, los cuales se registran en la fisiología y anatomía de la madera. Según Caetano Andrade et al. (2019a) realizaron una reconstrucción climática de 400 años, mediante métodos dendrocronológicos, donde pudieron analizar cambios en el crecimiento radial debido a la variabilidad climática y la interacción humana pasada. En el sur de Ecuador existen estudios de dendrocronología, con reconstrucción del clima (Alvites et al., 2019; Pucha-Cofrep, 2016).

En esta investigación se realiza una reconstrucción histórica del clima a larga escala a través de los anillos de los árboles, usando dos cronologías. El uso de la cronología completa y truncada nos ayudó a identificar, si hubo una significante variabilidad del clima al truncarla y al mantenerla completa. La reconstrucción del clima se desarrolló con el fin de proponer mejoras a la normativa ambiental, así preservar y conservar especies forestales que sirvan para reconstrucciones climáticas. Por consiguiente, se propone una mejora a la normativa ambiental correspondiente al "Código Orgánico del Ambiente" en el capítulo II, de las

facultades Ambientales de los municipios, en el Art. 27 Corresponde a los municipios las siguientes facultades (COA, 2017), con la finalidad de incluir una facultad más: **elaborar planes para la protección y manejo sostenible, restauración forestal de especies con potencial dendroclimático para modelar reconstrucciones climáticas**. En este sentido, con este aporte se pretende fortalecer la investigación científica dendroclimática, gracias a la preservación, conservación de especies forestales por parte del municipio de Macará y las normativas ambientales. De manera que, la historia del clima sea monitoreada en dichas especies forestales y las autoridades puedan mejorar la gestión frente a futuros eventos climáticos.

El estudio se llevó a cabo en el sur de Ecuador, en la Reserva Natural "Laipuna" en Macará-Ecuador, un área de 1600 ha, que cubre un gradiente altitudinal de 590 a 1480 m.a.s.l. Se ubica en una región semihúmeda entre la costa del Pacífico y la vertiente occidental más baja de la cordillera de los Andes (Aguirre et al., 2006). Esta región está clasificada como bosque seco premontano semideciduo y es un lugar ideal para realizar esta investigación porque presenta dos períodos de humedad bien definidos, como se describe en Spannl (2017). Cabe indicar que en la Reserva Natural "Laipuna", se lleva a cabo estudios de investigación científica relacionados a clima (Bendix, J. and Beck, 2016; Raffelsbauer et al., 2019).

Planteamiento del problema

Discutimos nuestros resultados guiados por dos preguntas de investigación:

• ¿Cómo la asociación de los anillos de los árboles junto con los datos climáticos contribuye a la reconstrucción climática histórica?

• ¿Cómo la mejora en la Normativa Ambiental promovería la utilización de especies forestales con potencial dendroclimático para enfoques de reconstrucción climática?

Para responder a estas preguntas, primero explicamos los pasos para realizar una reconstrucción histórica climática (completa y truncada) a través de los anillos de los árboles, seguido del procesamiento de datos de estaciones meteorológicas. Luego analizamos si existieron episodios de cambio de clima, sequías y fuertes precipitaciones. Finalmente, discutimos la importancia de nuestros hallazgos, enfocándonos en la mejora de la Normativa

Ambiental con énfasis en la preservación y conservación de especies forestales que sirvan para realizar reconstrucciones climáticas.

OBJETIVOS

Objetivo General

Desarrollar una reconstrucción histórica climática a través de los anillos de los árboles de *Bursera graveolens,* con énfasis en la mejora de la Normativa Ambiental en el Cantón Macará.

Objetivos específicos

- Desarrollar dos cronologías a través de los anillos de los árboles
- Modelar una reconstrucción de clima (completa y truncada) a través de métodos dendrocronológicos
- Proponer mejoras en la Normativa Ambiental vigente para promover la utilización de especies forestales con potencial dendroclimático para la modelación de reconstrucciones climáticas.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

Dendrocronología tropical

Un desafío importante para la dendrocronología tropical es la formación indistinta o faltante de tendencias anuales en la mayoría de las especies debido a la falta de estacionalidad climática (Rozendaal & Zuidema, 2011). En las últimas décadas, la dendrocronología tropical se ha desarrollado rápidamente mediante la identificación del crecimiento radial anual y su fenología cambial (Krepkowski et al., 2011). La formación de anillos de árboles en bosques tropicales húmedos puede ser un efecto de la ocurrencia de períodos secos cortos o de la fenología de las hojas (Brinden et al., 2016). La formación de anillos de árboles se desencadena en algunas ocasiones por el ciclo de inundación anual Schöngart et al. (2005), mientras que en los bosques secos está controlada por una marcada estacionalidad de precipitación anual (Rodríguez et al., 2005b). Según Fritts (1978) para poder reducir la variación de crecimiento en los anillos

de los árboles, una vez ya estandarizadas, se promedian las series estandarizadas para formar una cronología final. Para la mayoría de los análisis dendrocronológicos, las cronologías son consideradas muy importante por el conjunto de datos que guardan. La falta de una comprensión de las cronologías de los anillos de los árboles nos conlleva a desconocer la ecología de los bosques. Con los análisis dendrocronológicos se tiene información específica de especies sobre las respuestas fisiológicas a la variabilidad climática (Rozendaal & Zuidema, 2011). Según Bräuning et al. (2016) la anatomía de la madera genera patrones frente al estrés ambiental extremo, en tiempos de sequias y fuertes precipitaciones, presentan variabilidad en su porosidad anual. La resiliencia de los bosques tropicales frente a las fluctuaciones queda registrada en las cronologías de los árboles (Rahman et al., 2019). Las cronologías, guardan información de monitoreo del ciclo del agua, con el que se puede determinar la variabilidad de la escorrentía a lo largo de la historia (Y. Chen et al., 2021). Información pasada socioeconómica y política queda registrada en los árboles como archivos del pasado (Caetano Andrade et al., 2019b). La alteración de los bosques, tormentas ciclones e incendios forestales encontrados en las cronologías, se usan para mejorar la gestión ante los impactos ambientales.

Construcción de cronologías

La construcción de cronologías a partir de mediciones del ancho de los anillos de los árboles, se la realiza colectando cores de árboles, que presenten anillos visibles con potencial dendrocronológico (Islam et al., 2018). La colección de cores desde el fuste del árbol, es de 2 a 4 unidades, en forma de cruz o en sentido norte, sur, este y oeste (Álvarez et al., 2021). Los cores son extraídos, usando el barreno de incremento Häglof de 5 mm de diámetro y 60 cm de largo (Correa-Díaz et al., 2019). Una vez colectados los cores, son montados y pegados con goma en canaletas de madera, siguiendo la forma vertical de su porosidad (Pourtahmasi et al., 2011). Los cores son lijados progresivamente, con finas lijas de papel, hasta conseguir la visibilidad de los anillos de los árboles (Shi et al., 2015). El conteo de los anillos de los árboles, se lo realiza con la ayuda de un estereomicroscopio (Rivera et al., 2010).

Estadísticos de las cronologías

Las cronologías se construyen en el paquete estadístico de dendrocronología DplR, en el software de código abierto R (Bunn, 2008). También se puede desarrollar cronologías usando el programa ARSTAN (Xu et al., 2017). En el desarrollo de las cronologías, a las series se les aplica métodos de suavizado de detrending con la finalidad de eliminar tendencias de crecimiento por topografía o impactos ambientales (Bunn et al., 2020). Los métodos más usados de detrending son spline cúbico, curva exponencial negativa modificada y por medias (Campelo et al., 2012; Bunn, 2008). Las cronologías de anillos de árboles generan una gran cantidad de información estadística para el análisis dendrocronológico (Tabla 1). Los más frecuentes son la sensibilidad media, la autocorrelación de primer orden, el coeficiente de correlación y la intensidad de la señal de la submuestra (Shiyatov et al., 1990). La sensibilidad media es un indicador de la sensibilidad climática en el ancho de los anillos de los árboles (Strackee & Jansma, 1992). Media GLK "Gleichlaufigkeit": sincronía de crecimiento (Shiyatov et al., 1990; Wigley et al., 1984). La autocorrelación de primer orden indica que sí, el crecimiento radial dentro del mismo árbol fue influenciado por las condiciones del año anterior (Oberhuber et al., 2008). Para conocer la cuantificación del efecto del tamaño de la muestra, se analizan las siguientes estadísticas cronológicas: Rbar bt cuantifica la correlación media entre árboles, Rbar wt mide la correlación dentro de un mismo árbol y el EPS mide la señal poblacional expresada (Oberhuber et al., 2008). La Señal de población expresada (EPS) determina la proximidad entre las cronologías. Con el fin de reducir la variabilidad entre la cronología teórica de la población y la cronología que se promedió de las individuales (Mérian & Lebourgeois, 2011). En el campo de la dendrocronología, el EPS se considera la señal climática potencial, mismo que no tiene un rango específico, pero la mayoría considera al umbral de 0.85 (Oberhuber et al., 2008). El EPS mide la señal de crecimiento a lo largo del tiempo en la cronología y la variabilidad entre árboles (Peña et al., 2014). Según Chen & Yuan (2014) el umbral de la confiabilidad de la cronología en su investigación fue de es EPS>0.8. Por consiguiente, el Rbt es usado para conocer la correlación media entre árboles, mismo que es medido en una escala de 0 a 1 (Campelo

et al., 2012). La construcción de cronologías se utiliza para el análisis dendroclimático (Martín-Benito et al., 2008). Por otro lado, los investigadores calculan la cronología truncada, pues afirman que existe la probabilidad de que sea más robusto recalcular el RWI truncado y así generar una cronología a través de la anidación (Haury, 2021). La construcción de una cronología truncada se aplica cuando es muy difícil identificar una señal común en los anillos juveniles (Kern et al., 2014).

Tabla 1

Métricas de las cronologías

Nombre	Acrónimo	Concepto	Referencia
Señal de Población expresada	EPS	Indicador de calidad de la cronología	(Mérian & Lebourgeois, 2011)
Sensibilidad media	Ms	Indicador de sensibilidad climática	(Strackee & Jansma, 1992)
Correlación Rbar rbt	Rbar rbt	Correlación media entre árboles	(Oberhuber et al., 2008)
Correlación Rbar wt	Rbar wt	Correlación dentro de un mismo árbol	
"Gleichlaufigkeit":	GLK	Sincronía de crecimiento	(Wigley et al., 1984)

Factores climáticos: Temperatura y precipitación

Acuerdos internacionales como el Acuerdo Paris, se enfocan en mitigar el aumento de la temperatura para alcanzar la neutralidad en el año 2050 (Reckien et al., 2018). Se debe implantar metas y estrategias frente a los efectos del cambio climático, porque se verán afectados los objetivos del desarrollo sostenible (Fuso Nerini et al., 2019). La humedad de los suelos, es altamente afectada por los cambios de temperatura, ya que los suelos son muy sensible y vulnerables al cambio del clima (Shi et al., 2015). Según Raffelsbauer et al. (2019) al aumentar la frecuencia de sequias afectaría la dinámica de crecimiento de los bosques, al aumentar la competencia entre especies y la mortalidad especifica

presentando así la alteración en la composición de especies del ecosistema. A través de modelos de series temporales multivariantes, se determina que las acciones antropogénicas influyen en el incremento de la temperatura global (Stern & Kaufmann, 2014). Los procesos de variabilidad climática han sido estudiados en varios ecosistemas tropicales a través de métodos dendrocronológicos (Rahman et al., 2018). Según Bräuning et al. (2016) sugiere que la historia climática e impactos ambientales quedan registrados a lo largo de la vida del árbol. Según Norton & Ogden (1987) expone que la dendrocronología archiva la historia forestal y factores climáticos en su estructura interna. A través de la relación del ancho de los anillos y los factores climáticos, es posible monitorear episodios históricos como la presencia del fenómeno de El Niño y La Niña en el Sur del Ecuador (Raffelsbauer et al., 2019). Alcances dendroclimáticos a nivel mundial, son gracias a la interacción del factor árbol y el factor clima (Arsalani et al., 2015). En el proceso de llevar a cabo la reconstrucción climática por métodos dendrocronológicos, la variable fundamental es la obtención de datos de temperatura y precipitación, provistos por estaciones meteorológicas locales (Krepkowski et al., 2011). Los datos de precipitación y temperatura provienen de estaciones climáticas individuales o a partir de estaciones promediadas para fines dendroclimáticos (Sheppard, 2010). Una serie regional de temperatura y precipitación es creada a partir de datos procesados de varias estaciones locales (Díaz-Ramírez et al., 2016). Normalmente la asociación que ocurre en la cronología de los árboles con las variables climáticas, es anual o estacional (Sheppard, 2010). Las cronologías de los árboles se usan como predictores en la reconstrucción climática (Helama et al., 2004). Según Colston et al. (2018) expone que los datos meteorológicos carecen de evaluación con frecuencia y algunas veces están incompletos, una forma de robustecer la data es a través de la obtención de datos obtenidos por satélites. Los datos faltantes de las estaciones climáticas para precipitación y temperatura, son imputados a través de valores medios mensuales de la serie completa (Álvarez et al., 2021). Una forma más de imputación de datos faltantes en series climáticas es a través de métodos de interpolación (Pucha-Cofrep et al., 2015). El clima de la Reserva Natural “Laipuna” presenta una precipitación anual de 717 mm y de temperatura Anual de 23.3°C (Lattke & Aguirre, 2016). El Instituto Nacional de

Meteorología e Hidrología (INAMHI), provee datos de temperatura y precipitación local para fines de investigación científica (Pucha-Cofrep et al., 2015). Publicaciones científicas de series de precipitación y temperatura a partir de métodos dendroclimáticos son consideradas en acuerdos internacionales del IPCC, mismos que se enfocan en la mitigación del cambio climático (Speer, 2011). Actualmente existe una sola reconstrucción de precipitación para el período 1809-2011 en Macará y en el Ecuador (Pucha-Cofrep et al., 2015).

Eventos extremos El Niño y La Niña asociados a la dendrocronología

Episodios del fenómeno de El Niño están registrados en las cronologías de los anillos de los árboles (Gebrekirstos et al., 2014). Hay regiones que solamente cuentan con registros meteorológicos a partir de 1960, siendo esto un limitante para ejercer monitoreos de episodios pre-instrumentales, gracias a la dendrocronología se puede llevar a cabo correlaciones de El Niño y el crecimiento de los anillos (Torbenson et al., 2019). Con la aplicación de técnicas dendrocronológicas, pudieron reconstruir incendios históricos con la finalidad de conocer la relación con la sequía y el fenómeno de El Niño (Sáenz-Ceja & Pérez-Salicrup, 2019). La presencia de El Niño y La Niña en Colombia dejó grandes pérdidas económicas en lo que respecta a infraestructura, producción, agricultura y problemas fitosanitarios, para el período de 2010-2011 (Villarreal N. et al., 2014). En Chile, se evaluó la resistencia del crecimiento de los árboles frente a la variabilidad climática, donde se determinó que en el año 1980, el crecimiento de los anillos demoró más por la presencia del fenómeno de El Niño (Peña et al., 2014). Para determinar la influencia del fenómeno de El Niño en la precipitación, modelaron una reconstrucción de clima con correlaciones aunque resultaran bajas (Shi et al., 2015). El fenómeno de El Niño afecta en gran medida el sur del Ecuador y el Norte del Perú, por las fuertes precipitaciones e inundaciones que este provoca (Rollenbeck et al., 2006). Según Rodríguez et al. (2005) en su estudio determinó el potencial dendrocroclimático de la especie *B. graveolens* en el Norte del Perú, la interacción clima y anillos generó un EPS alto, donde además pudo evidenciar la presencia de El Niño. Según Pucha-Cofrep et al. (2015) en la reconstrucción climática de Laipuna, para la especie de *B. graveolens*

encontró periodicidad significativa de dos a cuatro años de la presencia de El Niño en el periodo de 1970 a 1990.

Reconstrucción climática

Una forma de conocer la variabilidad del clima de años pasados ha sido a través de análisis dendroclimatológicos, en su interacción de clima y árbol (He et al., 2019). La reconstrucción climática reveló que estaban altamente relacionadas con los datos climáticos obtenidos de las estaciones meteorológicas (Shi et al., 2015). Según Kostyakova et al. (2018) los periodos de precipitación y temperatura reconstruidos coincidieron con los eventos históricos de extremas sequías y lluvias. Reconstrucciones históricas a través de los anillos de los árboles lograron mostrar eventos de migración poblacional, explotación de recursos y gestión forestal (Caetano Andrade et al., 2019a). En Arizona, se pudo reconstruir el Índice de Severidad de Sequía (DSI), mediante técnicas dendrocronológicas (Sheppard, 2010). Además, con la aplicación de métodos dendroclimatológicos y su interacción con el clima se pudo dar respuestas climatológicas, ecológicas y arqueológicas (Islam et al., 2018). Estudios realizados sobre dinámicas de crecimiento arbóreo y precipitación en el sur del Ecuador, detectaron que El Niño presentó un impacto potencial en la dinámica forestal a lo largo del tiempo (Rollenbeck et al., 2006). La presencia de los eventos extremos como El Niño y La Niña son los principales en causar dramáticos impactos sociales y económicos en Sudamérica (Grimm & Tedeschi, 2009). Una de las ventajas de conocer los pronósticos climáticos es la preparación ante los efectos de eventos extremos climáticos y así los países puedan aportar con políticas ante el manejo de riesgo (French et al., 2020). La producción agrícola se vio afectada durante medio siglo por los impactos del fenómeno de El Niño, debido a la inducción de anomalías en la precipitación y temperatura (Limsakul, 2019). La señal del fenómeno de El Niño y las sequías de grandes llanuras es están presentes en las cronologías provenientes de los árboles, mismas que son analizadas a través de modulación multidecadal (Torbenson et al., 2019). Según Gebrekirstos et al. (2014) la historia del clima y de ambiente registrada en los anillos de los árboles, es crucial para mitigar la degradación de los bosques y para apoyar decisiones frente a los efectos del

clima. Los registros de eventos extremos, episodios de cambios de temperatura y precipitación a larga escala, serían muy útiles para la toma de decisiones frente a las políticas gubernamentales (Speer, 2011). En las evaluaciones científicas del IPCC, consideran reconstrucciones de clima de más de 1000 años, debido a que las series reconstruidas capturan los procesos de cambio de la temperatura y precipitación a larga escala (Speer, 2011).

