Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”
Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales

Dendrocronología apoyada en rayos x de la especie *Campnosperma panamense* standl. visando recomendaciones para el manejo forestal en los bosques de guandal del pacífico colombiano.

Presentado por:

Lina Fernanda Silva Patiño

INGENIERIA FORESTAL

Bogotá D.C.

2022

Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”
Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales

Dendrocronología apoyada en rayos x de la especie *Campnosperma panamense* standl. visando recomendaciones para el manejo forestal en los bosques de guandal del pacífico colombiano.

Presentado por:
Lina Fernanda Silva Patiño

Director:
I.F. César Augusto Polanco Ph D.

Evaluadora:
I.F. Nancy Alexandra Rojas MSc.

INGENIERIA FORESTAL

Bogotá D.C.

2022

Contenido

1. Resumen 5
2. Abstract 6
3. Introducción 7
4. Objetivos 9
   4.1. Objetivo general 9
   4.2. Objetivos específicos 9
5. Hipótesis 10
6. Planteamiento del Problema 11
7. Antecedentes 13
8. Revisión bibliográfica 15
   8.1. Pacífico Colombiano 15
   8.2. Aspectos socioeconómicos 15
   8.3. Geología y fisiografía 16
   8.4. Suelos 17
   8.5. Clima 18
   8.6. Ecosistema y vegetación 19
      8.6.1. Manglares: 19
      8.6.2. Bosque de natal: 19
      8.6.3. Bosque de colinas bajas 20
      8.6.4. Bosque de colinas altas: 20
      8.6.5. Bosque de montaña 20
      8.6.6. Bosque de guandal 20
   8.7. Potencialidades de la dendrocronología 20

8.7.1. Dendrocronología como ciencia 20
8.7.2. Estudio de la dendrocronología para el manejo forestal sostenible 21
8.8. Manejo Forestal sostenible 21
8.8.1. Estimación del crecimiento 22
8.8.2. Incremento corriente y medio anual 23
8.8.3. Diámetro mínimo de corta 24
8.9. Especie *Campnosperma panamense* standl. 25
8.10. Madera y sus características. 26
9. Metodología 29
9.1. Localización y obtención de muestras 29
9.2. Preparación de muestras 30
9.3. Observación macroscópica y marcación de anillos 31
9.4. Procesamiento de imágenes 31
9.5. Densitometría por rayos x 32
9.6. Procesamiento de datos 33
9.7. Correlación con variables ambientales 33
9.8. Determinación del incremento corriente anual y medio anual con miras al MFSC. 34
10. Resultados 35
11. Discusión 57
11.1. Especie 57
11.2. Localización 57
11.3. Material Muestreado 58
11.4. Forma de los árboles 58

11.5. Implicaciones de ENSO (Fenómeno del Niño- Oscilación del Sur)..... 59

12. Conclusiones 68

13. Agradecimientos 70

14. Referencias 71

15. Anexos 78

1. Resumen

La región del pacífico colombiano es la segunda reserva forestal más grande del país, caracterizada por su alta biodiversidad, presenta entre sus ecosistemas el bosque de guandal. Estos bosques son una asociación edafohídrica donde una de las especies pertenecientes es el sajo (*Campnosperma panamense* Standl.) especie que forma rodales coetáneos aprovechados principalmente por nativos de la región. La madera es una de las mayormente comercializada y transportada en Colombia con gran cantidad de aplicaciones para lo cual es pertinente el manejo de estos tipos de bosques y la información permanente relacionada con el crecimiento y dinámica de la especie que por medio de análisis dendrocronológicos permitiría hacerlo. La fuente de obtención de muestras fue el municipio de Buenaventura en un centro de comercialización de maderas provenientes del corregimiento de Puerto Saija, Timbiquí, Cauca. Se obtuvieron 10 piezas de madera, se prepararon para el estudio dendrocronológico, esto incluyo el lijado y procesamiento de imágenes, también se extrajeron fragmentos para pruebas densitometricas hechas en ESALQ-USP, Brasil. El análisis anatómico tipificó la marcación del anillo por la alineación de poros entre la transición de madera tardía a temprana, el cofechado para las 10 piezas estudiadas 6 de ellas presentaron correlaciones superiores a 0.6 con la mayor serie de 1974 al 2017, se realizó la serie maestra y la correlación con la precipitación. posteriormente con los datos de ancho de anillo se modelo el crecimiento por medio de la ecuación de Von Bertalanffy para diferentes asíntotas (1000, 800 y 650mm) introdujeron los parámetros en las ecuaciones de ICA e IMA encontrando en promedio para su aprovechamiento Aprox. 38 años con diámetro de 426mm. Se propone una nueva metodología para obtener el diámetro y edad de aprovechamiento con el punto de trifurcación de las tres asíntotas resultando en promedio 444mm con 40 años, de los cuales se escogió el percentil del 95% el cual correspondería a una edad de 47,5 años y 524,7mm de diámetro en la base. La recomendación es la implementación de esta edad para el diámetro mínimo de corta con entresacas con raleos por lo alto.

Palabras clave: Anillos de crecimiento, Sajo, Silvicultura de bosque tropical, Incremento corriente anual (ICA), Incremento medio anual (IMA)

2. Abstract

The Colombian Pacific region is the second largest forest reserve in the country, characterized by its high biodiversity, and its ecosystems include the guandal forest. These forests are an edaphic-hydric association where one of the species belonging is the sajo (*Campnosperma panamense* Standl.), a species that forms coetaneous stands mainly used by natives of the region. The wood is one of the most traded and transported in Colombia with many applications for which the management of these types of forests and the permanent information related to the growth and dynamics of the specie through dendrochronological analysis is relevant. The source for obtaining samples was the center marketing of timber in the municipality of Buenaventura from the village of Puerto Saija, Timbiquí, Cauca. Ten pieces of wood were obtained and prepared for the dendrochronological study, which included sanding and image processing. Fragments were also extracted for densitometric tests done at ESALQ-USP, Brazil. The anatomical analysis typified the ring marking by pore alignment between latewood to earlywood transition, the co-dating for the 10 pieces studied 6 of them presented correlations higher than 0.6 with the largest series from 1974 to 2017, the master series and correlation with precipitation was performed. Afterwards, with the ring width data, the growth was modeled by means of the Von Bertalanffy equation for different asymptotes (1000, 800 and 650mm) and the parameters were introduced in the ICA and IMA equations, finding an average of 38 years with a diameter of 426mm. A new methodology is proposed to obtain the diameter and age of harvesting with the trifurcation point of the three asymptotes resulting in an average of 444mm with 40 years, from which the 95% percentile was chosen which would correspond to an age of 47.5 years and 524.7mm diameter at the base. The recommendation is to implement this age for the minimum cutting diameter with thinning at the top.

Keywords: Growth rings, Sajo, Tropical Forest Silviculture, Current Annual Increment (CAI), Mean Annual Increment (MAI)

3. Introducción

El pacífico colombiano es reconocido como una región altamente biodiversa con una de las precipitaciones anuales más altas en el mundo. (Rangel & Arellano,2004) Del mismo modo, como presenta una gran diversidad en cuanto a flora y fauna también tiene una gran variedad de suelos, caracterizados en algunos casos por la inundabilidad, ya sea por condiciones salobres o de agua dulce. Debido a lo anterior, no hay una vocación productiva agropecuaria marcada, ya que el 36,41% lo conforman suelos que deberían destinarse a la conservación y el 25,11% adicional debería destinarse a la "producción y protección forestal" (Bonet, 2008)

A nivel nacional los bosques específicamente la reserva forestal de la región del pacifico, es la segunda más grande del país después de la región amazónica, con el 16% del total nacional. sin embargo, proporciona casi la mitad (45%) del consumo nacional de madera. (Estrada, Moreno, & Ordoñez, 2013) La historia socioeconómica giró alrededor de pertenecer a una región principalmente de vocación forestal, al tener pocos suelos aptos para la agricultura o la ganadería, la extracción maderera ganó protagonismo en la década del cuarenta en el siglo XX y pasó de ser una actividad de satisfacción de las demandas locales a abastecer demandas de todo tipo en el mercado nacional. (Leal & Restrepo, 2003) Uno de los bosques más reconocidos en la región por su aprovechamiento es la asociación de Guandal, presentando el 70% de comercialización de la madera. (CONIF, 1980) esta extracción maderera de los Guandales abastece al país desde la década de los 50 ´ s.

Particularmente en el departamento del Cauca, en la zona costera, los principales sitios de extracción maderera son: San José del Trapiche, Chachajo, Corozal, la viuda, Trinidad Bubuey, Camarones y Puerto Saija. Los recursos forestales de la parte costera presentan una tendencia a la sobreexplotación donde las comunidades localizadas en los territorios distinguen diversos sistemas forestales, entre ellos el bosque de guandal,

cuya característica general es la extracción selectiva de maderables. (INVEMAR-CRC-CORPONARIÑO, 2006)

En esta última zona, corregimiento de Puerto Saija, Timbiquí provenía la madera de sajo, aprovechada y transportada al puerto de Buenaventura desde allí se obtuvieron las muestras para el estudio dendrocronológico. Este último término entendido como una disciplina con múltiples aplicaciones, en donde por medio de esta es posible determinar la tasa de crecimiento y la edad de los árboles, además de observar las variaciones ambientales y ecológicas influenciadores en la formación de los anillos de crecimiento sean de origen natural o por acciones antrópicas. (Tomazello Filho et al., 2001). Como bien se nombraban las posibilidades o utilidades de esta disciplina, esta alcanza un elevado nivel de especialización, importancia y aplicación al incorporar los conocimientos y las técnicas de diferentes áreas con las cuales presentan una conexión estrecha como la anatomía, química, fisiología genética forestal, silvicultura, climatología, ecología, entre otras. (Botosso & Povoa de Matos, 2002)

Por último, la aplicación de la dendrocronología en el presente trabajo es el estudio de la especie *Campnosperma panamense* Standl. conocida como Sajo, recolectada del puerto de Buenaventura y proveniente de Timbiquí- Cauca busca determinar los anchos de cada una de las series radiales en las diferentes muestras de *C. panamense* que permitan inferir una estacionalidad en el crecimiento para la zona de estudio. Además del cálculo de los índices de crecimiento de la especie *C. panamense* haciendo uso de las ecuaciones propuestas por Von Bertalanffy. Y recomendar el mejor momento de cosecha además del manejo silvicultural acorde al crecimiento estimado, su uso tradicional y potencial, de cara a la realidad tecnológica disponible en los diferentes segmentos de transformación industrial.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Estimar el crecimiento de la especie *Campnosperma panamense* standl. utilizando técnicas dendrocronológicas basadas en la observación visual y la densitometría por rayos x.

4.2. Objetivos específicos

- Reconocer las características anatómicas visuales del leño *C. panamense* que tipifican y delimitan los anillos de crecimiento verdaderos.
- Determinar los anchos de cada una de las series radiales en las diferentes muestras de *C. panamense* que permitan inferir una estacionalidad en el crecimiento para la zona de estudio.
- Calcular los índices de crecimiento de la especie *C. panamense* haciendo uso de las ecuaciones propuestas por Von Bertalanffy.
- Recomendar el mejor momento de cosecha además del manejo silvicultural acorde al crecimiento estimado, su uso tradicional y potencial, de cara a la realidad tecnológica disponible en los diferentes segmentos de transformación industrial.

5. Hipótesis

- La especie *Campnosperma panamense* standl. posee actividad cambial, representada por la presencia de anillos de crecimiento, diferenciables por las características anatómicas del leño asociables a las condiciones de medio ambiente de la región pacifica colombiana.
- La delimitación de anillos de crecimiento además de marcar la estacionalidad permite establecer el ritmo de crecimiento de la especie dado su ancho en una misma serie radial correlacionado con la variable precipitación.
- La dinámica de las poblaciones de sajo y las perturbaciones dentro del ecosistema se pueden analizar por medio de marcas o lesiones en el leño, conociendo los años en que se realizaron aprovechamientos en la zona.
- El conocimiento sobre el crecimiento y edad de los individuos por medio de técnicas dendrocronológicas proporciona información primordial para el manejo sostenible del bosque natural en el Pacífico colombiano.

6. Planteamiento del Problema

Ausencia de información permanente relacionada con el crecimiento y dinámica de la especie que permita generar un escenario prospectivo para recrear posibles escenarios de manejo forestal sostenible.

Como es bien conocido Colombia es un país de bosques, cerca del 52% (59'311.350) del territorio nacional tiene cobertura boscosa y una de las regiones caracterizada por tener una amplia riqueza natural, es el pacífico colombiano, la cual abarca el 9% del total de bosques en el territorio nacional. Para esta región, el sector forestal muestra una significativa importancia, demostrado en términos de expedición de permisos y volúmenes movilizados de madera. De acuerdo con (ONF Andina, 2015) el chocó Biogeográfico es una de las mayores zonas de suministro de maderas de bosque natural del país, en donde la mayor parte del aprovechamiento forestal se concentra en los guandales con el 70% de madera comercializada en el litoral pacifico. De este tipo de bosque se extrae el Sajo, cuangare, Sande, Tangare y Maria los cuales constituyen la principal fuente de abastecimiento de aserríos. (CONIF, 1980) Sin embargo, la explotación irracional de este tipo de bosque, inicialmente por compañías madereras y actualmente por nativos, ha conllevado a una sobreexplotación realizada mediante cortas selectivas cuya principal causa es la alta demanda de los aserraderos. (Von Christen, Ortiz, & De las Salas, 1998) Teniendo presente, que por lo general la degradación del Guandal se refiere a la disminución del sajo y del cuangare las presiones van más allá de la disminución de su población y se refiere a la digénesis relacionada con el diámetro de corta límite, debido a la selectividad en el aprovechamiento en ciclo tras ciclo de los mejores genotipos aprovechados. (Del Valle Arango, 1991) Teniendo en cuenta que la especie *C. panamensis* (sajo) puede cubrir más del 80% del volumen total de este tipo de bosque. (Von Christen, Ortiz, & De las Salas, 1998) es fundamental garantizar el rendimiento sostenido de la misma, ya que no se limita solo a la presencia en el ecosistema, sino también como una especie primordial para la economía de la región y del país siendo una de las principales

especies de bosque natural movilizadas (IDEAM, 2011) con un volumen comercializado de 156.567,43 m3 de madera aserrada entre los años 2018 a 2019, en su mayoría bloques (77%) (MINAMBIENTE,2020) con un precio promedio de $405.370 (Macía, 2014). Para lo anterior es primordial el manejo de bosque con criterios de sostenibilidad. En la zona de estudio, de acuerdo con el plan de ordenamiento territorial de Timbiquí (2003), municipio del corregimiento Puerto Saija de donde se recolectaron las muestras, el principal problema detectado concerniente a la actividad forestal, es el aumento en el costo variable de extracción, por la necesidad de incorporar más tiempo a la búsqueda selectiva de especies, bajos ingresos, formas inequitativas de intercambio y la existencia de canales de comercialización ilegales. Lo cual se traduce en una ausencia de manejo forestal sostenible con grandes vacíos sobre el crecimiento del bosque. Este mismo plan reconoce la necesidad de fomentar el sector forestal a través de herramientas políticas y proyectos para promover la explotación forestal industrial, dada la gran presencia de bosques naturales en el territorio y la inadecuada, obsoleta y deficiente infraestructura de la industria forestal que hace ineficiente el aprovechamiento (Alcaldía Municipal de Timbiquí, 2003).

Con la necesidad del aprovechamiento de este tipo de bosque tan importante para el país, algunos de los impedimentos en su manejo sostenible, es la obtención de datos de crecimiento y conocimiento de las especies que componen el guandal. Adicionalmente, de acuerdo con (Fonseca et. al, 2009) la aplicación de criterios inapropiados en el manejo de masas forestales tropicales por la ausencia de información sobre su crecimiento y regeneración tiene un efecto negativo e irreversibles en la estructura de la población, específicamente cuándo el crecimiento de las especies es sobrestimado. Es así como la dendrocronología al ser una disciplina y herramienta por las múltiples aplicaciones da respuesta a la detección de cambios ambientales y climáticos del pasado para conocer productividad de masas forestales, reconstrucción de variabilidad climática, evolución de incremento de CO2 entre otros. (Roig, 2000) Con el análisis dendrocronológico se asegura el control temporal del crecimiento, la mortalidad y el establecimiento de los árboles. (Schweingruber, 1988)

7. Antecedentes

La dendrocronología en el trópico no tuvo el mismo desarrollo que en zonas templadas. puesto que algunos autores dudaban de la formación de anillos; de acuerdo con IAWA (1989) las especies de clima tropical no presentaban estacionalidad anual y por consecuencia no se formarían los anillos bien demarcados. sin embargo, las investigaciones dendrocronológicas en el trópico sobrepasan los 100 años, Martin Worbes es reconocido como autoridad en el tema, por llevar a cabo numerosos estudios dendrocronológicos desde 1895 en los trópicos de África y América. (Andrés & Jiménez, 2011)Adicionalmente, diversos investigadores, dendrocronologos y anatomistas de la madera demostraron que algunas especies de climas tropicales poseían ciclos de crecimiento en respuesta a variaciones estacionales del clima. (Roig, 2000) Este mismo autor señala un conjunto de elementos que no permitieron el desarrollo del mismo modo que en las regiones templadas, entre las cuales están: árboles de menor longevidad, descomposición acelerada, entre otras. Para lo cual señala, es necesario un mayor esfuerzo para reconocer la anatomía anual del tejido leñoso.

Los estudios dendrocronológicos en sajo (*C. panamense* standl.) son pocos. El primero fue realizado por Casteblanco (1998) en donde determinó que los anillos de crecimiento de esta especie eran "Poco distintivos" con la presencia de una banda periódica más clara producida por las células de parénquima marginal. No obstante, nombra que esto no ayuda a una precisa determinación. De igual forma (Giraldo, 2021) caracterizó 81 especies del pacífico colombiano, evaluado el potencial dendrocronológico en cada una de ellas; para el sajo se observa en la Tabla 1, y a pesar de nombrar el nulo potencial dendrocronológico la metodología usada con dimensiones de las muestras de 5mm de diámetro, dificulta la visualización de los anillos.

Tabla 1: caracterización de anillo de crecimiento de especies del choco biogeográfico. Visibilidad del anillo: (+) Bien definido, (+/-) escasamente definido, (-) Ausente. estructura anatómica: cambios de densidad debido al aumento de la pared de fibra espesor (A), presencia de bandas marginales de parénquima axial (B), diferencias de diámetro, distribución y agrupación de poros y potencial de datación.

Familia	Especie	Visibilidad anillo	Anatomía de la madera	Anatomía de los poros	Potencial Dendrocronológico	Número de arboles	Tipo de muestra	Distribución
Anacardiaceae	*C. panamense*	-	A	Porosidad difusa	ninguno	2	core	Choco biogeográfico

Otras descripciones anatómicas de la especie (Tejada & Vinueza, 2010) & (DFM, 2020) nombra anillos de crecimiento no distinguibles y "Anillos de crecimiento no diferenciables o a veces presentes, pobremente definidos por zonas más densas y oscuras."

Por su parte, el estudio más completo relacionado con el crecimiento del bosque de Guandal fue realizado por (Vásquez, 1986) en el que se estudió la dinámica de crecimiento diamétrico de la asociación boscosa de guandal en el pacífico colombiano, haciendo referencia al sajo y al cuangare dos de las especies más importantes de esta asociación.

8. Revisión bibliográfica

8.1. Pacífico Colombiano

La región del pacifico en Colombia tiene una extensión de 8.224.597 ha ubicadas a las riberas del Océano Pacífico, se identifican dos franjas territoriales: La andina y litoral dentro de la región componiéndola 5 Departamentos con 47 municipios. (PacíficoColombia, 2016) Esta región es caracterizada por su gran biodiversidad, riqueza hídrica y confluencia de grupos étnicos, con aproximadamente ocho millones de habitantes. En el pacífico se identifican eco regiones estratégicas como lo es el macizo colombiano desde allí se suministra el 70% de abastecimiento del recurso hídrico del país. Adicionalmente, cuenta con un poco más de dos millones y medio de hectáreas en parques naturales y zonas de reserva forestal. (DNP, 2014)

El complejo ecorregional del pacifico colombiano alberga comunidades negras e indígenas, las cuales tienen a su cargo cumplir el mandato legal de cumplir una función ecológica y social, a través de territorios colectivos titulados con una extensión cercana a 5'243.000 ha, los resguardos indígenas cuentan con un territorio de alrededor 1'94.000ha. (DNP, 2014) (INCODER, 2012)

En el departamento del Cauca, en la costa pacífica se encuentra el municipio de Timbiquí, hace parte del denominado "Pacifico Biogeográfico"., localizado a una distancia de 580 Km de la capital Popayán. Posee una extensión de 1.813 Km2 y su altura en la cabecera Municipal alcanza a 5 m. sobre el nivel del mar (Amu, 2012) Es un municipio con gran riqueza natural y un gran potencial turístico a desarrollar.

8.2. Aspectos socioeconómicos

En lo relacionado con la situación social de la región, el pacífico en su conjunto, presenta altos niveles de pobreza respecto al promedio nacional. El departamento más pobre del país en términos de ingreso es Chocó, con una incidencia de 63,1 %, seguido del departamento del Cauca con 58,4 %, Nariño con 47,6 % y Valle del Cauca con 27,2 % (DNP, 2014)

Las actividades productivas se hacen notoriamente diferentes en dos franjas territoriales definidas concentradas en la pesca en su mayoría artesanal y en la explotación minera y maderera, esta última presenta tala indiscriminada de bosques como práctica. (DNP, 2014)

Conforme a (Cardona, 1952) en el pacífico los sectores productivos están divididos en 5 temas, en donde la vegetación es uno de los indicadores de desarrollo de los sectores agroforestal y pecuario. El sector forestal por su parte, en la cuenca del pacifico se encarga del suministro de la mayor cantidad de madera al país. Con aproximadamente 250 y 300 especies maderables presenta un potencial grande para industria maderera.

