

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 DENDROCRONOLOGÍA

La palabra dendrocronología proviene del griego “Dendro” que significa “Árbol”, “Cronos” que significa “tiempo” y “logos” que significa “ciencia o conocimiento”.

Etimológicamente, es la ciencia de datar o fechar (determinar la edad) los árboles. En una definición estricta, es la ciencia de la datación de maderas utilizando sus anillos anuales y en una definición amplia, es la ciencia que fecha los anillos anuales de crecimiento de los árboles, analizando su estructura e investigando la información registrada en ella para aplicaciones a cuestiones ambientales e históricas. (Tomazello & Botosso, 2001) citado por (Campos, L. 2009).

La dendrocronología basa su estudio en las secuencias de anillos generadas por el árbol durante su crecimiento. Se trata de un fenómeno complejo en el que intervienen factores internos (genéticos) y externos (clima, enfermedades, competencia, etc.), que se interrelacionan y producen una respuesta variable en cada árbol (Rodríguez & Fernández, 2009).

Por otra parte, es una fuente importante de información respecto a la calidad de las mismas, al permitir observar su heterogeneidad, formación y defectos, además admite la realización de estudios de auto-ecología, evaluación o respuesta de actividades silviculturales y reconstrucción de eventos climáticos, entre otros Correa, 2003; (Tomazello & Botosso, 2001).

El Método cronológico basado en la información de los anillos de crecimiento concéntricos anual que aparece en la sección transversal de los troncos de los árboles (Brienen & Zuidema, 2003).

Contreras 1976, manifiesta que la Dendrocronología es la técnica que trata sobre la relación de la madera y estudio de las bandas de crecimiento de las plantas leñosas.

Es la ciencia que establece una cronología e investiga climas pasados por medio del estudio de los anillos de crecimiento en los árboles (Padilla G. H., 1987).

Para la descripción general del árbol se utilizan las siguientes denominaciones como:

Altura Total (HT), Altura Comercial (HC) y Diámetro a la Altura del Pecho (DAP).

existen dos métodos de extracción, el método destructivo y no destructivo.

El método destructivo comprende la aplicación de los métodos convencionales para la extracción de muestras de madera, considerando el corte de los árboles.

El método no destructivo consiste en la extracción de muestras de madera de los árboles, utilizando sondas metálicas manuales o acopladas a equipos motorizados, lo que permite el análisis de las propiedades y características de la madera, teniendo como principal ventaja el mantenimiento de la integridad del árbol en su ecosistema natural o plantación (Ross, Brashaw, & Pellerin, 1998); Castro 2011.

El método no destructivo usado para la obtención de leño para la futura caracterización anatómica de las especies, no presenta realmente muchas diferencias visibles con respecto al método destructivo, ya que se han podido evaluar las mismas características macro y micro anatómicas, que se evalúan con el método tradicional (talar árboles). Además, este método representa un menor coste para obtener dichas muestras de madera, y es más amigable con el ambiente al poder realizar el estudio dejando vivos a los árboles.

1.2 PLANOS DE CORTE

Para comprender mejor los planos de corte, en la descripción de los elementos leñosos se da mediante las siguientes secciones o planos de corte de la madera.

- ❖ **Sección transversal:** Es la sección o cara perpendicular al eje del tronco.
- ❖ **Sección longitudinal:** Es la sección o superficie paralela al eje del tronco que a su vez puede ser:
 - ❖ **Sección Radial:** Resultante de un corte longitudinal paralelo a los radios desde la corteza hasta la médula.
 - ❖ **Sección Tangencial:** Si el plano de corte sigue una dirección perpendicular a los radios o tangente a los anillos de crecimiento.

1.3 DENDROCRONOLOGÍA Y EL CLIMA

Hay diferentes métodos para estudiar la relación entre el clima y el crecimiento forestal, los estudios dendrocronológicos son esenciales para determinar cambios a largo plazo de las

especies como resultado de condiciones climáticas más cálidas y variables (Andrew, y otros, 2007).

Es importante saber para qué periodo es fiable la cronología que se ha obtenido. Determinar el periodo fiable es importante por dos razones fundamentales. Una, porque no todas las series tienen la misma longitud y dos, porque el grado de sincronización entre series puede variar y no ser significativo a lo largo del periodo cubierto por la cronología. (Zegarra, A., 2018).

1.4 ANILLOS DE CRECIMIENTO Y DENDROCRONOLOGÍA EN ESPECIES COMO EL (*Alnus acuminata* H.B.K.)

El crecimiento de los árboles está determinado por la actividad cambial durante un período específico de años, dando como resultado la formación de anillos de crecimiento. En general, los anillos de los árboles en las plantas leñosas son inducidos estacionalmente alternando las condiciones de crecimiento favorable y desfavorable (Worbes, 2004).

La existencia de anillos de crecimiento en los árboles es el primer requisito para considerar una especie como potencial para la dendrocronología ya que los anillos de crecimiento tienen características que los hace una fuente valiosa para diversas investigaciones. (Rosero, 2009). indica que no todas las especies arbóreas del bosque son ideales para estudios de dendrocronología y, en muchos casos es difícil visualizar una demarcación clara de los límites de los anillos de crecimiento. Su análisis es entonces más difícil debido a la compleja estructura anatómica de los árboles, condiciones de sitio, especies que forman más de un anillo por año (periodicidad), escasa información sobre la ecología del crecimiento para muchas especies, entre otros aspectos (Beltran & Valencia, 2012).

Sin embargo, diferentes estudios demuestran la existencia de anillos anuales de crecimiento en muchas especies de árboles tropicales (Tomazello Filho, 2004); debido a que muchos de los climas templados tienen estaciones predecibles con un exceso o escasez de disponibilidad de agua, cambios estacionales en la temperatura o una combinación de ambos, lo que origina la formación de los anillos de crecimiento (Lopez, Villalba, & Peña, 2002).

En maderas latifoliadas; los anillos de crecimiento puede destacarse por determinadas características anatómicas tales como: presencia de parénquima marginal en los límites de los anillos de crecimiento, alargamiento de los radios en los límites de los anillos de

crecimiento (sólo visible bajo microscopio), concentración o mayor tamaño de los poros al inicio del período vegetativo (leño temprano) y mucho más pequeños y generalmente menos numerosos o sea más compactos con fibras de paredes gruesas al final del año de crecimiento . (Campos, L., 2009)

1.5 RELACIÓN DE LA PLANTA CON FACTORES CLIMÁTICOS Y FISIOLÓGICOS

Según (Brienen & Zuidema, 2003) citado por Pardo, 2008, en esta nueva ciencia como es la dendrocronología en nuestro medio, se considera que existe una relación entre el dominio del medio ambiente y el dominio interno.

Generalmente esta relación es de tipo operacional donde la temperatura y la humedad son factores que limitan y determinan el momento de la germinación como así también luminosidad, suelo, pendiente que en mayor o en menor grado influyen.

Los periodos de crecimiento negativo, pueden tener su origen por bajas temperaturas, precipitaciones leves, por periodos muy largos cuando el ciclo está cubierto y la luminosidad recibida es nula o también puede ser por falta de nutrientes, crecimiento en pendientes demasiado pronunciadas o factores netamente genéticos, plagas y enfermedades (Brienen & Zuidema, 2003).

1.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FORMACIÓN DE ANILLOS DE CRECIMIENTO

a) Ambientales

Los factores ambientales que ejercen influencia sobre la estructura anatómica, en la actividad cambial, en el proceso de diferenciación celular, expansión celular y crecimiento de las paredes celulares, como en la formación de elementos secundarios (Melo, 2009). El resultado son anillos de crecimiento que poseen un número variable de células, de diferentes estructuras con paredes celulares de diversos espesores, y células conteniendo materiales secundarios variados (Hughes 1982; Schweingruber 1990; Stokes & Smiley 1996; Perkins y Swetnam 1996; Lomagno y Rozas 2001; Díaz et al. 2007 y Agrobite 2008).

❖ **Precipitación**

Según en regiones con altas precipitaciones el ancho de anillos varía ligeramente, pero con una cantidad de leño tardío alto que varían considerablemente; mientras que, en regiones con precipitaciones mínimas, la secuencia de anillos es extremadamente variable y el año indicador, de presencia de fenómenos es común, es fácil apreciar la reacción de los árboles a las variaciones de precipitación alta y fluctuante.

❖ **Temperatura**

En regiones con climas marcadamente diferenciados, los veranos son muy calurosos y los inviernos muy fríos. Estos cambios climáticos quedan claramente registrados en los anillos de crecimiento. En aquellos climas cálidos donde las temperaturas son uniformes puede no marcar anillos bien diferenciados por lo que en este aspecto es necesario tomar otro tipo de factor limitante y usar otras técnicas de evaluación.

b) Composición genética

El crecimiento y la forma de un árbol están determinados por su composición genética. La estructura de la madera y la forma del anillado pueden variar debido a otros factores de tipo genético ya que un árbol siempre mantiene las características distintivas propias de su especie.

1.7 APLICACIONES DE LA DENDROCRONOLOGÍA

Tiene mucha apreciación con la Dendroclimatología ya que el clima es uno de los factores más frecuentes que afectan el crecimiento de los árboles que al correr de los años, la cantidad de precipitaciones y temperaturas son adecuadas.

La Dendroecología estudia las comunidades que se forman en un bosque, es decir las interrelaciones de los árboles entre sí como competencia, estructura, edades, relación edad/diámetro, mortalidad y otros que pueden ser tomados en cuenta para el estudio.

Existen otros fenómenos que tienen una relación dinámica con el bosque, así como el ataque de insectos, hongos, incendios, ramoneo de la vegetación por animales los cuales pueden cuantificarse empleando la dendrocronología (León Peláez Juan Diego; Esperanza Giraldo, 2000).

Uno de los primeros pasos en la Dendrocronología es el establecimiento de la edad del árbol de acuerdo al número de bandas de crecimiento o anillos que se forman con un ritmo anual.