Estadísticos de la reconstrucción climática

El paquete estadístico con el que se realiza las reconstrucciones climáticas es treeclim del software de código abierto R (Zang & Biondi, 2015; Rahman et al., 2018). Los parámetros a calcularse en el paquete de reconstrucción climática son principalmente de correlación de Pearson, correlación estacional por la función Seascorr, habilidad de la cronología, calibración y verificación (Fletcher et al., 2019; Martín-Benito et al., 2008). Los valores predictivos del pasado, en la reconstrucción climática son modelados por regresión lineal simple (Fletcher et al., 2019; Pucha-Cofrep et al., 2015; Zang & Biondi, 2015). En la calibración y verificación se obtiene los siguientes resultados: Habilidad de la cronología coeficiente de determinación: (r / skill), Durbin-Watson (DW), los datos se ajustan al modelo (valor p), Reducción de errores (RE), Coeficiente de eficiencia (CE), valor F (F), varianza explicada (R^2), varianza explicada ajustada por pérdida de grados de libertad (R^2Adj) (Zang & Biondi, 2015; Rahman et al., 2018)

Normativas Ambientales

El objetivo 15 de los objetivos de desarrollo sostenible, se enfoca en: Proteger, Reestablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, la desertificación y mitigar la pérdida de biodiversidad (Guterres, 2021). Por otro lado, la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas (CITES), fue creada en 1975, donde participaron 80 naciones, mismo que trata sobre el Acuerdo entre Gobiernos de hacer cumplir la ley: Proteger las plantas en peligro de extinción, como son las especies forestales maderables tropicales (United States Forest Services, 2021). Todos los países en el mundo plantean leyes o

políticas frente al cambio climático, algunos de ellos firmaron el acuerdo de París (Eskander et al., 2021). El Acuerdo de Paris tiene un gran alcance para la Unión Europea y sus ciudades con la finalidad de reducir el incremento de la temperatura media (Reckien et al., 2018). Según Dietz et al. (2021) manifiesta que se ha modelado la economía climática y se pudo determinar que los cambios de temperatura están generando impactos económicos en los países, para ello se enfocan en el planteamiento de consejos y estrategias de políticas para el ambiente. Algunos países se han visto afectados tras los desastres que han causado los eventos extremos como El Niño y la Niña (Rodríguez et al., 2005). El monitoreo de estos eventos han permitido pronosticar y prepararse con el planteamiento de políticas que promuevan una buena gestión ante la presencia de riesgos (French et al., 2020).

Eventos extremos como El Niño y La Niña, variabilidad climática a larga escala se monitorean a través de los anillos de los árboles, Rodríguez et al. (2005) manifiesta que especies de Sudamérica como *B. graveolens* tienen potencial en la dendrocronología y en la dendroclimatología, por lo que se puede recuperar datos de la variabilidad climática de años pasados donde no hubo registros. Esta especie crece entre 0-2000 metros sobre el nivel del mar en el bosque lluvioso andino o bosque seco. *B. graveolens* florece entre diciembre-febrero y su fructificación en abril-junio, *B. graveolens* se encuentra dentro del estrato dominante junto con otras especies como *Ceiba trichistandra* (ceiba) y *Eriotheca ruizii* (eriotica) (Ministerio de Agricultura de Ecuador, 2012). Desde hace 100 años se utiliza a la dendrocronología para determinar la huella ecológica y el impacto ambiental, con propósitos de crear evidencia pericial y plantear criterios legales (Balouet et al., 2009). Según Law & Harmon (2011) El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), manifiesta que el aumento de la temperatura proyecta calentamiento en las montañas boscosas, lo que conduce a un riesgo de extinción de las especies, variabilidad en crecimiento de las plantas por temporada generando una barrera física a la migración. Algunos países plantean estrategias de conectividad en sus políticas ambientales, con el objetivo de mitigar la fragmentación, mejorar la estructura del paisaje y mejorar la funcionalidad del ecosistema (Morera et al., 2021). En la reconstrucción

climática con la especie de *B. graveolens* en la Reserva Natural "Laipuna", fue posible analizar la presencia de eventos históricos como El Niño y La Niña (Pucha-Cofrep et al., 2015). Reconstrucciones climáticas modeladas por métodos dendrocronológicos son incorporadas en el desarrollo de informes del IPCC (Speer, 2011). De tal forma que se puede monitorear la variabilidad del clima a larga escala para poder plantear mejoras a la Normativa Ambiental. El monitoreo del clima se lo realiza en especies forestales con potencial dendroclimático, mismas que deberían ser protegidas y preservadas, a través de planes de manejo forestal por las entidades competentes. El estado ecuatoriano, en el reglamento del COA, Título VIII, Régimen Forestal, Capítulo IV, Instrumentos de Gestión Forestal Sostenible, en el Art. 298 Se considera a los siguientes como instrumentos de gestión forestal sostenible: el sistema de administración forestal, el registro forestal, planes de manejo integral forestal, licencias de aprovechamiento, los sistemas de control, procedencia legal de la madera, investigación científica, sistemas de producción forestal emitidos por la Autoridad Ambiental Nacional (Reglamento Al Código Orgánico Del Ambiente, 2019). El Estado ecuatoriano tiene vigente 16 Normativas Ambientales, en el Sistema Único de Información Ambiental (SUIA), mismo que se lo encuentra en la página web del Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). Las Normativas Ambientales vigentes se las detalla a continuación (MAATE, 2021).

1. Normativa Acuerdo Ministerial N° 091 "Instructivo para reciclaje de celulares"
2. Normativa Acuerdo Ministerial N° 161 "Reforma al Libro TULSMA"
3. Normativa Acuerdo Ministerial N° 190 "Política Nacional de Post Consumo de Equipos Eléctricos y Electrónicos
4. Normativa Acuerdo Ministerial N° 142 "Listados SQP, DP, y DE
5. Normativa INEN 2260
6. Normativa Acuerdo Ministerial N° 020 "GI Neumáticos Usados"
7. Normativa Acuerdo Ministerial N° 021 "Desechos Plásticos de Uso Agrícola"
8. Normativa Acuerdo Ministerial N° 022 "GI Pilas Usadas"
9. Normativa Acuerdo Ministerial AM 006-Reforma Al AM

10. Normativa Acuerdo Ministerial AM 004 “Reconocimiento Ecuatoriano Ambiental Punto Verde a Construcciones Ecoeficientes (REACE)”
11. Normativa Acuerdo Ministerial N° 225 “Oficiar el Mecanismo de Certificación Ecuatoriana Ambiental de Punto Verde”
12. Normativa Acuerdo Ministerial N° 131 “Expedir Políticas para promover prácticas ambientales
13. Normativa Acuerdo Ministerial N° 027 “Autorización Ambiental a Máquinas para producción más limpia”
14. Normativa Acuerdo Ministerial N° 034 “Reformar Acuerdo Ministerial N° 131 del 2010”
15. Normativa Acuerdo Ministerial N° 019 “Plásticos”
16. Normativa Acuerdo Ministerial N° 061 “Reforma libro VI TULSMA (MAATE, 2021)

El Acuerdo Ministerial vigente N° 061, en el Art. 49, Edición Especial 316, Registro Oficial, lunes 4 de mayo del 2015. De la Reforma del Libro VI Del Texto Unificado de legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. El título III, Del Sistema Único de Manejo Ambiental. En el Capítulo IV, De los Estudios Ambientales en el Art. 28, De la Evaluación de Impactos Ambientales. Se enfocan en los siguientes componentes de evaluación.

a) Físico (agua, aire, suelo y clima)
b) Biótico (flora, fauna y su hábitat)
c) Socio-cultural (arqueología, organización socioeconómica entre otros) (MAATE, 2021).

Según el COA (2017) sugiere que la constitución de la Republica del Ecuador en el Art. 404 y 405 respecto a la protección de la Naturaleza y de los Recursos Naturales, establece que la biodiversidad, su conservación y sus componentes son de interés público desde el punto de vista ambiental, cultural, paisajístico y científico. La Constitución de la República del Ecuador, en el Art.415 Dispone que el gobierno central y los municipios deben adoptar políticas que regulen el crecimiento urbano, la fauna y el establecimiento de zonas verdes

(COA, 2017). El "Código Orgánico del Ambiente" en el capítulo II, de las facultades Ambientales de los municipios, en el Art. 27 **Corresponde a los municipios las siguientes facultades** (COA, 2017).

1. Dictar políticas Ambientales
2. Elaborar planes para la protección, manejo sostenible para la restauración forestal, vida silvestre deforestación y reforestación con fines de conservación
3. Promover viveros de semillas
4. Prevenir y controlar incendios forestales
5. Prevenir plagas que afecten el bosque
6. Planes para residuos sólidos
7. General normas para manejo de desechos
8. Controlar el arbolado urbano
9. General normas para controlar daños al ambiente
10. Generar normas técnicas de los componentes agua, suelo aire y ruido
11. Controlar las autorizaciones otorgadas
12. Programa de asistencia a plántulas

Potencial dendrocronológico de las especies

Los análisis de los límites de los anillos a través de observaciones microscópicas, muestran el potencial dendrocronológico de las especies (Islam et al., 2018). A través de los anillos de los árboles se verifica la sensibilidad frente al cambio climático (Álvarez et al., 2021). Los anillos anuales de los árboles con potencial dendrocronológico, son visibles o distintivos, siendo posible la cuantificación (Álvarez et al., 2021). En pequeñas cronologías de los árboles de *B. graveolens*, se pudo monitorear la presencia del fenómeno del niño en el Norte del Perú (Rodríguez et al., 2005b). Los anillos de los árboles son bien marcados en regiones templadas y boreales, en cambio los anillos son menos marcados, mientras más se acercan la línea ecuatorial, estos factores inciden al realizar estudios científicos de dendrocronología en bosques tropicales (Wils et al., 2011). Las especies más utilizadas para realizar estudios de la influencia del clima a través de los anillos de los árboles en América Latina se detallan en la (Tabla 2).

Tabla 2

Especies con potencial dendrocronológico en América Latina

Especies forestales de América Latina con potencial dendrocronológico		
Nombre científico	Nombre común	Investigador
Zeyheria tuberculosa	Cabeza de mono	(Pompa-García, 2020)
Acosmium cardenasii	Tassá	
Centrolobium microchaete	Tarara amarilla	
Juniperus deppeana	Táscate	
Pseudotsuga menziesii	Abeto de Douglas	
Nothofagus betuloides	Coihue de Magallanes	
Nothofagus Nothofagus	Roble	
Nothofagus antactica	Ñirre	
Embothrium coccineum	Notro	
Polylepis rodolfo-vasquezii	Quinual	
Polylepis rugulosa	Queñoa	
Polylepis tarapacana	Keñua	
Araucaria araucana	Pino araucano	
Nothofagus pumilio	La lenga	
Fitzroya cupressoides	Alerce	
Pilgerodendron uviferum	Ciprés de las Guaitecas	
Cedrela odorata	Cedro	
Bursera graveolens	Palo santo	(Pucha-Cofrep et al., 2015)
Manclura tintoria	Moral fino	
Prosopis tamarugo	Algarrobo	(Rivera et al., 2010)
Prosopis sp	Algarrobo chileno	(Rodríguez et al., 2005a)
Cordia trichotoma	Cancharana	(IAWA, 2011)
Acacia tortilis	Espino parasol	(Wils et al., 2011)
Mimosa acantholoba	Sierrita	(Rozendaal & Zuidema, 2011)

CAPÍTULO II

DISEÑO METODOLÓGICO

Paradigma y tipo de investigación

El enfoque asumido en la presente investigación es de carácter cuantitativo, pues se miden básicamente dos fenómenos:

- La reconstrucción histórica climática cubriendo el periodo 1826-2020; 1890-2020, en el Sur del Ecuador.
- La relación existente de la dendrocronología frente a los factores climáticos.

El enfoque cuantitativo se aplica porque las variables a estudiar, pueden ser evaluadas para determinar si existe una relación entre los fenómenos anteriormente detallados, y de existir dicha relación, se modela la relación entre el ancho de los anillos y variables climáticas (temperatura o precipitación) mediante el uso de regresión lineal simple.

La modalidad de esta investigación es aplicada, y su desarrollo tendrá un alcance correlacional, al analizar la relación de las variables climáticas con las series dendrocronológicas de anillos de los árboles. Adicionalmente, el diseño de investigación es de tipo no experimental y transeccional, ya que se construye series temporales a larga escala de periodos de tiempo de casi dos siglos del pasado.

La metodología de recolección de datos fue cuantitativa, se analizó los anillos de crecimiento de los árboles para observar los cambios en las condiciones de crecimiento durante los últimos 195 y 130 años años en la especie *B. graveolens*. *B. graveolens* es una especie que se encuentra en bosques caducifolios, que ha mostrado aptitudes paleoclimáticas (Weeks & Tye, 2009). Las muestras de madera que se colectaron fueron cuantificadas, a través de medición de los anillos anuales de cada una de las muestras, estos datos luego sirvieron para ser correlacionados con los factores climáticos y poder determinar la influencia de los eventos históricos extremos, enfatizando los procesos de cambio de la temperatura y precipitación del pasado. Según Pucha-Cofrep et al. (2015) en su investigación expone que

la especie con la que se trabajó ya fue estudiada en el sector y ha dado muy buenos resultados en reconstrucción dendroclimatológica. Por consiguiente, con la reconstrucción histórica climática, se puede monitorear episodios de temperatura y precipitación, que podrían repetirse, provocando grandes daños al ambiente. En este sentido, las mejora a la Normativa Ambiental, ayudaría a desacelerar los procesos de cambios en la temperatura y en la precipitación. Estos cambios de temperatura y precipitación afectan gravemente a la función de los ecosistemas (Pérez et al., 2021), suelo (Roa-Fuentes et al., 2015), el ecosistemas de las montañas (Rogora et al., 2018), ecosistemas acuíferos (Scrine et al., 2017), seguridad alimentaria y agricultura (El Bilali et al., 2020),

Operacionalización de las variables

En esta fase de la investigación, para llevar a cabo la reconstrucción climática, se determinará la correlación de los factores climáticos con los anillos de los árboles, por lo que en esta fase se plantean las siguientes variables:

Variable Independiente: Datos de precipitación (1964-2015) y temperatura (1964-2015).

Variable Dependiente: Cronología de los anillos de los árboles (1826-2020) y (1890-2020).

Delimitación del área de estudio

Esta investigación se llevó a cabo en la Reserva Natural "Laipuna" (Gráfico 1). Según Ochoa (2017) afirma que se trata de un bosque seco. Lattke & Aguirre (2016) indica que la reserva se ubica a una distancia de 20 km al norte-noreste del cantón Macará con las siguientes coordenadas (4 ° 14'S, 79 ° 57'W), es administrada por la Agencia de Naturaleza y Conservación ONG internacional (NCI). La reserva cuenta con 5000 hectáreas de bosques, los cuales son altamente vulnerables a las actividades antrópicas (NCI, 2021). Laipuna tiene una pendiente muy pronunciada y bordea el río Catamayo (Lattke & Aguirre, 2016). Según el MAE (2012), esta reserva pertenece al ecosistema de bosque caducifolio de tierras bajas y bosque caducifolio de Jama Zapotillo "BdTc02", el cual se caracteriza por tener una: fisonomía de bosque y matorral bajo, el bioclima es xérico y ombrotipo (semiárido y seco), la biogeografía se encuentra en el sector Jama-Zapotillo de la región Litoral y su fenología se caracteriza por ser un bosque caducifolio.

Este sitio ha experimentado diferentes tipos de impactos ambientales, por ejemplo, minería, deforestación y agricultura (Bendix y Beck, 2016). En los alrededores, la principal actividad de subsistencia es la agricultura. Estos bosques son deforestados para ganado caprino y porcino (Ochoa, 2017). Por tanto, Bendix y Beck (2016) manifiesta que una forma de proteger estos bosques, es a través de estrategias ambientales que incluyan incentivos económicos. Dado el impacto ambiental que se produce en Ecuador, el Gobierno ha presentado un plan para la Estrategia Nacional de Cambio Climático (Estrategia Nacional de Cambio Climático Del Ecuador 2012-2025, 2012). Se basa en preparar a la nación para eventos extremos con medidas de adaptación y mitigación. Según Curtis et al. (2017) señalan que cada país debe ser sensible a variaciones en el impacto de eventos extremos, con planes estratégicos para la salud y adaptación de la población.

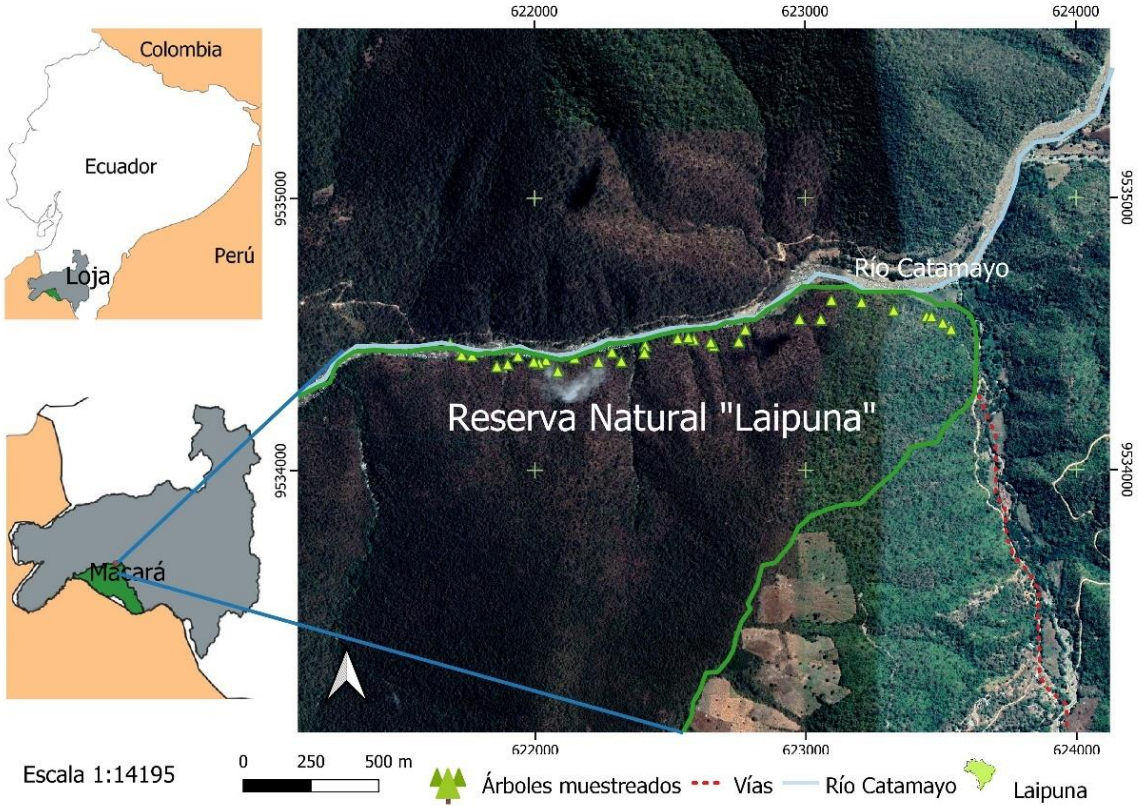


Gráfico 1. Bosque seco de la Reserva Natural “Laipuna”. Ubicado en el cantón Macará en el sur de Ecuador.