El sector pesquero y en específico la pesca marítima constituye una de las actividades más productivas de la región con un potencial estimado de 127.000 a 156.000 ton/ año. El sector minero, de acuerdo con la clasificación hecha por Ecopetrol en el litoral pacifico las "cuencas oceánicas" son promisorias donde se han detectado áreas con manifestaciones de Cobre, Molibdeno, zinc, oro, además de zonas carboníferas y salineras. Por su parte el sector agropecuario es muy bajo debido a las condiciones ecológicas de la región, sin embargo, existe una gran diversificación de productos en donde se destacan: Caña, plátano, arroz, maíz yuca entre otros. (Cardona, 1952)

8.3. Geología y fisiografía

Lo concerniente a la geología de la región del Pacífico en el andén occidental colombiano, sobre la fosa de Bolívar se compone de tres paisajes. El primero son los aluviones recientes que conforman las tierras bajas, planas generalmente por debajo de los 100 m de altitud, en las vegas a lo largo de los ríos del litoral son angostas y constituyen la tierra de mejor potencial agrícola dentro de una inundabilidad periódica. (Mejía, 1991)

El segundo paisaje, son los complejos colinares, compuestos por sedimentos disectados del terciario, generalmente por debajo de los 300 m de altitud. Se distinguen las terrazas como resultado de la sedimentación intercolinar del pleistoceno, estas son

relativamente estrechas y se encuentran a lo largo de los ríos; en ellas se construyeron las poblaciones y desarrollaron colonizaciones agroindustriales. (Valencia, 1983)

Finalmente, los complejos cordilleranos compuestos por roca de la era Mesozoica con altitudes superiores a los 300 m llegando a los 4.000m de altitud en el sector volcánico activo limítrofe entre Ecuador y Colombia. (Mejía, 1991)

Para el municipio de Timbiquí la orografía está conformada por las colinas altas y bajas que se inician a partir de las estribaciones de la cordillera occidental, así mismo gran parte de su territorio está ubicado en el andén pacífico y hacia éste drenan sus ríos y vertientes que forman parte de la llanura del litoral, hacia el costado occidental de la cordillera occidental se presentan algunos accidentes orográficos como el cerro El Tambo y Timbiquí. (Amu, 2012)

8.4. Suelos

La vocación de los suelos en el pacífico colombiano es principalmente forestal por sus condiciones físico- químicas, estos suelos son químicamente pobres si se examinan su parte mineral y la nutrición vegetal depende primordialmente de los nutrientes almacenados en su fase orgánica. El manejo que se le han dado en esta región ha conducido a un estado paupérrimo de los pobladores en esta zona por el aprovechamiento inadecuado de los recursos naturales. (Cardona, 1952) se tienen:

- Suelos de planicie marina: vocación forestal, principalmente protectores por los bosques de manglar.
- Suelos de las formas aluviales: aptos para agricultura y ganadería cuando el clima no es tan húmedo.
- Suelos de colinas: principalmente vocación forestal y ocasionalmente agropecuaria cuando presentan alta saturación de bases.
- Suelos de las serranías: exclusivamente vocación forestal.

8.5. Clima

Timbiquí, específicamente presenta una temperatura promedio de 28° C, Con un clima de selva húmeda tropical. La precipitación media anual es de 6.000 mm y la humedad relativa fluctúa alrededor del 93 %, esta se encuentra influenciada por las corrientes marinas, así como por los vientos de dirección del suroeste o vientos alisios del sureste. (Amu, 2012) Su máxima velocidad es en el mes de octubre con vientos de 11,1Km/h y mínimos en el mes de marzo con velocidades promedio de 8,1 Km/h.

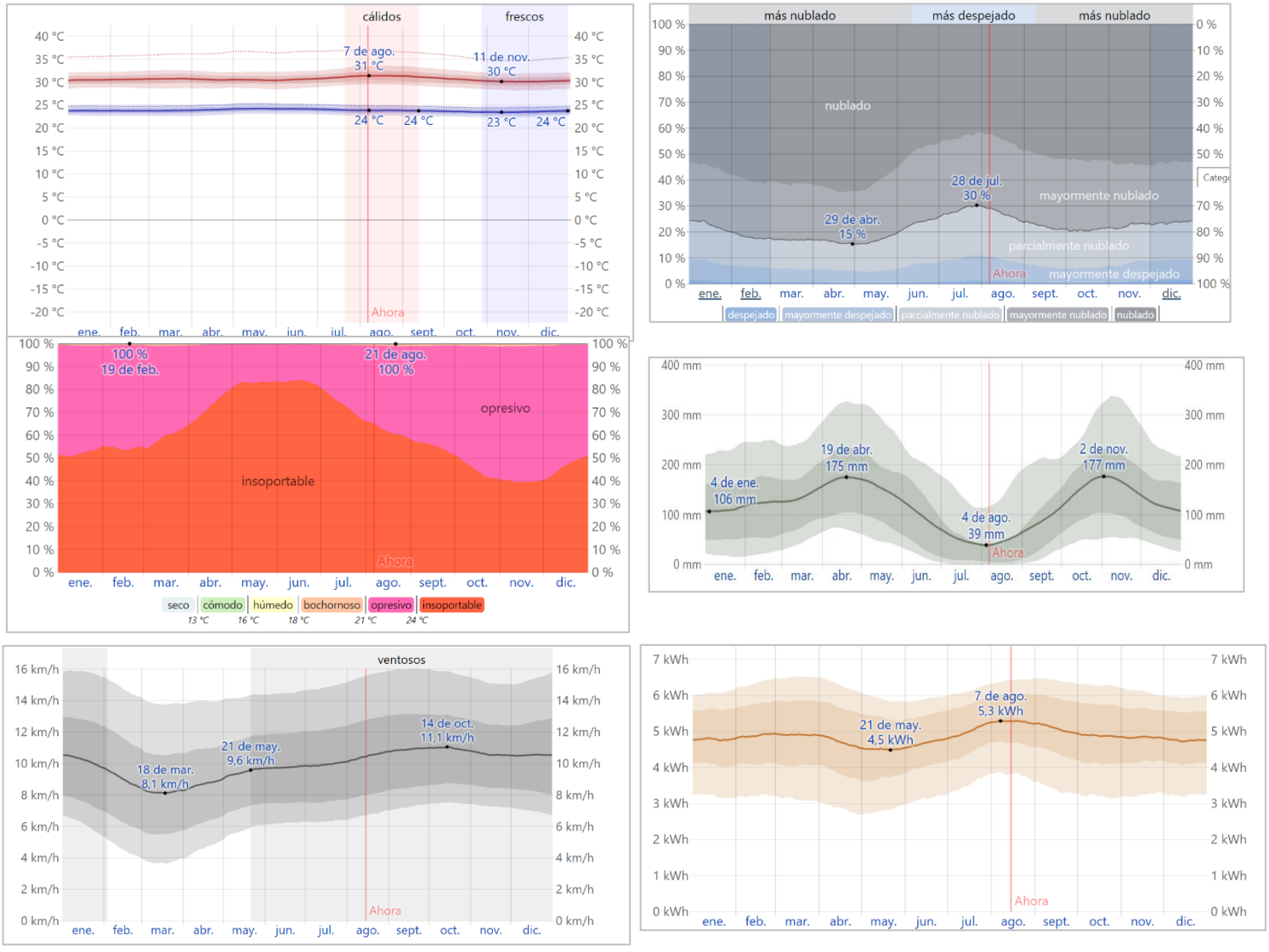


FIGURA 1 A. TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS. NUBOSIDAD, HÚMEDAD, PRECIPITACIÓN, VELOCIDAD DE VIENTOS Y ENERGÍA SOLAR DE ONDA CORTA EN TIMBIQUÍ CAUCA. TOMADO DE: HTTPS://ES.WEATHERSPARK.COM/Y/20685/CLIMA-PROMEDIO-EN-TIMBIQU

8.6. Ecosistema y vegetación

Para el año 2019 de la superficie total de bosques en Colombia, el pacífico representaba el 9%, un poco más de 5'510.000 hectáreas. Sin embargo, las cifras sobres existencia de bosque natural varía año a año, esto se puede observar en la Tabla 2. En específico para el departamento del Cauca la cifra de bosques es de 1'508.397 para el 2018, el municipio de Timbiquí el área de zona de reserva forestal representa el 9,49% con 19.339 ha. (Pacífico, 2003)

TABLA 2: CIFRAS DE BOSQUES EN EL PACÍFICO COLOMBIANO. TOMADO DE FORO NACIONAL AMBIENTAL (2020)

Cobertura	2015 área (ha)	2016 área (ha)	2017 área (ha)	2018 área (ha)
Bosque Estable	8'081-127	8'020.348	7'703.708	8'264.880
Deforestación	18.969	40.799	20.954	10.990
Sin información	665.191	687.158	996.469	375.829
Regeneración	8	7	81	406
No bosque estable	2.482.363	2'499.438	2'526.606	2'595.719

De acuerdo con Cardona (1952) los bosques del pacifico colombiano están representados en diferentes tipos de vegetación; entre los cuales se encuentran:

8.6.1. **Manglares:** Estos se localizan sobre un relieve plano y fangoso normalmente inundadas por agua salobre. De igual forma, es un ecosistema forestal que medra sobre lodazales pantanosos, conformados principalmente por los géneros Avicenia y Rhizophora, los cuales muestran una adaptación especial a las condiciones anaeróbicas del suelo y la salinidad de este. (Von Christen, Ortiz, & De las Salas, 1998)

8.6.2. **Bosque de natal:** Posterior a al ecosistema de manglar, en esteros, con una combinación de agua salada con dulce se encuentran los natales (Cardona, 1952), cuya especie característica es la *Mora megistosperma.* (Rangel,

ECOSISTEMAS DEL CHOCÓ BIOGEOGRÁFICO: SÍNTESIS FINAL, 2004)

8.6.3. **Bosque de colinas bajas**: Después del guandal el también llamado bosque mixto tropical se ubica sobre zonas que varía de suavemente onduladas a onduladas constituyéndose como una reserva comercial de la costa pacífica. (Cardona, 1952)

8.6.4. **Bosque de colinas altas:** Este tipo de bosques, comúnmente está representado por masas boscosas tropicales mixtas generalmente poco intervenida por la accesibilidad, la especie característica de este bosque es el abarco.

8.6.5. **Bosque de montaña**: Esta constituido principalmente por vegetación heterogénea arbórea de tipo protector al ubicarse en las cuencas hidrográficas superiores. (Cardona, 1952)

8.6.6. **Bosque de guandal**: Comprende una asociación forestal desarrollada sobre suelos frecuentemente inundables y compuestos por material turboso de origen aluvial o coloidal depositado por el desbordamiento de los ríos, esta asociación edafohidrica se desarrolla sobre depósitos profundos de turba acida, ubicados casi a nivel de mar sobre bateas en la costa pacífica. Según (Von Christen, Ortiz, & De las Salas, 1998) se estima una extensión de 300.000 ha. Datos de 1985 estimaban el área en 798.000ha, el 19% de la extensión total de bosque comerciales en el pacífico. (CONIF, 1980)

8.7. Potencialidades de la dendrocronología

8.7.1. Dendrocronología como ciencia

De acuerdo con Tomazello (2016) la dendrocronología se define como: "La ciencia que posibilita la datación de los anillos de crecimiento de los árboles y piezas de madera para la aplicación en los estudios ambientales e históricos." En el trópico, el estudio de rodajas de los árboles contempla una serie de principios que son adoptados igualmente para las templadas y básicamente son 7: de uniformidad, factor limitante, la

interdatación, de la repetición, de la amplitud ecológica, de la selección del sitio y del crecimiento agregado. (Tomazello, Botosso & Lisi, 1999)

Con el apoyo de herramientas metodológicas, en las últimas décadas la investigación sobre la dendrocronología tropical ha crecido. De tal manera que los programas de análisis de anillos de crecimiento, los equipos de extracción no destructiva de muestras de madera, las tecnologías de dendrómetros, de densitometría por rayos X, de tomografía de rayos X, 14C, isótopos estables, entre otras contribuyeron al desarrollo de esta disciplina. Entre las aplicaciones de la dendrocronología tropical, se destacan: La determinación de la edad, la tasa y del ritmo de crecimiento de los árboles. La evaluación del ciclo de corta sostenible de los bosques. La reconstrucción del clima, de la evaluación del cambio climático global, entre otros. (Tomazello,2016)

8.7.2. Estudio de la dendrocronología para el manejo forestal sostenible

Como un instrumento es definida la dendrocronología para el manejo forestal, la cual permite otorgar información fundamental en lo concerniente a crecimiento forestal. (Amoroso & Suarez, 2015) Es así como (Schöngart,2008) nombra que una de las mayores dificultades del manejo del bosque de forma sostenible es la obtención de datos de crecimiento confiables, lo anterior es un requisito previo para determinar los volúmenes de cosecha y los ciclos de corta.

Actualmente, son progresivas las investigaciones del crecimiento de las especies por medio de los anillos de crecimiento, siendo de gran importancia para ecólogos y silvicultores porque permite conocer aspectos de la dinámica de los bosques y estimar los turnos, ciclos de corta sostenibles y tamaño de la cosecha de un bosque o rodal. (Giraldo & Del valle, 2011)

8.8. Manejo Forestal sostenible

El conjunto de acciones y decisiones sobre los bosques con el objetivo de tener beneficios sociales y económicos sin alterar su función ecológica es el manejo forestal sostenible. (COMAFORS, 2022) Este manejo sobre el recurso bosque a usos múltiplos debe atender los principios generales, junto con fundamento técnico y conforme a normatividad legal vigente. Estos principios generales comprenden: La conservación de

los recursos naturales, la conservación de la estructura del bosque junto con sus funciones, Manutención de la diversidad biológica y desarrollo socioeconómico de la región. (Lopes de Souza & Boechat, 2013) Para el manejo racional, es un requisito fundamental la predicción del crecimiento y rendimiento. (García, y otros, 2015) Los pronósticos de la producción generalmente son hechos mediante el empleo de crecimiento y producción. Los modelos se ajustan con base en datos de crecimiento. (Lopes de Souza & Boechat, 2013) De forma matemática, el stock de crecimiento acumulativo de un bosque a lo largo del tiempo puede ser descrito por una serie de modelos matemáticos, los cuales se pueden obtener por la generalización del modelo de Champman-Richards. (Clutter & Jones, 1980)

8.8.1. Estimación del crecimiento

La determinación de la edad y el conocimiento de crecimiento sobre la especie, hay que tener en cuenta las ecuaciones y funciones matemáticas que permiten determinarlos. para esto, los datos de incremento o la construcción de curvas continuas de diámetro en función de la edad se convierten en modelos de crecimiento orientado al manejo forestal. (Giraldo & Del valle, 2011)

Uno de los modelos reconocidos es el de Von Bertalanffy para la construcción de curvas de crecimiento con base en la interpretación de complejas interacciones y cuya tendencia es de tipo sigmoidal con un punto de inflexión y un valor asintótico. (Bertalanffy, 1976c.; Citado por J. I. Del Valle, 1986).

En 1938 Von Bertalanffy formuló la teoría sobre el crecimiento orgánico basada en principios biológicos, el consideraba a los sistemas vivos como sistemas abiertos en donde "El crecimiento se basa en la acción encontrada de procesos anabólicos y catabólicos." (Bertalanffy, 1976) en 1.976 propuso la siguiente ecuación:

$$\frac{dW}{dt} = nW^m - \mathfrak{x}W$$

Donde:

- $\mathfrak{w}$: Peso o volumen de un organismo.

- $\boldsymbol{n}$, $\boldsymbol{x}$: Constantes de anabolismo y catabolismo

De acuerdo con del Valle (1986) al aplicar la ecuación de Bertalanffy con la ecuación de crecimiento de plantas de Richards, los autores consideraron que el exponente, debe dejarse como variable. De la ecuación anterior por medio de la integración y las ecuaciones de Bernoulli da lugar al modelo de crecimiento.

$W = A\,(1 \pm b.e^{-k.t})^{\frac{1}{1-m}}$

$\boldsymbol{A} = (\frac{\boldsymbol{n}}{\boldsymbol{x}})^{\frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{1-m}}}$: Es la asíntota

$\boldsymbol{k} = (\boldsymbol{1} - \boldsymbol{m})\,\boldsymbol{x}$

$\boldsymbol{b} = \pm(\boldsymbol{1} - \left(\frac{\boldsymbol{W}}{\boldsymbol{A}}\right)^{\boldsymbol{1-m}})$

8.8.2. Incremento corriente y medio anual

Los resultados de las estimativas de crecimiento y su análisis son fundamentales para la elaboración de estudios de dinámicas de sucesión, de crecimiento y producción forestal, intensidades y tipos de tratamientos silviculturales a ser aplicados en el manejo de bosques. Las medidas estimadas de crecimiento e incremento pueden ser obtenidas por medio de estimadores. (Lopes de Souza & Boechat, 2013)

El corriente anual, es el crecimiento que logra un árbol o una masa en el curso de un año; por su parte el incremento medio anual es el promedio anual del incremento total y se tiene dividiendo las dimensiones de un árbol o una masa entre su edad. (Keplac, 1983) El incremento corriente anual (ICA) corresponde al incremento diamétrico del árbol para un determinado año. Este se calcula restando el crecimiento acumulado correspondiente al año menos el tamaño que tenía el árbol en el año anterior. En cuanto al IMA resulta de dividir el CA para el año por los años. (López, Villalba, & Peña, 2011)

$$ICA = CA.t - CA_{t-1}$$

$$IMA = \frac{CA_t}{t}$$

Donde:

CA: Crecimiento acumulado

t-1: año anterior

8.8.3. Diámetro mínimo de corta

Uno de los métodos comunes para la regulación del manejo forestal es el uso de diámetros mínimos de corta, este método consiste básicamente en el apeo de árboles maduros, liberando fustes de menor tamaño para que en un futuro estos remplacen a los aprovechados. No obstante, estos sistemas pueden ocasionar un deterioro del valor comercial del bosque. (BOLFOR, 2003)

De acuerdo con Lamprecht (1990) el diámetro mínimo de corta debe usarse únicamente cuando existe la cantidad suficiente de árboles grandes para un aprovechamiento rentable, adicionalmente cuando el límite diamétrico es lo suficientemente alto, con especies a provechar con distribución diamétrica de J invertida o una distribución homogénea entre clases diamétricas. De igual forma, un DMC óptimo en términos de rentabilidad y productividad, establece en un punto en el que el diámetro a la altura del pecho se encuentre entre el crecimiento medio anual máximo y el punto donde el árbol no crece más.

La asignación del diámetro mínimo de corta (DMC) para cualquier especie puede formularse por distintos factores, entre los cuales se encuentran: el valor de la madera en las diferentes clases diamétricas, los productos finales que se vayan a obtener, las tasas de crecimiento, la distribución diamétrica de las especies en cuestión, así como los requisitos para la marcación de árboles semilleros (Fredericksen et al., 2001; citado por BOLFOR, 2003).

Particularmente en Colombia el diámetro mínimo de corta corresponde aquel diámetro fijado por la Autoridad Ambiental Regional y a partir del cual pueden ser talados árboles para aprovechamiento forestal. (Moreno, y otros, 2015) Desde el punto de vista legislativo, en el artículo 11 de la ley 23 de 1973 el gobierno se compromete a fijar los niveles mínimos de aprovechamiento para cada uno de los bienes que conforman el

medio ambiente, incluidos los bosques y regulando su explotación. En el Decreto 2811 de 1974 en su artículo 207 dice que las reservas forestales solo podrán destinarse a aprovechamientos forestales de manera racional en los bosques donde estos ya existían y en todo caso garantizarse la recuperación y supervivencia de los bosques. (Villa, 2006)En ese sentido, en el decreto 1383 del año 1940 "Por el cual se adoptan medidas para la defensa y aprovechamiento del bosque" en su artículo 3 nombra la restricción de realizar aprovechamientos en zonas protectoras y de hacerlos, los árboles a cortar deberán tener un DAP superior a los 0,4m. (Ministerio de Justicia y derecho, 2022) Por otro lado, en el régimen de aprovechamiento forestal (decreto 1791 del 1996 no hay consideraciones sobre la fijación de los diámetros mínimos de corta en el marco de los planes de manejo o planes de ordenación forestal, los cuales se deben formular para la solicitud de permisos de aprovechamientos forestales persistentes o únicos. Es importante desde los aspectos normativos se establezcan algunas consideraciones técnicas para la formulación de las prácticas silviculturales que puedan abarcar los mecanismos de planificación orientados hacia el manejo forestal de los bosques naturales. (Salamanca, 2017)

8.9. Especie *Campnosperma panamense* standl.

La especie *Campnosperma panamense* Standl. conocida como Orey o Sajo es perteneciente a la familia Anacardiaceae. La localización de esta se ha reportado en centro América y en países como Costa Rica, Nicaragua pasando por Colombia hasta Ecuador; específicamente en Colombia se encuentra en la región del pacifico, en los departamentos de Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño. (Mitchell, 2022)

Este árbol alcanza alturas de hasta 30 m cuando está maduro y diámetros a la altura del pecho de 80 cm. presenta hojas simples, alternas agrupadas en ramilletes con inflorescencia en panícula y fruto ovoide. (López & Montero, 2005) El porte de este árbol es un fuste recto y cilíndrico con raíces tablares bajas, redondas y agudas. Su copa es irregular con ramas extendidas de follaje verde claro (Tejada & Vinueza, 2010)

El hábitat de la especie son los bosques húmedos tropicales en zonas pantanosas inundadas periódicamente, cercanas al mar. Estos se encuentran en rodales casi puros denominados sajales. (DFM, 2020) El sajo se caracteriza por ser una especie Heliofita, la cual se regenera naturalmente en áreas bien iluminadas o claros en el bosque, crece en asociaciones monoespecíficas y en muchos casos en rodales puros (Tejada & Vinueza, 2010)

8.10. Madera y sus características.

Las características macroscópicas de la madera respecto al color la albura blanca, rosa cea con transición gradual al duramen de color marrón grisáceo y bandas grises. Presenta un lustre medio a alto con grano recto, textura medio, veteado satinado poco pronunciado y ausencia de olor. (WWF Colombia, 2013)



FIGURA 2: MADERA DE SAJO. FRATGMENTO DE LA RODAJA A.