La fecha de formación de cada anillo anual puede establecerse comenzando desde la corteza hasta el centro del árbol y asignando al último anillo la fecha del año presente. De esta manera podemos datar o fechar cada sector del tronco y por lo tanto asignar fechas absolutas a los fenómenos que observamos en la madera, esta posibilidad nos abre un amplio y valioso campo de aplicación. (Leyton J. Antonio, 2002)

1.8 EL COFECHADO

COFECHA es un programa informático que evalúa la calidad de las fechas cruzadas y la precisión de la medición de series de anillos de árboles. Escrito por Richard L. Holmes en 1982, el programa se ha convertido en uno de los más importantes y ampliamente utilizados en dendrocronología. Es importante tener en cuenta que COFECHA no realiza todos los pasos necesarios en la cruzada. Más bien, el programa es una herramienta que ayuda al dendrocronólogo a evaluar la calidad del cruzamiento y la precisión de la medición.

El cofechado implica comparar la secuencia de los anillos de todos los árboles de una misma especie y permite reconocer anillos ausentes o bandas de crecimiento intra anuales.

El resultado de un cofechado correcto es la colocación apropiada en el tiempo de cada anillo considerado anual. La calidad del cofechado debe estar influenciada por la selección de sitio y es mejor en los sitios más extremos donde el crecimiento de los árboles ha sido limitado por un ambiente severo. (Harriague Fernando, 1992).

1.9 SPSS (Statistical Package for Social Sciences)

SPSS es un software popular entre los usuarios de Windows, es utilizado para realizar la captura y análisis de datos para crear tablas y gráficas con data compleja. El SPSS es conocido por su capacidad de gestionar grandes volúmenes de datos y es capaz de llevar a cabo análisis de texto entre otros formatos más.

SPSS se utiliza para una amplia gama de análisis estadísticos, como las estadísticas descriptivas (por ejemplo, medias, frecuencias), las estadísticas bivariadas (por ejemplo, análisis de la varianza, prueba t), regresión, el análisis de factores, y la representación gráfica de los datos.

1.10 PROGRAMA ARSTAN

El programa ARSTAN produce cronologías a partir de series de mediciones de anillos de árboles mediante (estandarización) de series, luego de aplicar una estimación robusta de la función de valor medio para eliminar efectos de las perturbaciones endógenas de los rodales. El modelado autorregresivo de series de índices a menudo mejora la señal común. El análisis estadístico extenso de un intervalo de tiempo común proporciona la caracterización del conjunto de datos. Se producen tres versiones de la cronología, destinadas a contener una señal común máxima y una cantidad mínima de ruido. Se proporcionan muchas opciones para permitirle adaptar el procesamiento a una amplia variedad de situaciones y propósitos.

ARSTAN incluye varios conceptos que no se aplicaron previamente al desarrollo de la cronología de anillos de árboles. En 1983 El Dr. Cook proporcionó el código fuente del Programa ARSTAN al Laboratorio de Investigación de Anillos de Árboles en la Universidad de Arizona, donde Richard L. Holmes actualizó el programa al estándar ANSI FORTRAN-77 y en colaboración con el Dr. Cook, desarrolló varias mejoras.

1.11 CARACTERÍSTICAS DE ESPECIES LEÑOSAS PARA SER ESTUDIADAS EN DENDROCROLOGÍA

Según Dunwiddie (1980) citado por Harriague, (1992), se indica lo siguiente:

- ❖ Ser perenne.
- ❖ Tener anillos visibles, concéntricos y completos.
- ❖ Tener anillos con buena uniformidad circular.

1.11.1 ANILLOS DE CRECIMIENTO

Si se realiza un corte transversal en una troza las bandas o líneas concéntricas paralelas en la albura y duramen, los anillos; son las capas del leño que se incorporan periódicamente al tallo por la actividad del tejido cambial o cambium que se halla entre el leño o líber.

Los anillos de crecimientos ofrecen variadas características según las especies y condiciones de crecimiento. La causa determinante de la visibilidad de las capas de crecimiento en una sección del leño, es la diferencia estructural entre el xilema producido al principio y al final de la temporada.

El ancho de los anillos de crecimiento no es uniforme en el mismo árbol y se atribuye a condiciones climáticas variables que prevalecen al formarse los diversos anillos. Los anillos de crecimiento de árboles que se desarrollan en la sombra de un dosel superior suelen ser angostos, cuando se talan los árboles grandes las hojas de los árboles pequeños captan mayor cantidad de luz, aumentando así la velocidad de la fabricación de alimento y crecimiento, formándose así nuevos anillos anchos.

El estudio del ancho de los anillos ayuda en gran manera a la meteorología para evaluar las precipitaciones ocurridas en el periodo de actividad vegetativa y para poder descubrir las variaciones climáticas de épocas pasadas. (Villalba, T., 1995).

El ancho de los anillos de crecimiento varía desde una fracción de milímetros hasta algunos centímetros, dependiendo de muchos factores; duración del periodo vegetativo, temperatura y humedad, insolación y tratamientos silviculturales. (Harriague Fernando, 1992).

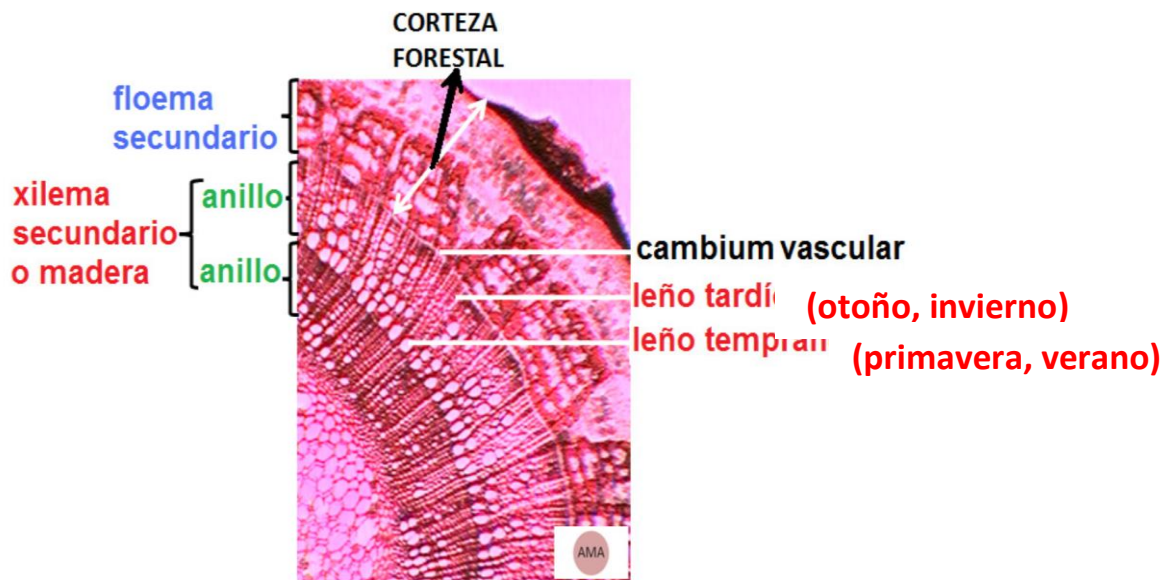


FIGURA N° 1 Leño Tardío Y Leño Temprano

El leño temprano es la madera que se forma durante la estación de primavera y verano en los meses de septiembre – febrero, formándose células con un diámetro de gran tamaño.

El leño tardío es la madera que se forma durante la estación de otoño – invierno en los meses marzo – agosto, cuyas células tiene un menor tamaño y las paredes celulares son más gruesas. Obteniendo así un año de crecimiento.

El Parénquima es un tejido sencillo que está implicado en una gran variedad de funciones dependiendo de dónde se encuentre, como la fotosíntesis, el almacenamiento, la elaboración de sustancias orgánicas y la regeneración de tejidos.

1.11.2 CLASIFICACIÓN DE LAS MADERAS SEGÚN SU CRECIMIENTO

La norma UNE 56524 propone una clasificación de las maderas según su velocidad de crecimiento.

CUADRO N° 1 Clasificación De La Madera Según Velocidad De Crecimiento

Clase	Numero de anillos por centímetro
Maderas de crecimiento lento	Mas de ($< 2,5$ mm)
Maderas de crecimiento medio	De 3 a 4 (2,5 a 3,3 mm)
Maderas de crecimiento rápido	Menos de 3 ($> 3,3$ mm)

La relación existente entre la anchura de la madera de verano, dentro del anillo de crecimiento y la total del anillo, se denomina Textura. Presenta una importancia estratégica ya que permite un mejor análisis de la calidad para cada uno de los usos que se le pretenda dar a la madera durante su primera y segunda transformación mecánica.

Mayores texturas suelen ser indicativas de mayores densidades (por la mayor densidad de la madera de verano), si bien no es posible una correlación directa y universal textura – densidad de la madera.

1.12 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CRECIMIENTO

1.12.1 COMPETENCIA

La competencia es una interacción entre individuos que comparten el uso de un recurso de disponibilidad limitada conduciendo a una reducción del crecimiento y/o la reproducción y la supervivencia de los individuos que compiten.

En esta definición de competencia se ve claramente que el fenómeno afecta el proceso de crecimiento de forma considerable. Para que haya competencia es necesario que los recursos sean escasos (Finegan. B, 1991).

1.12.2 LUZ

Se puede decir que la luz solar es quizás el factor de mayor influencia en el crecimiento de los árboles dentro de un rodal determinado (Finegan. B, 1991).

La luz varía de una intensidad, duración en posición horizontal y vertical dentro de un bosque, las especies forestales, dependiendo del grupo ecológico al que pertenecen tienen diferentes requerimientos específicos de luz para su establecimiento y desarrollo (Finegan. B, 1991).