Flujograma de la metodología y sus fases

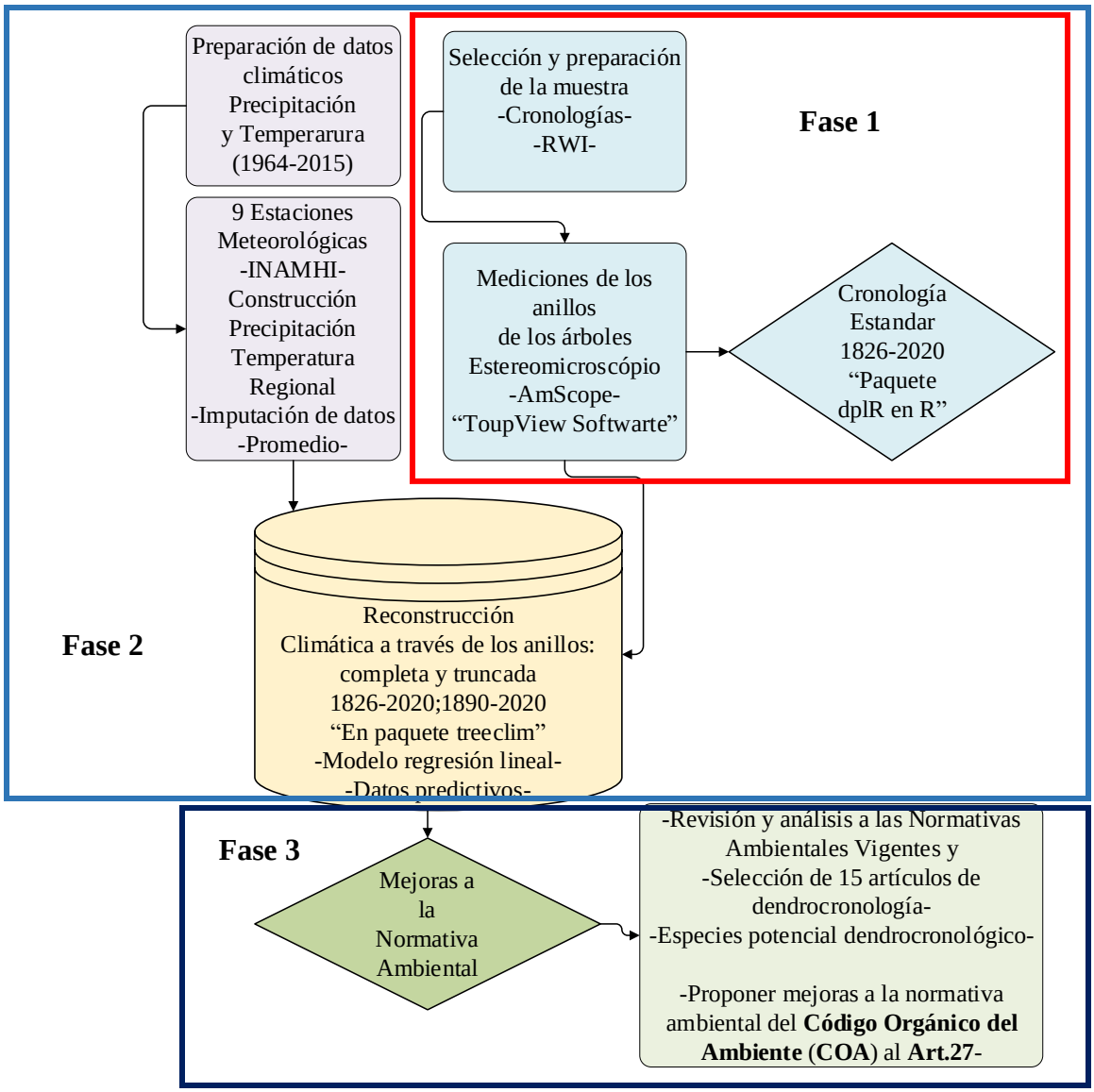


Gráfico 2. Diagrama de flujo para la reconstrucción y proponer mejoras en la Normativa Ambiental.

Este flujograma explica la metodología aplicada en el estudio, donde se identifican las tres fases a seguir (Gráfico 2):

1. Desarrollo de las cronologías a través de los anillos de los árboles
2. Modelación de la reconstrucción climática a partir de cronologías y la variable clima
3. Propuesta de la mejora a la Normativa Ambiental

Fase 1. Desarrollo de las dos cronologías a través de los anillos de los árboles

Selección y preparación de muestras para *Bursera graveolens*

Seleccionamos al azar 32 árboles de *B. graveolens* de la Reserva Natural "Laipuna", que es un bosque seco a una altitud de 600 metros sobre el nivel del mar. Existe una sola temporada de lluvias, la cual es en las temporadas de enero a mayo con una precipitación promedio mensual de 60 mm, la cual es producida por los vientos del oeste del Pacífico (Spannl, 2017) La selección de los árboles fue aproximadamente cada 50 m de distancia entre sí, por lo que se seleccionaron los mejores, con tallos mayores a 25 cm de diámetro. *B. graveolens* es un árbol de hoja caduca (Young et al., 2007). *B. graveolens* tiene límites de anillos de crecimiento distintivos, con porosidad difusa, las disposiciones de los vasos son vasos en patrón diagonal y / o radial (IAWA, 2017). Esta especie presenta definido y visible el límite del anillo de crecimiento (Tabla 3; Anexo 2).

Tabla 3

Característica y anatomía de la madera de la especie *B. graveolens.*

Nombre de la especie	Familia	Distribución	Fenología	Turno de corta	Diámetro	Características de los límites de los anillos
B. graveolens	Burseraceae	Mexico a Peru	Árbol deciduo	30 años	25cm	-Límites distintivos -Porosidad difusa -Vasos en arreglo diagonal o radial

Monzote et al, (2012), Young et al, (2007), IAWA (2017)

Por tanto, es adecuado para la evaluación del potencial dendrocronológico (Islam et al., 2018). La extracción realizada fue en un transecto de 8 km de longitud, en la parte baja de la ladera, a orillas del río Catamayo, como menciona Chen et al. (2021) colectó cores de árboles maduros siguiendo un transecto a lo largo de la ladera, colectando especies que no estén alteradas por signos de tala y su geomorfología. Según Malik & Wistuba (2012) recomienda colectar cores en transectos planos, porque el crecimiento de los árboles que se aferraron a pendientes pronunciadas, registran señales o cicatrices en la estructura anatómica y podría

generar anillos falsos, por el estrés causado. Los cores se recolectaron el 22 de noviembre de 2020, que corresponde a la época seca. Los períodos prolongados de sequía ocurren de junio a diciembre (Spannl, 2017). En la extracción de los núcleos de madera se utilizó una broca incremental Haglöf de 5 mm (Långsele, Suecia), la extracción de los núcleos fue a la altura del pecho (1,3 m) (Chen et al., 2021). Se recolectaron cuatro cores por árbol en las 4 direcciones transversales (32 árboles, 128 núcleos) incluyendo dos rodajas que fueron rescatadas de dos árboles caídos. Las rodajas de madera influyeron en la precisión del procedimiento de datación cruzada. Una vez recolectadas las muestras, nos ajustamos al análisis realizado por Liutsko et al. (2008) quienes en sus análisis dendrocronológicos recolectaron de dos a tres cores en diferentes direcciones de 15 árboles, de igual forma Pucha-Cofrep et al. (2015) recolectaron cuatro cores por árbol de *B. graveolens* en cuatro direcciones de norte, sur, este, oeste en un total de 34 árboles y un total de 134. En el campo, observamos macroscópicamente los cores, con el fin de identificar los anillos de los árboles sensibles o complacientes. El crecimiento radial de los árboles es muy sensible a los factores ambientales y climáticos (Speer, 2011). Según Grundmann et al. (2008), las muestras de madera o cores incrementales se montan en canaletas de madera para luego lijar y pulir con papel de lija. Una vez obtenida la muestra, montamos los cores en canaletas de madera, colocando las fibras perpendiculares a la base (Caetano Andrade et al., 2019). Se lijó y pulió toda el área transversal de forma consecutiva, con papel de lija y almohadillas de lijado fino. Utilizamos los siguientes granos 80, 120, 240, 360, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 4000 y finalmente con lijas de grano micrométrico como: 30µ, 15µ, 9µ, 7µ, 3µ, 1µ. En este sentido, se pudieron visualizar claramente los límites de los anillos de crecimiento del árbol (Rahman et al., 2019). Con la ayuda del estereomicroscopio AmScome se pudieron visualizar un máximo de 195 anillos. La cronología obtenida es del período 1826-2020, la verificación de las muestras se detalla en la siguiente sección.

Medición del ancho de los anillos anuales de los árboles

Los cores de madera fueron verificados por el estereomicroscopio trinocular SM 4TZZ de AmScope (© 2021 AmScope), con zoom profesional, entre 3.5X 180X de aumento. Según Islam et al. (2018) una vez preparadas y pulidas los cores, los límites de los anillos de

crecimiento son visibles al microscopio (Gráfico 3a; Anexo 2). Según Spannl (2017), las técnicas de microscopía comunes como las imágenes digitales deben tener un aumento de entre 4X y 64X. AmScope cuenta con una cámara de video de microscopio digital OMAX de 18.0 MP con un corte de calibración de 0.01 mm. El software de análisis de imágenes OMAX Toupview 3.7 incluye una función de medición, un sensor de color para teñir y distinguir el vaso del resto de tejidos. Por otro lado, Balzano et al. (2019) en la captura de la imagen microscópica digital, se puede teñir según los sensores de color del software, de esta manera se identifican los anillos de los cores y así poder realizar medidas dendrocronológicas (Gráfico. 3a; Anexo 1; Anexo 2). Las imágenes capturadas con el software OMAX Toupview 3.7 tienen una resolución vertical de 25410 ppp y una resolución horizontal de 25410 ppp. Además, Kanatjev et al. (2014) afirman que los dispositivos de captura con los que se puede medir la distancia entre anillos pueden ser escáneres de base plana, cámaras digitales.

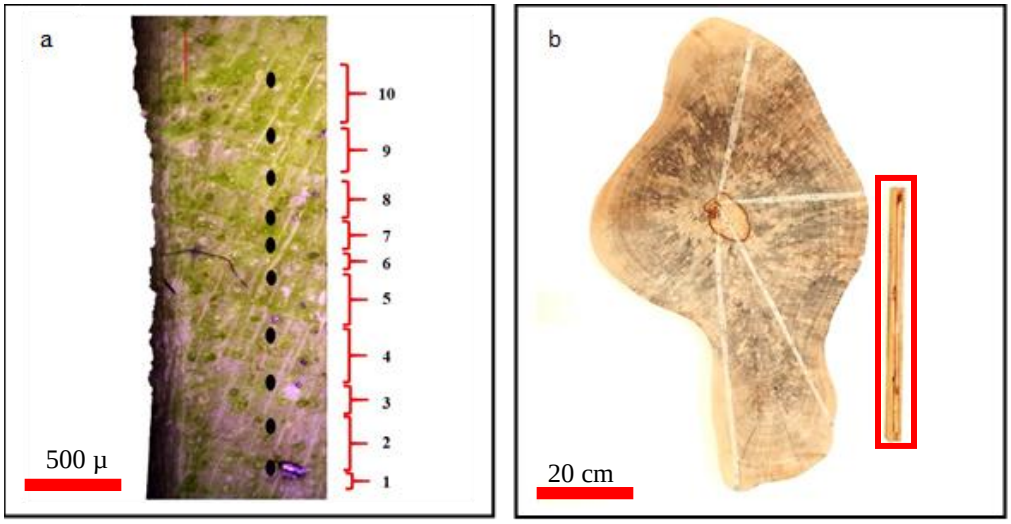


Gráfico 3. a) Limites de 10 anillos. b) Rodaja y core capturados con cámara digital

Las imágenes se obtuvieron con la cámara digital conectada a un microscopio estereoscópico, con la visualización del lente objetivo de 20 X (Grafico 3a;3b).

Elaboración de la cronología Completa y truncada

La calidad estadística de la serie de ancho de anillo de árbol (RWI) se verificó utilizando los paquetes de código abierto: biblioteca de programas de dendrocronología en R (dplR)

(Bunn, 2010) , “Chron” y "detrendR" (Anexo 4) (Campelo et al., 2012). La construcción de las cronologías fue para el periodo completo desde 1826-2020 y el periodo truncado desde 1890-2020. Se decidió trabajar con dos cronologías para poder ver la variabilidad que presentó la cronología completa en los primeros 64 años. En este sentido poder distinguir también, si existió variabilidad en la cronología truncada. Antes de estandarizar las series, se seleccionó por correlación de Pearson (Rahman et al., 2018). Las series individuales se estandarizaron mediante un procedimiento interactivo de eliminación de tendencia a través del paquete "detrenderR" (Gráfico 4) (A. G. Bunn, 2008). Eliminamos las tendencias de crecimiento dada por la edad y la dinámica natural entre especies por un Spline de suavizado cúbico de 32 años, método dendrocronológico que estandariza y suaviza las series de los anillos de los árboles (Melvin et al., 2007). En este sentido, las medidas de los anillos de los árboles se convirtieron en índices (Tomazello Fo et al., 2009). Las estadísticas descriptivas para cronología completa de *B. graveolens* cubriendo el período 1826-2020 fueron: Autocorrelación de las series, Sensibilidad Media (Ms), Señal de la Población Expresada (EPS) (Shah & Mehrotra, 2017). También se analizó las siguientes estadística: Media GLK “Gleichlaufigkeit, Rbar.wt, Rbar.bt (Shiyatov et al., 1990; Wigley et al., 1984). A continuación, se aplicó el mismo procedimiento para la construcción de la cronología truncada en el período 1890-2020. De esta forma determinar sus diferencias, por la variabilidad que presentaba en los primeros años, la cronología completa. Finalmente, una vez creadas las cronologías, pasan a la siguiente fase de reconstrucción climática.

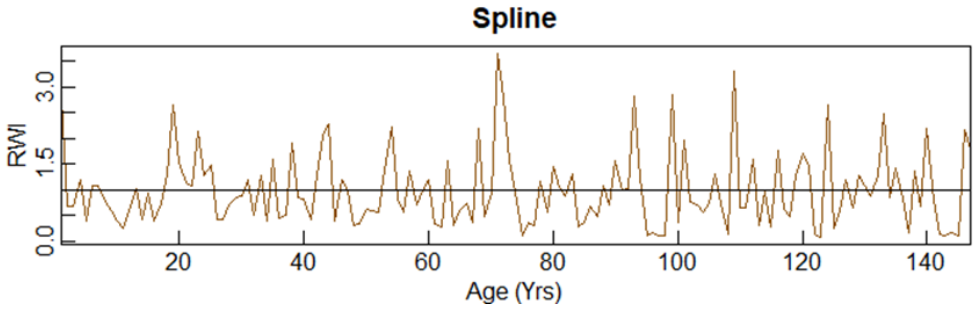
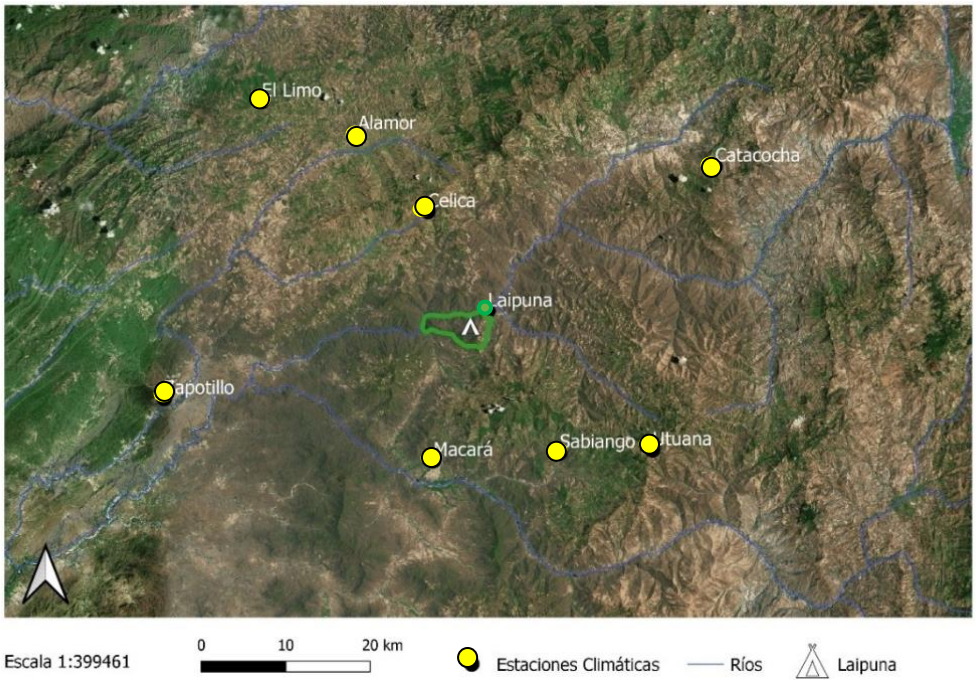


Gráfico 4. Método de suavizado por spline cúbico de 32 años (Bunn, 2008).