Las características anatómicas según (Tejada & Vinueza, 2010) presenta radios visibles con lupa 10x sin contraste ni estratificación, Porosidad Difusa, poros en múltiplos radiales redondos y ovales con tendencia a esparcirse; presenta conductos gomíferos en los poros y el parénquima no es visible con lupa, aparentemente ausente.

Las características tecnológicas y mecánicas de la madera, de acuerdo con (WWF Colombia, 2013) se observan en la Figura 3. En lo que respecta a durabilidad natural y preservación, esta madera no es resistente al ataque de insectos, con una fuerte tendencia a la mancha azul. (DFM, 2020)

Propiedades físicas		
Densidad básica	: 0,37	gr/cm^3
Contracción tangencial	: 8,8	%
Contracción radial	: 5,6	%
Contracción volumétrica	: 13,9	%
Relación T/R	: 1,57	

Propiedades mecánicas		
Módulo de elasticidad en flexión	: 127.000	kg/cm^2
Módulo de rotura en flexión	: 975	kg/cm^2
Compresión paralela (RM)	: 503	kg/cm^2
Compresión perpendicular (ELP)	: 69	kg/cm^2
Corte paralelo a las fibras	: 67	kg/cm^2
Dureza en los lados	: 274	kg
Tenacidad (resistencia al choque)	: 2,40	kg-m

FIGURA 3. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SAJO. TOMADO DE WWF COLOMBIA (2013)

En cuanto al uso que se le da a la madera es principalmente para ebanistería, demuestra muy buenas características de trabajabilidad y es usada por lo general en marcos, tableros, chapas y contrachapados, tableros de partículas, pulpa, papel juguetería. Suele emplearse sobre todo en la elaboración de palos de escoba, tablas de cama y esqueletos de muebles. (López & Montero, 2005) sin embargo, (Tejada & Vinueza, 2010) hacen referencia en la preservación con tratamientos debido a la susceptibilidad de la madera.







FIGURA 3ª. EJEMPLOS DE UTILIZACIÓN DE LA MADERA DE SAJO PARA LA ELABORACIÓN DE MUEBLES EN LA LOCALIDAD DE BARRIOS UNIDOS BOGOTÁ.

9. Metodología

9.1. Localización y obtención de muestras

Las Rodajas de madera de la especie *C. panamense* se obtuvieron de un punto de acopio de madera ubicado en el departamento del Valle del Cauca, municipio Buenaventura. De acuerdo con el conocimiento de actores locales involucrados en el aprovechamiento del Sajo; la procedencia de esta madera es el corregimiento Puerto Saija en el municipio de Timbiquí, departamento del Cauca. Figura 5

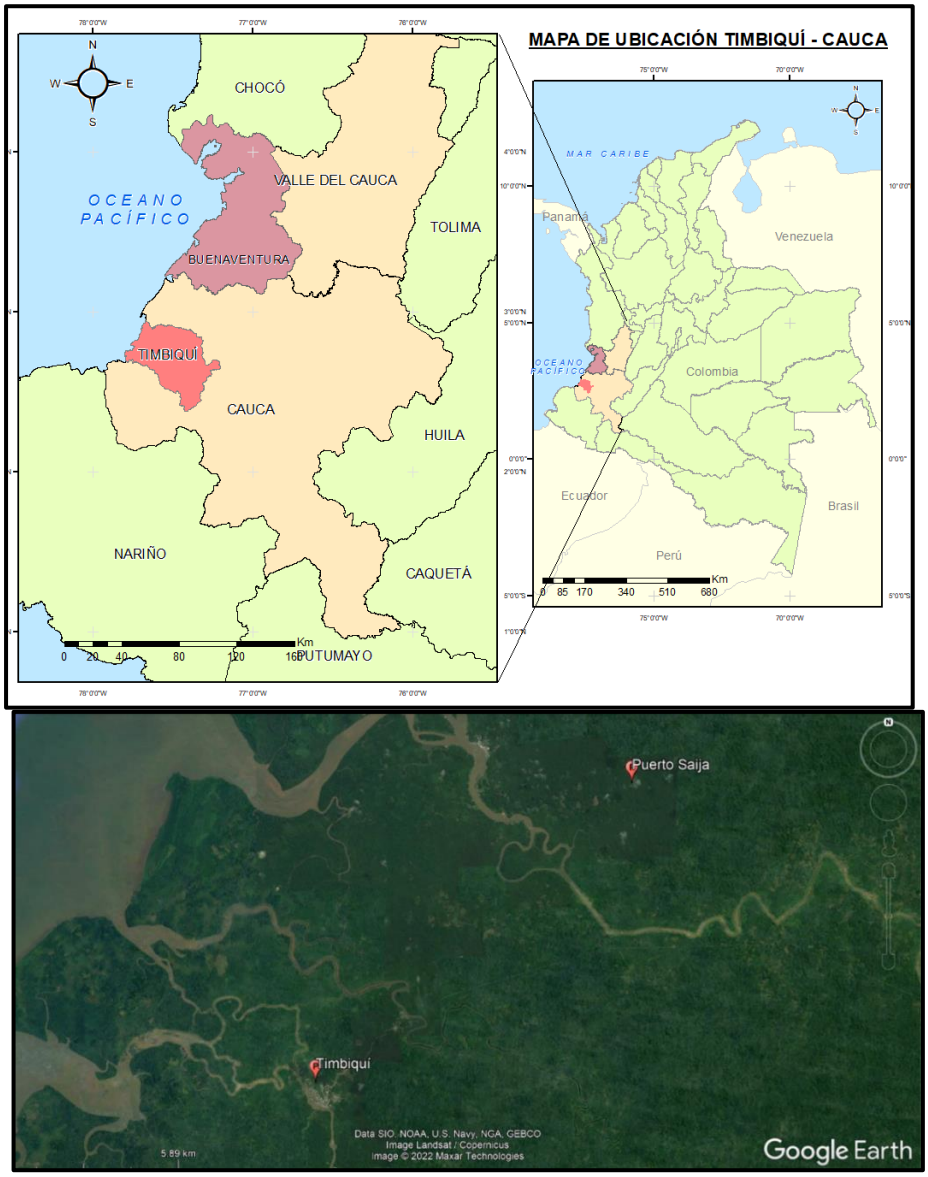


Figura 4. Localización procedencia de las rodajas para el estudio dendrocronológico.

TABLA 3: CARACTERÍSTICAS DE CADA UNA DE LAS RODAJAS

MUESTRA	DIÁMETRO	CARACTERÍSTICAS
A (1)	55,4 cm	Rodaja con mancha azul, presencia de hongos y ausencia de medula.
B (2)	56,3cm	Presencia de mancha azul, heridas y hongos. Medula excéntrica
C (3)	42,5 cm	Rastros de heridas cara transversal
D (4)	44,7 cm	Presencia de hongos
E (5)	42,4 cm	Presenta rajaduras y hongos. Medula excéntrica
F (6)	40 cm	Presencia de rajaduras y hongos
G (7)	47 cm	Pudrición en medula y marcas de heridas
H (8)	40,3 cm	Presencia de heridas
I (9)	46 cm	
J (10)	42 cm	Medula excéntrica, pudrición y presencia de heridas

9.2. Preparación de muestras

Del punto de acopio en Buenaventura se escogieron de forma aleatoria 10 Rodajas de madera de Sajo de la parte basal de la troza, que, según información suministrada por los encargados del aprovechamiento, fueron apeados en diciembre del año 2017. Cada Rodaja tiene aproximadamente 5 cm de altura y se marcaron desde la letra A hasta J. Tabla 3

La preparación de las muestras incluyó el corte de 2 cm de ancho en cada rodaja, esto con el fin de utilizarlas en el procedimiento de Densitometría. Posterior al secado de las muestras, en su cara transversal de las rodajas fueron lijadas cada una con lijadora orbital de ¼ de pulgada y con lijadora rotorbital en los cortes para el procedimiento de densitometría. Los granos de las lijas fueron 60-80-120-180-240-300-400. Figura 4



FIGURA 4: PROCESO DE LIJADO PARA LA PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.

9.3. Observación macroscópica y marcación de anillos

La primera observación para delimitación de anillos fue realizada por medio de Lupa 10x siguiendo lineamientos de la Norma de la comisión panamericana Normas Técnicas, (COPANT) 30-1-019. Seguidamente, se observó en estereoscopio elementos anatómicos de la madera y se realizó una primera marcación de los anillos.

9.4. Procesamiento de imágenes

Las imágenes de cada rodaja fueron tomadas con el scanner EPSON 1000XL en la Universidad Distrital "Francisco José de Caldas" a una resolución entre 1200 dpi a 2400 dpi. Con el software Image J se procesaron elementos del contraste de cada imagen y aplicaron el filtro "*median*" para facilitar la demarcación del anillo. Este filtro se utiliza para reducir el elevado ruido, suavizando la estructura de la imagen sin perder nitidez.(Campa Víctor, 2017) Con las imágenes procesadas, la medición del largo de anillo fue hecha con el programa CooRecorder 7.8.

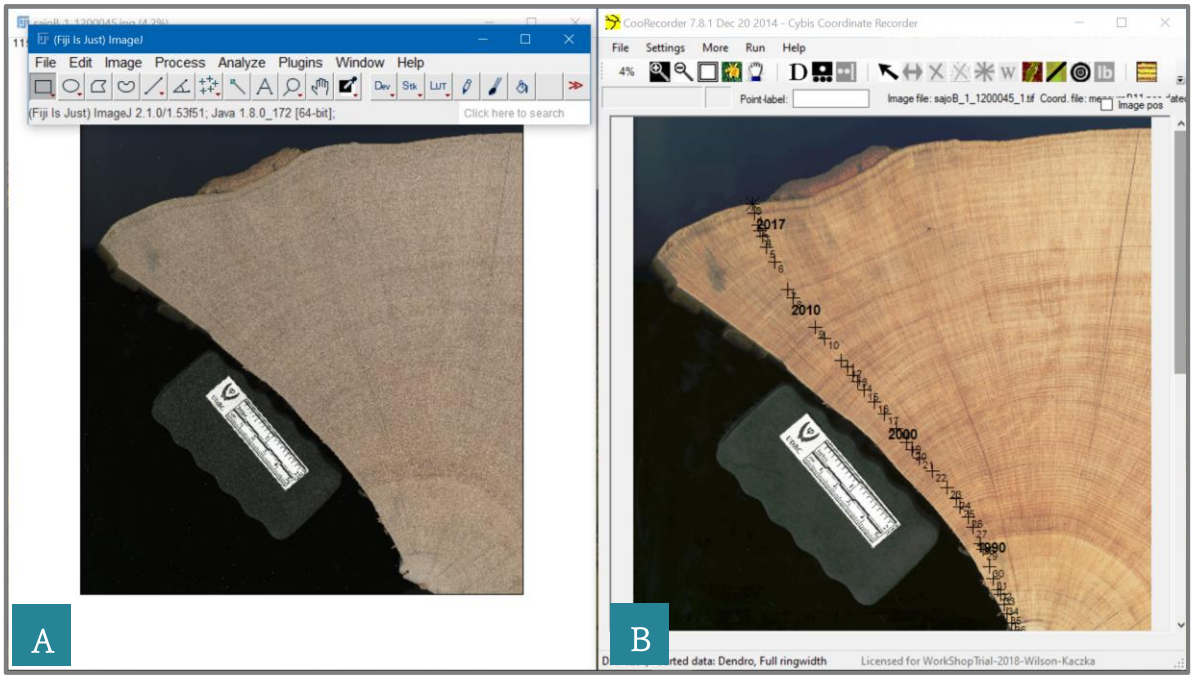


FIGURA 5: A. PARTE DE LA MUESTRA SIN PROCESAMIENTO DIGITAL, EL SOFTWARE A CARGO DEL PROCESAMIENTO IMAGEJ. B. SOFTWARE COORECORDER ENCARGADO DE LA MEDICIÓN Y CORRELACIÓN ENTRE RADIOS DE UNA MISMA MUESTRA.

9.5. Densitometría por rayos x

Por medio del densitómetro de rayos x modelo QTRS-01X y el software QMS localizado en la Universidad ESALQ/USP se obtienen los valores de densidad del fragmento previamente extraído; este equipo expulsa rayos x cada 0,8 micras y con el software se obtienen los valores transformados en densidad. Figura5 Una segunda medición de la densidad por rayos X fue realizada con un instrumento diferente; para esta se cortó un fragmento de 2mm de la rodaja B, se colocó en una cámara de clima constante (Referencia HPP110 marca Mermmet) allí estuvo a una temperatura de 20,4 ° C y una humedad de 60,7 % de humedad relativa



FIGURA 6: A. DENSITOMETRO QMS, B. CAMARA DE CLIMATIZACIÓN. C. DENSITÓMETRO FAXITRON

9.6. Procesamiento de datos

Inicialmente, en el programa CDendro 7.8 se observó la correlación entre radios de una misma rodaja y de igual modo correlaciones entre rodajas, tomó una media de las mejores y con esta se compararon con las muestras de bajas correlaciones para corregir posibles errores en la medición y en la datación, considerando las correlaciones mayores o iguales a 0,5. Posteriormente, para evaluar la calidad de las mediciones de los anillos y *crossdating* fue utilizado el software COFECHA considerando un *spline* de 20 años, sobreponiendo cada 10 años. Luego del co-fechado con el programa ARSTAN se construyó la cronología y padronización de la serie dendrocronológica.

9.7. Correlación con variables ambientales

La correlación con los datos climáticos fue realizada por medio de la correlación de Pearson con la cronología maestra hecha por el programa ARSTAN. Los registros climáticos en el período 1970 al 2018 fueron obtenido de la estación pluviométrica SAIJA del IDEAM código [53060020]. Los datos de precipitación fueron correlacionados con los períodos de crecimiento en el año anterior, corriente y se analizaron en el software Microsoft Excel.

9.8. Determinación del incremento corriente anual y medio anual con miras al MFSC[1].

Para el incremento corriente anual ICA y medio anual IMA se determinaron con base en ecuaciones derivadas de la ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy descrita en (Del Valle, 1986) Para la asíntota se tomó de Referencia de (Tejada & Vinueza, 2010) con un diámetro máximo de 80 cm. La asignación de valores de los parámetros se realiza por medio de la curva de ajuste (1) con los datos de ancho de anillo para cada muestra.

$$D = A\,(1 - b.e^{-k.t})^{\frac{1}{1-m}} \qquad (1)$$

$$ICA = A.k\left(\frac{1}{1-m}\right).(1 - e^{-Kt})^{\frac{1}{1-m}-1}\quad e^{-k.t} \qquad (2)$$

$$IMA = \frac{A\,(1-b.e^{-kt})^{\frac{1}{1-m}}}{t} \qquad (3)$$

Donde:

A: Asíntota

B, k, m: Parámetros

t: Tiempo

[1] MFSC: Manejo forestal sostenible comunitario

10. Resultados

10.1. Variable Climática

La precipitación fue la variable a examinar en el análisis dendrocronológico de *Campnosperma panamense* standl. En el municipio de Timbiquí- Cauca, la estación Saija, ubicada en el corregimiento Saija de donde se extrajo el material de estudio, la precipitación media anual es de 6.706 mm presenta un comportamiento bimodal con dos periodos de lluvia, el primero en el mes de mayo con datos promedios mensuales de 793 mm y el segundo pico en el mes de octubre con 679 mm. Por otro lado, los meses más secos de la zona son enero-febrero con 482mm y 330 mm, julio -agosto con 556 y 567 mm. Esta zona puede tener precipitaciones máximas de 1.223 mm en el mes de mayor y precipitaciones mínimas de 20 mm en el mes de febrero. Figura 6

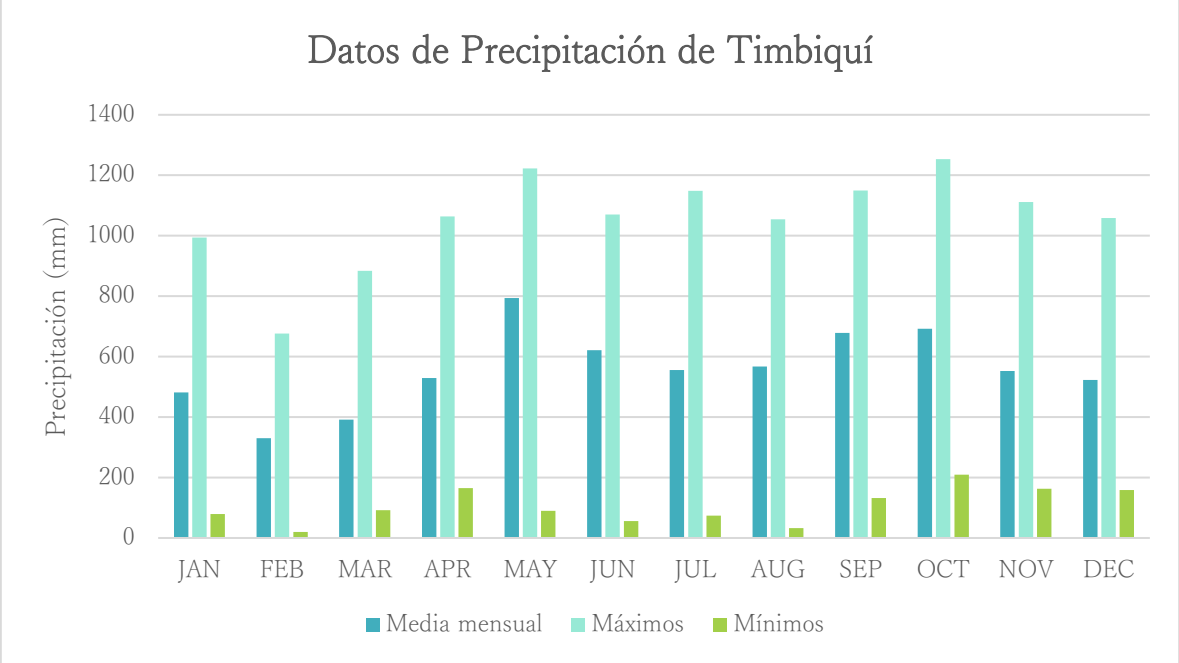


FIGURA 5: DATOS DE PRECIPITACIÓN EN TIMBIQUÍ- CAUCA. PRECIPITACIONES MEDIAS, MÁXIMAS Y MÍNIMAS.

A continuación se observan la figura 7 la cual muestra la serie historica de precipitación desde el año 1970 al 2018, teniendo maximo el año 2015 con 9.200 mm y mínimo de 3.049 en el año1982.

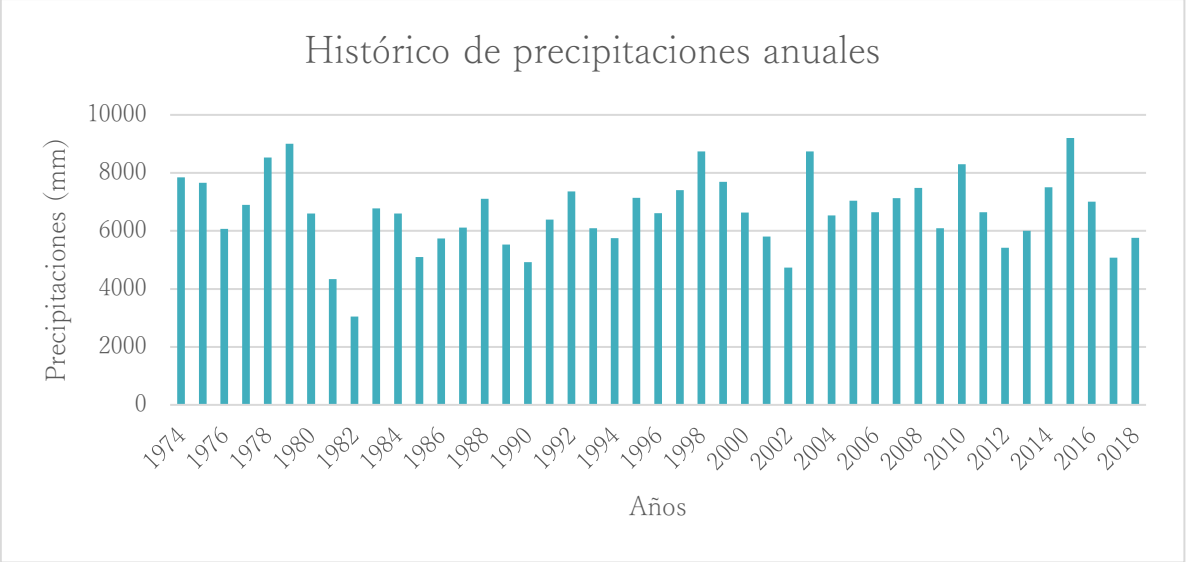


FIGURA 6: HISTÓRICO DE PRECIPITACIONES EN TIMBIQUÍ, DESDE 1974 HASTA 2018.