1.12.3 FORMA DE COPA

Según (Contreras F., 2001), manifiesta que, dentro de la población de cualquier especie, el aspecto o calidad de la copa en relación con el tamaño y estado de desarrollo del árbol está correlacionado con el incremento. El principio es cuanto más frondosa sea la copa mayor crecimiento tendrá. Las definiciones de forma de copa que se dan a continuación deben interpretarse y aplicarse de acuerdo con las características de cada especie y del estado de desarrollo de cada árbol.

La forma de copa puede variar de una especie a otra, corriéndose el riesgo de clasificar una copa como mala cuando puede ser perfecta para tal especie, pues hay especies que por su arquitectura no tienen una copa circular.

1.12.4 EDAD DEL ÁRBOL

Por edad del árbol se entiende el número de años transcurridos desde la germinación de la semilla en árboles que se producen sexualmente (Brinzales) o desde la formación del nuevo brote en aquellos que se reproducen asexualmente o de forma vegetativa.

En especies que se desarrollan en climas templados cada año se genera un anillo de crecimiento en el árbol cada anillo está compuesto por madera de primavera y madera de verano que difieren en la densidad, el tamaño y el color de sus células; así, precisamente la distinta coloración entre el final de un anillo. El número de anillos que un árbol tiene en la base del tronco se corresponde con su edad, mientras que el número de anillos a una determinada altura será igual a los años transcurridos desde que el árbol alcanzó esa altura.

La distribución de los anillos es más sencilla en las coníferas que en las frondosas, en determinados casos resulta necesario lijar la madera o incluso teñirla para observar con claridad las diferencias entre la madera de primavera y la de verano y así distinguir los anillos

de crecimiento. La existencia de falsos anillos y de anillos anormalmente estrechos pueden provocar errores en las estimaciones de la edad. (Leyton J. Antonio, 2002).

1.13 CRECIMIENTO EN DIÁMETRO

En las zonas templadas de la tierra con estaciones bien definidas se produce anualmente un crecimiento en el diámetro de los árboles, como consecuencia de la formación de un nuevo anillo de madera debido a la actividad del tejido meristemático del cambium durante el periodo vegetativo, por tanto examinando cualquier sección transversal de un tronco es posible observar una diferencia de la madera en los anillos de crecimiento apareciendo en cada uno de ellos una capa generalmente más ancha y otra más estrecha y otra debido a la menor porosidad de la madera tardía o de verano (Leyton J. Antonio, 2002).

1.14 ANILLO DE CRECIMIENTO

Los anillos son bandas o líneas concéntricas que se observa en corte transversal de una troza. Se encuentran de forma paralela en la albura y duramen, constituyendo capas del leño que se incorporan periódicamente al tallo por la actividad del tejido cambial o cambium que se halla entre el leño o líber.

Los anillos de crecimientos ofrecen variadas características según las especies y condiciones de crecimiento. La causa determinante de la visibilidad de las capas de crecimiento en una sección del leño, es la diferencia estructural entre el xilema producido al principio y al final de la temporada.

La historia de la vida de un árbol está grabada en la estructura de la madera y si su crecimiento es estacional, pueden constatarse gracias a la distribución de sus anillos de crecimiento (Taylor, 1980) el ancho refleja las condiciones ambientales que predominan mientras los anillos se estaban formando de este modo es posible estudiar la estructura de los anillos. (Flores B. Johnny, 2007).

El ancho de los anillos de crecimiento varía desde una fracción de milímetros hasta algunos centímetros, no es uniforme en el mismo árbol y se atribuye a condiciones climáticas variables como: duración del periodo vegetativo, temperatura y humedad, insolación y tratamientos silviculturales. Estas prevalecen al formarse los diversos anillos (Gutiérrez, 2011). Citado por (Flores B. Johnny, 2007).

El estudio del ancho de los anillos ayuda en gran manera a la meteorología para evaluar las precipitaciones ocurridas en el periodo de actividad vegetativa y para poder descubrir las variaciones climáticas de épocas pasadas.

1.15 ANILLO FALSO DE CRECIMIENTO

Resultado de un crecimiento tardío estimulado que presenta el aspecto de dos anillos producidos en un año.

Los falsos anillos de crecimiento, dificultan la determinación exacta de la edad de los árboles pueden atribuirse a cualquier acción externa que altere el normal funcionamiento del cambium, como heladas tardías, caída temporal de las hojas, destrucción de las hojas por insectos y fluctuaciones climáticas, esta formación se presenta con anillos discontinuos en árboles viejos cuya copa asimétrica es debido a que el cambium en una o varias regiones del tronco permanece en latencia durante una o varias estaciones de crecimiento.

1.16 CRECIMIENTO DIAMETRAL

Desde el punto de vista biológico es simplemente el desarrollo o aumento de tamaño de un organismo. Silvícilmente se puede denominar como el fenómeno de desarrollo de un árbol o masa forestal observado en ellos, íntegramente este desarrollo puede ser en diámetro, altura, área basimétrica y volumen (Leyton J. Antonio, 2002).

1.17 INCREMENTO

Es la magnitud del crecimiento, en otras palabras, se puede definirse como la diferencia de mediciones de alguna variable dasométricas por ejemplo el diámetro a la altura del pecho, el aumento en volumen, área basal, o la altura de un árbol o una masa forestal en un periodo de tiempo determinado. (Flores B. Johnny, 2007).

1.18 INCREMENTO CORRIENTE ANUAL (ICA)

Cantidad de aumento de un árbol a una masa forestal en el curso de un año, en la práctica el incremento corriente anual se toma como el valor anual promedio del incremento periódico anual, es igual al incremento dividido entre la diferencia de tiempo. (Flores , 2007)

1.19 INCREMENTO MEDIA ANUAL (IMA).

Promedio anual del incremento total se obtiene dividiendo las dimensiones del árbol o masa forestal entre la Edad. (Flores , 2007)

1.20 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁRBOL.

Para la descripción general del árbol se utilizan las siguientes denominaciones como:

1.20.1 Altura Total.

Es la altura estimada del árbol desde la superficie del suelo hasta el ápice de la planta.

1.20.2 Altura Comercial.

Es la altura estimada que existe entre el suelo y las ramas de las copas del árbol, o también conocido como altura de fuste.

1.20.3 Diámetro a la Altura del Pecho.

La importancia fundamental de la medición del diámetro radica en que es una dimensión que casi siempre se puede medir directamente y con ésta se puede calcular el área de la sección transversal y el volumen.

El diámetro de un árbol es una dimensión básica para la obtención de volumen, área basal, clasificaciones, incrementos etc. La medida más típica de un árbol es el diámetro a la altura del pecho que es el diámetro localizado a 1,30 m del nivel del suelo.

1.21 EL CRECIMIENTO DE LOS ÁRBOLES

El crecimiento de los árboles, como el de todos los organismos, es un proceso biológico que comporta un aumento del tamaño a lo largo del tiempo. El crecimiento se debe a la formación, diferenciación y expansión de nuevas células dando lugar a tejidos y órganos. El incremento es el aumento de tamaño en un intervalo de tiempo debido al crecimiento. El crecimiento de los árboles y de las plantas leñosas en general se debe a la actividad de los meristemos primarios y secundarios, unos tejidos formados por células no diferenciadas capaces de dividirse y generar nuevas células. Los primarios son los responsables del crecimiento en altura y los secundarios del crecimiento en grosor. El meristema secundario que da lugar al crecimiento en grosor por acumulación de madera es el cámbium. Se trata de una fina capa de células que envuelve al árbol por debajo de la corteza del tronco, ramas y raíces. Su actividad produce capas sucesivas de xilema (madera) por la parte interna y por la parte externa el floema, que con el tiempo acabará formando parte de la corteza. (Leyton J. Antonio, 2002).

1.22 EL PRINCIPIO BÁSICO DE LA DENDROCRONOLOGÍA Y SU PRÁCTICA: LA DATACIÓN CRUZADA

Los árboles utilizados en la datación cruzada, crosdatación o ínter datación, deben formar anillos anuales. Y uno o unos pocos factores ambientales (climáticos) deben dominar limitando el crecimiento sobre una región grande. En estas condiciones, los árboles sensibles a la variabilidad del clima reaccionan mostrando los efectos de dicho factor. Cuando los árboles crecen en condiciones óptimas, en el área del centro de su distribución geográfica, o fuera de ella, pero en buenas condiciones ambientales, las series de anillos anuales suelen mostrar una baja variabilidad interanual, se trata de series complacientes. Fuera de estas áreas o hábitats donde las condiciones ambientales (clima) no son tan benignas la variabilidad interanual es elevada como consecuencia del mayor efecto limitante de dichas condiciones sobre el crecimiento (series sensibles). Estas series son más fáciles de datar ya que presentan todo un conjunto de anillos característicos comunes a todos o a la mayoría de los árboles de la región. (Leyton J. Antonio, 2002).

1.23 ASPECTOS GENERALES DE (*Alnus acuminata* H.B.K) TAXONOMIA:

Nombre científico: (*Alnus acuminata* H.B.K),

Nombre(s) común(es): aliso

1.23.1 Descripción Dendrológica

El Aliso, es una especie de vida media, de tamaño variable con alturas hasta de 30 m y diámetro de 50 cm; excepcionalmente puede alcanzar hasta 40 m de altura y 60 cm de diámetro. Tiene fuste recto, con aletones pobremente desarrollados, y es cónico cuando crece sin competencia. La corteza es de color grisáceo, a veces plateado, con lenticelas amarillentas, ovales y circulares dispuestas horizontalmente a lo largo del fuste. La copa es irregular. (Ospina Penagos C. M.; Hernandez Restrepo R. J.; Gomez Delgado D. E.; Godoy Bautista J. A.; Aristizabal Valencia F. A., 2005) “FNC” Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2005).

a) **Hojas:** Son simples, alternas, acuminadas, de forma elíptica u ovoide, de 8 a 15 cm de largo por 3 a 6 cm de ancho, con bordes dentados irregularmente. El haz es de color verde oscuro y algo brillante y el envés verde claro a grisáceo, y frecuentemente con pelos de color ocre o rojizo. Por ser una especie caducifolia, pierde las hojas antes de la floración.