Fase 2. Modelación de la reconstrucción climática por métodos dendrocronológicos

Datos regionales de precipitación y temperatura

En este estudio se obtuvo un promedio de todas las estaciones meteorológicas para crear una serie regional de precipitación y temperatura en el periodo1964-2015. Siguiendo los lineamientos de Sheppard (2010), decimos utilizar todas las estaciones climáticas. Utilizamos registros de 9 estaciones meteorológicas: Macará, Zapotillo, Saucillo, Alamor, Utuana, Sabiango, Catacocha, El Limo y Celica (Gráfico 5). La altura registrada va desde 223 a 2525 (m.s.n.m). Los datos climáticos fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) (INAMHI, 2021). Cabe recalcar que algunas de las estaciones presentaron datos faltantes, mismos que fueron imputados con valores obtenidos de la mediana por estación climática (Colston et al., 2018). Una vez obtenida la precipitación y temperatura regional, tomamos como referencia años que cumplen determinadas características históricas, como la presencia del fenómeno de El Niño y La Niña (Caetano Andrade et al., 2019a). Esto se realizó para , poder correlacionar las series regionales de clima con los datos de la cronología final (Zang & Biondi, 2015).



Gráficos 5. Ubicación de las estaciones climáticas en Macará.

Reconstrucción climática con la dendrocronología

Para lograr una reconstrucción climática a través de los datos del ancho de los anillos de los árboles se utilizó el paquete dendroclimático treeclim en el software R (Zang & Biondi, 2015). Por otro lado, es importante saber cuándo reconstruir la temperatura o la precipitación. La reconstrucción de la precipitación es posible cuando la capacidad de humedad afecta el crecimiento de los árboles (Sheppard, 2010). En otros casos, la reconstrucción de la temperatura se puede llevar a cabo cuando la temperatura de la estación influyó en el crecimiento de los anillos de los árboles (Sheppard, 2010). Antes de ingresar los datos al paquete, se contó con tres tipos de series La serie cronológica estándar, la serie de temperatura y la serie de precipitación (Anexo 4) (Zang & Biondi, 2015). La calibración estadística que relaciona el ancho de los anillos de los árboles con la variable climática fue el coeficiente de correlación de Pearson en el paquete treeclim del Software R (Xiong et al., 1998). Las series climáticas se truncaron al mismo año. En este caso, se trabajó durante el período de 1964 a 2015. Los alcances estadísticos obtenidos del paquete fueron los siguientes: correlación de Pearson, correlación móvil, habilidades de la cronología (r / skill), aplicación de una media móvil de 20 años, Durbin-Watson (DW), los datos se ajustan al modelo (valor p), Reducción de errores (RE), Coeficiente de eficiencia (CE), valor F (F), varianza explicada (R^2), varianza explicada ajustada por pérdida de grados de libertad (R^2Adj) (Zang & Biondi, 2015). La primera correlación se obtuvo a partir de la función dcc y después de su uso, usamos un modelo predictor (Zang & Biondi, 2015). La correlación dinámica se calculó mediante la función de correlación móvil, aquí obtuvimos una ventana dendroclimática del intervalo móvil de noviembre a diciembre época lluviosa (Anexo 2) (Zang & Biondi, 2015). Evaluamos las habilidades de reconstrucción por función de habilidades, es ideal para analizar la reconstrucción de la temperatura de verano (He et al., 2019; Zhou et al., 2018). Finalmente, para lograr la reconstrucción climática fue necesario aplicar dos modelos de regresión lineal simple (Zhang et al., 2020) independientes entre sí, el primero entre el RWI y la precipitacion anual; y el otro entre el RWI y a temperatura. Previo a la construcción de los modelos, se revisaron que no existieran valores atípicos por lo que del conjunto total de muestras (124 núcleos) se eliminaron 28 cores que mostraron

valores que no se ajustaban a lo esperado. Asimismo, se verifico que el número de muestras era el recomendado según la literatura (Rodríguez et al., 2005a).Además también se verifico la autocorrelación mediante el test Durbin Watson (DW), en el que se obtuvo un valor menor a 2, el recomendado para estudios en dendrocronología (Zang & Biondi, 2015).

Fase 3. Mejoras en la Normativa Ambiental

La mejora a la Normativa Ambiental vigente, de acuerdo a los resultados dendroclimáticos obtenidos se orientó a medidas que promuevan la utilización de especies forestales con potencial dendroclimático con énfasis en la preservación, protección, manejo sostenible y restauración forestal por parte del Municipio de Macará. Una rigurosa revisión se aplicó, para comprender que cambios son pertinentes plantear a la normativa. De las Normativas Ambientales vigentes en la plataforma SUIA y el Código Orgánico de Ambiente, del Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), se seleccionó aquella que directa o indirectamente contrarresten y minimicen la degradación de los ecosistemas naturales. (MAATE, 2021). La normativa que se seleccionó fue la siguiente:

El "Código Orgánico del Ambiente" en el capítulo II, de las Facultades Ambientales de los Gobiernos Autónomos Descentralizados, en el **Art. 27 De las facultades de Los Gobiernos Autónomos Metropolitanos y Municipales en materia ambiental** (COA, 2017). Con la finalidad de incluir una facultad más.

Potencial dendrocronológico

Se hizo una revisión en quince artículos científicos de dendrocronología que se usó en este estudió, escritos en ingles de revistas indexadas internacionales para poder determinar las especies con potencial dendrocronológico de Latinoamérica, se registró las especies forestales estudiadas (Tabla 2), para luego asociarlas y verificarlas con las especies forestales de Macará perteneciente al ecosistema del Bosque Bajo y Arbustal Deciduo de tierras bajas del Jama-Zapotillo "BdTc02" (MAE, 2012) (Tabla 4). Considerando como especies diagnosticas de este ecosistema a las siguientes:

Tabla 4.

Especies diagnosticas del Bosque Seco de Macará

Especies diagnosticas del Bosque de Macará		
Nombre científico	Nombre común	Referencia
Acacia macracantha	Faique	(MAE, 2012)
Achatocarpus pubescens	Cuyicaspi	
Bonellia sprucei	Barbasco	
Bursera graveolens	Palo santo	
Caesalpinia glabrata	Cascol	
Ceiba trischistandra	Ceiba	
Pilosocereus tweedyanus	Pithaya barbón	
Prosopis juliflora	Algarrobo	
Scutia pauciflora	Espino	
Capparicordis crotonoides	Yunto	
Cynophalla heterophylla	Hoja tiesa	
Cereus diffusus	Cirio	
Cordia lutea	Muyuyo	
Erythroxylum glaucum	Cacho del toro	
Ipomoea carnea	Pudreoreja de árbol	
Jatropha curcas	Piñón de tempate	
Maytenus octogona	Arrayancillo	
Mimosa acantholoba	Sierrita	
Vallesia glabra	Cuncuno	

En este sentido a través de la mejora a la Normativa Ambiental, se promueva la utilización de especies forestales con potencial dendroclimático para poder construir modelos climáticos históricos, mismos que sirvan de apoyo para la toma de decisiones por parte de las autoridades del Municipio del Cantón Macará. De tal forma, que las especies forestales sean protegidas, preservadas y conservadas para fines de investigación científica.

CAPÍTULO III

RESULTADO

Desarrollo de dos cronologías a través de los anillos de los árboles

Cronología de anillos de árboles

La construcción de la cronología estándar se da a través del promedio de los datos del Índice del Ancho de los anillos (RWI) (Bunn et al., 2020). En la estandarización el que mejor ajuste tuvo a nuestros datos fue el spline de suavizado cúbico de 32 años para reducir la tendencia, a través del método del detrending (Bunn et al., 2020). En la construcción de las dos cronologías, se puede observar una variabilidad en las curvas (Grafico 6a; 6b). Valores estadísticos de las dos cronologías fueron muy similares. Los resultados obtenidos a través del programa de Dendrocronología en R (dplR), mostraron que la longitud de la curva cronológica estándar completa es de 195 años cubriendo el periodo 1826-2020 y para la cronología truncada es de 130 años en el periodo 1890-2020 (Grafico 6).

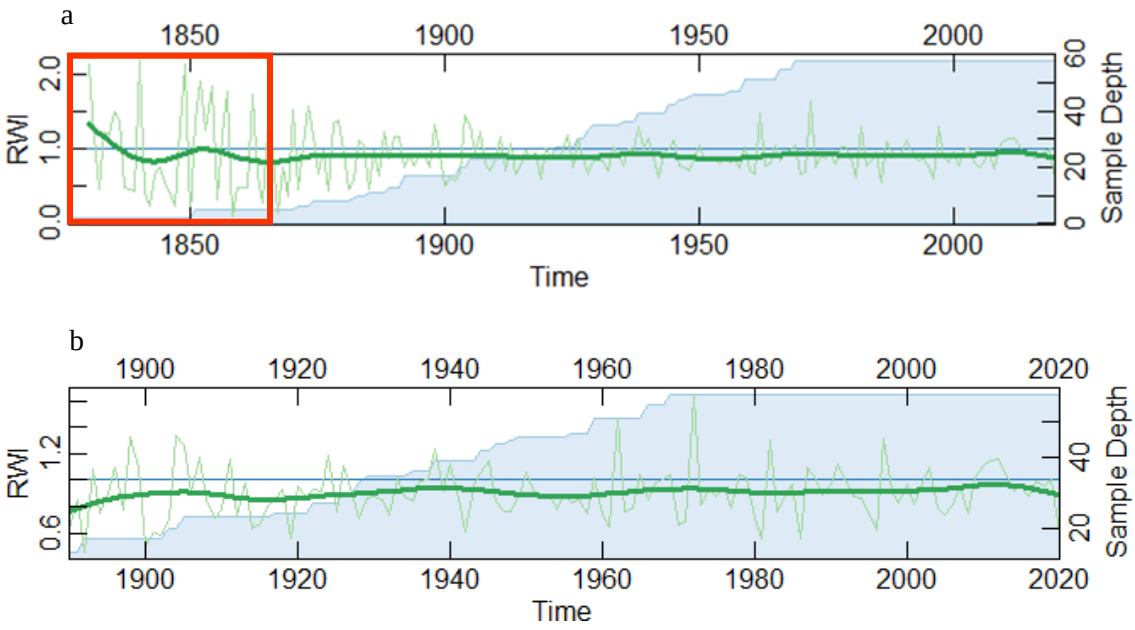


Gráfico 6. a) Cronología completa 1826-2020. b) Cronología truncada 1890-2020.

En las dos cronologías se muestran las siguientes características: profundidad de la muestra, indica todos los núcleos con los que se trabajó (línea azul). La curva verde sigue la tendencia de crecimiento de la cronología. El índice de ancho de anillo (RWI) muestra el

índice de crecimiento radial anual de *B. graveolens,* mismo que se dio mediante el ancho de los anillos de todas las series, el marco de color rojo muestra 64 años de variabilidad para los primeros años de la serie. El ancho medio del anillo de los árboles en la cronología completa y truncada fue de 0,740 y 0,73 mm. Los datos del ancho de los anillos de los árboles de las dos cronologías fueron datados estadísticamente por el valor t 0,52 de Gleichläufigkeit (Glk) para determinar cómo fue la sincronía del crecimiento (Sookdeo et al., 2020) (Tabla 3). La sensibilidad promedio para las cronología competa y truncada fue muy alta de 0.70, significa que los árboles fueron muy sensibles en el crecimiento radial de un año al siguiente (Shi et al., 2015). El índice de sensibilidad de los árboles en crecimiento radial arrojó valores altos, lo que generó desafíos al realizar las mediciones y construir la cronología, donde los anillos se presentaron poco visibles. Podemos ver la sensibilidad media con valores altos para las dos cronologías Ms=0.7. El Rbar bt, Rbar wt y el EPS dio resultado de 0,70, 0.1 y 0.8 (Tabla 5). Los resultados del EPS determinan si la muestra de los árboles recolectada fueron suficientes y si la madera temprana y la madera tardía en el lado transversal fueron confiables para los análisis dendrocronológicos (Koprowski, 2012). El detrending es un indicador de verificación de la cronología y de los datos de las mediciones (Sheppard, 2010). Los resultados estadísticos de la cronología enfocados en su confiabilidad son: EPS y Rbar bt (Mérian & Lebourgeois, 2011). En el desarrollo de la cronología para esta especie los resultados obtenidos, se alinean a una calidad media.

Tabla 5

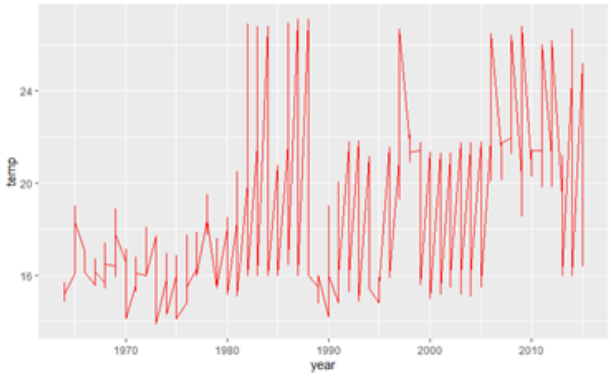
Resumen de características dendrocronológicas de las cronologías de *B. graveolens*.

Características de la cronología	*B. graveolens* (Completa)	*B. graveolens* (Truncada)
N° de árboles (árboles/cores)	32/124; 25/58	32/124; 25/58
Período de cronología	1826-2020 (195 años)	1890-2020 (130 años)
Longitud media de la serie (años)	104	95
Número de mediciones	5938	4838
Media del ancho de los anillos (mm)/SD	0.740 ± 0.6	0.730 ± 0.5
Media GLK	0.52	0.52
Rbar.wt, Rbar bt	0.71, 0.1	0.72, 0.1
Señal de la población expresada (EPS)	0.8	0.8
Sensibilidad media (Ms)	0.69	0.70

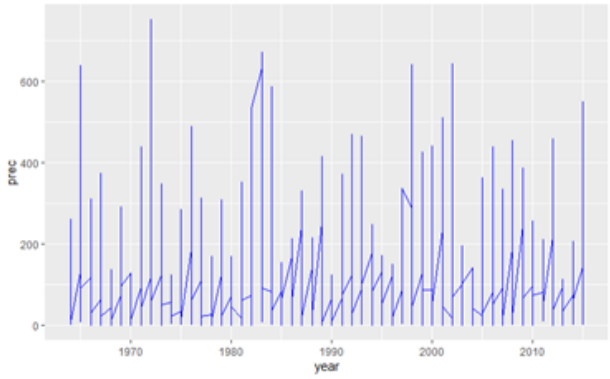
Modelación de la reconstrucción climática a través de los anillos de los árboles

Construcción de serie de temperatura y precipitación regional

Fue necesario truncar las series de temperatura y precipitación debido que la precipitación presentaban datos hasta el 2018 y otras hasta el año 2015. Al usar el paquete treeclim, las series climáticas deben tener el mismo periodo de tiempo. Por consiguiente, obtubimos a través de promedios dos series regionales para temperatura y precipitación en el período de 1964-2015 (Gráfico 7a, 7b). La temperature registró valores mínimos de 13.90°C, una mediana de 17.52°C y valores maximos de 27.10°C y la precipitación registró valores mínimos de 0.00 mm, valores en la mediana de 25.43mm y como máximo 752.40mm.



Temperatura °C (1964-2015)	
Min	13.90
Mediana	17.52
Max	27.10



Precipitación mm (1964-2015)	
Min	0.00
Mediana	25.43
Max	752.40

Gráfico 7. a) Temperatura regional (1964-2015). b) Precipitación regional (1964-2015)

Periodos de los fenómenos de El Niño y la Niña presentes en el Ecuador

Tabla 6

Periodos de los fenómenos de El Niño y la Niña

El Niño "normal"	El Niño "fuerte"	La Niña "normal"	La Niña "larga"
1902, 1905, 1912, 1914, 1919, 1923, 1926, 1931, 1941, 1951, 1958, 1963, 1965, 1969, 1977, 1987, 1992, 2002, 2004, 2006, 2009 (Pucha-Cofrep et al., 2015)	1972, 1982, 1997 (Villarreal N. et al., 2014)	1904, 1916, 1924, 1933, 1942, 1964, 1988, 2007, 2010, 2012 (Pucha-Cofrep et al., 2015)	1909, 1949, 1955, 1971, 1973, 1985, 2000, 2007, 2008, 2011, 2020, 2021 (Villarreal N. et al., 2014; OMM, 2021)

Se considera El Niño normal a la presencia de fuertes precipitaciones durante un año y El Niño fuerte a la presencia de fuertes precipitaciones que duran más de un año. Respecto a La Niña normal es el déficit de precipitaciones durante un año y La Niña larga refiere a una duración de más de un año (Tabla 6) (Villarreal N. et al., 2014; OMM, 2021)**.**

Reconstrucción de la temperatura completa y truncada de noviembre a diciembre

En el análisis, encontramos una correlación de la preciptación para las dos cronologías completa y truncada de 0.4 para *B. graveolens* durante la temporada de lluvias (noviembre-diciembre) (Tabla 7). La correlación entre la temperatura mensual con la cronología completa y truncada fue de 0.30, mostrando claramente que a mayor precipitación y temperatura aumenta el crecimiento de los anillos de los árboles para estos meses (Tabla 7). La correlación de los anillos de crecimiento y los datos de precipitación en la mayoría de los estudios es positiva (Fang et al., 2014). Como nuestros resultados lo muestran.