10.2. Marcación y cronología de las muestras

Como se nombró en la metodología, fue necesario hacer un procesamiento de imágenes de las rodajas, esto con el fin de facilitar la marcación del anillo. Lo primero que destacó en las imágenes es la diferenciación de madera temprana y tadrdía, ademas de la organización de poros, en la figura 8 se observan fragmentos de la Rodaja A a diferentes escalas y entre las flechas lo que marcaría el anillo de crecimiento.

En la delimitación del anillo para la especie *Campnosperma panamense* standl observamos la anatomia de cada una de las muestras, de estas se destacan una banda oscura de zona fibrosa que marca la madera tardia, posteriormente se encuentra una secuencia alineada de poros dispuestos por lo general finalizando la zona fibrosa para despues encontrar madera temprana con porosidad difusa. Lo anterior se ilustra de mejor forma en la figura 9.

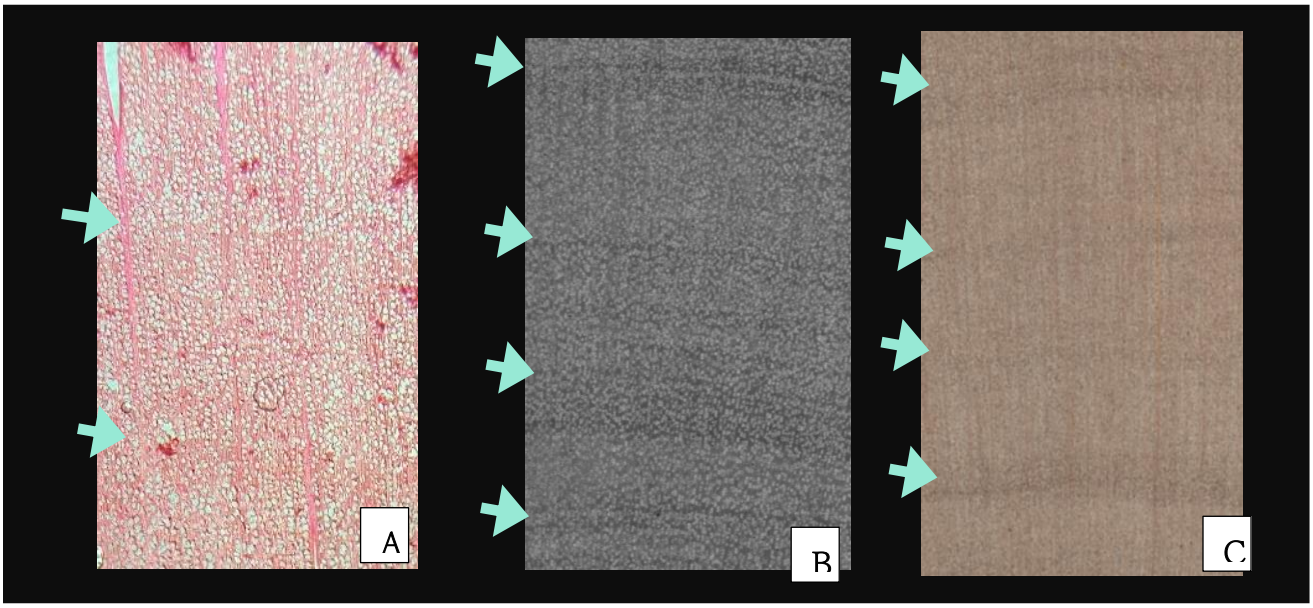


FIGURA 7: ANILLOS EN SAJO. A: IMAGEN MICRO, OBSERVACIÓN DE VASOS ALINEADOS. B: IMAGEN MACRO MODIFICADA PARA LA MARCACIÓN DEL ANILLO. C. VISTA MACRO DE LA MADERA DE SAJO Y LA COLORACIÓN OSCURA DE MADERA TARDÍA.

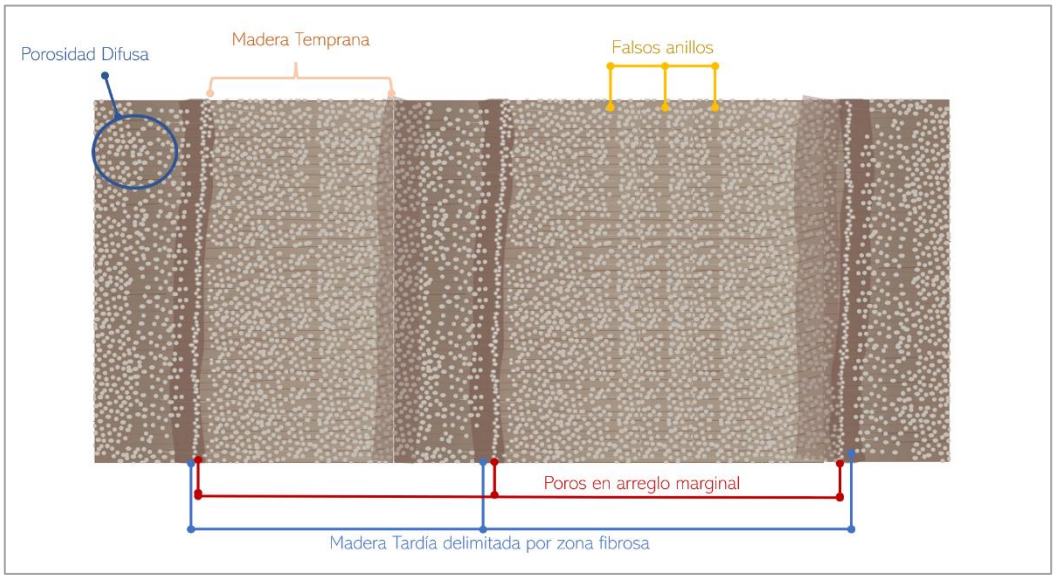


FIGURA 8: ILUSTRACIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA MADERA DE SAJO EVIDENCIANDO LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DE LA ESPECIE.

10.3. Datación cruzada "crossdating"

De las 10 rodajas preparadas, es decir 10 árboles de cada una, se analizaron 2 radios para un total de 20 muestras, de las cuales 12 se seleccionaron por las correlaciones altas (0,679). La muestra con la mayor cronología fue la rodaja B, serie TICB11 y TICB22 con 44 años desde 1.974 hasta 2.017. En la tabla a continuación se resumen lo obtenido en el programa COFECHA.

TABLA 4: RESUMEN DE LA SERIE CRONOLÓGICA REALIZADA EN COFECHA

Intervalo de tiempo	1.974 a 2.017
Numero de árboles	6
Muestras medidas	12 (2 radios o series por árbol)
Correlación de las series	0,679
Sensibilidad	0,238

De acuerdo con las mejores correlaciones y correcciones mostradas por Cofecha en algunos periodos; de las 20 muestras las 12 mejores correlaciones las presentaron las series: TICA01, TICA32, TICB11, TICB22, TICC01, TICC12, TICF11, TICF22, TICG01, TICG02, TICH32, TICH21. En la Figura 9 se observan las mediciones de cada radio en mm y su correspondiente año. La serie más larga fue la rodaja B de 44 años y la más corta la rodaja H con 36 años. Se realizaron correlaciones entre un mismo árbol todas superiores a 0,7. Adicionalmente de cada una de las series la mejor correlación con la serie maestra fue la muestra TICB22 con un valor de 0,84 seguido de TICA01 con 0,744 y la menor correlación de las 12 muestras la obtuvo la serie dos de la rodaja H (TICH32) con un valor de 0,593 en el lapso 1.982 al 2.017.

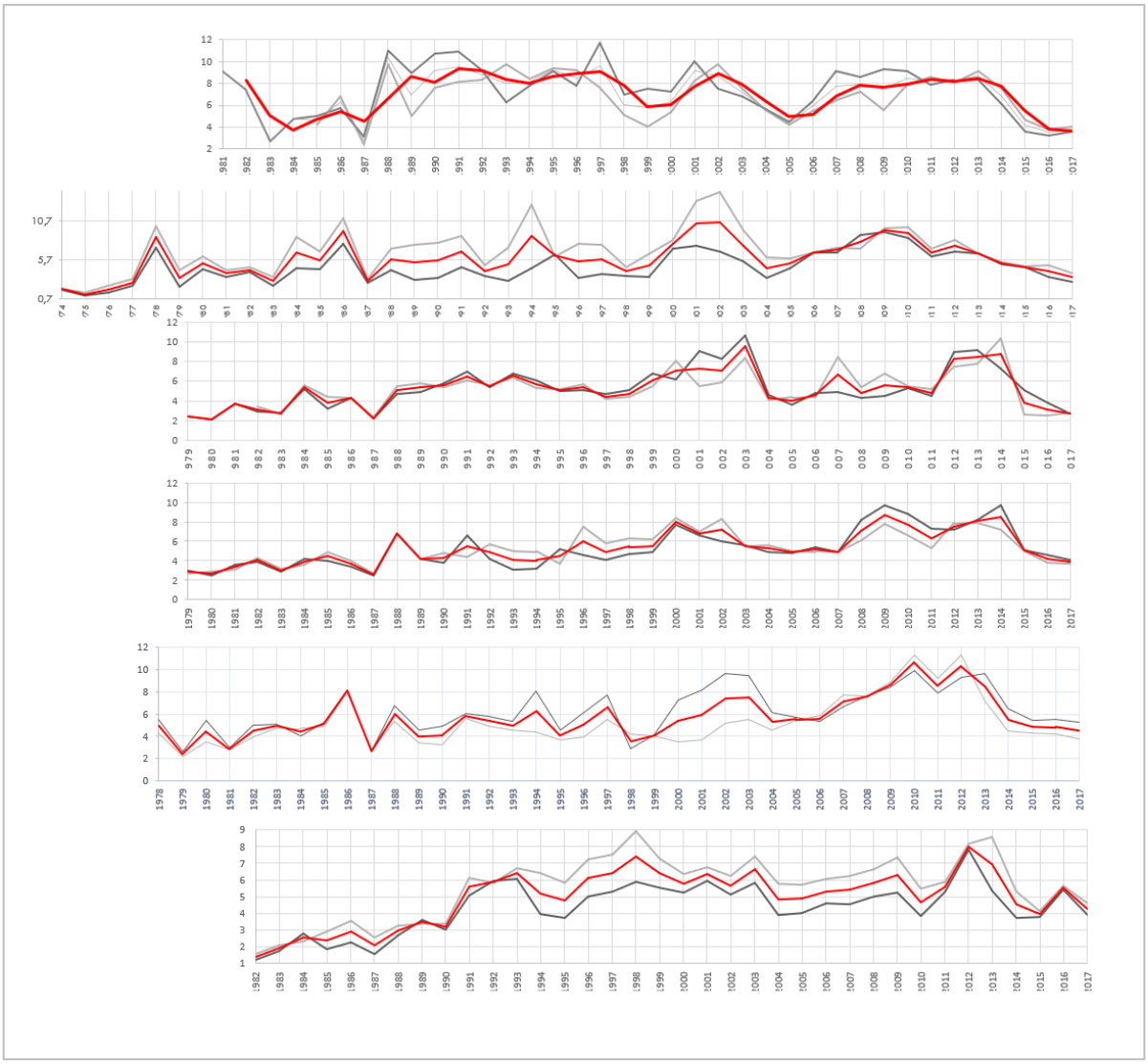


FIGURA 9: SERIES DE 6 RODAJAS (2 RADIOS POR RODAJA) DE C.PANAMENSE, ORDEN A-B-C-F-G-H. ENTRE LOS AÑOS DE 1.974 AL 2.017 Y SU LONGITUD EN MM DE ANCHO DE ANILLO.

10.4. Construcción de la serie maestra y estandarización de la cronología

Por medio del software ARSTAN se construyó una única serie compuesta por las 12 muestras con mejores correlaciones. A partir de esta, en la figura 11 se puede observar la tendencia creciente respecto al ancho de anillo en el periodo de tiempo de 1.974 al 2.017 con un R^2 de 0,404. Se pueden observar 3 picos con altos valores de crecimiento

correspondientes a los años 1.978, 2.001 y 2012. Los menores se observan en los años: 1.975, 1.987, 2.005 y 2.017.

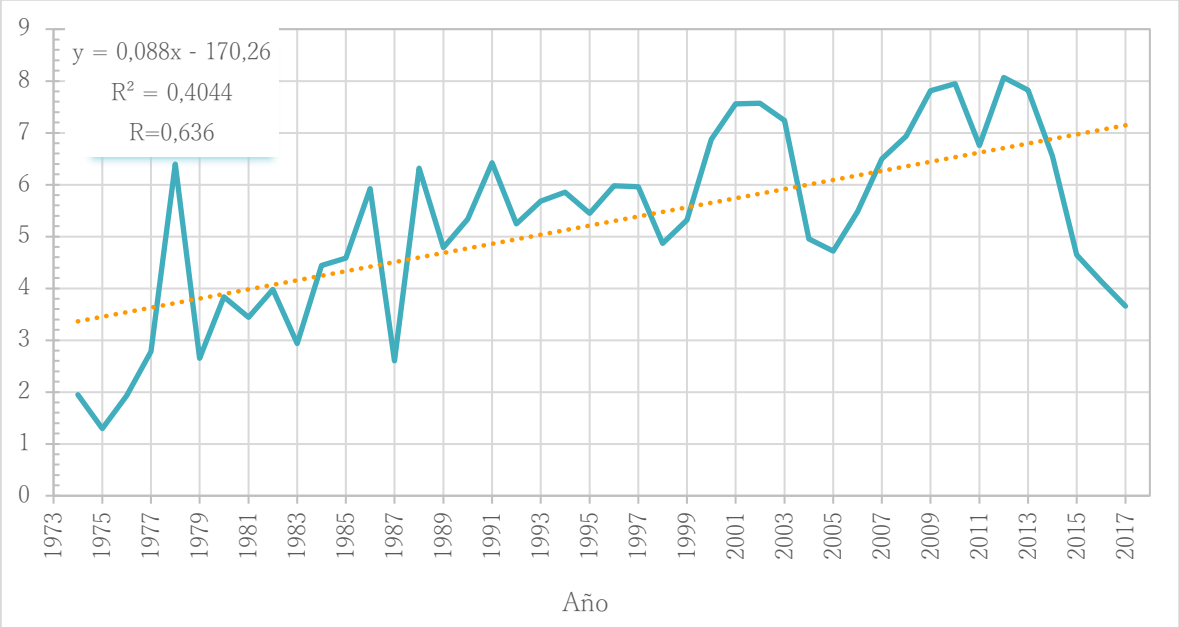


FIGURA 10: TENDENCIA CRECIMIENTO DE SAJO.

Para la padronización de las muestras se utilizó smoothing spline al 50% de la edad de los árboles, los resultados se muestran en el anexo. En la figura 12 se observan los diferentes índices de crecimiento, estandarizado, residual y autorregresivo, además del número de series presentes y los años que comprende. Se observa homogeneidad a lo largo de la serie cronológica con una ligera oscilación en periodos cortos, año 1.975 y 1.987.

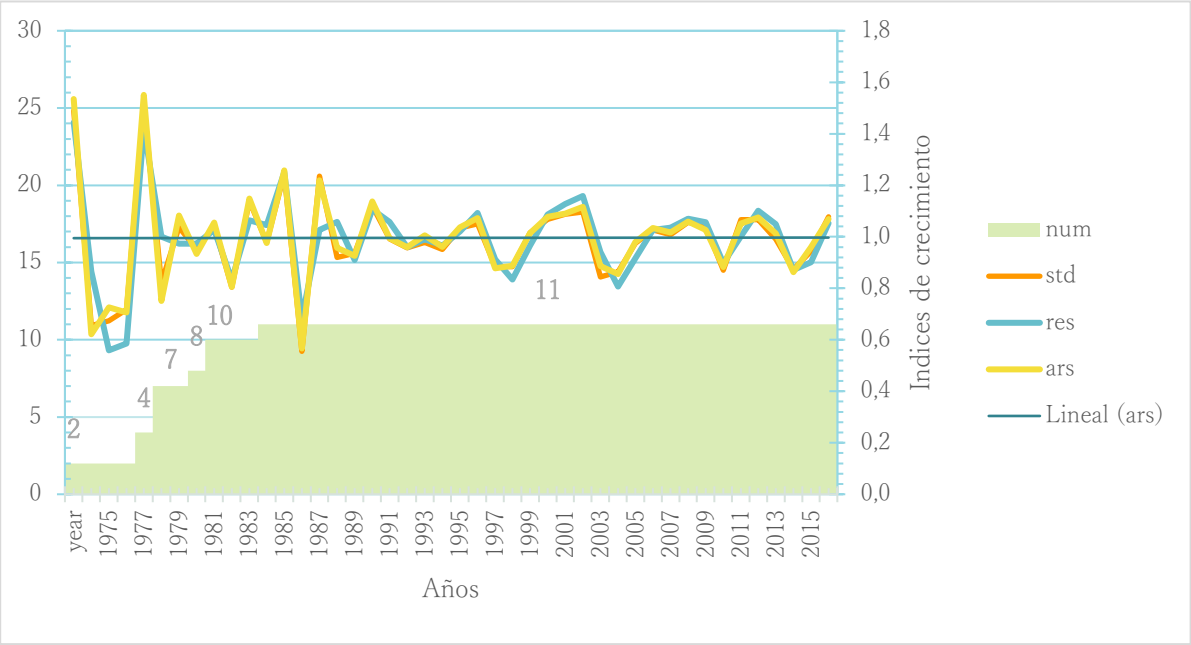


FIGURA 11INDICES DE CRECIMIENTO PARA LOS MODELOS ESTANDARIZADOS (STD) RESIDUAL(RES) Y AUTORREGRESIVO (ARS)

10.5. Correlación con la variable climática.

La correlación con los valores mensuales de precipitación entre los años 1.970 al 2.018 y la cronología (1.974 -2.017) mostraron una correlación por lo general inversa con un valor de 0,344 negativa en el mes de diciembre del año pasado, se puede observar en la figura 13 que altas precipitaciones mes septiembre año pasado, no hay crecimiento. No obstante, se observa un aumento de este en la medida que disminuyen las precipitaciones hacia el mes de diciembre año pasado. Como se puede ver en la figura, la relación con los datos es inversa para los meses de enero -febrero, este último con la más baja precipitación no hay crecimiento en ese periodo. Hasta en el mes de junio-julio empieza a crecer la especie con una disminución de las precipitaciones, sin embargo, la correlación con esta variable se encuentra por debajo del nivel de significancia lo cual podría indicar que la variable precipitación no explica totalmente en crecimiento en sajo. En el mes de octubre se presencia una relación positiva debido que aumenta las precipitaciones y del mismo modo el crecimiento. Posteriormente, se

observa que en el periodo enero-febrero del siguiente año bajas precipitaciones con crecimiento medio y hacia marzo abril precipitaciones medias y crecimiento de los árboles.

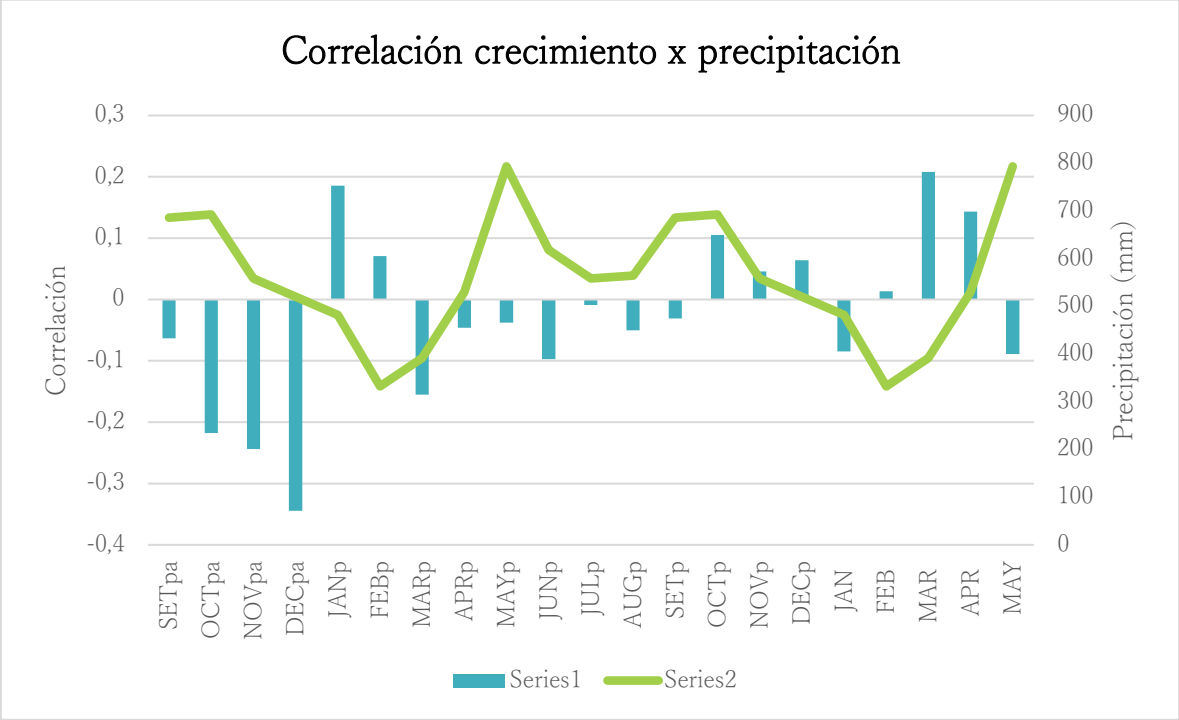


FIGURA 12:CORRELACIÓN ENTRE VARIABLE PRECIPITACIÓN Y CRECIMIENTO DEL SAJO. SERIE 1: VALORES DE CORRELACIÓN Y CRECIMIENTO. SERIE 2: VALORES DE PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (MM)

10.6. Relaciones con densitometría

El analisis de las muestras tuvo dos metodologías para la confirmación de anillos, la demarción de estos en el primer caso, basado en la observación, donde posterior y casi inmediato de la madera tardía una alineación de poros, que en los perfiles densitometricos se observan como densidades más altas. Para cada rodaja se analizaron hitos en la marcación y su correspondiente longitud, allí se compararon con lo observado y se rectificaron con base en la longitud en sentido corteza -medula, cabe aclarar que el grafico de enciama mide densidad y el de abajo longitud de ancho de anillo. Acontinuacion se pueden ver los graficos de las 6 rodajas .