(Ospina Penagos C. M.; Hernandez Restrepo R. J.; Gomez Delgado D. E.; Godoy Bautista J. A.; Aristizabal Valencia F. A., 2005) “FNC” Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2005).

- b) **Flores:** Son unisexuales, dispuestas en inflorescencias llamadas amentos. Las flores masculinas se encuentran en amentos terminales en forma de espiga y de color verde-amarillento, de 5 a 12 cm de largo y caen enteros después de la floración; las flores femeninas se encuentran dispuestas en amentos cortos (en forma de piña), de 2 cm de largo, de color verde y erecto. En la misma rama se encuentran flores de ambos sexos. (Ospina et al., 2005). “FNC” Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2005).
- c) **Semilla:** Es elíptica, plana, de color marrón claro brillante, de 0,65 a 1,34 mm de largo, con dos alas angostas y pequeñas. El promedio de los resultados obtenidos supera los parámetros determinados por (Basfor, 2011), que menciona que las semillas de *Alnus acuminata* H.B.K, presentan aproximadamente 525.000 semillas por kilogramo.

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

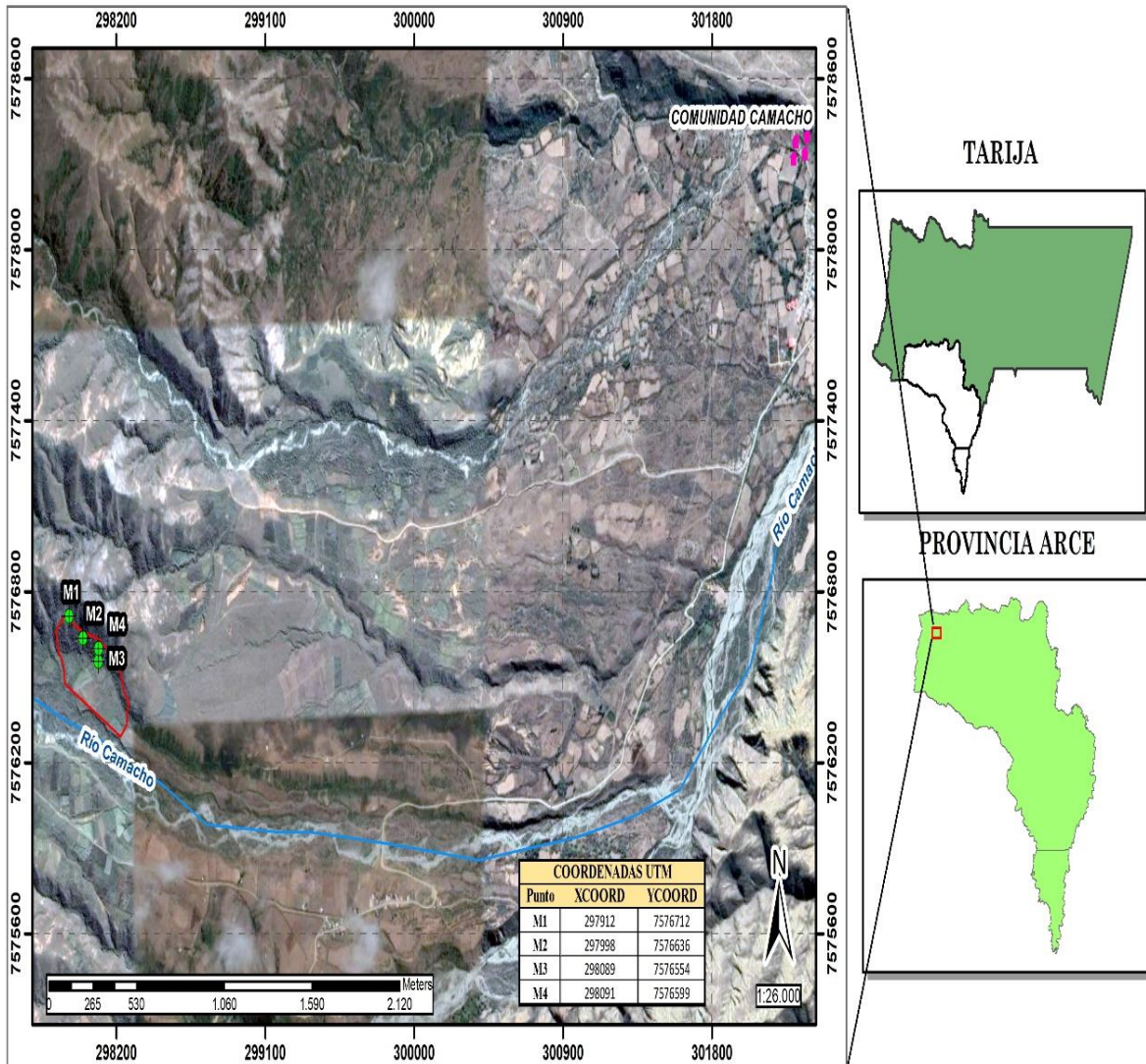
2.1 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La comunidad de Camacho se encuentra ubicada en la provincia Arce en latitud sur 21° 35' 30" -Longitud oeste 64° 95' 45", limita al Norte con la comunidad del Tólar, al Sur con la comunidad de la Huerta, al Este con la comunidad de Canchasmayo, la comunidad de Camacho se encuentra a una altura de 2203 msnm, aproximadamente a unos 75 km de la ciudad de Tarija. (Vargas, 2020).

La accesibilidad hacia la comunidad de Camacho se puede llegar por tres rutas de prioridad:

- ❖ El camino Tarija – Padcaya – Cañas – Canchasmayo - Camacho.
- ❖ El camino Tarija - Valle de la Concepción - Chaguaya - Cañas - Canchasmayo - Camacho.
- ❖ El camino Tarija – Tolomosa - Pampa Redonda – Alisos - Tacuara- Camacho.

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAE SARACHO
"Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales"
 Carrera: Ingeniería Forestal

Trabajo: "ANÁLISIS DENDROCRONOLÓGICO DE LA ESPECIE ALISO (*Alnus acuminata* H.B.K.) Y SU INFLUENCIA DE VARIABLES CLIMÁTICAS PROVENIENTES DE LA COMUNIDAD DE CAMACHO, PROVINCIA ARCE DEL DEPARTAMENTO DE TARIFA"

Imagen: Imagery
Ubicación Geográfica: Latitud Sur 21°35'30" Longitud Oeste 64°95'45"

Elaborado por: Luis Alberto Arroyo Rengifo – Proyección WGS84 – Zona 20S

Legenda

- ◆ Alnus acuminata
- Comunidad
- Río
- Propiedad

FIGURA N° 2: Mapa de Ubicación

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.2.1 Clima

En el municipio de Padcaya se presentan varios tipos climáticos, determinados por la orografía, altitud sobre el nivel del mar principalmente. En general, el verano se caracteriza principalmente por una temperatura y humedad relativa alta y masas de aire inestables, registrándose precipitaciones aisladas de alta intensidad y corta duración. Por otro lado, el invierno se caracteriza por temperaturas y humedad relativa generalmente bajas y la ausencia de precipitaciones, asociadas a la llegada de frentes fríos provenientes del sur, llamados "surazos", que traen consigo masas de aire frío, dando lugar a veces a precipitaciones de muy baja intensidad y de larga duración, principalmente en el Subandino.

2.2.2 Temperatura Máxima y Mínima

La temperatura media anual en Padcaya es de 16.7 °C, con una máxima y mínima promedio de 24.6 °C y 8.8 °C respectivamente. Los días con helada se registran en los meses de mayo a septiembre. La humedad relativa promedio es de 67%. La dirección del viento predominante es el Sur - Este con unas velocidades promedio de 2.6 Km./hora. (SENAMHI, 2016).

a) Precipitaciones Pluviales, Periodos

Las precipitaciones pluviales totales anuales en el municipio de Padcaya, oscilan de 1,0 mm en el mes de julio a una máxima de 145,4 mm en el mes de enero; identificándose dos periodos: un periodo seco que abarca los meses de mayo a septiembre y un periodo húmedo en los meses de octubre a abril (PDM, Gobierno Municipal de Padcaya , 2017).

b) Riesgos Climáticos

Las temperaturas bajas que se presentan en la estación invernal, representan un serio riesgo para los cultivos a riego que se desarrollan en invierno y que son susceptibles a este fenómeno, sin embargo, en esta región, lo que perjudica más al sector del agro en época de invierno son las terribles heladas que se presentan en los meses de mayo, junio, julio y agosto. Otro aspecto climático que afecta a la región es la sequía, es decir, la falta de precipitación oportuna que muchas veces ocasiona la pérdida total de los cultivos a temporal los cuales se encuentran entre los meses de abril a agosto; este fenómeno generalmente se presenta en la parte norte del municipio, en las

comunidades de Abra de la Cruz, Huacanqui, Cabildo, Chalarmarca y otras comunidades.

CUADRO N° 2 Planilla Climatológica. Estación de Padcaya



RESUMEN CLIMATOLOGICO

Período Considerado: 1997 - 2020

Estación: CAÑAS
Provincia: ARCE
Departamento: TARIJA

Latitud S.: 21° 54' 08"
Longitud W.: 64° 51' 03"
Altura: 2.078 m.s.n.m.