Tabla 7

Correlación de precipitación y temperatura con cronología completa y truncada

Cronología	Correlación Pearson	
	Precipitación 1964-2015	temperatura1964-2015
1826-2020	r= 0.42	r= 0.30
1890-2020	r= 0.43	r= 0.31

También, se calculó dos estadísticos como la Reducción de error (RE) y el Coeficiente de eficiencia (CE) para la calibración y verificación (He et al., 2019; Zhou et al., 2018). En este estudio se pudo determinar que los valores obtenidos sobre calibración y verificación con los datos de temperatura, en las cronologías completa y truncada del período 1826-2020 y 1890-2020 arrojan los mismos valores (r=0.5, p-valor= 0.01, RE= 0.056, CE=0.056) (Tabla 8). Finalmente se cumplió con el supuesto de independencia para los valores de DW<2, DW=1.708. Esto Significa que las dos cronologías cumplen con los estadísticos dendrocronológicos para pasar a la modelación de reconstrucción de temperatura. La prueba de calibración y verificación dan la fuerza para construir la reconstrucción final de temperatura (Arsalani et al., 2015).

Tabla 8

Estadísticas de calibración y verificación para las cronologías

Cronologías	Calibración y verificación de las cronologías				
	r	p-valor	RE	CE	DW
1826-2020	0.52	0.01	0.056	0.056	1.708
1890-2020	0.53	0.01	0.056	0.056	1.708

Modelo de regresión lineal rwi-temperatura

La reconstrucción se modeló mediante el modelo de regresión lineal simple Wang et al. (2020). El modelo de regresión lineal fue $\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X$, como lo sugiere Kim (2019), donde la variable dependiente "Ŷ" sombrero es la serie de temperatura regional que se pudo predecir o estimar para los periodos de 1826-2020 y 1890-2020. La variable independiente "X" fue la variable que explicó a "Ŷ". Para las dos cronologías, se cumplió con el supuesto de contraste de hipótesis, lo que significa que se rechaza la hipótesis nula porque los valores de los dos coeficientes: el intercepto y la pendiente β_1 X (la cronología) fueron <0.05, mostrando los siguientes resultados (β_0) Intercepto = 0.00035*** y ($\beta_1 x$) "RNLstd" = 0.0185* (Tabla 9). A continuación, se muestra que se cumplió con el contraste del estadístico F, debido a que los valores fueron <0.05, F=0.02. Además, se cumplió con los supuestos de homocedasticidad, donde los valores obtenidos fueron <0.05 (Tabla 9). El r cuadrado y el ajustado, fueron bajos $r^2 = 0.1$ y r^2 ajustado = 0.1.

Tabla 9

Estadísticos del modelo reconstrucción de temperatura

Cronologías			Estadísticos del modelo de las cronologías			
	r^2	r^2 ajustado	p-valor	Contraste F	(β_0) Intercepto	(β_1X) RNLstd
1826-2020	0.1	0.1	0.02	0.01853	0.00035***	0.0185*
1890-2020	0.1	0.1	0.02	0.01853	0.00035***	0.0186*

Con la reconstrucción de la temperatura se pudo dar respuestas sobre lo que surgió en el clima del pasado en el tiempo que los registros climáticos no existentes (Sheppard, 2010).

Los coeficientes de correlación son significativos al nivel del 95% (Zang & Biondi, 2015). En este estudio fue posible obtener un valor de correlación baja entre el clima y los datos de ancho de anillo de árboles. Una correlación baja y media también está dada porque hay otros factores que pueden estar influyendo en la dinámica del crecimiento de los árboles. Los resultados mostraron que durante los eventos del fenómeno La Niña ocurridos en Ecuador, hubo una alta influencia sobre el ancho de los anillos de los árboles en noviembre a diciembre en el inicio de periodo lluvioso (Tabla 10). Estudios determinaron que había una alta significancia en la Reserva Natural "Laipuna" sobre el fenómeno ENOS (Bendix, J. and Beck, 2016)

Tabla 10

Los períodos de crecimiento alto y bajo se muestran a partir de la cronología estándar de TRW por RWI y los años de influencia de la temperatura.

Años	RWI	Temperatura media °C	Eventos históricos" 1904-2020	Referencias	Datos reconstruídos 1826-2020 "Dendroclimatología"
1826	1.88	21.8	S/N	-	El Niño "normal"
1830	0.69	20.3	S/N	-	La Niña "larga" Sequía?
1836	1.40	19,6	S/N	-	Normalidad?
1840	2.37	24.1	S/N	-	El Niño "fuerte"?
1848	1.60	20.6	S/N	-	El Niño "fuerte"?
1849	2.42	24.4	S/N	-	El Niño "fuerte"?
1852	1.94	22.1	S/N	-	El Niño "fuerte"?
1853	1.85	21.7	S/N	-	El Niño "fuerte"?
1854	1.89	21.9	S/N	-	El Niño "normal"?
1862	1.80	21.5	S/N	-	El Niño "fuerte"?
1870	1.57	20.4	S/N	-	El Niño "fuerte"?
1874	1.29	19.1	S/N	-	La Niña "normal"?
1878	1.35	19.4	S/N	-	El Niño "normal"?
1904	1.30	19.1	La Niña "normal"	Pucha-Cofrep et al., 2015	La Niña "normal"
1905	1.44	19.8	El Niño "normal"		El Niño "normal"

1909	0.70	16.3	La Niña “larga”	Villarreal et al., 2014	La Niña “larga”
1933	1.03	19.0	La Niña “larga”	Pucha-Cofrep et al., 2015	La Niña “larga”
1938	1.40	20.0	Normalidad	-	Normalidad?
1942	0.62	16.0	La Niña “normal”	Pucha-Cofrep et al., 2015	La Niña “normal”
1949	0.85	17.0	La Niña “larga”	Villarreal N. et al., 2014	La Niña “larga”
1950	1.04	18.0	Normalidad		Normalidad
1955	0.91	17.3	La Niña “larga”		La Niña “larga”
1962	1.42	20.0	Normalidad	-	Normalidad?
1965	1.09	18.2	El Niño “normal”	Pucha-Cofrep et al., 2015	El Niño “normal”
1967	0.98	18.2	Sequía	-	Sequía?
1968	1.01	18.0	Sequía	-	Sequía?
1972	1.59	20.5	El Niño “fuerte”	-	El Niño “fuerte”?
1982	1.26	18.9	Normalidad	Villarreal et al., 2014	Normalidad?
1985	0.94	17.4	La Niña “normal”		La Niña “normal”
1991	1.13	18.3	Normalidad		Normalidad
1997	1.33	19.2	El Niño “fuerte”		El Niño “fuerte”
2007	0.93	17.4	La Niña “normal”		La Niña “normal”?
2010	1.12	18.3	La Niña “normal”	Pucha-Cofrep et al., 2015	La Niña “normal”
2011	1.08	18.1	La Niña “normal”	Villarreal et al., 2014	La Niña “normal”
2012	1.20	18.7	La Niña “Normal”	Pucha-Cofrep et al., 2015	La Niña “Normal”
2018	0.97	17.6	Normalidad	OMM, 2021	Normalidad
2019	0.99	17.7	Normalidad		Normalidad’
2020	0.54	15.5	La Niña “larga”		La Niña “larga”

Ante la presencia del fenómeno de La Niña los anillos disminuyen el crecimiento, y en los años que hubo la presencia del fenómeno de El Niño los anillos crecen más. La Niña “larga” <0.91 y El Niño fuerte >1,33 Índice del Ancho de los Anillos RWI (Tabla 10).

La mayoría de los árboles crecieron radialmente en un rango de 0,62 a 2,42 (RWI), según la reconstrucción de temperatura de noviembre a diciembre (Tabla 10). Normalmente, el periodo seco en la Reserva Natural de "Laipuna" es de mayo a inicios de noviembre (Pucha-Cofrep, 2016). Los períodos de lluvias comienzan a partir de diciembre en la Reserva Natural "Laipuna". Esta es una de las razones por las que los anillos de los árboles crecieron en estos meses durante todos los años de 1826 a 2020. Existe una gran sensibilidad en el crecimiento de árboles en la estructura anatómica radial frente a la presencia de cambios de temperatura (Rahman et al., 2018). Podemos ver que El Niño "fuerte" - Oscilación del Sur (ENSO) influyó mucho durante los años 1972, 1982 y 1997 en el ancho del anillo de los árboles para las dos cronologías con los valores de 1,59, 1,26 y 1,33 respectivamente (Tabla 10; Tabla 6). Los datos de reconstrucción de temperatura para estos años durante el evento El Niño fueron altos y significativos con valores> 18.9 ° C hasta 20.5 ° C. Durante los eventos de La Niña (Tabla 10) de noviembre a diciembre, los resultados fueron altamente significativos de los períodos 1949, 1955, 1962, 1965 en el crecimiento de anillos de árboles con valores de 0.85, 0.91, 1.42 y 1.09 (RWI) respectivamente (Tabla 10). Los resultados con respecto a la reconstrucción de la temperatura y su influencia en el crecimiento de los anillos de los árboles durante los eventos de La Niña fueron> 17.0 hasta 20 ° C (Tabla 10). Nuestros puntajes de temperatura en concordancia para 2020 nos dieron 15.5 como resultado, el ancho del anillo de los árboles creció un valor de 0.54 (RWI) (Tabla 10). Es evidente que los resultados de temperatura obtenidos aquí concuerdan excepcionalmente bien con los resultados de "La Niña ends" (Tabla 6) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) que sugirió que el evento La Niña 2020-2021 ha terminado, lo que significa que la temperatura sobre la tierra será más cálida (OMM, 2021). Los resultados muestran claramente el cambio de variabilidad en la temperatura para el siglo XIX en los periodos de lluvia de noviembre a diciembre con relación al siglo siguiente, los datos de temperatura cambiaron (Tabla 10).

La presencia de los eventos de El Niño y La Niña, se ven influenciados por los impactos del calentamiento global (Delage & Power, 2020), por los gases de efecto invernadero (Cai et al., 2015). Patrones globales de impactos ambientales junto a los impactos del fenómeno de El Niño y la Niña afectan a los ecosistemas (Claar et al., 2018).

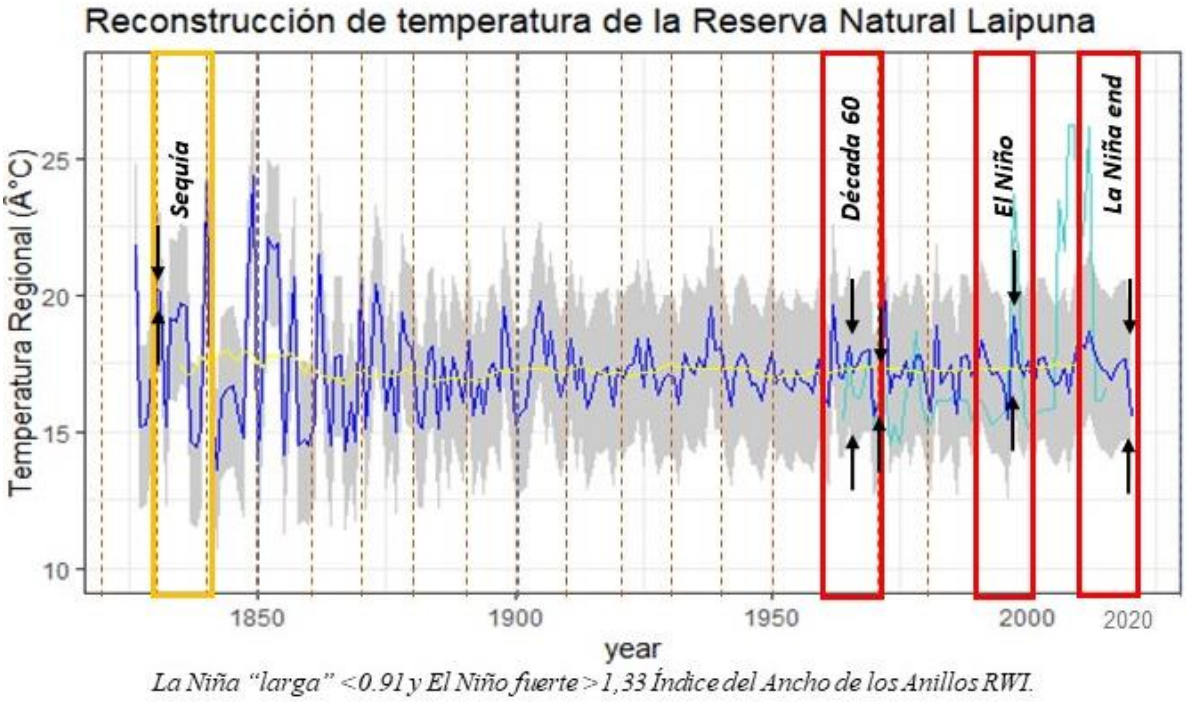


Gráfico 7. Reconstrucción climática de temperatura período 1826 hasta 2020.

La línea de color azul representa la serie de temperatura de 195 años. La línea de color turquesa es la temperatura regional de 52 años de Macará durante el período 1964 hasta 2015. La línea de color gris es el Error cuadrático Medio de la reconstrucción (RMSE). La línea de color amarillo es la media móvil de 20 años aplicada. Los marcos rojos indican eventos históricos registrados en publicaciones científicas, mismos que se pudieron evidenciar en nuestra reconstrucción: eventos de El Niño, La Niña y la sequía de los 60. El marco amarillo muestra un valor predictivo en la década de los 30, indicando que Macará presentó fuerte sequía porque los árboles crecieron un ancho muy pequeño de 0.69 RWI (Tabla 10), mismo que las estaciones meteorológicas no cuentan con esos registros por que en esas fechas no hubo instalación de equipos.

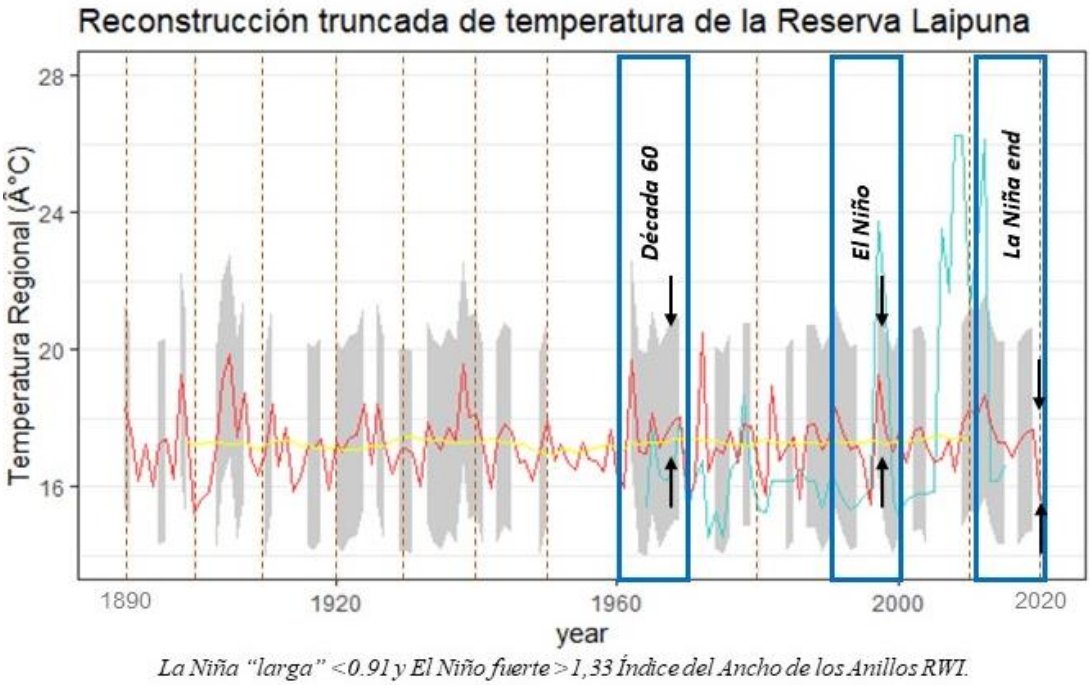


Gráfico 8. Reconstrucción de temperatura a través de cronología truncada.

La línea de color rojo muestra la temperatura en el periodo de 1890 hasta 2020. La línea de color turquesa indica la serie de temperatura del INAMHI para el período de 1964-2020. La línea amarilla indica la media móvil de 20 años aplicada. La sombra de color gris muestra, la suma cuadrática de los errores del modelo. En la reconstrucción truncada se puede evidenciar los mismos eventos de la cronología completa porque son los mismos datos solo que cortados los 64 primeros años, porque presentaron variabilidad (Gráfico 8).

MEJORAS A LA NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE

La facultad adicional que se incluyó al "Código Orgánico del Ambiente" en el capítulo II, de las Facultades Ambientales de los Gobiernos Autónomos Descentralizados, en el Art. 27 De las facultades de Los Gobiernos Autónomos Metropolitanos y Municipales en materia ambiental (COA, 2017). Fue la siguiente:

"Elaborar planes para la protección y manejo sostenible, restauración forestal de especies con potencial dendroclimático con fines de utilizar dichas especies para modelar la incertidumbre del clima".

A través de la verificación de especies estudiadas dendrocronológicamente en América Latina, se pudo determinar a las siguientes según su género y su potencial dendrocronológico. Se detallan a continuación.

Tabla 11

Las especies forestales con potencial dendrocronológico para fines de protección y conservación de Macará

Potencial dendrocronológico de las especies					
	Nombre científico	Nombre común	Género	Estado de conservación	Potencial
1	*Acacia macracantha*	Faique	Acacia	Menor preocupación	SI
2	*Achatocarpus pubescens*	Cuyicaspi	Achatocarpus	Menor preocupación	-
3	*Armatocereus cartwrightianus*	Cardo maderero	Armatocereus	Menor preocupación	-
4	*Bursera graveolens*	Palo santo	Bursera	Menor preocupación	SI
5	*Caesalpinia glabrata*	Cascol	Caesalpinia	Menor preocupación	-
6	*Ceiba trischistandra*	Ceiba	Ceiba	-	-
7	*Pilosocereus tweedyanus*	Pitahaya barbona	Pilosocereus	Menor preocupación	-
8	*Prosopis juliflora*	Algarrobo	Prosopis	-	SI
9	*Scutia pauciflora*	Espino	Scutia	-	-
10	*Capparicordis crotonoides*	Yunto	Capparicordis	-	-

11	*Cynophalla heterophylla*	Hoja tiesa	Cynophalla	-	-
12	*Castanopsis sclerophylla*	Chinkapin	Castanopsis	Menor preocupación	-
13	*Cereus diffusus*	Cirio	Cereus	-	-
14	*Cordia lutea*	Muyuyo	Cordia	Menor preocupación	SI
15	*Erythroxylum glaucum*	Cacho del toro	Erythroxylum	-	-
16	*Ipomoea carnea*	Pudreoreja de árbol	Ipomoea	-	-
17	*Jatropha curcas*	Piñón de tempate	Jatropha	Menor preocupación	-
18	*Maytenus octogona*	Arrayancillo	Maytenus	-	-
19	*Mimosa acantholoba*	Sierrita	Mimosa	Menor preocupación	SI
20	*Vallesia glabra*	Cuncuno	Vallesia	Menor preocupación	-
21	*Mancluria tinctoria*	Moral fina	Mancluria	-	SI

Seis especies forestales de Macará perteneciente al ecosistema del Bosque Bajo y Arbustal Deciduo de tierras bajas del Jama-Zapotillo (Bd TcO2), registraron ser estudiadas a nivel latinoamericano (Tabla 11).