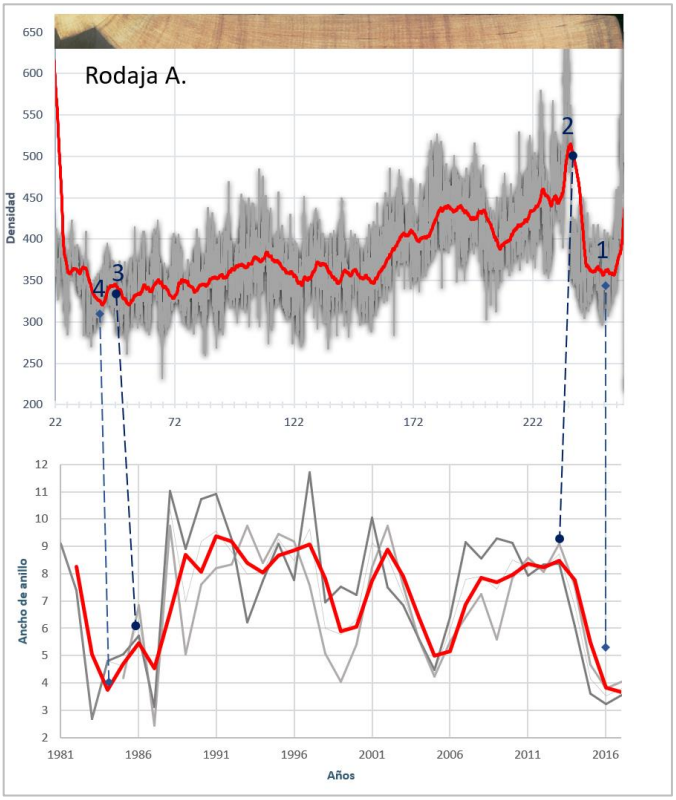


FIGURA 13: IMAGEN MACRO DE LA RODAJA A. PERFIL DE DENSIDAD Y LONGITUD. PERFIL DE ANCHO DE ANILLO POR AÑO

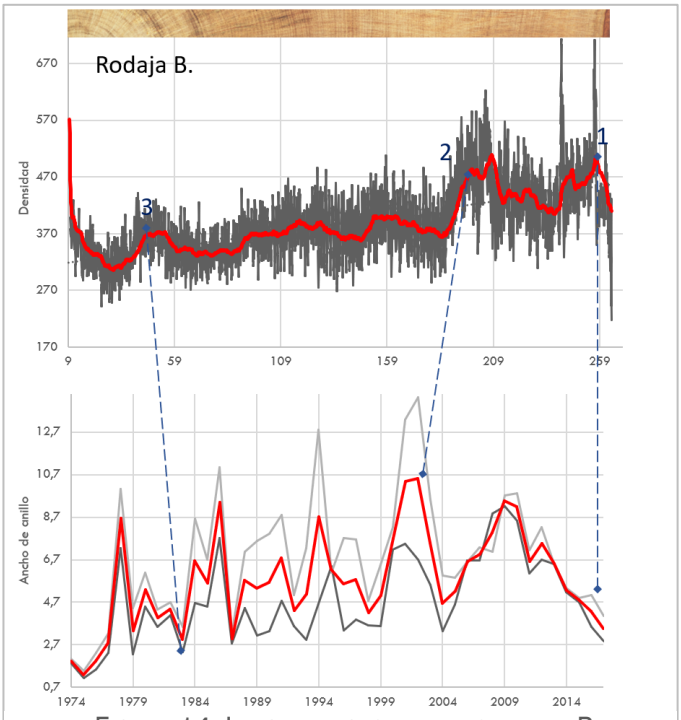


FIGURA 14: IMAGEN MACRO DE LA RODAJA A. PERFIL DE DENSIDAD Y LONGITUD. PERFIL DE ANCHO DE ANILLO POR AÑO

Los puntos demarcados con números son algunos de los hitos que comprende la muestra A, el punto número 1 en el perfil densitómetrico presenta bajos valores, de estos se escogió el más alto en ese lapso (valle) con una densidad correspondiente a 399,04 Kg/m^3 a una distancia de 244,24 mm desde la medula. por otro lado, en el perfil dendrocronológico la medida más próxima fue de 244,25 mm lo cual marcaba un anillo para el año 2016. El punto numero 2 tiene los mayores valores de densidad con 645 Kg/m^3 a una distancia desde medula de 236,72mm, la medida más cercana en el perfil dendrocronológico correspondería al año 2014 con una longitud de 236,58.

En la rodaja B (figura xxx) se seleccionaron 3 hitos de acuerdo con la media móvil del perfil denssitometrico. El punto 1 dirección medula- corteza registró valores altos de densidad (607,7kg/m^3) a una distancia de 256,56mm, el anillo más cercano a esta medida fue de 258,68 mm correspondiente al año 2010. El punto 3,

a 42mm (427,51 kg/m3) concuerda con el año de 1983 a una distancia de 42,22mm.

La muestra C se reconocieron tres hitos principales el más cercano a la corteza, presentó el mayor valor de densidad con 847,96Kg/m3 a una longitud de 178,96mm, el punto que más coincide es en el año 2012 con 175,68 mm. El segundo, a 115,6mm con (614,3 kg/m3 el cual coincide 115,47mm año 2003, finalmente, el tercero con la densidad más baja (449,47 kg/m3) con una distancia de 39,36mm, igualmente coincide con anillo observado a39,3mm para el año 1990.

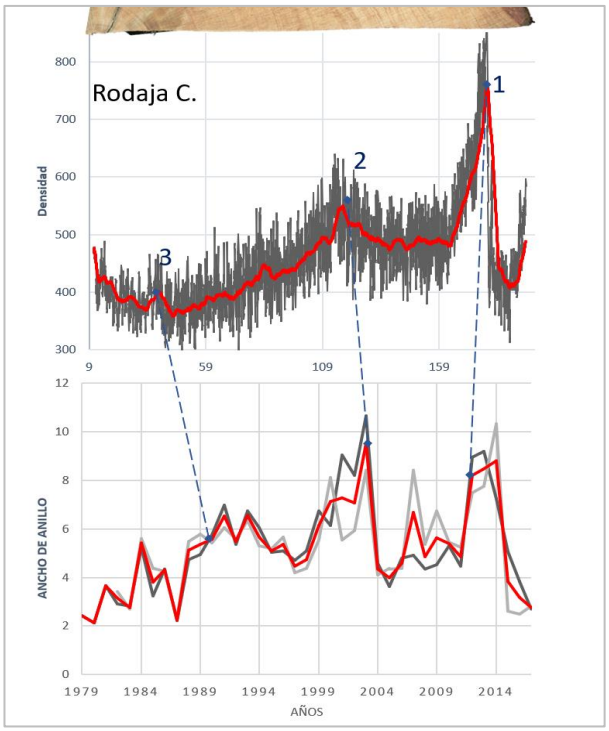


FIGURA 15: IMAGEN MACRO DE LA RODAJA C. PERFIL DE DENSIDAD Y LONGITUD. PERFIL DE ANCHO DE ANILLO POR AÑO

Para F, de igual forma se obtuvieron 3 puntos principales, el número 1 con el valor más alto de densidad (703,9kg/m3) distancia de 186,88; el más próximo en la serie fue de 188,07 y marcó el anillo 2013. El punto 2, teniendo una longitud de 112,48mm (447,85kg/m3) coincide con el anillo del año 2001 a 112,15 mm. Por último, el punto 3 a 38,24 en el densimétrico y 38,19 en la serie corresponde al año 1988 y a una densidad de 483,27 kg/m3.

El comportamiento de la densidad en la muestra G, presentó mayores valores hacia la la corteza, el punto uno presenta los mayores

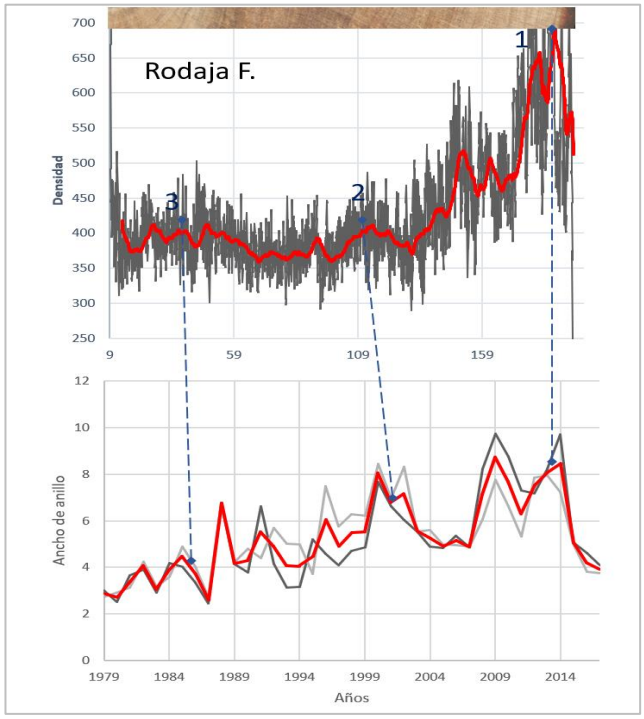


FIGURA 16: IMAGEN MACRO DE LA RODAJA F. PERFIL DE DENSIDAD Y LONGITUD. PERFIL DE ANCHO DE ANILLO POR AÑO

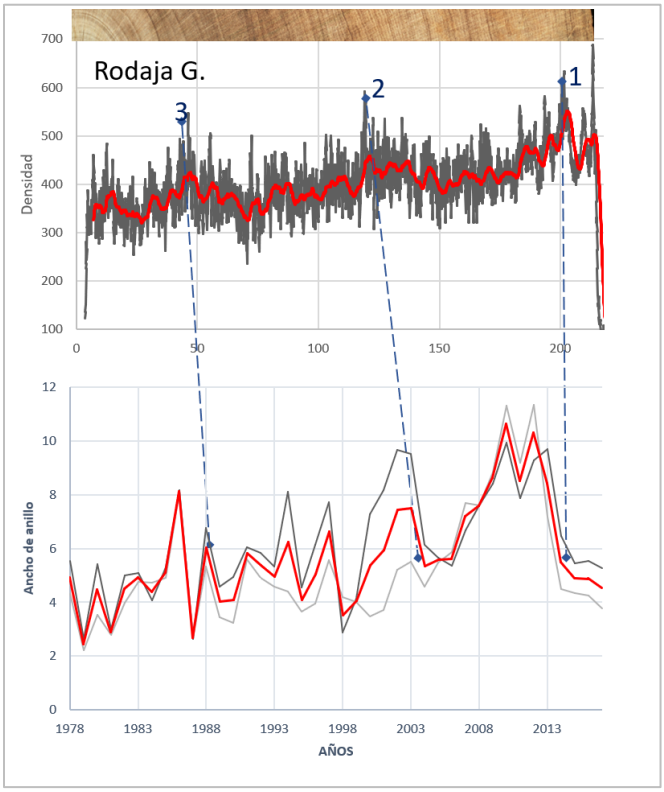


FIGURA 17: IMAGEN MACRO DE LA RODAJA G. PERFIL DE DENSIDAD Y LONGITUD. PERFIL DE ANCHO DE ANILLO POR AÑO

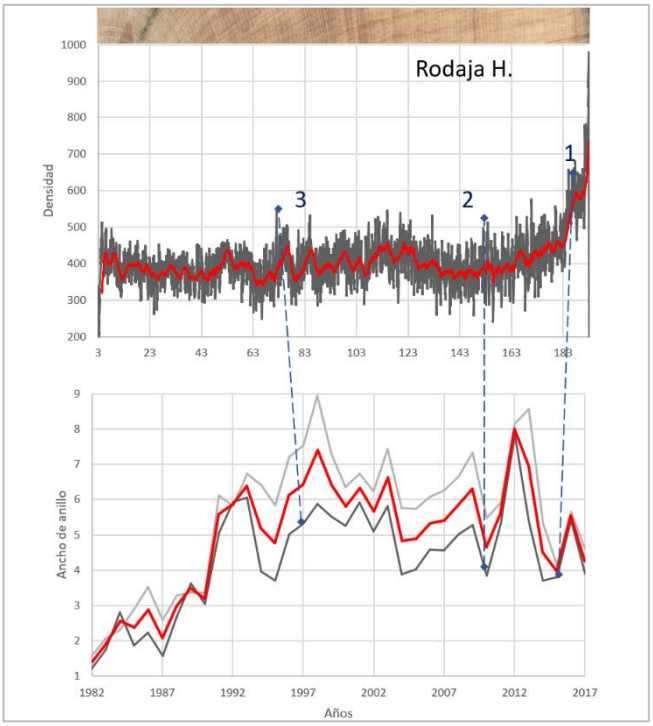


FIGURA 18: IMAGEN MACRO DE LA RODAJA G. PERFIL DE DENSIDAD Y LONGITUD. PERFIL DE ANCHO DE ANILLO POR AÑO

densidades (612,72 Kg/m3) a 201,28 mm el más cercano se encontró a 200,69 mm para el año 2015. El punto dos a 118,96 con densidad de 591,83 kg/m3, su punto más cercano es el año 2004 a 117,39. Y el punto tres a una distancia de 46,08mm presenta valor de densidad de 546,09 kg/m3, el anillo más cercano en la serie fue a 47,36 mm en el año 1988.

Para finalizar, la rodaja H (figura xx) presenta sus valores más altos hacia la corteza, el punto uno a una distancia de 187,2 mm presenta una densidad de 661,67 Kg/m3; el valor más próximo en la serie es de 189,01 para el año 2.015. El punto dos a 153,76 mm (512,72Kg/m3) con punto más cercano a 151,43 mm marca el año 2.010. Para terminar, el punto tres con densidad 545,95kg/m3 a una distancia de 71,92 mm la serie corresponde al año 1997 con 70,04 mm.

10.7. Incrementos diamétricos por medio del modelo de crecimiento de Von Bertalanffy

A partir de las ecuaciones ya nombradas se realizaron los cálculos para el incremento dimétrico escogiendo como asíntotas, tres opciones. La primera asíntota de 65 cm de diámetro se tomó teniendo presente el estudio publicado por (Vásquez, 1986) en el cual el rodal estudiado el mayor diámetro encontrado fue este valor. El segundo, fue de 80 cm como máximo diámetro, de acuerdo con lo registrado por (López & Montero, 2005) y finalmente el diámetro de 100 cm según apreciaciones por empresarios madereros que compran directamente la madera en corregimiento de Puerto Saija en Timbiquí Cauca.

A continuación, en la figura 19 se pueden observar los incrementos diamétricos para cada asíntota conseguidos de la ecuación uno. A partir de estos se obtuvieron los parámetros m y k respectivos. En donde para cada una de las muestras se percibe la confluencia de valores a lo largo de las funciones y una separación o trifurcación que finaliza en la asíntota de cada una, es decir en los diámetros máximos consultados para la especie. Las muestras TICB11, TICC01 y TICH21 presentan mayores similitudes a lo largo de la función en un lapso de 70 años a diferencia de TICA32 y TICF11 en donde la confluencia entre puntos es dispar o presentan un punto de trifurcación más bajo.



FIGURA 19: INCREMENTOS DIAMÉTRICOS CON ASÍNTOTA 1000, 800 Y 650 MM PARA CADA UNA DE LAS DOCE MUESTRAS.

Posterior al cálculo de los incrementos diamétricos teniendo como base los valores medidos de cada muestra, se determinaron los parámetros m y k, con estos se calcularon el ICA y el IMA junto con su punto de cruce, adicionalmente se realizaron las correlaciones con los datos reales, observándose altos valores, con mejores ajustes para la rodaja H. En la tabla 5 se pueden ver los puntos de cruce para cada radio, la edad y el diámetro correspondiente a la intersección entre estos junto con los parámetros resultado de la ecuación de incremento diamétrico con asíntota 1000 mm.

TABLA 5: CRUCE DE ICA E IMA, LA EDAD Y DIÁMETRO, LOS PARÁMETROS DE MEJOR AJUSTE Y SU CORRELACIÓN RESPECTIVA. CON ASÍNTOTA 1000 MM

Muestra	ICA=IMA	EDAD	Diámetro	m	k	b	correlación
TICA01	14,1	23,4	330	0,264	0,025	1	0,9988
TICA032	15,5	22,3	345	0,28	0,028	1	0,9991
TICB11	9,4	46,2	435	0,392	0,02	1	0,9954
TICB22	13,8	37,8	525	0,52	0,035	1	0,9992
TICC01	10,3	39,8	410	0,36	0,021	1	0,9990
TICC12	10,6	35,6	385	0,328	0,021	1	0,9994
TICF11	10,4	46,5	481	0,456	0,024	1	0,9967
TICF22	10,6	40,0	423	0,376	0,022	1	0,9990
TICG01	12,3	37,3	458	0,424	0,0273	1	0,9973
TICG02	10,6	40,0	423	0,3976	0,022	1	0,9929
TICH32	11,2	42,9	481	0,456	0,026	1	0,9995
TICH21	8,9	47,8	423	0,376	0,0184	1	0,9995

En la figura 20 se observan los incrementos corrientes anuales (ICA) y medios anuales (IMA) con los puntos de cruce para cada muestra. Desde 8,60mm (ICA=IMA) anual correspondiente a la serie TICH21 con un máximo crecimiento de 10,2 mm para el año 27; el mayor crecimiento lo tiene la serie TICB22 para el año 22 con 17,235 mm y punto de corte en el año 39 con 13,877mm de diámetro.

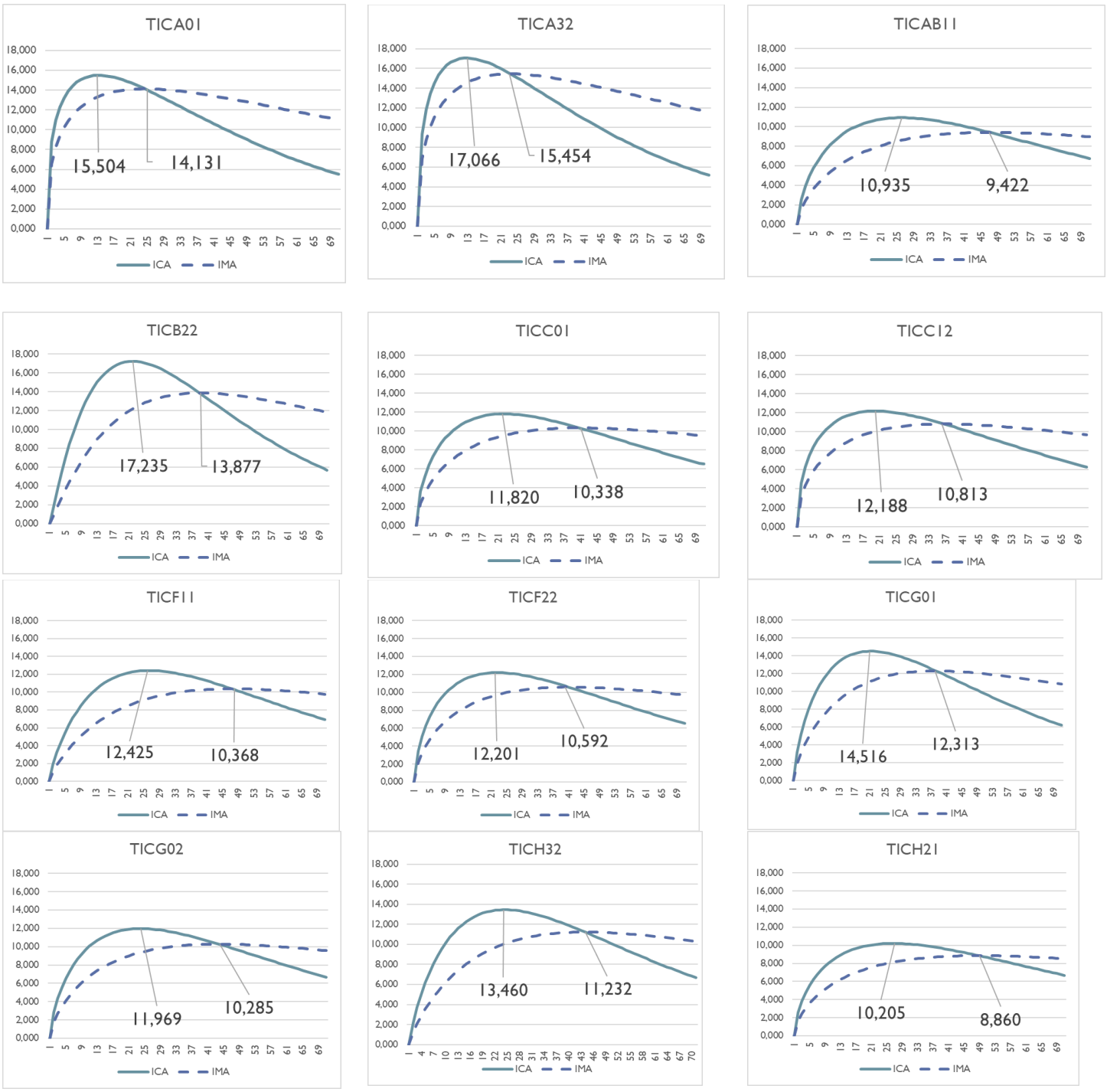


Figura 20: ICA e IMA de cada una de las muestras a partir de los parámetros obtenidos con la asíntota de 1000mm.