Indice	Unidad	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
Temp. Max. Media	°C	25,4	24,7	24,5	24,1	23,6	24,3	24,0	25,2	25,9	26,1	25,8	25,8	24,9
Temp. Min. Media	°C	13,9	13,8	13,0	10,6	5,7	3,1	2,8	4,7	7,3	11,1	12,4	13,6	9,3
Temp. Media	°C	19,6	19,3	18,8	17,3	14,7	13,7	13,4	15,0	16,6	18,6	19,1	19,7	17,1
Temp.Max.Extr.	°C	34,5	35,5	35,0	35,0	37,5	37,5	39,0	39,5	38,0	38,0	36,0	35,5	39,5
Temp.Min.Extr.	°C	6,5	7,0	3,5	-1,5	-5,0	-9,5	-10,0	-6,0	-4,0	0,0	2,0	3,5	-10,0
Días con Helada		0	0	0	0	3	6	8	4	1	0	0	0	23
Nubosidad Media	Octas	6	6	6	5	4	3	3	2	3	5	5	6	4
Precipitación	mm	170,6	146,6	128,5	33,5	3,3	0,6	0,9	3,9	12,1	52,2	81,4	123,6	757,1
Pp. Max. Diaria	mm	122,0	65,6	91,5	51,0	27,0	3,4	11,2	23,2	64,4	52,3	71,6	73,6	122,0
Días con Lluvia		15	14	13	6	2	1	0	1	2	7	10	13	84
Días con Granizo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Velocidad del viento	km/hr	4,3	3,9	4,0	4,1	4,5	4,6	5,0	4,9	4,7	4,9	4,6	4,4	4,5
Dirección del viento		E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E

Fuente: SENAMHI (2020)

2.2.3 Suelos

Las características físicas de los suelos varían de acuerdo a la posición fisiográfica en que se encuentren, pero de manera general, se puede decir que los suelos ubicados en los complejos montañosos son poco profundos, generalmente tienen un contacto lítico próximo y se evidencia presencia de afloramientos rocosos, siendo su textura de pesada a mediana.

Los suelos ubicados en la zona de pie de monte y terrazas aluviales son de moderadamente profundos a profundos, la textura es de media a liviana en los horizontes superiores y más pesada en los horizontes profundos, particularmente en las terrazas subcrecientes. (PDM, Gobierno Municipal de Padcaya, 2010).

2.2.4 Vegetación

La vegetación con que cuenta esta zona refleja unas características particulares de topografía y climáticas de la región. En su mayoría es xerófita y está representada por las siguientes especies nativas: Aliso, Churqui, Chañar, Molle, Sauce, Chilca, Tarco.

La vegetación de la zona principalmente se caracteriza por pajonales, matorrales, arbustales, pastizales y cultivos.

Existe especies arbóreas introducidas al lugar como Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), Pino (*pinus radiata*) y Ciprés común (*Cupressus sempervirens*)

CUADRO N° 3 Flora Existente

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE VULGAR
BETULACEAE	<i>Alnus acuminata H.B.K.</i>	Aliso, aliso blanco
MELIACEAE	<i>Cedrela sp.</i>	Cedrillo
SAPINDACEAE	<i>Diatenopteryx sorbifolia Radlkofer</i>	Suiquillo, anco anco,
FABACEAE	<i>Erythrina falcata Benth.</i>	Ceiba
CAESALPINIACEA	<i>Gleditsia amorphoides Taubert</i>	Coronillo, espina
JUGLANDACEAE	<i>Juglans australis Griseb.</i>	Nogal
LAURACEAE	<i>Nectandra sp.</i>	Laurel, laurel blanco,
FABACEAE	<i>Vachellia caven</i>	Churqui
FABACEAE	<i>Geoffroea decorticans</i>	Chañar
ROSACEAE	<i>Polylepis sp.</i>	Queñua
BIGNONIACEAE	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Tarco

Fuente:(PDM Arce. 2010).

2.2.5 Agricultura

Se desarrolla, bajo dos formas de explotación: A temporal o secano y bajo condiciones de riego. En las áreas de secano los cultivos son el maíz para choclo y grano, papa, higuera, duraznos, etc. Y bajo riego son: cebolla, maíz, etc.

2.3 MATERIALES

Para lograr un buen desarrollo y eficiente trabajo sobre el “Estudio Dendrocronológico del aliso”, se utilizó los siguientes materiales para las diferentes fases de campo, aserradero, laboratorio y gabinete. (Figura 3).



FIGURA 3: Materiales e Instrumentos

2.3.1 Fase de campo

- ❖ Brújula
- ❖ Sistema de posicionamiento global GPS.
- ❖ Motosierra
- ❖ Machetes
- ❖ Material vegetal (*Alnus acuminata* H.B.K.)
- ❖ Cinta biométrica
- ❖ Flexómetro
- ❖ Marcadores
- ❖ Cámara fotográfica
- ❖ Planillas de campo
- ❖ Vehículo para el transporte del material

2.3.2 Fase de laboratorio

- ❖ Estereomicroscopio Leica
- ❖ LINTAB 6 acoplado al software TSA-Win (para medición de anillos)
- ❖ Lijadora manual
- ❖ Lápiz
- ❖ Lupa de 10 μ de aumento.
- ❖ Calculadora.
- ❖ Amoladora CROWN con regulador de velocidad
- ❖ Lijadora de bandas
- ❖ Lijas de diferentes granulometrías N° 40, 60, 80, 120, 180, 240, 280, 360, 400, 500, 600.
- ❖ Planillas de Laboratorio para registro
- ❖ Material de escritorio

2.3.3 Fase de gabinete

- ❖ Mesa o escritorio
- ❖ Mapas de ubicación de la zona de estudio
- ❖ Material de escritorio
- ❖ Computadora.
- ❖ Microsoft Excel
- ❖ Programa AGE, DPL, EDRM del dendrocronology program library (DPL)
- ❖ Programa COFECHA
- ❖ Impresora

2.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

2.4.1 Tipo de investigación.

El trabajo de investigación es de tipo explicativo y descriptivo, pues se busca investigar el crecimiento de la especie (*Alnus acuminata* H.B.K), y su relación con variables climatológicas como la temperatura y la precipitación.

2.4.2 Nivel de la investigación.

El alcance del trabajo de investigación es *descriptivo correlacional*; porque se busca vincular el aumento de la biomasa con el tiempo para evaluar la evolución del desarrollo biológico (Hernandez R.; Fernandez C., 2016) Citado por Leyton, 2002.

2.4.3 Diseño estadístico:

Es un diseño no experimental, descriptivo correlacional de corte transversal.

2.4.4 Obtención de la Muestra

2.4.4.1 Selección de los Árboles de la Población

Se seleccionaron cuatro árboles al azar en la plantación forestal, los cuales fueron marcados y posteriormente apeados (figura 1), así también se procedió a levantar información de los datos de la población de las especies existentes en la zona, (Ver Anexo 1). Al momento de la selección, se tomó en cuenta la clase Diamétrica, y características de sanidad, calidad del fuste y forma copa (árboles sanos y de fuste limpio).

- ❖ Sanidad: individuos saludables en todas sus partes, libres de enfermedades que afecten un normal crecimiento y desarrollo de la planta.
- ❖ Forma: individuos que cuenten con buenas características cuantitativas, tales como forma de fuste, forma de la copa, libre de bejucos y lianas, libre de la presencia de insectos.

Las muestras para el estudio dendrocronológico fueron recolectadas en agosto del año 2020. Los árboles han sido elegidos bajo el sistema al azar, de forma que todos tendrán la misma probabilidad de ser elegidos.

2.4.4.2 Apeo de los Árboles

La corta de árboles se realizó con motosierra, previamente a esta actividad se registraron todas las características de los mismos (diámetro, altura del fuste, altura total, forma de la copa) asignándole un código para su identificación y así obtener las rodajas de muestra. Posteriormente, se obtuvo las tortas para el estudio, cuidando la calidad de las mismas, afín de que puedan observarse sin dificultad los anillos de crecimiento.



FIGURA 4: Apeo de los Arboles

2.4.4.3 Obtención de las Muestras (Rodajas)

Las muestras se obtuvieron a través del método destructivo que consiste en retirar una rodaja de madera con ayuda de la motosierra, realizando cortes perpendiculares a la orientación de los elementos estructurales del tronco de un espesor de dos pulgadas colectando una muestra por árbol a la altura del suelo (25 cm), luego se realizó la respectiva codificación de las rodajas facilitando su identificación.

Luego de ser identificadas, se procedió al acondicionamiento de las rodajas donde fueron trasladadas a la carpintería donde se los dejó secar unos meses a temperatura ambiente para luego llevarlas al laboratorio.



FIGURA 5: Extracción de Rodajas

CUADRO N° 4 Codificación de las Muestras

Especies	N° De Muestras
<i>Alnus acuminata H.B.K.</i>	ACCA01
<i>Alnus acuminata H.B.K.</i>	ACCA02
<i>Alnus acuminata H.B.K.</i>	ACCA03
<i>Alnus acuminata H.B.K.</i>	ACCA04

Fuente: Elaboración propia.

2.4.4.4 Preparación de las Muestras

Una vez secas las muestras se seleccionó la cara que presentó mejores condiciones de trabajabilidad, cepillando con una lijadora manual con lija de granulometría N° 24, después fueron lijadas con amoladora con disco para lijar con lijas N° 40, 60 Y 80 que son las de granulometría gruesas para uniformizar las grietas, luego se las pulió con lijas de granulometría mediana a muy fina (N° 600) disminuyendo considerablemente las sinuosidades de la madera y obteniendo una superficie lisa y resaltada facilitando la identificación de los anillos de crecimiento, el conteo de anillos y medición. (Figura 7). Para cada cambio de lija se limpió el exceso de polvo.



FIGURA 6: Preparación de las Rodajas

2.4.5 Observación de la Sección Transversal

Una vez que las muestras presentaron la superficie totalmente pulida, se procedió a la caracterización anatómica de la especie.

2.4.5.1 Caracterización anatómica de *Alnus acuminata* H.B.K

Para el estudio de las características macroscópicas y microscópicas se prepararon cubos de (*Alnus Acuminata* H.B.K) tomando en cuenta que el estudio se lo realizó tomando una muestra de la sección transversal de una muestra.