De las 21 especies y 21 géneros de este ecosistema, solo 6 géneros se utilizaron en publicaciones científicas (Tabla 11). Las especies que tiene un potencial dendroclimático según el género son: *Acacia macracantha, Bursera graveolens, Prosopis juliflora, Cordia lutea, Mimosa acantholoba y Mancluria tinctoria.* Además, se consideró importante verificar el estado de conservación de estas especies en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la

UICN (UICN, 2021). Ubicándose en la lista de menor preocupación las siguientes especies con potencial dendroclimático: *A. macracantha*, *B. graveolens*, *C. lutea*, *M. acantholoba*. Solo dos especies con potencial dendrocronológico no son aun registradas en la lista de la UICN*: P. juliflora* y *M. tinctoria* (UICN, 2021).

Las autoridades a través de la nueva facultad propuesta al Art. 27, sobre las responsabilidades de los municipios, podrían considerar esta propuesta de proteger, preservar, conservar y fomentar un manejo sostenible de estas especies con potencial dendroclimático para fines de construcción de modelos climáticos históricos, mismas que ayuden a la toma de decisiones que a las autoridades del municipio competen. De tal forma, que, al disponer de estas especies forestales, más investigadores puedan contribuir con sus aportes científicos y así fomentar la creación de una base de datos de modelación climática, que ayude al monitoreo del clima en eventos futuros.

CAPÍTULO IV
DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Cronologías a través de los anillos de los árboles

En la actualidad, se presentan importantes avances en cuanto a los métodos dendrocronológicos y su relación con las actividades de los seres humanos en el pasado (Čufar, 2007). Recientes estudios informan que la construcción de cronologías ayudan a realizar reconstrucciones del pasado (Rahman et al., 2018). El objetivo principal de esta investigación se basó en desarrollar una reconstrucción climática en un período de 195 años y 130 años. Para ello fue necesario construir las dos cronologías estándar completa y la truncada de *B. graveolens* de la Reserva Natural "Laipuna" y así conocer la relación con los factores climáticos para plantar mejora en la Normativa Ambiental. La recolección de cores se realizó a través de 32 árboles muestreados en un radio de 10 km aproximadamente con una altitud de 600 msnm. En el análisis de las medidas de los anillos de los árboles, fue un desafío poder identificarlos, debido a la presencia de anillos falsos y faltantes. Los anillos de la especie *B. graveolens*, mostraron ser visibles y distintivos (Anexo 2). Estos hallazgos nos muestran, que el crecimiento radial de los árboles tuvo una fuerte sensibilidad a los factores ambientales, con valores altos. La sensibilidad a la topografía en la que se encuentran, como sitios rocosos, pendientes pronunciadas, más las acciones antropogénicas, quedan registrados en los anillos, produciendo así anillos que tuvieron que pasar por eventos de estrés. Según Klesse et al. (2018) cuando el árbol tiene más variabilidad en el crecimiento es debido a que presenta un crecimiento inestable. Nuestros resultados en lo que respecta a sensibilidad media (Ms) de la cronología completa y truncada con valores de 0.69 y 0.70 respectivamente, tiene alta similitud con la reconstrucción climática de Pucha-Cofrep et al. (2015), para la misma especie y en la misma zona. En lo que respecta al EPS uno de los indicadores primordiales de la calidad de la cronología para las completa y truncada, nos dio 0.8, coincidimos con el EPS de 0.8 de la reconstrucción de temperatura que se realizó en China (F. Chen & Yuan, 2014). Para los valores de la sincronía de crecimiento (Glk), autorrelación de la serie, Rbar wt y Rbar bt fueron 0.74 RWI, 0.56, 0.2, 0.7, 0.1 respectivamente para las dos cronologías, como podremos observar nos acercamos a los valores de Pucha-Cofrep et al. (2015) que se

obtuvieron en la reconstrucción de precipitación (Ms: 0.66, EPS: 0.85, Glk: 0.56, Autocorrelación: 0.27, Rbar wt: 0.53, Rbar bt: 0.22) para la especie *B. graveolens* en el año 2015 en el Sur del Ecuador. En este sentido, la reconstrucción de precipitación realizada en "Laipuna" y nuestra reconstrucción de temperatura para la misma especie, se verificó la presencia de estadísticos con valores bajos. Por otro lado, en un inicio en el planteamiento del primer objetivo específico, nos enfocamos en crear dos cronologías, esto con la finalidad de analizar alguna diferencia significativa por la variabilidad que presenta el ancho de los anillos de los árboles en los primero 64 años, de tal forma que también demostramos que no hubo diferencias, arrojaron los mismos valores.

Modelación de la reconstrucción del clima

Dando respuesta al segundo objetivo de nuestra investigación pudimos reconstruir la temperatura de la temporada húmeda noviembre y diciembre, durante los últimos 195 y 130 años a partir del ancho de los anillos de los árboles en la Reserva Natural "Laipuna" del bosque seco tropical en el sur de Ecuador. La reconstrucción capturó períodos cálidos y fríos sobre el fenómeno de El Niño y La Niña. La modelación dendroclimática completa y truncada fue a través de una imputación de valores predictivos por regresión lineal simple junto a la series de precipitación y temperatura regional, usando el paquete treeclim en R, coincidiendo con las metodologías aplicadas en reconstrucciones climáticas que otros investigadores realizaron (Pucha-Cofrep et al., 2015; Rodríguez et al., 2005a). En esta fase probamos que los datos de la cronología completa y truncada se correlacionaban con los factores climáticos. Los datos de precipitación y temperatura se correlacionaron con el crecimiento de los anillos de los árboles de la cronología completa y truncada, durante los meses de noviembre y diciembre (Corrección de Pearson = 0.42 y Corrección de Pearson = 0.30 respectivamente), definiéndola como una correlación baja (Tabla 4). Investigaciones pasadas explican que los anillos de los árboles incorporan potencialmente el clima en el interior como lo hacen las estaciones meteorológicas (Stahle & Cleaveland, 1992). Para los eventos ENOS durante 1972, 1982, 1997 los árboles tuvieron un alto crecimiento radial (Tabla 9). Rahman et al. (2018) indica que la dendrocronología muestra cómo interactúan los eventos ENOS en relación al crecimiento radial de los anillos. Según, Shi et al. (2015) explica

que encontraron una correlación positiva entre el ancho de los anillos de los árboles y el factor climático en épocas de lluvias. Al modelar la serie climática con los anillos de los árboles en la dendroclimatología, no tuvimos los mejores resultados estadísticos, e incluso hubo un nivel de incertidumbre. Nuestros resultados proporcionan evidencia para conocer la correlación de 0.40 y 0.30 de temperatura entre el ancho de los anillos de los árboles en noviembre y diciembre. En diferentes eventos del fenómeno La Niña los árboles crecieron significativamente en los meses de noviembre y diciembre. Es posible deducir que hubo crecimiento para esos meses porque en algunos períodos de tiempo la temporada de lluvias comienza en diciembre - abril para este sitio. Los árboles de la Reserva Natural "Laipuna" no crecieron en el período seco como mayo hasta octubre. En particular, este estudio investigó la influencia de la temperatura en el crecimiento de los árboles durante los últimos 195 y 130 años. Encontramos que los eventos de La Niña que cubren el período 1909, 1949, 1962, 2010, 2011, 2018, 2019 y 2020 (Tabla 10) tuvieron una influencia casi media entre el crecimiento de los anillos de los árboles en los meses de noviembre y diciembre. Asimismo, Rodríguez et al. (2005) encontró una correlación significativa entre los datos cronológicos de *B. graveolens* y su respuesta climática. Según He et al. (2019) encontraron que los árboles en sitios de mayor elevación, la temperatura influye en el crecimiento de los anillos de árboles y que los árboles en sitios de menor elevación están influenciados por la precipitación. En este sentido, nuestros árboles muestreados se encontraban en un sitio de gran elevación y fue posible determinar una pequeña correlación en la temperatura. Factores como la contaminación ambiental, la urbanización local y la intensificación de las actividades antropogénicas, muestran una fuerte influencia en el crecimiento de los árboles (Chen et al., 2011). Cabe recalcar, que el área de estudio, esta cerca al rio Catamayo, mismo que cuenta con la presencia de minería como lo menciona Bendix & Beck (2016), lo que genera impacto ambiental. Por consiguiente, esto pudo influenciar en el crecimiento de los anillos de los árboles y por ende presentar estadísticos con valores bajos como el r cuadrado y el ajustado.

Mejora de la Normativa Ambiental

Finalmente respondemos el último objetivo. Los aportes para la mejora en la Normativa Ambiental, están enfocadas en promover la utilización de especies forestales, con énfasis en la identificación del potencial dendroclimático para la modelación de reconstrucciones climáticas. Para ello fue necesario, conocer la relación existente de la dendrocronología frente a los factores climáticos. El monitoreo de los episodios de eventos extremos como el fenómeno de El Niño y de La Niña, períodos extensos de sequía, de precipitaciones y temperatura, registradas en las series dendrocronológicas se registró en la especie *B. graveolens.* Una vez identificadas las especies con potencial dendroclimático y su estado de conservación, en el bosque seco de Macará, fue relevante aportar con una facultad más al **Art. 27 De las facultades de Los Gobiernos Autónomos Metropolitanos y Municipales en materia ambiental** (COA, 2017) referente a *"Elaborar planes para la protección y manejo sostenible, restauración forestal de especies con potencial dendroclimático con fines de utilizar dichas especies para modelar la incertidumbre del clima".*

Enfocándose en las siguientes especies para su conservación*: A. macracantha, B. graveolens, P. juliflora, C. lutea, M. acantholoba y M. tinctoria.* Así, las autoridades del municipio del Cantón Macará, al considerar documentos científicos realizados en el sector pueda apoyarse de información valiosa respecto al componente clima. En este sentido, pueda gestionar políticas, normativas ambientales que mejoren su gestión gubernamental en el Cantón Macará. Políticas que incluyan la gestión del recurso forestal y estas a su vez fortalezcan el interés de más investigadores de determinar otras especies con potencial dendrocronológico para reconstrucciones climáticas. Políticas que permitan a los investigadores la obtención de información de datos climáticos desde el INAMHI. Además, estas políticas permitan zonificar zonas de estudio, de tal forma que los bosques con potencial dendroclimático estén etiquetados para su conservación. Finalmente, las autoridades del Municipio del Cantón Macará fortalezca la creación de una base de datos a través de una xiloteca climática conformada de cores y rodajas para pasantías o voluntariados.

CAPÍTULO VI

RECOMENDACIONES

Desarrollo de las cronologías

- La colección de los cores sea de fustes cilíndricos para contar con anillos visibles y evitar la presencia de anillos ausentes.
- Desarrollar cronologías de los árboles, que no estén influenciadas por la topografía.
- Promover futuros estudios, en los que los investigadores puedan conocer estas metodologías dendrocronológicas que ayudan a clarecer la incertidumbre de siglos del pasado sobre el clima.

Reconstrucción climática

- La predicción de los datos de las reconstrucciones climáticas, sean ajustados por otros modelos de regresión lineal.
- Identificar más especies con potencial para reconstrucción climática, proteger, preservar y conservar las especies conocidas y las que se estudien a futuro.

Normativa Ambiental

- A través de los municipios reforzar investigaciones de reconstrucción climática en las especies *A.macracantha, B. graveolens, P. juliflora, C. lutea, M. acantholoba y M. tinctoria* y poder ver la dinámica forestal ante la variabilidad climática. De tal forma lograr obtener registros históricos que no han podido ser colectadas por estaciones meteorológicas.
- Crear una base de datos de reconstrucción climática en las especies con potencial dendroclimático, misma que se archive en el Municipio del cantón Macará.
- Declarar y conservar áreas para investigaciones en dendrocronología, construir una red de centros de investigación y laboratorios para realizar estudios dendroclimáticos.
- Fortalecer redes de universidades para motivar cursos, pasantías y tesis en esta disciplina.
- Gestionar y levantar fondos para financiar estudios de reconstrucción climática.

Referencias bibliográficas

Aguirre, Z., Peter, L. & Sánchez, O. (2006). Bosques secos en Ecuador y su diversidad. *Botánica Económica de Los Andes CentralesAndes Centrales*, *42*, 162–187.

Álvarez, C., Le Quesne, C., Rojas-Badilla, M., Rozas, V., & González-Reyes, Á. (2021). Dendrochronological potential of Prumnopitys andina (Podocarpaceae) at the southern limit of its range in the Chilean Andes. *New Zealand Journal of Botany*, *02*, 1–17. https://doi.org/10.1080/0028825X.2021.1877158

Alvites, C., Battipaglia, G., Santopuoli, G., Hampel, H., Vázquez, R., Matteucci, G. AND Tognetti, R. (2019). Dendrochronological analysis and growth patterns of Polylepis reticulata (Rosaceae) in the Ecuadorian Andes. *IAWA Journal / International Association of Wood Anatomists*, *40*(2), 1;5. https://doi.org/10.1163/22941932-40190240

Amankwah, E. (2019). Tropical Forest: A Potential Resource for Climate Change Mitigation in Ghana. *International Journal of Environment and Climate Change*, *August*, 435–442. https://doi.org/10.9734/ijecc/2019/v9i830128

Arsalani, M., Azizi, G., & Bräuning, A. (2015). Dendroclimatic reconstruction of May-June maximum temperatures in the central Zagros Mountains, western Iran. *International Journal of Climatology*, *35*(3), 408–416. https://doi.org/10.1002/joc.3988

Balouet, J. C., Smith, K. T., Vroblesky, D., & Oudijk, G. (2009). Use of dendrochronology and dendrochemistry in environmental forensics: Does it meet the Daubert criteria? *Environmental Forensics*, *10*(4), 268–276. https://doi.org/10.1080/15275920903347545

Balzano, A., Novak, K., Humar, M., & Čufar, K. (2019). Application of confocal laser scanning microscopy in dendrochronology. *Les/Wood*, *68*(2), 5–17. https://doi.org/10.26614/les-wood.2019.v68n02a01

Bendix, J. and Beck, E. (2016). Environmental change and its impacts in a biodiversity hotspot of the south Ecuadorian Andes – monitoring and mitigation strategies HOTSPOT OF THE SOUTH ECUADORIAN ANDES – MONITORING. *Erdkunde*, *70* ·(April), 1–4. https://doi.org/10.3112/erdkunde.2016.01.01

Bräuning, A., De Ridder, M., Zafirov, N., García-González, I., Dimitrov, D. P., & Gärtner, H. (2016). TREE-RING FEATURES: INDICATORS of EXTREME EVENT IMPACTS. *IAWA Journal*, *37*(2), 206–231. https://doi.org/10.1163/22941932-20160131

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*, *March*, 439–461. https://doi.org/10.1007/978-3-319-27422-5_20

Bunn, A. G. (2008). A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia*, *26*(2), 115–124. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2008.01.002

Bunn, A. G. (2010). Statistical and visual crossdating in R using the dplR library. *Dendrochronologia*, *28*(4), 251–258. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2009.12.001

Bunn, A., Korpela, M., Biondi, F., Campelo, F., Mérian, P., Qeadan, F., Zang, C., Buras, A., Cecile, J., Mudelsee, M., & Schulz, M. (2020). *Package "dplR": Dendrochronology Program Library in R* (1.7.2). https://github.com/AndyBunn/dplR

Caetano Andrade, V. L., Flores, B. M., Levis, C., Clement, C. R., Roberts, P., & Schöngart, J. (2019a). Growth rings of Brazil nut trees (Bertholletia excelsa) as a living record of historical human disturbance in Central Amazonia. *PLoS ONE*, *14*(4). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214128

Caetano Andrade, V. L., Flores, B. M., Levis, C., Clement, C. R., Roberts, P., & Schöngart, J. (2019b). Growth rings of Brazil nut trees (Bertholletia excelsa) as a living record of historical human disturbance in Central Amazonia. *PLoS ONE*, *14*(4), 1–18. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214128

Cai, W., Santoso, A., Wang, G., Yeh, S. W., An, S. Il, Cobb, K. M., Collins, M., Guilyardi, E., Jin, F. F., Kug, J. S., Lengaigne, M., Mcphaden, M. J., Takahashi, K., Timmermann, A., Vecchi, G., Watanabe, M., & Wu, L. (2015). ENSO and greenhouse warming. *Nature Climate Change*, *5*(9), 849–859. https://doi.org/10.1038/nclimate2743

Campelo, F., García-González, I., & Nabais, C. (2012). DetrendeR - A Graphical User Interface to process and visualize tree-ring data using R. *Dendrochronologia*, *30*(1), 57–60. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2011.01.010

Chazdon, R. L., Letcher, S. G., Van Breugel, M., Martínez-Ramos, M., Bongers, F., & Finegan, B. (2007). Rates of change in tree communities of secondary Neotropical forests following major disturbances. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *362*(1478), 273–289. https://doi.org/10.1098/rstb.2006.1990

Chen, F., & Yuan, Y. (2014). May-June maximum temperature reconstruction from mean earlywood density in north central China and its linkages to the summer monsoon activities. *PLoS ONE*, *9*(9). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107501

Chen, Y., Chen, F., & Zhang, H. (2021). A tree-ring-based precipitation reconstruction since 1760 CE from Northeastern Tibetan plateau, China. *Atmosphere*, *12*(4). https://doi.org/10.3390/atmos12040416

Chen, Z., He, X., Cui, M., Davi, N., Zhang, X., Chen, W., & Sun, Y. (2011). The effect of anthropogenic activities on the reduction of urban tree sensitivity to climatic change: Dendrochronological evidence from Chinese pine in Shenyang city. *Trees - Structure and Function*, *25*(3), 393–405. https://doi.org/10.1007/s00468-010-0514-x

Claar, D. C., Szostek, L., McDevitt-Irwin, J. M., Schanze, J. J., & Baum, J. K. (2018). Global patterns and impacts of El Niño events on coral reefs: A meta-analysis. *PLoS ONE*, *13*(2), 1–22. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190957

Código Orgánico del Ambiente, 93 (2017).