En la tabla 7, con la asíntota de 800mm se determinaron los puntos de cruce en ICA e IMA de cada una de las series, su correspondiente edad junto con el diámetro en la intersección, adicionalmente de los parámetros ajustados a la ecuación de incremento diamétrico y la correlación con los valores medidos. Al igual que en la asíntota de 1000 mm las mejores correlaciones las presentan las series de la rodaja H (superiores a 0,999) la serie TICB11 con la correlación más baja corresponde a 0,9941.

TABLA 7: CRUCE DE ICA E IMA, LA EDAD Y DIÁMETRO, LOS PARÁMETROS DE MEJOR AJUSTE Y SU CORRELACIÓN RESPECTIVA. CON ASÍNTOTA 800 MM

Muestra	ICA=IMA	EDAD	Diámetro	m	k	b	correlación
TICA01	14,5	18,3	265	0,264	0,032	1	0,9989
TICA032	15,7	24,0	376	0,44	0,0445	1	0,9989
TICB11	9,2	41,0	376	0,44	0,026	1	0,9941
TICB22	13,9	33,0	461	0,6	0,049	1	0,9975
TICC01	10,2	36,8	376	0,44	0,029	1	0,9991
TICC12	10,6	26,0	277	0,28	0,024	1	0,9981
TICF11	9,7	38,6	376	0,44	0,0276	1	0,9946
TICF22	10,6	35,5	376	0,44	0,03	1	0,9985
TICG01	12,0	31,3	376	0,44	0,034	1	0,9949
TICG02	9,8	33,4	329	0,36	0,025	1	0,9898
TICH32	11,1	37,8	420	0,52	0,035	1	0,9997
TICH21	8,8	42,6	376	0,44	0,025	1	0,9996

La figura 21, los mayores diámetros por año lo tienen la serie TICA32 con 18,677mm para el año 14 y punto de cruce (ICA e IMA) año 25 con 15,714 mm. Los menores valores al igual que con la asíntota de 1000mm lo registran la serie TICH21 con máximo incremento de 14,270mm, año 24 y punto de intersección entre el ICA y el IMA en el año 44.

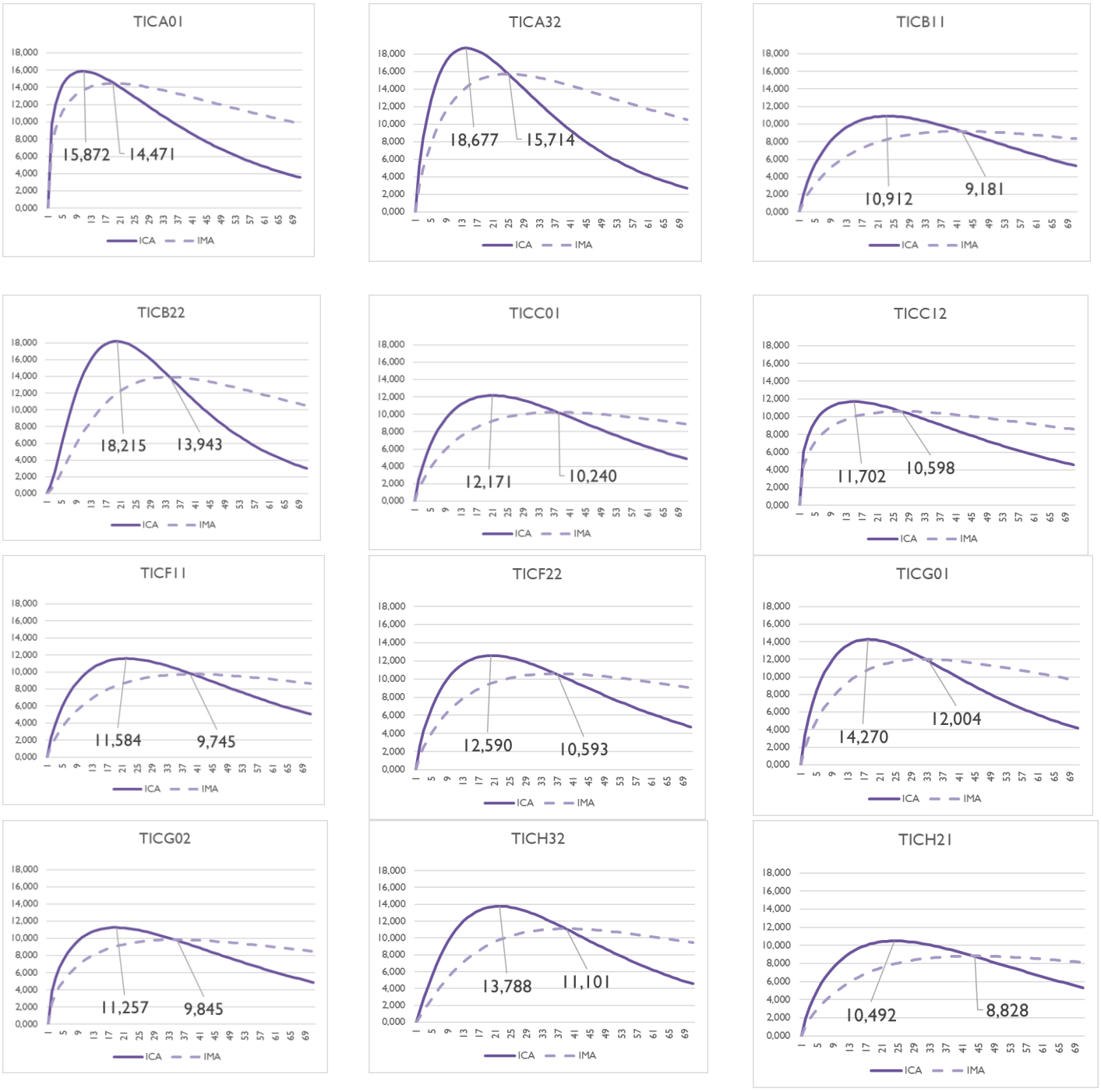


FIGURA 21: ICA E IMA DE CADA UNA DE LAS MUESTRAS A PARTIR DE LOS PARÁMETROS OBTENIDOS CON LA ASINTOTA DE 800MM

Por último, los valores de cruce entre ICA e IMA que se observan en la tabla 8 con su correspondiente edad y diámetro en ese punto, son para la asíntota de 650mm. Adicionalmente se tienen los parámetros para cada serie y la correlación con los valores medidos, presentándose que al igual que en los anteriores, la rodaja H en ambas series mostraron las mejores correlaciones. Sin embargo, de las tres asíntotas, las menores correlaciones fueron de la asíntota de 650mm.

TABLA 8: CRUCE DE ICA E IMA, LA EDAD Y DIÁMETRO, LOS PARÁMETROS DE MEJOR AJUSTE Y SU CORRELACIÓN RESPECTIVA. CON ASÍNTOTA 650 MM

Muestra	ICA=IMA	EDAD	Diametro	m	k	b	correlación
TICA01	14,7	18,1	266	0,36	0,046	1	0,9979
TICA32	16,1	25,2	406	0,68	0,078	1	0,9971
TICB11	9,7	41,8	405	0,68	0,047	1	0,9939
TICB22	14,2	28,5	406	0,68	0,069	1	0,9957
TICC01	10,6	32,3	34	0,52	0,041	1	0,9989
TICC12	10,9	28,0	306	0,44	0,038	1	0,9981
TICF11	11,1	36,4	406	0,68	0,054	1	0,9939
TICF22	11,1	33,7	374	0,6	0,048	1	0,9982
TICG01	12,9	31,5	406	0,68	0,0624	1	0,9932
TICG02	10,6	35,2	374	0,6	0,046	1	0,9894
TICH32	11,2	33,4	373	0,6	0,0485	1	0,9997
TICH21	8,8	38,9	341	0,52	0,034	1	0,9995

Los mayores incrementos junto con los puntos de cruce para la asíntota de 650 mm se observan en la figura 22. En ella, la serie TICH21 al igual que en las anteriores presenta los menores incrementos teniendo que el máximo diámetro es en el año 23 con 10,8mm y punto de cruce en el año 40 con 8,762mm. El mayor crecimiento lo tiene la serie TICA32 al igual que con la asíntota 800mm; en esta serie el máximo diámetro es alcanzado en el año 16 con 16,095mm.



FIGURA 22: ICA E IMA DE CADA UNA DE LAS MUESTRAS A PARTIR DE LOS PARÁMETROS OBTENIDOS CON LA ASINTOTA DE 650MM

En la tabla 9 se aprecia a partir de las ecuaciones de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) los valores en la intersección para cada serie con su respectiva asíntota, adicionalmente se encuentra el diámetro en el punto de cruce y su correspondiente edad. Se observa que los valores en promedio, para la asíntota 1000mm 38,29 años, asíntota 800mm: 33,2 años y asíntota de 650mm: 31,93 años. Por otro lado, los valores de incremento en milímetros son muy semejantes entre las tres asíntotas comprendidos entre 11,36mm a 11,83 para el año de cruce. En lo que respecta a la variación del diámetro en el año del punto de cruce, se puede observar que el mayor diámetro alcanzado sería en promedio de 426,58 mm para 1000 mm, le sigue 800mm con 365,39mm y, por último, asíntota 650 con 341,37mm. Las mayores edades se registran por lo general en la 1000mm a excepción de la serie TICA32.

TABLA 9: RESUMEN DE LOS VALORES PARA ICA E IMA, DIÁMETRO EN EL PUNTO DE CORTE Y LA EDAD EN PUNTO DE INTERSECCIÓN CON LAS TRES ASÍNTOTAS (1000MM,800MM Y 650MM). AL FINAL EN VERDE SE ENCUENTRAN LOS MAYORES VALORES DE EDAD.

	A=1000	A=800	A=650	A=1000	A=800	A=650	A=1000	A=800	A=650
Muestra	ICA=IMA	ICA=IMA	ICA=IMA	Diametro	Diametro	Diametro	EDAD	EDAD	EDAD
TICA01	14,132	14,471	14,72	330,131	264,539	266,433	23,386	18,27	18,148
TICA32	15,455	15,714	16,096	344,646	376,346	405,609	22,307	23,952	25,211
TICB11	9,422	9,181	9,699	435,276	376,426	405,403	46,222	40,994	41,839
TICB22	13,827	13,943	14,238	524,55	460,803	405,795	37,827	33,036	28,499
TICC01	10,339	10,24	10,566	410,44	376,337	33,598	39,754	36,753	32,291
TICC12	10,644	10,598	10,903	385,498	276,599	305,817	35,644	26,025	28,049
TICF11	10,368	9,746	11,143	481,082	376,2	405,609	46,461	38,618	36,415
TICF22	10,594	10,594	11,097	422,961	376,39	373,975	39,964	35,528	33,725
TICG01	12,313	12,006	12,876	458,048	375,79	405,609	37,271	31,348	31,513
TICG02	10,594	9,846	10,635	422,961	328,864	374,345	39,964	33,393	35,191
TICH32	11,232	11,102	11,213	480,736	419,973	373,385	42,887	37,827	33,377
TICH21	8,86	8,828	8,762	422,633	376,426	340,854	47,783	42,634	38,94
Promedio	11,48	11,36	11,83	426,58	365,39	341,37	38,29	33,20	31,93
Desviación	2,02	2,22	2,19	56,06	54,19	106,77	8,17	7,27	6,36
C.V.	17,6%	19,6%	18,5%	13,1%	14,8%	31,3%	21,3%	21,9%	19,9%

En la Figura 23 se observan los valores del punto en donde empieza la trifurcación de cada incremento diamétrico con las diferentes asíntotas. Teniendo como menor valor la serie TICA01 correspondiente a 32 años y 423mm de diámetro, la mayor lo registra 48 años a 492mm de diámetro.

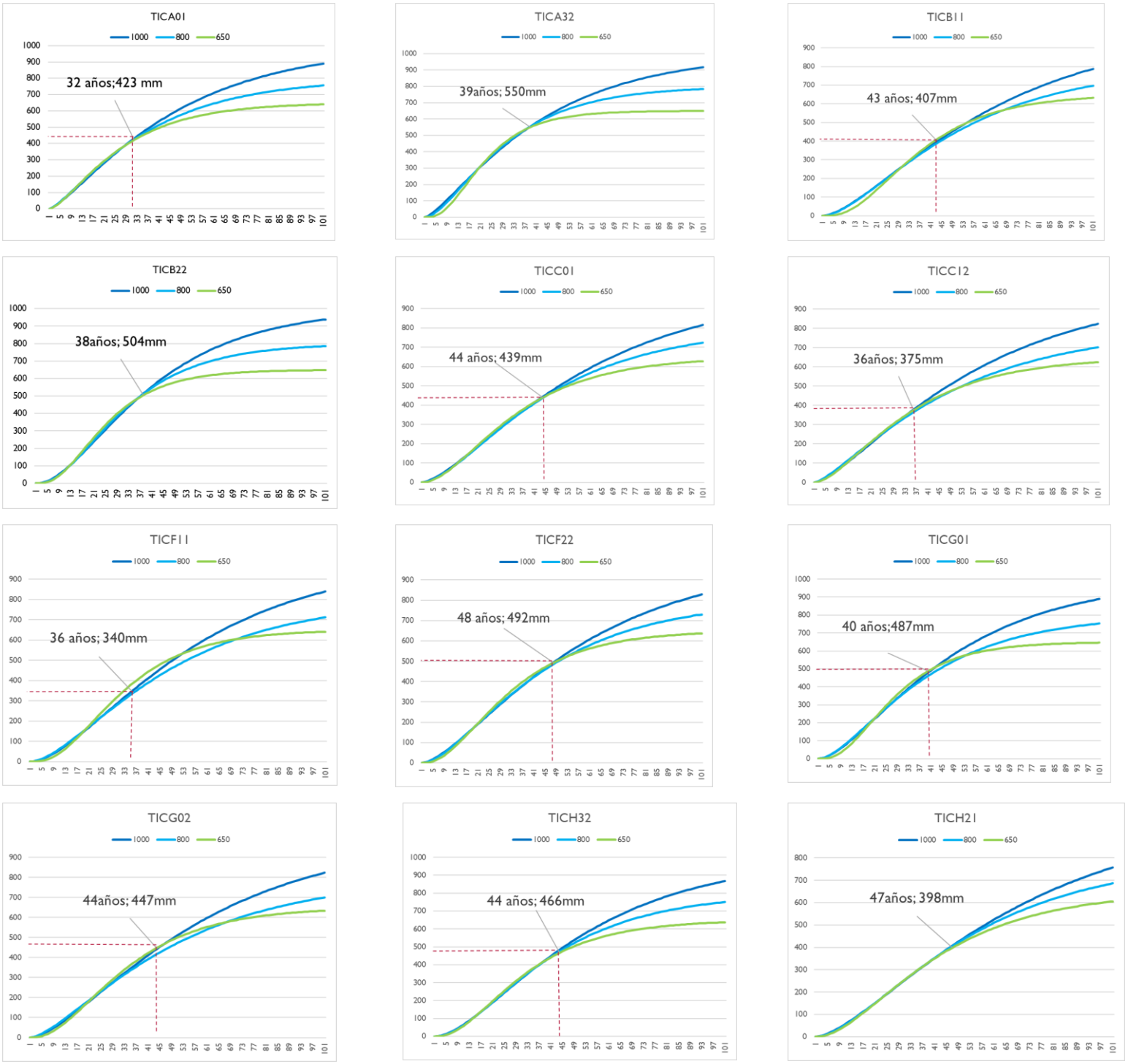


FIGURA 23: INCREMENTOS DIAMÉTRICOS DE CADA UNA DE LAS MUESTRAS CON SUS RESPECTIVOS PUNTOS DE FINALIZACIÓN DE LA CONFLUENCIA DE DATOS (INICIO DE TRIFURCACIÓN) PARA LAS ASÍNTOTAS DE 1000MM,800MM Y 650MM.

A continuación, se pueden ver los valores para cada serie y su punto de en donde empieza la trifurcación de las tres asíntotas en las funciones de incrementos diamétricos. Se observa para la variable edad un coeficiente de variaza del 12% y para el diamet5ro 13% las edades en este punto oscilan de 32 años a 48 años con diámetros de 340mm a 550mm.

TABLA 10: RESUMEN DE EDAD Y DIÁMETRO EN EL PUNTO DE INICIO DE LA TRIFURCACIÓN DEL CRECIMIENTO DIAMÉTRICO, PROMEDIO, DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y COEFICIENTE DE VARIACIÓN.

Muestra	EDAD	DIÁMETRO
TICA01	32	423
TICA32	39	550
TICB11	43	407
TICB22	38	504
TICC01	44	439
TICC12	36	375
TICF11	36	340
TICF22	48	492
TICG01	40	487
TICG02	44	447
TICH32	44	466
TICH21	47	398
promedio	40,9	444
Desviación	4,87	59,55
C.V.	12%	13%

11. Discusión

11.1. Especie

Ya son varios los intentos que han tratado de verificar la posibilidad de datación a partir de anillos de crecimiento en la madera de *C. panamense* Ya en el año 1998, Castelblanco había descartado esta posibilidad dada la falta de elementos contundentes desde el punto de vista anatómico para delimitar el ancho de los anillos de crecimiento. En este mismo sentido, el estudio conducido por Giraldo *et al* (2021) llegó a las mismas conclusiones para la especie. Así, otras experiencias Giraldo (2011) han dado cuenta de experiencias fallidas en este derrotero para especies tropicales; la causa es que muy probablemente estos estudios no se concentraron en una única especie y la falta de dilucides para las expresiones muy específicas pudieron dejar pasar detalles en las especies más complejas como el Sajo.

11.2. Localización

No todos los estudios llevados a cabo con la madera de *C. panamense* se han realizado para las mismas locaciones, Vásquez (1988), por ejemplo, trabajo en rodales ubicados en el departamento de Nariño, Castelblanco (1998) en Buenaventura, Valle del Cauca; Del Valle en bosques a lo largo del andén Pacífico en todos los departamentos (Del Valle, 2020; Del Valle & Lema (1999). Esta situación ha desembocado en baja comparabilidad, sobre todo cuando estos mismos autores han declarado diferencias en el crecimiento de la especie para el mismo rodal por efectos de la calidad de la copa o de la posición sociológica, el grado de intervención, entre otros. A pesar que el Sajo, es una especie que crece en rodales oligoespecíficos, los niveles de frecuencia de la especie pueden variar en amplio rango, desde rodales casi puros hasta rodales con alta participación de otras especies, en especial palmas (Euterpe) y maderables como los de la familia *Mirysticaceae* (Urrego & Del Valle, 2002. No obstante, el ecosistema de Sajal tiene una amplia participación en el Pacífico colombiano en alrededor de 300.000 has (Von Christen *et al*, 1998), por lo que, según estimaciones de la autora, no se podría hablar de un solo tipo de crecimiento en la especie.

11.3. Material Muestreado

Un aspecto por considerar para la presente investigación es que los discos fueron obtenidos a partir de trozas en el Distrito de Buenaventura, a 142 kilómetros del lugar de procedencia de los árboles. La información sobre la localización exacta de crecimiento fue suministrada por los madereros locales que se encargan de la compra, recolección y transporte de la madera desde los puntos de origen hasta los puntos de consumo industrial. Esta situación pone de manifiesto un diferencial en las respuestas de crecimiento, ya que podría tratarse, con alta probabilidad, de diferentes locaciones, que así sean cercanas, pueden acarrear incrementos diferenciales, a todas luces conveniente para un mayor espectro de respuesta en el diagnóstico de crecimiento para estudios exploratorios como en este caso Schweingruber (1988).

11.4. Forma de los árboles

Un aspecto importante con el que lidió el presente estudio fue la presencia de rodajas asimétricas respecto a la médula (Ver imágenes del Anexo A). Esta situación particularmente determinó que las series obtenidas para la misma rodaja, dos en todos los casos, no coincidieran en sus anchos para los segmentos de anillos correspondientes al mismo periodo, a pesar de corresponder a una misma muestra para el mismo árbol obtenida a la misma altura. Pero la idea de muestrear dos veces cada disco ayudó a paliar el error experimental y mejorar los grados de libertad en los modelos analizados. Adicionalmente, este procedimiento redujo el efecto de los anillos fusionados o *wedging rings*, sobre todo en las porciones abultadas por contrafuertes o *buttresses*. Esto no es una condición exclusiva de Timbiquí, cauca, ya que Worbes & Fichtler (2010), citan esta circunstancia en diferentes especies tropicales y lugares, y la catalogan como una dificultad de las especies tropicales en los procedimientos dendrocronológicos. Ahora bien, el hecho que el Sajo no posea fustes redondeados en la base, lo entiende la autora como una condición de alto impacto por corrientes de viento y asimetría de copas, tal cual lo afirma Schweingruber (1988), lo cual puede ser más incidente en rodales previamente entresacados, con consecuencias no solo en la generación de contrafuertes, sino también en la formación de madera de reacción y anillos fusionados (Vargas,

2017). En todos los casos, como se explicó en la metodología, el procedimiento implementado para la demarcación de los anillos a lo largo de los radios seleccionados fue un paliativo del error. Ver Figura 24 siguiente.