2.4.6 Marcado de los Anillos

Una vez preparadas las rodajas se trabajó con tres tipos de radios, recomendado por (Brienen & Zuidema, 2003). Citado por (Leyton J. Antonio, 2002), uno que es el radio mayor, radio medio y el radio menor, ya que en pocos casos podemos tener una rodaja completamente circular, para tal efecto se tomaron tres mediciones para conseguir mejores datos. No se tomaron en cuenta aquellos espacios ocasionados por rajaduras.

Después de obtener las muestras físicas de las rodajas donde se pueden leer los anillos de crecimiento, se realizó su datación, que consistió en asignar a cada anillo el año correcto en el que se formó. Esta tarea viene facilitada al saber que el último anillo es el del último año de crecimiento, anterior a la obtención de las muestras (año de apeó del árbol 2020).

A partir del año 2019, con la ayuda de un estéreo microscopio Leica, se fueron marcando los anillos con lápiz. Para identificar los anillos sobrepuestos que no se observaban, se humedeció con agua permitiendo así, mejor visibilidad de los anillos de crecimiento durante

el conteo en cuenta regresiva desde la parte externa del leño hasta llegar al primer año de formación en la médula.



FIGURA 8: Marcado de los Anillos

2.4.7 Medición de los anillos

La medición del ancho de los anillos de crecimiento se realizó con la ayuda del estéreomicroscopio Leica que ajusta el ángulo de medición perpendicular de los anillos de crecimiento y el sistema de medición LINTAB 6 acoplado al software TSAP-Win con una precisión de 0,01 mm, quedando así registrado la medida en archivo, el cual es fuente para otros programas. También este programa realiza el control del fechado y permite hacer la identificación de los segmentos de las series de anillos.

Una vez obtenido todas las cronologías de los diferentes radios, estos datos fueron adecuados al formato Tucson y recién corridos mediante el Software COFECHA.



FIGURA 9: Medición de los Anillos mediante el uso del Lintab

2.4.8 Datación cruzada

La datación de las secuencias de los anillos viene facilitada porque es una secuencia que está anclada en el tiempo, ya que el último anillo corresponde al último año de crecimiento (Stokes & Smiley, 1968) citada por Rivero (1992). De manera que, retrocediendo hacia atrás en la secuencia de anillos, es decir en el tiempo, se asignó a cada uno de ellos el año calendario durante el cual se formó.

Para dar confiabilidad a la datación individual efectuada en las muestras, se realiza un proceso de datación cruzada, el cual se basa en la sincronía que hay en el patrón de anillos característicos de los árboles que han crecido bajo las mismas condiciones climáticas durante un periodo común (Gutiérrez, 2008). Posterior a esta técnica se realiza una validación estadística, utilizando uno de los programas más importantes que es el COFECHA (Holmes, 1983).

2.4.9 Validación estadística de la datación

Para la identificación de posibles errores tales como la presencia de anillos ausentes o falsos se utilizó COFECHA (Holmes, 1983), que permite calcular la correlación entre las series individuales de ancho de anillos (Grissino-Mayer, 2001). La misma permitió realizar las correcciones necesarias y sincronizar las series de anchos de anillos de todos los árboles.

Una vez que las series individuales fueron datadas se midió el grosor de los anillos. La validación estadística de las dataciones determina el grado de sincronía entre las series mediante el coeficiente de correlación con un nivel de significación del 95% y 99%.

Los problemas de datación que se detectan se tienen que subsanar hasta conseguir una buena sincronización entre las series. Las series o los segmentos de algunas de ellas que no sincronicen bien se descartan pues una mala sincronización haría perder fiabilidad a la serie maestra o la cronología (Ver Anexo 2). (Gutierrez, 2009).

2.4.10 Crecimiento en diámetro.

Con los datos obtenidos de la medición del ancho de los anillos de crecimiento se promediaron los crecimientos de los 3 radios, para obtener el crecimiento acumulado en diámetro que resulta de la sumatoria del ancho de los anillos de crecimiento.

$$CAD = \sum A_1 + A_2 + \dots + A_n$$

Donde: CAD = Crecimiento acumulado en diámetro

A_1 es el ancho del primer anillo de crecimiento

A_2 es del segundo anillo

A_n el ancho del anillo formado al año n.

2.4.10.1 Determinación del Incremento Corriente Anual (ICA)

El ICA (Incremento Corriente Anual), es el crecimiento que se desarrolla en un determinado tiempo, es decir el crecimiento en diámetro dentro de uno o varios años.

El programa AGE de la biblioteca de programas de Dendrocronología (DPL), permite evaluar el crecimiento por la edad biológica de los individuos, asignándole el año 1 al primer anillo en cada muestra (Holmes 1999). Este programa se empleó para calcular el crecimiento acumulado en diámetro (CA), el incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA).

Para el método se utiliza la siguiente ecuación:

$$ICA = CA_t - CA_{t-1} \qquad IMA = CA_t/t$$

El ICA resulta de restar el crecimiento acumulado (CA) correspondiente al año menos el tamaño que tenía el árbol en el año anterior t-1 y este corresponde al incremento anual para un determinado año. Mientras que el IMA resulta de dividir el incremento acumulado (CA) para el año t por t años.

2.4.10.2 Determinación del Incremento Corriente Anual ajustado (ICAA). ajustado

Con el propósito de reducir en las series de ancho de anillos su variabilidad debido a las variaciones climáticas en las estimaciones del IMA, las series de ancho de anillos fueron suavizados mediante el uso de un filtro digital spline de 32 años. Con el fin de maximizar la tendencia biológica del crecimiento.

2.4.10.3 Determinación del Incremento Medio Anual (IMA)

El IMA (Incremento Medio Anual), se calculó a partir de la división de las dimensiones del árbol o de una masa forestal por la edad.

2.4.11 Dendroclimatología.

2.4.11.1 Recopilación y análisis de las series meteorológicas.

Los datos meteorológicos de precipitación y temperatura mensual fueron proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Tarija - Bolivia – SENAMHI (Ver Anexo 4 y 5), a partir de dos estaciones meteorológicas. La Estación de Cañas con datos correspondientes al periodo entre 1997 a 2020, localizado en la provincia Aniceto Arce y municipio de Padcaya, con una latitud de -21.9022, Longitud de -64.8508 y una altitud de 2078 msnm. La Estación de El Valle de la Concepción CENAVIT con datos correspondientes a los periodos entre 1990 a 2019, localizado Provincia Avilés Municipio de Uriondo Departamento de Tarija, con una latitud de -21.7253, una longitud de -64.6581 y una altitud de 1730 msnm. Con la finalidad de una mejor observación de los datos meteorológicos de precipitación y temperatura mensual, éstos se presentarán en histogramas, para un mejor análisis dendrocronológico desde el mes de julio para que al momento de hacer la sincronización con la cronología se pueda observar una óptima correlación.

2.4.11.2 Análisis estadístico crecimiento – clima.

Para el estudio de las relaciones entre crecimiento y clima se han usado por un lado las cronologías de crecimientos obtenidas (Ver Anexo 6) y por otro las series mensuales de precipitación y de temperaturas medias (Ver Anexo 4 y 5). Los datos climáticos son los registrados por la estación más cercana a la zona de estudio de donde se han extraído las muestras que posee el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de

Bolivia), de la estación de Cañas ubicado en la provincia Arce, de la cual se tienen datos suficientes.

La relación crecimiento-clima se ha cuantificado mediante los coeficientes de correlación de Pearson significativos con un nivel de confianza del 95%, calculados con el programa de Excel.

Las posibles relaciones entre las cronologías maestras radiales de crecimientos y las variables climáticas mensuales fueron exploradas desde septiembre del año anterior al del crecimiento (por la influencia que puedan tener los meses previos al periodo vegetativo) hasta noviembre del año del crecimiento, ya que el crecimiento de otoño se puede alargar hasta finales de año si lo permiten las condiciones ambientales. Para la cronología maestra longitudinal el periodo estudiado se ha alargado a todo el año previo al crecimiento porque éste es el año en el que se forman las yemas. Rubio, 2016.

2.4.11.3 Análisis dendroclimatológico

Para el análisis de la influencia de la temperatura y precipitación, los índices de la cronología de los anillos de crecimiento del leño de los árboles de la especie *Alnus acuminata* H.B.K. determinados, fueron comparados con los valores mensuales de variables climáticas para la zona de estudio, que fueron obtenidos a través SENAHMI de la Estación de Cañas (Ver Anexo 10). Con programas Estadístico; se analiza la respuesta de los anchos de los anillos de crecimiento de los árboles al clima mensual mediante coeficientes de correlación de Pearson, se procedió a correlacionar los índices cronológicos de los árboles (variable dependiente) y los parámetros climáticos de precipitación y temperatura (variable independiente), resultando en una función de respuesta para cada cronología y determinar que variables climáticas influyen en el crecimiento de la especie (Zegarra, A., 2018).

Cabe destacar que el año biológico (crecimiento del tronco de los árboles) no coincide con el año calendario; considerando que, en el hemisferio sur, los árboles inician su crecimiento al final del período de invierno y/o inicio del período de la primavera hasta el año siguiente. Diferente al hemisferio norte, donde el inicio y el término del crecimiento de los árboles (o del anillo de crecimiento anual) ocurren dentro del período de un año, comprendiendo los meses de enero a diciembre.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

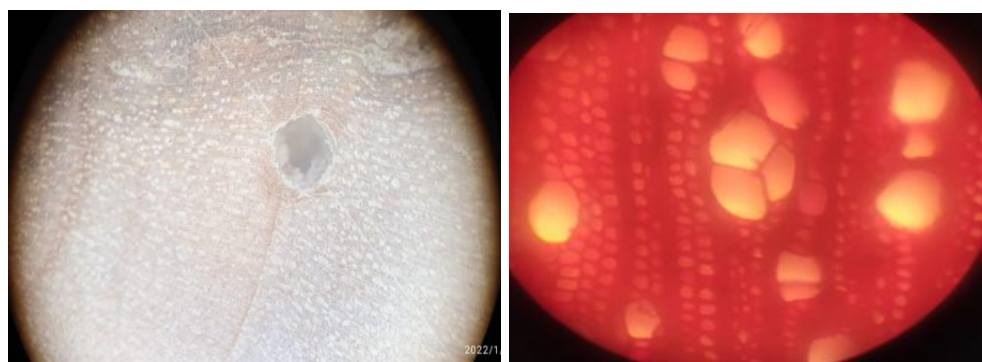
Una vez realizadas las observaciones y el análisis de muestras correspondientes del presente estudio se obtuvieron los siguientes resultados.