Colston, J. M., Ahmed, T., Mahopo, C., Kang, G., Kosek, M., de Sousa Junior, F., Shrestha, P. S., Svensen, E., Turab, A., & Zaitchik, B. (2018). Evaluating meteorological data from weather stations, and from satellites and global models for a multi-site epidemiological study. *Environmental Research*, *165*(May), 91–109. https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.02.027

Correa-Díaz, A., Silva, L. C. R., Horwath, W. R., Gómez-Guerrero, A., Vargas-Hernández, J., Villanueva-Díaz, J., Velázquez-Martínez, A., & Suárez-Espinoza, J. (2019). Linking Remote Sensing and Dendrochronology to Quantify Climate-Induced Shifts in High-Elevation Forests Over Space and Time. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, *124*(1), 166–183. https://doi.org/10.1029/2018JG004687

Curtis, S., Fair, A., Wistow, J., Val, D. V, & Oven, K. (2017). Impact of extreme weather events and climate change for health and social care systems. *Environmental Health*, *16*(1), 128. https://doi.org/10.1186/s12940-017-0324-3

Deb, J. C., Phinn, S., Butt, N., & McAlpine, C. A. (2018). Climate change impacts on tropical forests: Identifying risks for tropical Asia. *Journal of Tropical Forest Science*, *30*(2), 182–194. https://doi.org/10.26525/jtfs2018.30.2.182194

Del Valle, J. I., & Giraldo, J. A. (2021). RADIOCARBON and DENDROCHRONOLOGY APPLIED in A LEGAL DISPUTE: A CASE from COLOMBIA. *Radiocarbon*, *63*(4), 1215–1223. https://doi.org/10.1017/RDC.2020.30

Delage, F. P. D., & Power, S. B. (2020). The impact of global warming and the El Niño-Southern Oscillation on seasonal precipitation extremes in Australia. *Climate Dynamics*, *54*(9–10), 4367–4377. https://doi.org/10.1007/s00382-020-05235-0

Díaz-Ramírez, B., Villanueva-Díaz, J., & Cerano-Paredes, J. (2016). Reconstrucción de la precipitación estacional con anillos de crecimiento para la región hidrológica Presidio-San Pedro. *Madera Bosques*, *22*(1), 111–123. https://doi.org/10.21829/myb.2016.221480

Dietz, S., Rising, J., Stoerk, T. and Wagner, G. (2021). Economy impacts of tipping points in the climate system. *Remote Sensing Of Tipping Points In The Climate System, 26-29 January 2021*, *118*(08), 1–9. https://doi.org/10.1073/pnas.2103081118/-/DCSupplemental.y

El Bilali, H., Bassole, I. H. N., Dambo, L., & Berjan, S. (2020). Climate change and food security. *Agriculture and Forestry*, *66*(3), 197–210. https://doi.org/10.17707/AgricultForest.66.3.16

Enquist, B. J., & Leffler, A. J. (2001). Long-term tree ring chronologies from sympatric tropical dry-forest trees: Individualistic responses to climatic variation. *Journal of Tropical Ecology*, *17*(1), 41–60. https://doi.org/10.1017/S0266467401001031

Eskander, S., Fankhauser, S., & Setzer, J. (2021). Global Lessons from Climate Change

Legislation and Litigation. *Environmental and Energy Policy and the Economy*, *2*(April), 44–82. https://doi.org/10.1086/711306

Fletcher, T., Fletcher, T., Touchan, R., Lepley, K., Rouini, N., Bloye, R., Tremarelli, T. S., Peña, K., & Meko, D. M. (2019). TWO RECONSTRUCTIONS of AUGUST-JULY PRECIPITATION for CENTRAL NORTHERN ARIZONA from TREE RINGS. *Tree-Ring Research*, *75*(2), 116–126. https://doi.org/10.3959/1536-1098-75.2.116

French, A., Mechler, R., Arestegui, M., MacClune, K., & Cisneros, A. (2020). Root causes of recurrent catastrophe: The political ecology of El Niño-related disasters in Peru. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *47*, 101539. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101539

Fritts, H. C. (1978). Tree Rings and Climate. *The Journal of Applied Ecology*, *15*(1), 339. https://doi.org/10.2307/2402947

Fuchs, L., Stevens, L. E., & Fulé, P. Z. (2019). Dendrochronological assessment of springs effects on ponderosa pine growth, Arizona, USA. *Forest Ecology and Management*, *435*, 89–96. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.12.049

Fuso Nerini, F., Sovacool, B., Hughes, N., Cozzi, L., Cosgrave, E., Howells, M., Tavoni, M., Tomei, J., Zerriffi, H., & Milligan, B. (2019). Connecting climate action with other Sustainable Development Goals. *Nature Sustainability*, *2*(8), 674–680. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0334-y

Gebrekirstos, A., Bräuning, A., Sass-Klassen, U., & Mbow, C. (2014). Opportunities and applications of dendrochronology in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *6*(1), 48–53. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.10.011

Gomes, V. H. F., Vieira, I. C. G., Salomão, R. P., & ter Steege, H. (2019). Amazonian tree species threatened by deforestation and climate change. *Nature Climate Change*, *9*(7), 547–553. https://doi.org/10.1038/s41558-019-0500-2

Grimm, A. M., & Tedeschi, R. G. (2009). ENSO and extreme rainfall events in South America. *Journal of Climate*, *22*(7), 1589–1609. https://doi.org/10.1175/2008JCLI2429.1

Grundmann, B. M., Bonn, S., & Roloff, A. (2008). Cross-dating of highly sensitive Common beech (Fagus sylvatica L.) tree-ring series with numerous missing rings. *Dendrochronologia*, *26*(2), 109–113. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2008.05.002

Guterres, A. (2021). *The Sustainable Development Goals Report*. https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/

Gutiérrez, E. (2009). *La dendrocronología : métodos y aplicaciones*. 309–322.

Haury, E. W. (2021). Chronology Building in dplR. *R Version 4.0.3*, *3*, 325–340. https://doi.org/10.2307/j.ctv1mgmcjv.19

He, M., Yang, B., Bräuning, A., Rossi, S., Ljungqvist, F. C., Shishov, V., Grießinger, J.,

Wang, J., Liu, J., & Qin, C. (2019). Recent advances in dendroclimatology in China. *Earth-Science Reviews*, *194*(June), 521–535. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.02.012

Helama, S., Lindholm, M., Timonen, M., & Eronen, M. (2004). Detection of climate signal in dendrochronological data analysis: A comparison of tree-ring standardization methods. *Theoretical and Applied Climatology*, *79*(3–4), 239–254. https://doi.org/10.1007/s00704-004-0077-0

Hughes, M. K. (2002). Hughes et al 2002 Dendrochronology in climatology.pdf. *Dendrochronologia*, *20*(2), 95–116.

IAWA. (2017). Iawa list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA International Association of Wood Anatomists*, *10*(3), 219–332. https://www.researchgate.net/publication/294088872_IAWA_List_of_Microcopie_Features_for_Hardwood_Identification

Instituto Nacional de Meteorollogía e hidrologíaINAMHI. (2021). *Anuario meteorológico*. https://doi.org/ISSN Nº 13903586

Islam, M., Rahman, M., & Bräuning, A. (2018). Growth-ring boundary anatomy and dendrochronological potential in a moist tropical forest in Northeastern Bangladesh. *Tree-Ring Research*, *74*(1), 76–93. https://doi.org/10.3959/1536-1098-74.1.76

Kanatjev, A. G., Shumilov, O. I., & Kasatkina, E. A. (2014). Software for dendrochronological measurements. *Instruments and Experimental Techniques*, *57*(2), 214–217. https://doi.org/10.1134/S0020441214020080

Kern, z., Arvai, M. and Grynaeus, A. (2014). Dendrochronological study of a wooden belfry from Szokolya, Hungary. *Archeometriai Műhely*, *19*(01), 71–76.

Kim, H.-Y. (2019). Statistical notes for clinical researchers: simple linear regression 3 – residual analysis. *Restorative Dentistry & Endodontics*, *44*(1), 1–8. https://doi.org/10.5395/rde.2019.44.e11

Koprowski, M. (2012). Long-term increase of March temperature has no negative impact on tree rings of European larch (Larix decidua) in lowland Poland. *Trees - Structure and Function*, *26*(6), 1895–1903. https://doi.org/10.1007/s00468-012-0758-8

Kostyakova, T. V., Touchan, R., Babushkina, E. A., & Belokopytova, L. V. (2018). Precipitation reconstruction for the Khakassia region, Siberia, from tree rings. *Holocene*, *28*(3), 377–385. https://doi.org/10.1177/0959683617729450

Krepkowski, J., Bräuning, A., Gebrekirstos, A. & Simone, S. (2011). Cambial growth dynamics and climatic control of different tree life forms in tropical mountain forest in Ethiopiae. *Trees*, *25*(July), 59–70. https://doi.org/10.1007/s00468-010-0460-7

Lattke, J., & Aguirre, N. (2016). Survey of Ants in Dry Forests of Southwestern Ecuador (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*, *63(3)*(September), 909–918. https://doi.org/10.13102/sociobiology.v63i3.1044

Law, B. E., & Harmon, M. E. (2011). Forest sector carbon management, measurement and verification, and discussion of policy related to climate change. *Carbon Management*, *2*(1), 73–84. https://doi.org/10.4155/cmt.10.40

Liang, J., & Gamarra, J. G. P. (2020). The importance of sharing global forest data in a world of crises. *Scientific Data*, *7*(1). https://doi.org/10.1038/s41597-020-00766-x

Limsakul, A. (2019). Impacts of el niño-southern oscillation (ENSO) on rice production in Thailand during 1961-2016. *Environment and Natural Resources Journal*, *17*(4), 30–42. https://doi.org/10.32526/ennrj.17.4.2019.29

Liutsko, L., Monleón, A., & Gutiérrez, E. (2008). *What trees tell us: Dendrochronological and statistical analysis of the data*. 61. http://recercat.cat/handle/2072/265412

Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador 2012-2025, 158 (2012). %0Awww.ambiente.gob.ec

Estrategia Nacional de Cambio Climático 2012-2025, 158 (2012). https://storage.googleapis.com

MAE. (2012). Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental. In *Páginas 60-61 en: Ministerio del Ambiente del Ecuador 2012. Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental. Ministerio del Ambiente del Ecuador*. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS_ECUADOR_2.pdf

Malik, I., & Wistuba, M. (2012). Dendrochronological methods for reconstructing mass movements -an example of landslide activity analysis using tree-ring eccentricity. *Geochronometria*, *39*(3), 180–196. https://doi.org/10.2478/s13386-012-0005-5

Martín-Benito, D., Cherubini, P., Del Río, M., & Cañellas, I. (2008). Growth response to climate and drought in Pinus nigra Arn. trees of different crown classes. *Trees - Structure and Function*, *22*(3), 363–373. https://doi.org/10.1007/s00468-007-0191-6

Melvin, T. M., Brifffa, K. R., Nicolussi, K., & Grabner, M. (2007). Time-varying-response smoothing. *Dendrochronologia*, *25*(1), 65–69. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2007.01.004

Mérian, P., & Lebourgeois, F. (2011). Consequences of decreasing the number of cored trees per plot on chronology statistics and climate-growth relationships: A multispecies analysis in a temperate climate. *Canadian Journal of Forest Research*, *41*(12), 2413–2422. https://doi.org/10.1139/X11-149

Monzote, L., Hill, G. M., Cuellar, A., Scull, R., & Setzer, W. N. (2012). Chemical composition and anti-proliferative properties of Bursera graveolens essential oil. *Natural Product Communications*, *7*(11), 1531–1534. https://doi.org/10.1177/1934578x1200701130

Morera, C., Sandoval, L. y Alfaro, L. (2021). Assessment of biological corridors in Costa Rica : landscape structure and connectivity-fragmentation processes. *Revista*

Geográfica de America Central, *March*, 2–27. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15359/rgac.66-1.5 Resumen

NCI. (2021). *Naturaleza y Cultura Internacional*. http://www.naturalezaycultura.org/

Norton, D., & Ogden, J. (1987). Dendrochronology: A review with emphasis on New Zealand Applications. *New Zealand Journal of Ecology*, *10*(March), 77–95. https://www.jstor.org/stable/24052791

Norton, D. A., & Ogden, J. (1987). Dendrochronology: a review with emphasis on New Zealand applications. *New Zealand Journal of Ecology*, *10*, 77–95.

Oberhuber, W., Kofler, W., Pfeifer, K., Seeber, A., Gruber, A., & Wieser, G. (2008). Long-term changes in tree-ring-climate relationships at Mt. Patscherkofel (Tyrol, Austria) since the mid 1980s. *Trees*, *22*(1), 31–40. https://doi.org/10.1007/s00468-007-0166-7

Ochoa, W. (2017). *Causes and consequences of land-use diversification: Mechanistic and empirical analyses at farm level in the dry forest of Ecuador* (Issue April) [Technische Universität München]. https://www.researchgate.net/publication/326132007_Causes_and_consequences_of_land_-_use_diversification_Mechanistic_and_empirical_analyses_at_fa_rm_level_in_the_dry_forest_of_Ecuador

Peña, M. P., Barichivich, J., & Maldonado, A. (2014). Climatic drivers of tree growth in a swamp forest island in the semiarid coast of Chile. *Journal of Arid Environments*, *109*(February 2018), 15–22. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.05.003

Pérez, J., Correa-Araneda, F., López-Rojo, N., Basaguren, A., & Boyero, L. (2021). Extreme temperature events alter stream ecosystem functioning. *Ecological Indicators*, *121*(April 2020), 106984. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106984

Pompa-García, M. (2020). Latin American Dendroecology. In *Latin American Dendroecology*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-36930-9_6

Pourtahmasi, K., Lotfiomran, N., Bräuning, A. and Parsapajouh, D. (2011). Tree-ring width and vessel characteristics of oriental beech (Fagus Orientalis) along an altitudinal gradient in the Caspian Forest, Northern Iran. *IAWA International Association of Wood Anatomists*, *32*(4), 461–473.

Pucha-Cofrep, D. (2016). *Environmental signals in radial growth , stable isotope variations and nutrient concentration of trees from different forest ecosystems in southern Ecuador Environmental signals in radial growth , stable isotope variations and nutrient concentration of tr*. *June*, 100. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2818.2646

Pucha-Cofrep, D., Peters, T., & Bräuning, A. (2015). Wet season precipitation during the past century reconstructed from tree-rings of a tropical dry forest in Southern Ecuador. *Global and Planetary Change*, *133*(July 2016), 65–78.

https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.08.003

Raffelsbauer, V., Spannl, S., Peña, K., Pucha-Cofrep, D., Steppe, K., & Bräuning, A. (2019). Tree circumference changes and species-specific growth recovery after extreme dry events in a montane rainforest in southern ecuador. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 342. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00342

Rahman, M., Islam, M., & Bräuning, A. (2019). Species-specific growth resilience to drought in a mixed semi-deciduous tropical moist forest in South Asia. *Forest Ecology and Management*, *433*(August 2020), 487–496. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.11.034

Rahman, M., Islam, M., Wernicke, J., & Bräuning, A. (2018). Changes in sensitivity of tree-ring widths to climate in a tropical moist forest tree in Bangladesh. *Forests*, *9*(12), 1–22. https://doi.org/10.3390/f9120761

Reckien, D., Salvia, M., Heidrich, O., Church, J. M., Pietrapertosa, F., De Gregorio-Hurtado, S., D'Alonzo, V., Foley, A., Simoes, S. G., Krkoška Lorencová, E., Orru, H., Orru, K., Wejs, A., Flacke, J., Olazabal, M., Geneletti, D., Feliu, E., Vasilie, S., Nador, C., … Dawson, R. (2018). How are cities planning to respond to climate change? Assessment of local climate plans from 885 cities in the EU-28. *Journal of Cleaner Production*, *191*(August), 207–219. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.220

Reglamento al Código Orgánico del Ambiente: Registro Oficial, Órgano del Gobierno del Ecuador, 144 (2019). http://suia.ambiente.gob.ec/?page_id=344

Rivera, M., Moya R., Jorge y Shea, D. (2010). Dendrocronología en la Pampa del Tamarugal, Desierto de Atacama, Norte de Chile. *Diálogo Andino - Revista de Historia, Geografía y Cultura Andina*, *36*, 33–50.