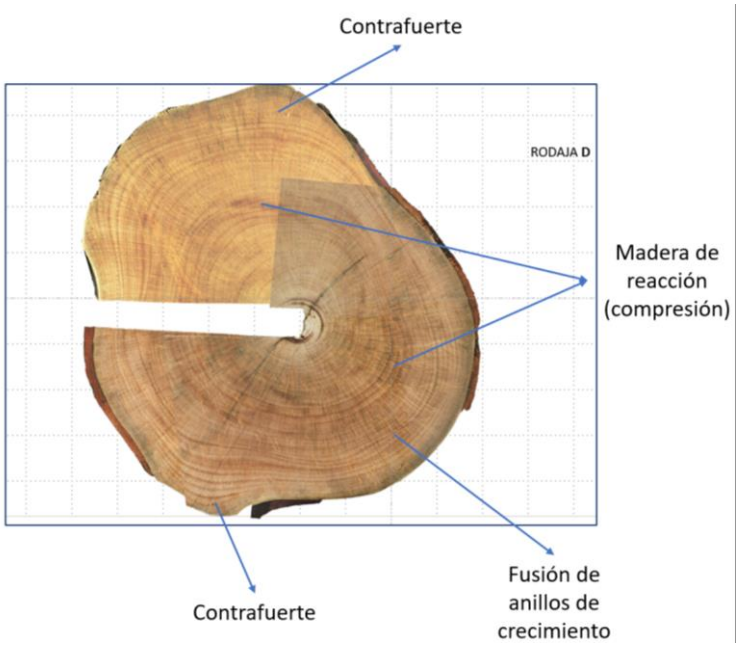


FIGURA24: CARACTERÍSTICAS DE ANILLOS EN LAS RODAJAS DE LA ESPECIE C.PANAMENSE

11.5. Implicaciones de ENSO (Fenómeno del Niño- Oscilación del Sur)

Ya son bien documentadas las implicaciones de las dinámicas climáticas del Océano Pacífico en el clima de Colombia (Poveda & Mesa, 1996). Tales dinámicas atmosféricas y oceanográficas condicionan variaciones anuales en la precipitación del país, lo cual puede considerarse un aliado a la hora de analizar variables como la precipitación y temperatura para apoyo en los estudios de carácter dendrocronológico. Entendido en fenómeno ENSO como una situación periódica con recurrencia cada dos a site años -en promedio cuatro-, donde se alteran las condiciones del Pacífico Tropical, dados traumatismos en los almacenamientos energéticos del océano y la circulación energética, Hurtado & Poveda (2008) dan a conocer sus efectos en el área de influencia, hipotetizando que el comportamiento evidenciado desde 1976 puede ser una consecuencia del cambio climático con orígenes antropocéntricos; y, aunque el presente

estudio no tiene como objetivo verificar tal afirmación, en la Figura 25 si se da a conocer algún grado de correlación entre el promedio de las escalas para la serie del Índice de Oscilación del Sur (SOI)[2]

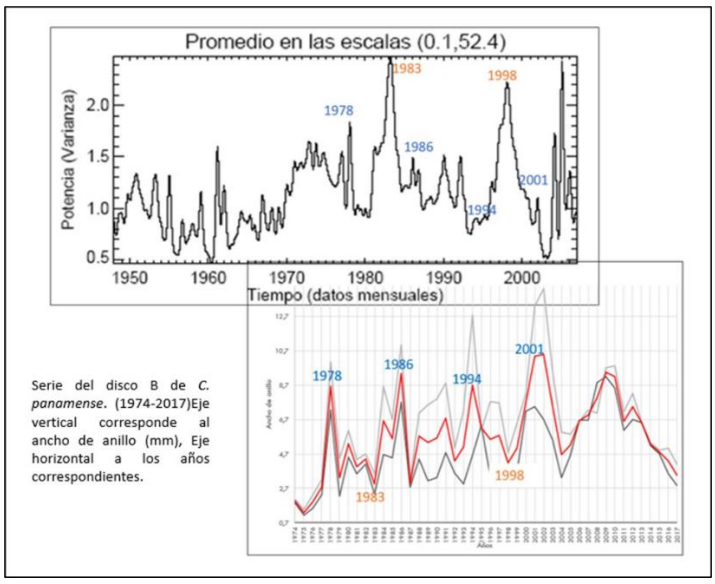


FIGURA 25: PROMEDIO DE LAS ESCALAS DEL ÍNDICE DE OSCILACIÓN DEL SUR -ARRIBA- Y EL ANCHO DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO PARA EL DISCO B (1976 A 2017) -ABAJO-. NÓTESE UN *DELAY* E-NTRE LOS PICOS DE EL NIÑO (1993 Y 1998) CON UN MAYOR ANCHO EN LOS ANILLOS TRES AÑOS ADELANTE (1986 Y 2001).

Aunque el presente estudio, no tiene el interés principal de correlacionar crecimiento con ENSO si deja en evidencia que es una relación que se debe interpretar como un objetivo principal en un próximo estudio.

11.6. Caracterización del Anillo de Crecimiento

(Worbes & Fichtler, 2010)Worbes & Fichtler (2010) advertían sobre la posibilidad de identificar anillos de crecimiento anuales para la mayoría de especies leñosas en la Várzea e Igapó -Amazonia brasilera-, 77 y 60%, respectivamente, dadas los elementos anatómicos sobresalientes como consecuencia de las características ambientales

[2] El SOI no es más que las diferencias en presión atmosférica para dos puntos a saber: la Isla de Tahití, en el centro del Océano Pacífico y la Isla de Darwin en Australia. Cuando las presiones son menores en Tahití vs. Darwin está activo el fenómeno de El Niño, caso contrario, está activo el fenómeno de La Niña (IMN, s.d.){50}

dominantes, en especial la precipitación -sequía-, la temperatura y la inundación; las cuales mostraron ciclos anuales o casi -anuales de variación y aunque algunas veces esta caracterización puede verse mimetizada por condiciones intra-anuales, la correcta identificación de pseudoanillos de crecimiento para estos periodos es la clave para un adecuado diagnóstico de crecimiento haciendo uso de técnicas basadas en dendrocronología (Worbes M. , 2002). Gessner (1968) citado por Worbes & Fichtler (2010), ya acotaba sobre la condición de inundación en especies tropicales y su efecto anóxico en la muda de hojas y consecuentemente su impacto en la formación del anillo de madera tardía, situación favorable para la delimitación del anillo de crecimiento. En este mismo sentido, el trabajo desarrollado por Polanco (2015) pone de manifiesto la presencia de parénquima reticulado en gran porción de especies encontradas en la Amazonia colombiana, en especial, aquellas asociadas a la familia *Lecithydaceae*, es una situación definitiva en la delimitación de anillos de crecimiento para ese grupo de especies que crece en esta parte del mundo.

En el caso del Pacífico colombiano, Parada et al (2021), en la misma región -Timbiquí, Cauca- señala del exceso de precipitación anual, lo cual a criterio de la autora puede incidir en la saturación y posterior encharcamiento de los suelos, con la consecuente exposición de las raíces a condiciones anóxicas. No se debe olvidar que, en esta parte del Pacífico colombiano, la marea sube de nivel dos veces al día, lo que no solo incide en el encharcamiento permanente, sino en la elevación de niveles de sales en el suelo que pueden generar cierto tipo de estrés, con consecuencias similares a las de sequía en otras partes del mundo. Ya Munns & Tester (2008), citado por Taleisnik & Launestein (2011). mencionaban que el exceso de salinidad desemboca en desbalance nutricional, y como bien es sabido en el argot fisiológico, esto se traduce en estrés para el crecimiento y la formación de madera tardía. Autores como Rojas-Badilla et al (2017), atribuyen que eventos de escases-abundancia de recursos pueden generar límites difusos en la madera tardía en ambos extremos de la franja, situación para la autora muy particular en *C. panamense*, y determinante en la delimitación del anillo de crecimiento.

11.7. Medición del anillo

Con los elementos mencionados en la metodología y después de mucha paciencia en la observación de los anillos, durante al menos seis meses, fue posible la delimitación muy particular de las franjas de crecimiento. Una alineación marginal muy sutil de los poros, de manera concéntrica y rodeados totalmente por unas capas de células parenquimáticas a manera de banda, con vecindades de zonas fibrosas anteriores y posteriores, marcando el inicio del periodo del crecimiento o el anillo de madera temprana, fue el fundamento de la cronología asociada a anillos de crecimiento para las muestras de Sajo del presente estudio. Un hecho similar, aunque con otras características anatómicas, ha sido informado por autores como Reis-Avila et al (2017) Worbes & Fichtler (2010), Worbes et al (2003), Giraldo et al (2020), incluso desde hace más de un siglo (Worbes, 2002){32} para maderas tropicales.

11.8. Estimación de las edades

La presunción de estacionalidad anual en la precipitación local (IDEAM, 2022), condicionó desde un inició la temporalidad del crecimiento de *C. panamense* en el local de origen (Parada *et al*, 2021). Este criterio en conjunto con la definición anatómica del anillo de crecimiento determinó la edad de cada uno de los discos; situación ratificada en el cofechado de las series y sustentada en el nivel de correlación de Pearson presentado (0.679) revelando una gran coincidencia entre los anchos de anillo de todas las series -discos- para cada año. Ya desde 1757 se aplicaba la técnica del cofechado -crossdating- para estimar edades a partir de los anillos de crecimiento (Norrgard & Helama, 2021). Esta herramienta es la más usada hoy por hoy a nivel mundial para definir la edad de las muestras empleadas en estos estudios. En las Figura 9 a 11 se aprecian los anchos para cada uno de los anillos en todas las series empleadas. Se encontró una sensibilidad de 0.238, la cual puede considerarse como adecuada, ya que permite entrever oscilaciones importantes referidos al clima, especialmente la precipitación, temperatura y condiciones de inundación.

11.9. Ancho anillo vs Precipitación

Después de obtenida la serie maestra con los mejores 12 radios, representativos de seis discos, se encontraron valores de correlación entre -0.344 y +0.208. Un error común de interpretación es que se asuma que valores negativos son periodos de no crecimiento o muy lento crecimiento y positivos, de crecimiento. En los resultados exhibidos en la Figura 12 se tienen:

i) Valores de correlación negativos en los meses septiembre a diciembre del año anterior (pa), que de acuerdo a la Figura 5, obedecen a meses de alta precipitación (entre 520 mm y 692 mm); por eso mismo se puede decir que en este periodo los árboles de *C. panamense* están experimentando un lento a nulo crecimiento y bajo condiciones anóxicas, con las consecuencias ya advertidas. En la Figura 8 obedece a la porción al lado izquierdo de los poros en arreglo marginal, con una zona fibrosa bien demarcada.

ii) enero a febrero del año presente (p) las correlaciones son positivas. Al revisar las precipitaciones, los valores de estas reflejan los promedios más bajos (482 mm y 330 mm, respectivamente), lo cual quiere decir que los valores de crecimiento tienen la tendencia de también ser bajos y posiblemente sin los efectos de las condiciones severas de inundación, aquí no se descarta una primera exposición del crecimiento; es más, en este momento parecen darse las condiciones propicias para la formación del parénquima marginal, rodeando una porción aglomerada de poros concéntricos de diámetro mediano a pequeño, en la Figura 8 corresponde al área denominada poros en arreglo marginal.

iii) En marzo y abril, las correlaciones son negativas y las precipitaciones empiezan a aumentar (391 mm y 529 mm), lo que significa que el crecimiento sigue ralentizado por aumentos en los niveles freáticos y mayor nubosidad, corresponde a la porción ubicada inmediatamente del lado derecho de los poros en arreglo marginal.

iv) Para el mes de mayo, que merece especial atención por llegar a 793 mm en promedio, el más alto del año, se presenta una correlación negativa, lo que significa

que el crecimiento sigue estancado, muy probablemente asociado a una condición de inundación, después de la saturación de los niveles freáticos, con la consecuente generación de una primera zona fibrosa al interior del anillo interanual.

v) En los siguientes tres meses, junio, julio y agosto, las lluvias caen a niveles de 618 mm, 558 mm y 564 mm, respectivamente, y las correlaciones se mantienen negativas, lo cual implica aumentos en las ratas de crecimiento, vía mayores tasas fotosintéticas por menor nubosidad y una merma en el nivel freático propiciando una mayor participación del oxígeno en el área de la rizosfera, por esto, el presente estudio coincide con que esta es la época donde se forma el anillo de madera temprana en su mayor proporción sin un ordenamiento marginal de los poros o del parénquima longitudinal.

vi) En septiembre aumenta la precipitación promedio a 686 mm y la correlación es negativa, lo cual puede deberse al cumplimiento de funciones metabólicas asociadas a la reproducción, etapa exigente en destinación de energía y movilización de recursos (Urrego & Del Valle, 2001), donde también puede generarse o no una zona fibrosa.

vii) En el mes de octubre (p) la correlación es positiva y la precipitación alta (693 mm), lo cual puede indicar el inicio de una segunda etapa de crecimiento para la consolidación del anillo de madera temprana.

viii) En los meses de noviembre y diciembre se reducen las precipitaciones y se mantienen las correlaciones positivas, indicativo de una merma en los incrementos, un aumento de los espesores en las paredes celulares y muy seguramente la consolidación de una nueva zona fibrosa.

ix) Se repite la secuencia para el año siguiente.

Con esta descripción queda claro, que los déficits hídricos no necesariamente obedecen a escasez de agua, sino también al exceso y que los periodos de menor precipitación son aprovechados para crecer y desarrollar el conjunto de funciones asociadas a la reproducción (Del Valle, 1994, citado por Urrego y Del Valle, 2001)

11.10. Densitometría

Los reportes de densitometría de rayos X, dan cuenta de una variación a cada 80 micras de la densidad de la madera. Esto quiere decir que por cada mm se tienen al menos 12 reportes de densidad en la superficie de la madera. Una complejidad metodológica surgió durante la evaluación de las series seleccionadas en los seis discos y es que los radios en Sajo, no necesariamente siguen un patrón rectilíneo, paralelo a los radios, los cuales en su mayoría presentan una curvatura en el recorrido médula – corteza, como es evidente en el Anexo A. Y aunque no puede afirmarse que la técnica dendrocronológica deba basarse totalmente en la densitometría, si se puede afirmar que esta técnica ha sido de gran ayuda en la identificación de hitos y delimitación de anillos de crecimiento. Más adelante, muy seguramente la densitometría aportará en estudios muy específicos para otorgar mayor precisión al cálculo de los momentos de inercia o los contenidos de carbono.

11.11. Asíntota

El criterio de diámetro asintótico propuesto en la ecuación de Von Bertalanffy para cada especie no debería tomarse como único y definitivo. Lo anterior, dado el amplio espectro espacial de distribución de la especie, donde dependiendo de las razas y las condiciones medioambientales el DAP puede alcanzar diferentes valores a lo largo del ciclo de vida; ya se ha documentado de manera amplia los distintos valores de la asíntota para la misma especie, donde se menciona desde 650 mm, hasta 1000 mm, pasando por 800 mm.

10.12. ICA vs IMA

La metodología de cruce entre ICA e IMA ha sido implementada desde el principio de la ingeniería forestal como criterio para cosecha de árboles y masas forestales, un ejemplo de esto es el conjunto de reportes de Keplac (1983) que datan del año 1901. Esta misma metodología había sido aplicada con éxito por Parada *et al* (2021), usando técnicas dendrocronológicas para la especie *Brosimun utile*. Este criterio sigue siendo muy aceptado entre las escuelas de ingeniería forestal, ya que condensa elementos de

carácter técnico y financiero, aunque a criterio de la autora, desconoce las aplicaciones o usos finales de la madera, los cuales son fundamentales para maximizar el valor de la madera. Para las diferentes asíntotas propuestas en este estudio: 650 mm, 800 mm y 1000 mm, los puntos de cruce promedio entre el IMA y el ICA llegaron a 11,83 mm ±2,19 mm, 11,36 ±2,22 mm y 11,48 ±2,02 mm, para edades entre 44 y 36 años, muy alentadores si se les compara con los reportes de Del Valle & Lema (1999) en 20 locaciones del Pacífico colombiano para la misma especie: 4,68 mm a 10,77 mm; o Del Valle (1986)en árboles de *Prioria copaifera* y *Tabebuia rosea* con 6,2 mm y 13 mm, respectivamente; Vásquez (1986) en crecimiento simulado por la ecuación de Von Bertalanffy para árboles de Sajo en el departamento de Nariño con asíntota de 650 mm quien halló un ICA=IMA de 6 mm. De otro lado, Sousa (2019) encontró ICA para *Cedrela odorata* en la amazonia brasilera de 2,6 mm en edades entre 76 y 239 años y para *Hymenaea courbaril* en la misma locación de 3,5 mm para rangos etarios de 125 a 296 años. Worbes (1999) en la reserva Caparo, Venezuela encontró incrementos radiales entre 3,2 mm (promedio de 28 especies) y 9,4 mm (*Cedrela odorata*) de una población total de 37 especies. Worbes (2003), encontró variaciones de ICA entre 2 mm y 8,1 mm por año en Camerún para edades comprendidas entre 41 y 91 años.

11.13. Punto de trifurcación

El punto de trifurcación al que se hace referencia en este trabajo se refiere a los puntos de confluencia en donde las tres ecuaciones de incrementos diamétricos presentan valores en común, sin embargo, hay un punto donde las tres ecuaciones de ramifican y cada punto marca una edad y un diámetro que en este caso se encuentra superior al cruce entre ICA e IMA. Estos puntos en promedio marcan una edad de 41 años para un diámetro de 444 mm. Sin embargo, se procedió con la obtención de diferentes percentiles (95%,50% y 5%) de los cuales el percentil al 95% para una edad de 47,5 años y 524,7mm de diámetro es el momento en el cual el 95 % de los individuos tienen más del diámetro mínimo de corta.

11.14. Recomendaciones de manejo

En lo respectivo al manejo del bosque se resaltan algunas practicas silviculturales como lo es la poda y el raleo en donde de acuerdo con Crechi, et al, (2019) son aquellas prácticas silvícolas que, oportuna y adecuadamente realizadas condicionan en gran medida la calidad y cantidad de los productos a obtener de una masa boscosa, en definitiva, su rentabilidad. Adicionalmente, el raleo puede producir beneficios en el sentido de un producto final de mayor diámetro, retorno temprano de capital, utilización de material que va a morir o quedar oprimido, acortar turnos de corta cuando se persigue un determinado diámetro, uniformar la forestación, eliminar individuos indeseables o enfermos, regular el ritmo de crecimiento para mejorar la calidad de la madera.

Así mismo, el estudio realizado por Polanco y Mendoza (2009) acerca de los tratamientos silviculturales en un bosque secundario de *Tricospermun colombianum* concluyo que la densidad de individuos es uno de los factores más críticos en el crecimiento de área basal, de igual forma registro que la mayor velocidad se da en un área sometida a un 60% de aclareo. Por su parte Ding & Zang (2021) estudiaron los efectos del raleo sobre la estructura y demográfica de la comunidad de bosque húmedo tropical encontrando que la densidad junto con el área basal mayor o igual a 5cm de DAP aumentaron significativamente.

12. Conclusiones

Este estudio generó una propuesta de reconocimiento de los anillos de crecimiento de *Campnosperma panamense* Standl. a partir de la caracterización en la transición de las zonas fibrosas - no fibrosas la cual consistió en la identificación de un alineamiento marginal de poros de mediano tamaño rodeados por una banda de parénquima continúa limitada a lado y lado por una zona fibrosa, carente de elementos vasculares. En la secuencia de crecimiento se da un anillo de madera temprana bastante ancho si se le compara con madera tardía donde predominan elementos vasculares rodeados de parénquima longitudinal en diferentes tipificaciones, casi siempre a modo paratraqueal vascicéntrico.

Con la definición anatómica de los anillos de crecimiento fue posible determinar los anchos para cada una de las series radiales en las diferentes muestras de *C. panamense* Standl. con lo cual se pudieron hacer correlaciones con variables climáticas, en este caso precipitación, comprobando que en el local donde crece la especie existe un exceso de agua que genera condiciones anoxicas que tienen que ver con la formación de anillos de madera tardía. En la totalidad de series del conjunto de discos, excepto el H, fueron evidentes incrementos de carácter exponencial con intervalos de cinco años aproximadamente, que se pueden interpretar como la frecuencia de entrada de los nativos a los sajales con fines de obtención maderera, los cuales estarían cumpliendo una función de entresacas por lo alto, acelerando los procesos de crecimiento dada una mayor entrada lumínica. Este efecto puede verse potenciado por el fenómeno ENSO cuando se dan mermas de precipitación que favorecen bajas en el nivel freático y estimulación de los procesos fisiológicos a nivel de rizosfera por una mayor concentración de oxígeno, y, en la copa por una menor nubosidad que estimularía una mayor actividad fotosintética.

Bajo la metodología de Von Bertanlaffy el incremento corriente anual que igual el incremento medio anual para la especie *C. panamense en* condiciones especifica de

Puerto Saija, Timbiquí, Cauca es de 11,48 mm (± 2,02mm) que se alcanzan en el año 38,29 (±8,17) para la asíntota de 1000mm, cuando el árbol promedio ha alcanzado un diámetro promedio en la base de 426mm (±56,06).

A pesar de estos valores obtenidos por las ecuaciones, el presente estudio propone una metodología diferente para la cosecha mucho más conservadora, consistente en la utilización de múltiples asíntotas, en este caso tres -1000mm, 800mm y 650mm – cada una graficada con los valores de crecimiento de Von Bertalanffy, considerando tomar como diámetro de aprovechamiento el percentil al 95% del punto máximo de la línea elástica denominado aquí como punto de trifurcación, ver Figura 23 que para el conjunto de datos se presentó en un diámetro de base de 524,7mm el cual se alcanza al año 47,5. Lo anterior quiere decir que a esta edad el 95% de los individuos contarían con el diámetro en la base nombrado.