Caracterización de los anillos de crecimiento

La estructura de los anillos de crecimiento de *A. acuminata* H.B.K., observados y analizados en las rodajas, se caracterizan por presentar un leño inicial y tardío difícilmente diferenciado. Presentando poros solitarios, múltiples y agrupados, no visibles a simple vista (ni con lupa de 10X). El límite de los anillos se observa como líneas diferenciadas oscuras rojizas macroscópicamente y a nivel microscópico se caracterizó por la concentración de estratos de fibras comprimidas (Fig. 10a, b y c).

Las muestras del leño de esta especie presentan una gran variabilidad en los anillos de crecimiento, siendo estos más estrechos próximos a la medula y la corteza (Fig. 10c). Esta variabilidad en el incremento demuestra la sensibilidad de los árboles a las condiciones de factores climáticos y de sitio que influyen en el crecimiento. Por otra parte, presentaron cicatrices causado por disturbios pasados en el límite de los anillos en algunas rodajas, estableciendo que los anillos de crecimiento de esta especie se forman anualmente (Fig. 7c).

FIGURA 10 Estructura macroscópica y microscópica



a) macroscópica

b) microscópica



c) Cicatrices, alteración de color y variabilidad de anillos de crecimiento

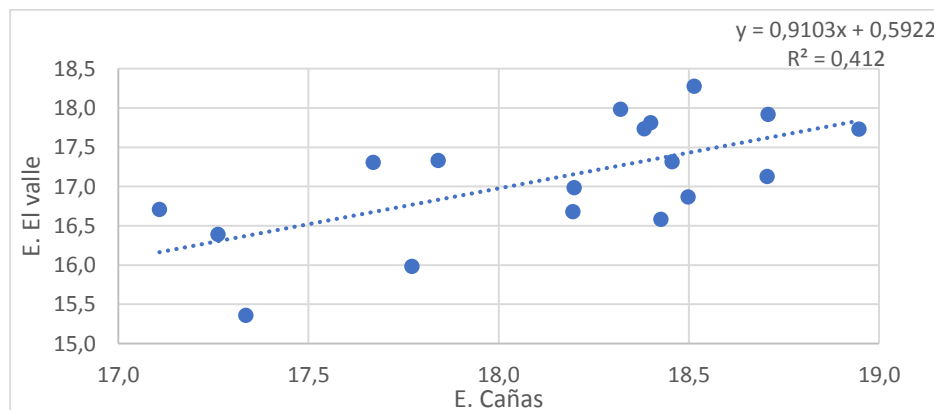
También se encontraron anillos falsos y discontinuos. Presentó excentricidad de la médula. Este crecimiento excéntrico de la especie se debió probablemente a la necesidad de mantener el fuste recto y cilíndrico debido a la pendiente que presentaba el terreno.

También se observó alteración de color en la parte transversal de la muestra lo que dificultó un poco la identificación de anillos.

3.1 ANÁLISIS DE DATOS METEOROLÓGICOS

Con el objeto que los datos climáticos muestren valides junto con el comportamiento de los anillos de crecimiento del *A. acuminata* H.B.K. se realizó un análisis de valores de precipitación y temperatura de la Estación meteorológica de Cañas y la Estación de El Valle de la Concepción CENAVIT mediante la correlación con los registros de ambas estaciones.

Gráfico N° 1 Prueba de correlación de datos de temperatura entre las estaciones de Cañas y El valle



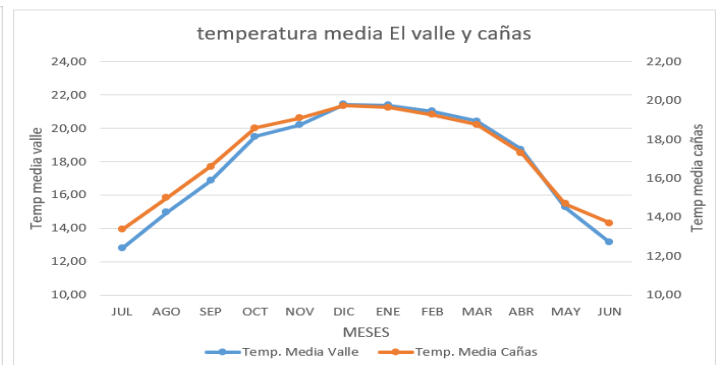
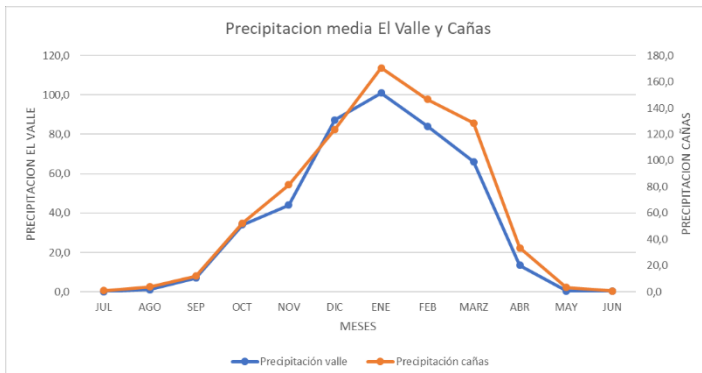
Correlaciones

		MEDIA TEMP. Cañas	MEDIA TEMP. Valle
MEDIA TEMP. Cañas	Correlación de Pearson	1	,642**
	Sig. (bilateral)		,004
	N	18	18
MEDIA TEMP. Valle	Correlación de Pearson	,642**	1
	Sig. (bilateral)	,004	
	N	18	18

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Mediante esta prueba estadística, se demuestra que la correlación es altamente significativa a un nivel de 0.01, habiéndose obtenido coeficientes de correlación significativos para temperatura un $r = 0,642$ para precipitación con $r = 0,786$.

Gráfico N° 2 Serie de datos de Precipitación y Temperatura de las Estaciones Meteorológicas: El Valle y Cañas



En las siguientes gráficas se puede observar que tanto la precipitación como la temperatura tienen el mismo comportamiento ya que desde un inicio estas coinciden, debido a ello estos datos respaldan la consistencia de los datos climáticos que posteriormente fueron utilizados en el análisis dendrocronológico de la especie *A. acuminata* H.B.K. localizada en la comunidad de Camacho.

3.2 CRONOLOGÍA DEL *A. ACUMINATA* H.B.K.

3.2.1 Edad de los arboles

Para determinar la edad del *A. acuminata* H.B.K., se prepararon las muestras obtenidas a la altura de 0,25 m de los troncos, posteriormente se realizó el conteo y medición del ancho de cada anillo de crecimiento, con el objeto de obtener las series cronológicas.

Se tomo el centro de la médula como punto cero, de modo que el número de anillos corresponde al número de años (edad) del árbol.

Figura N° 11: Identificación y conteo de los anillos de crecimiento en una torta de fuste de A. acuminata H.B.K.



Cuadro 5 Validación Estadística

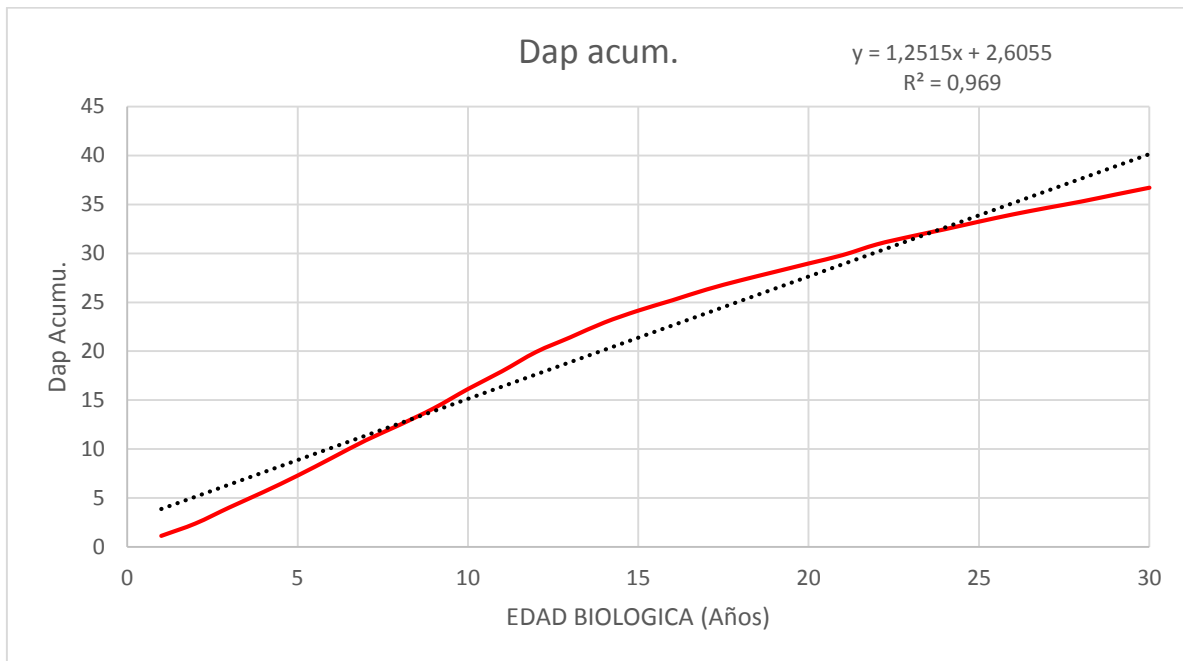
Estadísticos descriptivos de la serie maestra de 1990 - 2019	
Número de serie fechada	12
Serie maestra 1990 – 2019	30
Total, de anillos en todas las series	324
Total, de anillos fechados comprobados	324
Intercorrelacion de series	.445
Sensibilidad media	.319
Segmentos, posibles problemas	5
Longitud media de la serie	27

SOFTWARE COFECHA

El tiempo de la serie analizada abarca de 1990 – 2019 (30 años) con un periodo analizado de 15 en 15, la correlación de Pearson con un grado de confidencialidad del 99 % tuvo un valor de 0.445 y la sensibilidad media tuvo un valor de 0.319.