Roa-Fuentes, L. L., Templer, P. H., & Campo, J. (2015). Effects of precipitation regime and soil nitrogen on leaf traits in seasonally dry tropical forests of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Oecologia*, *179*(2), 585–597. https://doi.org/10.1007/s00442-015-3354-y

Rodríguez, R., Mabres, A., Luckman, B., Evans, M., Masiokas, M., & Ektvedt, T. M. (2005a). "El Niño" events recorded in dry-forest species of the lowlands of northwest Peru. *Dendrochronologia*, *22*(3), 181–186. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2005.05.002

Rodríguez, R., Mabres, A., Luckman, B., Evans, M., Masiokas, M., & Ektvedt, T. M. (2005b). "El Niño" events recorded in dry-forest species of the lowlands of northwest Peru. *Dendrochronologia*, *22*(3), 181–186. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2005.05.002

Rogora, M., Frate, L., Carranza, M. L., Freppaz, M., Stanisci, A., Bertani, I., Bottarin, R., Brambilla, A., Canullo, R., Carbognani, M., Cerrato, C., Chelli, S., Cremonese, E., Cutini, M., Di Musciano, M., Erschbamer, B., Godone, D., Iocchi, M., Isabellon, M.,

… Matteucci, G. (2018). Assessment of climate change effects on mountain ecosystems through a cross-site analysis in the Alps and Apennines. *Science of the Total Environment*, *624*(January), 1429–1442. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.155

Rollenbeck, R., Fabian, P., & Bendix, J. (2006). Precipitation dynamics and chemical properties in tropical mountain forests of Ecuador. *Advances in Geosciences*, *6*, 73–76. https://doi.org/10.5194/adgeo-6-73-2006

Rozendaal, D. M. A., & Zuidema, P. A. (2011). Dendroecology in the tropics: A review. *Trees - Structure and Function*, *25*(1), 3–16. https://doi.org/10.1007/s00468-010-0480-3

Sáenz-Ceja, J. E., & Pérez-Salicrup, D. R. (2019). Dendrochronological reconstruction of fire history in coniferous forests in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico. *Fire Ecology*, *15*(1). https://doi.org/10.1186/s42408-019-0034-z

Santos, M. G., Oliveira, M. T., Figueiredo, K. V., Falcão, H. M., Arruda, E. C. P., Almeida-Cortez, J., Sampaio, E. V. S. B., Ometto, J. P. H. B., Menezes, R. S. C., Oliveira, A. F. M., Pompelli, M. F., & Antonino, A. C. D. (2014). Caatinga, the Brazilian dry tropical forest: Can it tolerate climate changes? *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, *26*(1), 83–99. https://doi.org/10.1007/s40626-014-0008-0

Schöngart, J., Piedade, M., Wittmann, F., Wolfgang, J. & Worbes, M. (2005). Wood growth patterns of Macrolobium acaciifolium (Benth.) Benth. (Fabaceae) in Amazonian black-water and white-water floodplain forests. *Oecologia*, *145*(July), 454–461. https://doi.org/10.1007/s00442-005-0147-8

Scrine, J., Jochum, M., Ólafsson, J. S., & O'Gorman, E. J. (2017). Interactive effects of temperature and habitat complexity on freshwater communities. *Ecology and Evolution*, *7*(22), 9333–9346. https://doi.org/10.1002/ece3.3412

Shah, S. K., & Mehrotra, N. (2017). Tree–ring studies of Toona ciliata from subtropical wet hill forests of Kalimpong, eastern Himalaya. *Dendrochronologia*, *46*(October), 46–55. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.10.001

Shah, S., & Shah, C. (2015). Tree rings for the assessment of the potential impact of climate change on forest growth. *Applied Ecology and Environmental Research*, *13*(1), 277–288. https://doi.org/10.15666/aeer/1301_277288

Sheppard, P. R. (2010). Dendroclimatology: Extracting climate from trees. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, *1*(3), 343–352. https://doi.org/10.1002/wcc.42

Shi, J., Lu, H., Li, J., Shi, S., Wu, S., Hou, X., & Li, L. (2015). Tree-ring based February-April precipitation reconstruction for the lower reaches of the Yangtze River, southeastern China. *Global and Planetary Change*, *131*, 82–88. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.05.006

Shiyatov, S. G., Mazepa, V. S., Ecology, A., Branch, U., & Jones, P. D. (1990). Methods of Dendrochronology. In *Methods of Dendrochronology* (Issue April 2016). https://doi.org/10.1007/978-94-015-7879-0

Sookdeo, A., Kromer, B., Büntgen, U., Friedrich, M., Friedrich, R., Helle, G., Pauly, M., Nievergelt, D., Reinig, F., Treydte, K., Synal, H. A., & Wacker, L. (2020). Quality Dating: A Well-Defined Protocol Implemented at ETH for High-Precision 14C-Dates Tested on Late Glacial Wood. *Radiocarbon*, *62*(4), 891–899. https://doi.org/10.1017/RDC.2019.132

Spannl, S. (2017). *The implementation of a dendroecological multi-parameter approach to assess environmental change impacts on growth behavior, tree ecology and stable carbon isotope fractionation of tropical tree species in Southern Ecuador*. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

Speer, J. (2011). Fundamentals of tree-ring research. James H. Speer. In *Geoarchaeology* (Vol. 26, Issue 3, pp. 453–455). https://doi.org/10.1002/gea.20357

Stern, D. I., & Kaufmann, R. K. (2014). Anthropogenic and natural causes of climate change. *Climatic Change*, *122*(1–2), 257–269. https://doi.org/10.1007/s10584-013-1007-x

Strackee, J., & Jansma, E. (1992). The statistical properties of mean sensitivity - a reappraisal. *Dendrochronologia*, *10*(July), 121–135.

Tomazello Fo, M., Roig Juñent, F., & Zevallos Pollito, P. (2009). Dendrocronología y dendroecología tropical: marco histórico y experiencias exitosas en los países de América Latina. *Ecología En Bolivia: Revista Del Instituto de Ecología*, *44*(2), 73–82.

Torbenson, M. C. A., Stahle, D. W., Howard, I. M., Burnette, D. J., Villanueva-Díaz, J., Cook, E. R., & Griffin, D. (2019). Multidecadal Modulation of the ENSO Teleconnection to Precipitation and Tree Growth Over Subtropical North America. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, *34*(5), 886–900. https://doi.org/10.1029/2018PA003510

Reforma Libro VI Tulsma. TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE, 80 (2015).

UICN. (2021). *The IUCN Red List of Threatened Species*. https://www.iucnredlist.org

United States Forest Services. (2021). *Laws and Regulations to Protect Endangered Plants: The Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*. https://www.fs.fed.us/wildflowers/Rare_Plants/conservation/lawsandregulations.shtml

Villarreal N., A., Aguirre R., W., & Hoyos C., L. (2014). Fenomeno de la niña: impacto en la producción de uchuva en Cundinamarca, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, *31*(1), 118. https://doi.org/10.22267/rcia.143101.47

Wang, Z., Lyu, L., Liu, W., Liang, H., Huang, J. & Zhang, Q. (2020). Topographic patterns

of forest decline as detected from tree rings and NDVI. *Catena*, *14*(10). https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.105011

Weeks, A., & Tye, A. (2009). Phylogeography of palo santo trees (Bursera graveolens and Bursera malacophylla; Burseraceae) in the Galápagos archipelago. *Botanical Journal of the Linnean Society*, *161*(4), 396–410. https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.01008.x

Wigley, T., Briffa, K. & Jones, P. (1984). On the Average Value of Correlated Time Series, with Applications in Dendroclimatology and Hydrometeorology. *American Meteorological Society*, *23*(2), 201–213. https://doi.org/https://doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2

Wils, T. H. G., Sass-Klaassen, U. G. W., Eshetu, Z., Bräuning, A., Gebrekirstos, A., Couralet, C., Robertson, I., Touchan, R., Koprowski, M., Conway, D., Briffa, K. R., & Beeckman, H. (2011). Dendrochronology in the dry tropics: The Ethiopian case. *Trees - Structure and Function*, *25*(3), 345–354. https://doi.org/10.1007/s00468-010-0521-y

Wistuba, M., Malik, I., & Badura, J. (2019). Tree rings as an early warning against catastrophic landslides: Assessing the potential of dendrochronology for determining slope stability. *Dendrochronologia*, *53*, 82–94. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.12.002

Xiong, L., Okada, N., Fujiwara, T., Ohta, S., & Palmer, J. G. (1998). Chronology development and climate response analysis of different New Zealand pink pine (Halocarpus biformis) tree-ring parameters. *Canadian Journal of Forest Research*, *28*(4), 566–573. https://doi.org/10.1139/x98-028

Xu, K., Wang, X., Liang, P., An, H., Sun, H., Han, W., & Li, Q. (2017). Tree-ring widths are good proxies of annual variation in forest productivity in temperate forests. *Scientific Reports*, *7*(1), 1–8. https://doi.org/10.1038/s41598-017-02022-6

Young, D. G., Chao, S., Casablanca, H., Bertrand, M. C., & Minga, D. (2007). Essential oil of bursera graveolens (kunth) triana et planch from ecuador. *Journal of Essential Oil Research*, *19*(6), 525–526. https://doi.org/10.1080/10412905.2007.9699322

Zang, C., & Biondi, F. (2015). Treeclim: An R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships. *Ecography*, *38*(4), 431–436. https://doi.org/10.1111/ecog.01335

Zhou, H., Tu, J., Li, G., Xiao, Z., Geng, J., Guo, H., Ye, L., Xu, Y., Zhang, J., & Li, H. (2018). Research on the current status and future of U-Pb chronology study of uranium minerals from the sandstone-type uranium deposits. *Earth Science Frontiers*, *25*(6), 290–295. https://doi.org/10.13745/j.esf.sf.2018.11.5

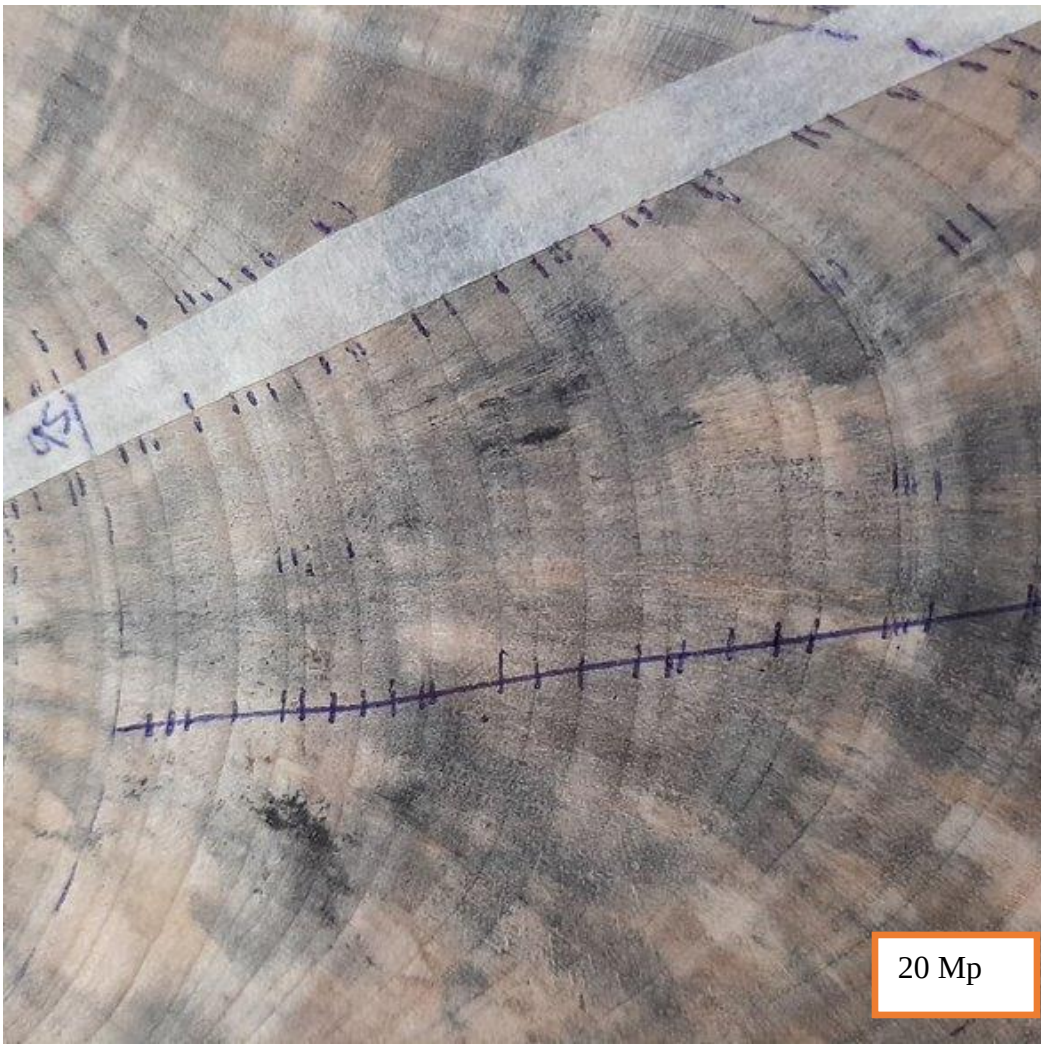
ANEXO 1

Medición de los anillos de los árboles en µ usando estereomicroscopio AmScope

	Nombre	Centro	Diámetro(µn	Area(µm²)	Longitud(µm	Ángulo(°)	Inicio	Fin	Distan
					500				
		(1449,42, 474,81)			1041,94	171,17	(1964,21, 554	(934,63, 394,84)	
		(1991,70, 924,63)			225,8	174,92	(2104,16, 934	(1879,25, 914,63)	
		(2084,17, 1157,04)			130,81	173,42	(2149,14, 116	(2019,19, 1149,54)	
		(2434,03, 592,26)			246,12	167,09	(2553,98, 619	(2314,07, 564,77)	
		(2494,00, 1536,89)			270,49	163,91	(2623,95, 157	(2364,05, 1499,40)	
		(2918,83, 1809,28)			701,86	169,33	(3263,69, 187	(2573,97, 1744,30)	
		(3536,09, 1274,49)			289,24	170,05	(3678,53, 129	(3393,64, 1249,50)	
0		(3516,09, 2191,62)			55,2	174,81	(3543,58, 219	(3488,60, 2189,12)	
1		(3995,90, 1694,32)			673,77	170,61	(4328,27, 174	(3663,53, 1639,34)	
2		(4390,74, 1986,71)			185,53	175,36	(4483,21, 199	(4298,28, 1979,21)	
3									

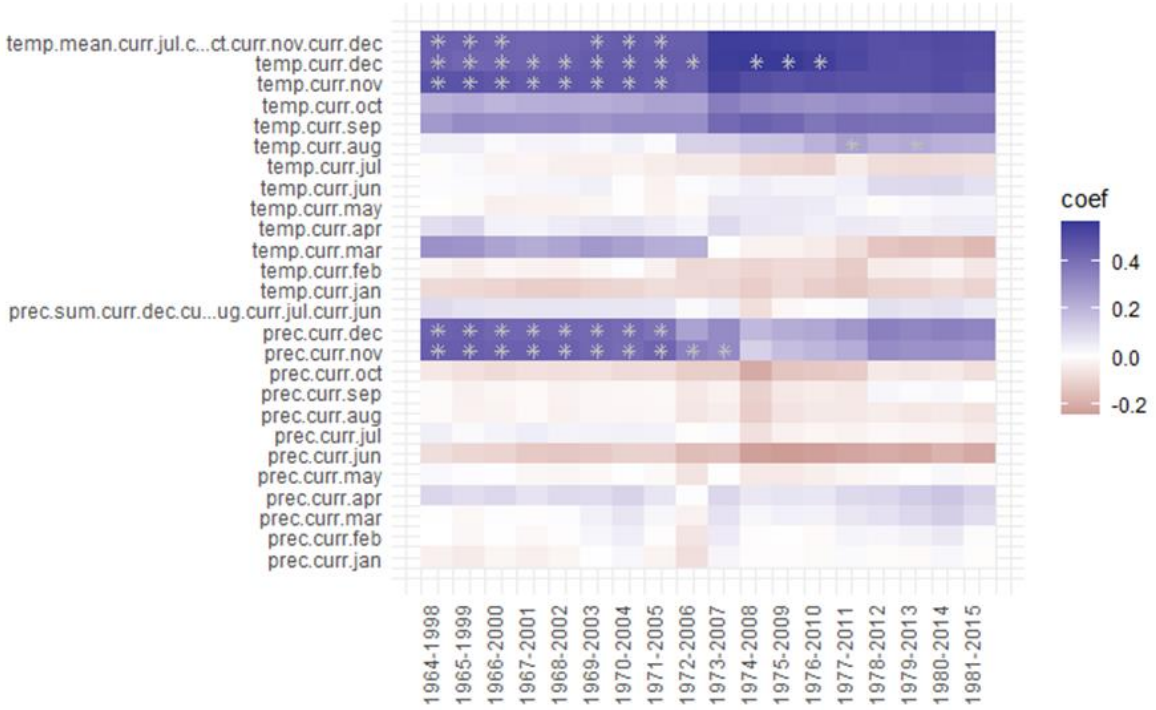
ANEXO 2

Delimitación de los anillos de la especie *B. graveolens*



Anexo 3

Correlación móvil o dinámica a través del paquete treeclim en R (Correlación=0.42 y 0.30)



Anexo 4

Códigos para elaborar las cronologías y la reconstrucción climática en R

Construcción de cronología en paquete dplR

```
trw.cron <- chron(dat.splines, prefix = "RNL", biweight = TRUE,
prewhiten = TRUE) #cronologia nueva
```

```
```{r}
my.cols <- c("#3182BD","#9ECAE1","#DEEBF7","#31A354","#A1D99B","#E5F5
E0") ## seleciono los colores que quiero.
crn.plot(cronologia,add.spline=TRUE,nyrs=42,
         crn.line.col=my.cols[5],
         spline.line.col=my.cols[4],
         samp.depth.col=my.cols[3],
         samp.depth.border.col=my.cols[2],
         abline.col=my.cols[1],
         crn.lwd=1.5,spline.lwd=3,
         abline.lwd=1)
```
```

```
```{r}
trw.rochnn <- crn.plot(cronologia, add.spline = TRUE, nyrs = 30, f =
0.5,
         crn.line.col='grey50',spline.line.col='red',
```

Reconstrucción de clima en paquete treeclim

```
#ejecutar dcc
#dc1 <- dcc(muc_spruce, muc_clim)
dc1 <- dcc(dendr.series, clim.inamhi)
plot(dc1)
```

```
```{r}
#dc1 <- dcc(chron=RPB,climate = Alpes_clim, selection = .range(1:12,
c("PREC", "TEMP"))+.sum("PREC",4:9)+ .mean("TEMP", 6:8), method =
"correlation", ci = 0.05, timespan = c(1901,2012))#1:12 significa que
vamos a ver qu? ocurre en cada mes
#plot(dc1)

dc01 <- dcc(chron=dendr.series,climate = clim.inamhi, selection =
.range(1:12, c("prec", "temp"))+.sum("prec",12:6)+ .mean("temp",
7:12), method = "correlation", ci = 0.05, timespan =
c(1964,2015))#1:12 significa que vamos a ver qu? ocurre en cada mes
plot(dc01)
```

Link dplR: https://cran.r-project.org/web/packages/dplR/dplR.pdf

Link treeclim: https://cran.r-project.org/web/packages/treeclim/treeclim.pdf