Dadas las condiciones de coetaneidad de la especie *Campnosperma panamense* Standl, la recomendación para el manejo silvicultural debería ser entresacas por lo alto sin comprometer los incrementos futuros, con una adecuada base de crecimiento que asegure la reposición del volumen cosechado en el tiempo previsto, en este camino debe quedar un número suficiente de árboles semilleros por ha, con características fenotípicas plus que no erosionen la base genética, por lo tanto, los hallazgos de este estudio deben ser complementados con trabajos de campo que diluciden la estructura de los Sajales y Guandales y permitan la implementación de 444 mm como DMC en la base, el cual está muy cercano a los 400mm de DAP propuesto por la legislación nacional. Ya en términos de aplicaciones industriales serán los términos de referencia de los productos finales y sus procesos asociados quienes definirán de manera conjunta el momento más adecuado de cosecha de la especie.

13. Agradecimientos

La autora de este trabajo agradece a Dios por permitir el valioso aprendizaje de la bella disciplina dendrocronología, a mi familia por la paciencia y acompañamiento en cada una de las fases del estudio. A los profesores doctores Jorge Ignacio del Valle, Jorge Giraldo, Cesar Polanco quienes dedicaron gran parte del tiempo a nivel presencial y virtual en la aclaración de conceptos, apoyo con el material de campo en lo concerniente en la identificación y delimitación de anillos.

A la ingeniera claudia Parada junto con el profesor Polanco fueron los encargados de la colecta en campo, a los empresarios madereros de Buenaventura.

A los profesores doctores Mario Tomazello Filho y Fidel Froig quienes impartieron el curso Dendrocronología del cual tuve la oportunidad de participar de manera presencial en los laboratorios de la Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), Universidade de Sao Paulo-USP, SP, Brasil. , A Ricardo Ortega , Gabriel de Asís y todos a quienes estuvieron muy atentos a las pruebas de densitometría de rayos X y otras complementarias, a ellos y a todo el equipo de laboratorio mil gracias.

14. Referencias

Amoroso, M., & Suarez, M. (2015). La aplicación del análisis de los anillos de crecimiento a interrogantes ecológicos: Un breve repaso de la Dendroecología en Hispanoamérica. *Ecosistemas,* , 24(2), 1-6. doi: 10.7818/ecos.2015.24-2.01.

Amu, J. (2012). *Plan de desarrollo del Municipio de Timbiquí periodo 2012-2015.* Timbiquí.

Ángel Mendoza, K. A., & Polanco Tapia, C. A. (2000). Tratamientos silviculturales en un bosque secundario de algodoncillo (Trichospermun colombianum), en el trópico húmedo (Magdalena Medio, Colombia). Colombia forestal, 6(13), 62–70. https://doi.org/10.14483/2256201X.3268

BOLFOR. (2003). *Diámetros mínimos de corta en bosques tropicales de bolivia. Recomendaciones basadas ne la investigación forestal.* Santa cruz de la sierra.

Bonet, J. (2008). *Economías del pacífico Colombiano.* Cartagena: Banco de la republica.

Botosso, P., & Povoa de Matos, P. (2002). *Conhecer a idade das árvores: importancia e aplicacao.* Embrapa.

Cardona, J. (1952). *Desarrollo integral de la cuenca pacífica colombiana.* Universidad Nacional de Colombia.

Casteblanco, V. (1998). Estudio dendrocronológico de nueve especies forestales del bosque de Guandal en el bajo rio san Juan - Buenaventura Valle, Colombia.

Castelblanco, V. (1998). EStudio dendrocronólógico de nueve especies forestales del bosque de Guandal en el bajo Río San Juan- Buenaventura (Valle) Colombia. *Colombia Forestal*, 65-73.

Clutter, J., & Jones, E. (1980). Prediction of growth and thinning in old-field slash pine plantations. *USDA*.

COMAFORS. (Agosto de 2022). *Corporación de manejo sustentable*. Obtenido de https://comafors.org/productos-y-servicios/manejo-forestal-sostenible

CONIF. (1980). Estudio Forestal del litoral Pacífico de Colombia .

Contreras, F. (1998). *¿Cómo determinar la tasa de crecimiento de los arboles?* Santa Cruz.

Del Valle Arango, J. I. (1991). *Pasado, presente y perspectivas de los bosques de guandal del Litoral pacífico colombiano.* Medellín. Obtenido de https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11683

Del Valle, J. (1986). La ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy en la determinación de la edad y el crecimiento de arboles tropicales. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomia*.

Del Valle, J., & Lema, A. (1999). Crecimiento de cohortes de árboles coetáneos en rodales espacialmente dispersos: el caso de Campnosperma panamensis. Ecología, 249-260.

DFM. (2020). *Directorio Forestal Maderero*. Obtenido de https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/sajo-orey-campnosperma-panamense.html

DNP. (2014). *Bases del plan de desarrollo 2014-2018. Sección pacífico: desarrollo socioeconomicocon equidad, integración y sostenibilidad ambiental.* Cali, Colombia: https://www2.javerianacali.edu.co/cuenca/pacifico-colombiano#gsc.tab=0.

Ding, Y., & Zang, R. (2021). Effects of thinning on the demography and functional community structure of a secondary tropical lowland rain forest. Journal of Environmental Management, 279(111805), 111805. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111805

Estrada, J., Moreno, S., & Ordoñez, F. (2013). *Procesos socio-territoriales Pacífico : itinerarios y tendencias.* https://www.clacso.org/.

Férnandez, M. (1991). *Litoral pacífico Colombiano y cuenca del atrato. Clima y uso de la tierra.* Cuadernos de geografia Vol III.

Fonseca, J. R., ELEOTERIO, J., Berger, R., & Scheneider, P. (2009). Wood growth of tabebuia barabata and Vatairea guianensis Aubl. (Fabaceae) in central amazonian black-water (igapo) and white-water (várzea) floodplain forest. *Trees- structure and fuction*, 127-134.

García, W., De los Santos, H., Ángeles, G., Valdéz, J., Rodriguez, G., & García, E. (2015). Modelos de crecimiento y rendimiento de totalidad del rodal para Pinus patula. *Madera y bosques*. Obtenido de 405-0471

Giraldo, A., & Del valle, J. (2011). Estudio del crecimiento de Prioria copaifera (Caesalpinaceae) mediante tecnicas dendrocronológicas.

Giraldo, J., del Valle, J., Sierra, C., & Melos, O. (2020). Dendrochronological potential of trees form America ´s rainiest Region. En M. Pompa, & J. Camarero, Latin american dendroecology. Combinin tree-rings sciences and ecology in a megadiverse territory. Zaragoza: springer.

Hu, J., Herbohn, J., Chazdon, R. L., Baynes, J., & Vanclay, J. K. (2020). Long-term growth responses of three Flindersia species to different thinning intensities after selective logging of a tropical rainforest. Forest Ecology and Management, 476(118442), 118442. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118442

IAWA. (1989). Overviw of tree rings analysis in tropical regions. 99-108.

INCODER. (2012). *El desarrollo rural con enfoque territorial .*

Keplac, D. (1983). *Crecimiento e incremento de arboles y masas forestales.* Universidad Autonoma de Chapingo.

Leal , C., & Restrepo, E. (2003). *Unos bosques sembrado de aserríos: historia de la extracción maderera en el pacífico colombiano.* Medellín: Universidad de Antioquia .

Lopes de Souza, A., & Boechat, C. (2013). *Florestas nativas. Estructura, Dinámica y Manejo.* Vicosa: UFV. Obtenido de ISBN 978-85-7269-463-6

López, L., Villalba, R., & Peña, M. (2011). Los anillos de crecimiento de Centrolobium microchaete (Fabaceae, Papilionoideae), una herramienta para evaluar el manejo forestal de los bosques secos tropicales del Cerrado boliviano. *Ecología en Bolivia*, 77-94. doi:. ISSN 1605-2528.

López, R., & Montero, M. (2005). *Manual de identificaión de especies forestales en bosques naturales con manejo certificable por comunidades.* Bogotá, Colombia: Instituto amazonico de investigaciones cientificas SINCHI y la fundación chemonics Colombia.

Macía, F. (2014). Calculo del valor comercial de la madera extraída de los bosques naturales. *Gobernanza Forestal*.

Mejía, M. (1991). Litoral pacifico colombiano y cuenca del atrato. Clima y uso de la tierra. En *Cuadernos de geografia. Vol III.*

Ministerio de Justicia y derecho. (2022). *DECRETO 1383 DE 1940. Por el cual se adoptan medidas para la defensa y aprovechamiento de bosques.* Obtenido de Sistema unico de información normativa: https://www.suin-juriscol.gov.co/clp/contenidos.dll/Decretos/1276942?fn=document-frame.htm$f=templates$3.0

Mitchell. (2022). *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia*. Obtenido de Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.: http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co

Moreno, R., Villota, N., Gutiérrez, E., Marín, J., Zuñiga, J., & Linares, R. (2015). *Protocolo para la revisión y evaluación de planes de manejo Forestal.*

ONF Andina. (2015). *Uso y legalidad de la madera en Colombia. Análisis parcial.* Bogotá. doi:ISBN: 978-958-8901-09-1

Pacífico. (2003). En v. y. Ministerio de ambiente, *Zonas de Reserva Forestal de Colombia. Ley 2da de 1959. Atlas tematico.* doi:ISBN 958-97548-13

PacíficoColombia. (24 de Marzo de 2016). *El pacífico Colombiano*. Obtenido de https://pacificocolombia.org/pacifico-colombiano/

Parada, C., Polanco, C., & Tomazello, M. (2021). Dendrochronological study of Brosimum utile (kunth) oken from Timbiquí, Cauca, Colombia. Floresta. doi:10.5380/rf.v51 i4. 74258

Rangel, O. (2004). ECOSISTEMAS DEL CHOCÓ BIOGEOGRÁFICO: SÍNTESIS FINAL. En *COLOMBIA DIVERSIDAD BIÓTICA IV: EL CHOCÓ BIOGEOGRÁFICO/ COSTA PACÍFICA* (págs. 937-976). Universidad Nacional de Colmbia.

Rangel, O., & Arellano, H. (2004). Clima del Chocó biogeografico/ costa pacífica de Colombia. En *Diversidad biótica IV.*

Resende, V., Tomazello, M., & Surdi, P. (2014). Evaluation radial profile of the wood of Pine trees (Pinus caribaea var. hondurensis Barr. Et. Golf.) by X-ray densitometry. *Scientia florestais*, 353-360.

Reis, G., & Morales, J. (2017). Lauraceae: A promising family for the advance of neotropical dendrochronology. Elsevier, 103-116.

Rojas, M., Alvarez, C., Velasquez, G., Hadad, M., Le Quesne, C., & Christie, D. (2017). Anomalías anatómicas en anillos de crecimiento anuales de Astrocedus chilensis (D. Don) Pic.-serm. et Bizarri en el norte de su rango de distribución. Gayana Botánica. doi:http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432017000200269

Roig, F. A. (2000). *Dendrocronologia en los bosques del Neotropico: Revision y prospección futura.*

Salamanca, M. (2017). *Determinación de diámetros minimos de corta simulando la distribución diametrica para 11 especies de bosque humedo tropical del sur de Bolivar.* Bogotá: Repositorio Universidad Distrital francisco José de Caldas.

Schweingruber, F. H. (1988). *Tree rings. Basics and applications of dendrochronology.* Holanda: Reidel publishing company. Obtenido de ISBN 902724458

Sousa, L. (2019). Dendrocronología aplicada no manejo de árvores de cedro (Cedrela odorata) L. e Jatoba (Hymenaea courbaril) L. ocorrentes na flona Tapajós, PA.

Taleisnik, E., & Launestein, D. (2011). Leñosas perennes para ambientes afectados por salinidad. una sinopsis de la contribución argentina a este tema. Ecología austral.

Tejada, M., & Vinueza, M. (2010). *SAJO, Manual de descripción general de especies de bosque secundario.* Quito, Ecuador.

Valencia, E. (1983). *Colonización en el uraba chocoano.* Bogotá.

Vargas, G. (2017). Estrategias mecánicas de las plantas arborescentes: enseñanzas estructurales de los árboles. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería.* doi:10.4067/S0718-33052017000300510

Vásquez, G. (1986). *Crecimiento de un bosque de Guandal explotado en el Litoral pacífico Colombiano.* Medellín: Cronica forestal y del medio ambiente.

Villa, A. (2006). Caracterización diamétrica de las especies maderables en bosques primarios del cerro Mucucú. *Gestión y ambiente*, 73-90.

Vargas, G. (2017). Estrategias mecánicas de las plantas arborescentes: enseñanzas estructurales de los árboles. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería. doi:10.4067/S0718-33052017000300510

Von Christen, H., Ortiz, N., & De las Salas, G. (1998). *Los Recursos forestales de Colombia y perspectivas para su desarrollo económico.* Bogotá: Antares editores. doi:ISBN: 958-635-312-5

Worbes, M. (2002). One hundred years of tree-ring research in the tropics- a brief history and an outlook to future challenges. *Dendrochronologia*, 217-231.

Worbes, M., & Fichtler, E. (2010). *Wood anatomy and tree-rings structure and their importance for tropical dendrochronologgy.* doi:10.1007/978-90-481-8725-6_17

Worbes, M. (1999). Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest reserve in Venezuela. Journal of ecology, 391-403.

Worbes, M. (2002). One hundred years of tree-ring research in the tropics- a brief history and an outlook to future challenges. Dendrochronologia, 217-231.

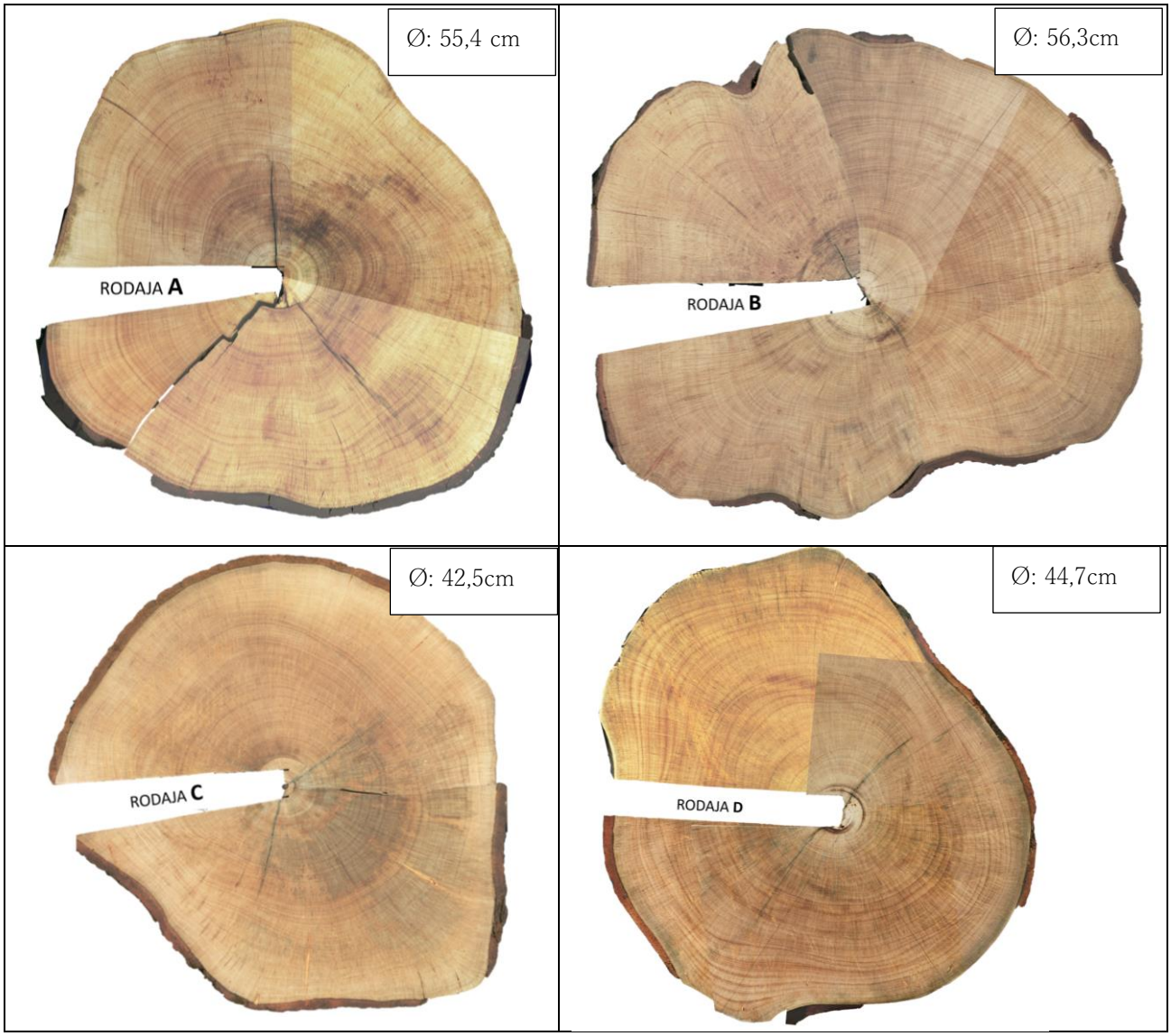
Worbes, M., & Fichtler, E. (2010). Wood anatomy and tree-rings structure and their importance for tropical dendrochronologgy. doi:10.1007/978-90-481-8725-6_17

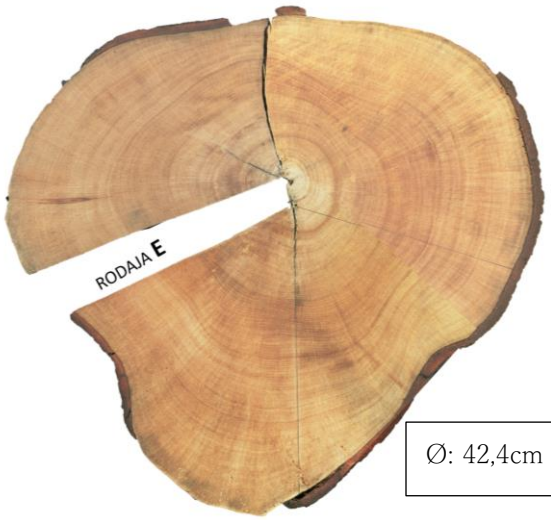
Worbes, M., Staschel, R., Roloff, A., & Junk, w. J. (2003). Tree ring analysis reveals age structure, dynamics and wood production of a natural forest stand in cameron. Forest ecology and managment, 105-123.

WWF Colombia. (2013). *Maderas de Colombia.* WWF-Colombia - Programa Subregional Amazonas Norte- Chocó Darién. doi:ISB: 978-958-8353-54-8

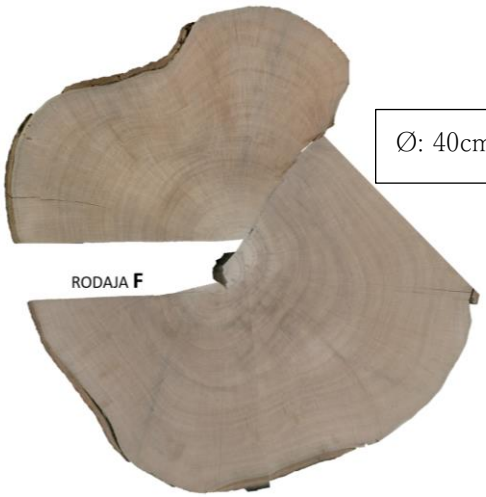
15. Anexos

Anexo A: Rodajas de sajo nombradas de la A a la I (10 rojas en total.) Los diámetros se pueden observar en la tabla 3.

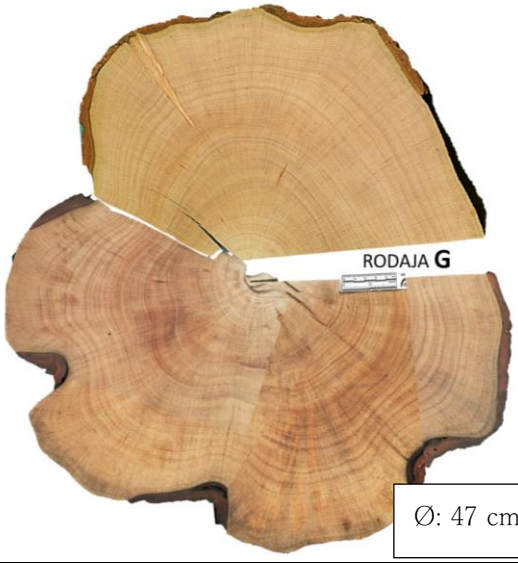




Ø: 42,4cm



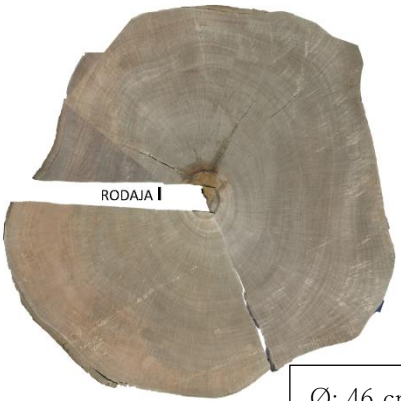
Ø: 40cm



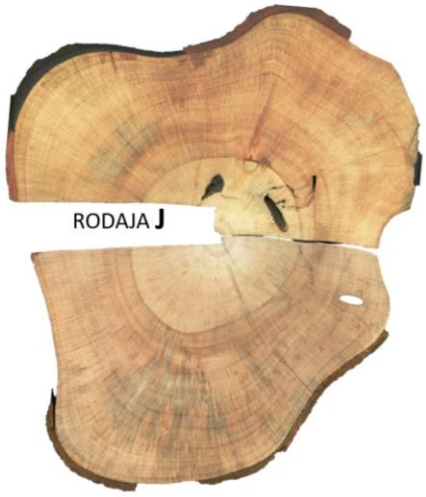
Ø: 47 cm



Ø: 40,3cm



Ø: 46 cm



Ø: 42 cm