3.3 DISTRIBUCIÓN DIAMÉTRICA DE LA ESPECIE

Gráfico N° :3 Tasas de Incremento Diametral



La ecuación lineal, representa el crecimiento en diámetro de la especie estudiada con un nivel de significancia de 96%

Indica el incremento diametral de la plantación en cm por cada periodo (año 1990 – 1995; año 1996 – 2000; año 2001 – 2005;; año 2015 – 2019); mostrando que, en el año 1998 al año 2012 hubo un crecimiento diametral elevada.

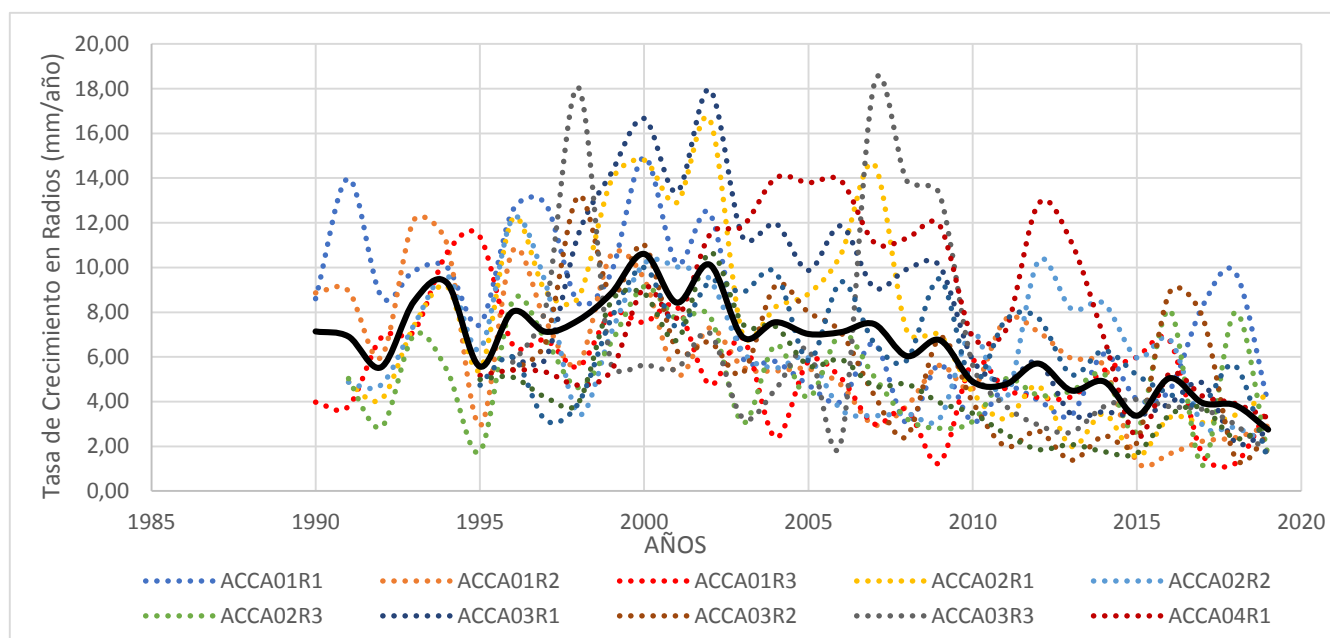
Obteniéndose una tendencia de crecimiento polinómica. El análisis de regresión mostró un valor de coeficiente de determinación para “aliso” de $r^2 = 0.969$.

3.3.1 Diámetro en base al ancho de los anillos

Para este análisis los resultados se obtuvieron del análisis de las cuatro muestras que son los discos de los cuatro árboles. Para ello, se midió el ancho de los anillos en 3 direcciones (radios), con estos valores se generó la curva media para cada individuo, utilizando el

promedio de crecimiento de cada dirección. Con el objeto de mostrar los anteriormente mencionado, se presenta el crecimiento en 3 radios medidos y el promedio de estos radios se observan, en el gráfico 4.

Gráfico N° 4: Tasa de crecimiento en tres radios, obtenido de mediciones de anillos de crecimiento.



El gráfico muestra, una variación considerable en crecimiento en las tres direcciones, por ello, para reconstruir los diámetros de los árboles, se decidió trabajar con el promedio de crecimiento (representada por la línea oscura) de las diferentes direcciones de las muestras de los 4 árboles.

CUADRO N° 6: Crecimiento Promedio de Ancho de los Anillos

Árboles	Ancho de Anillos Promedio	DesvEsta	N° de Anillos	Dap
ACCA01	6,35	2,30	30	1,27
ACCA02	6,29	2,50	29	1,26
ACCA03	6,40	3,25	24	1,36
ACCA04	6,32	2,35	25	1,29

Según la cronología formada indica que los árboles analizados de *Alnus acuminata* H.B. K, provienen de la comunidad de Camacho – Arce, con una edad de 33, 29 y 23 años (Periodo 1987- 2020).

3.3.2 Crecimiento en diámetro

Una vez generada la serie de datos de diámetros, se determinó el Incremento Corriente Anual (ICA) y el Incremento Medio Anual (IMA), que presentan en el gráfico 6.

Gráfico N° 5: Curva de Tasa de crecimiento expresado por el Incremento Basal

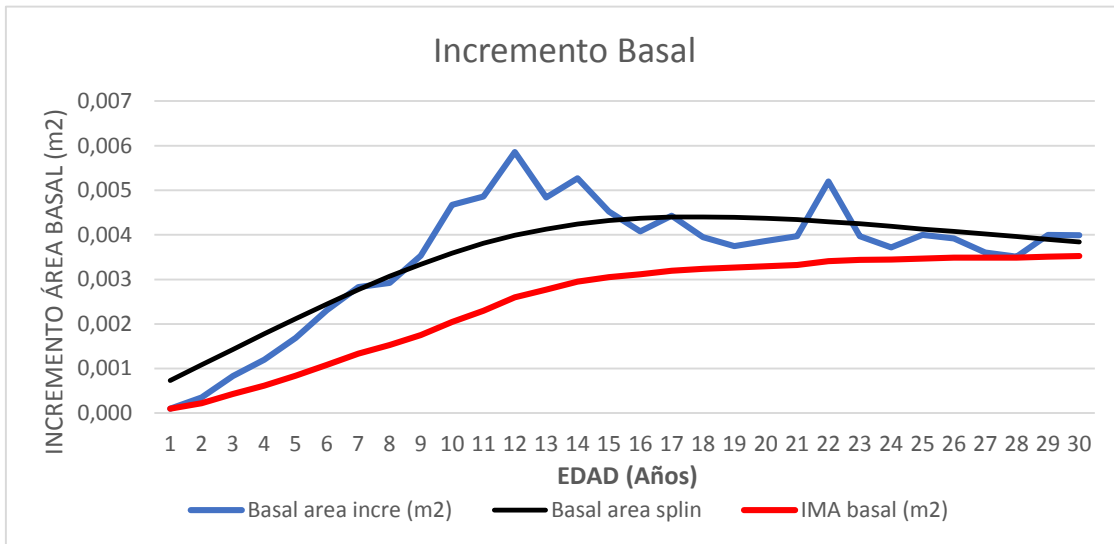
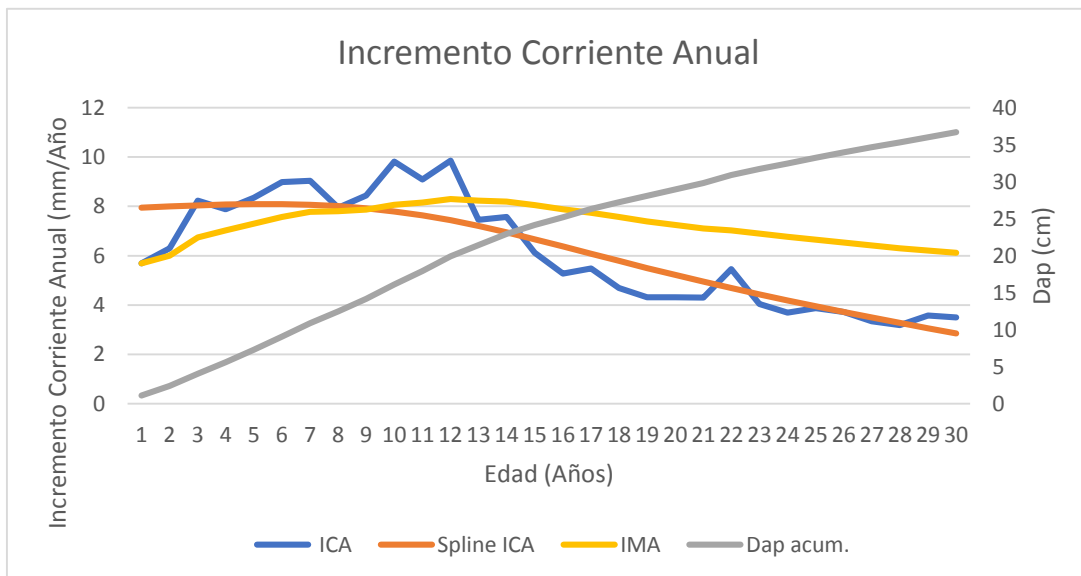


Gráfico N° 6: Curva de Tasa de crecimiento expresado por el Incremento Corriente Anual (ICA)



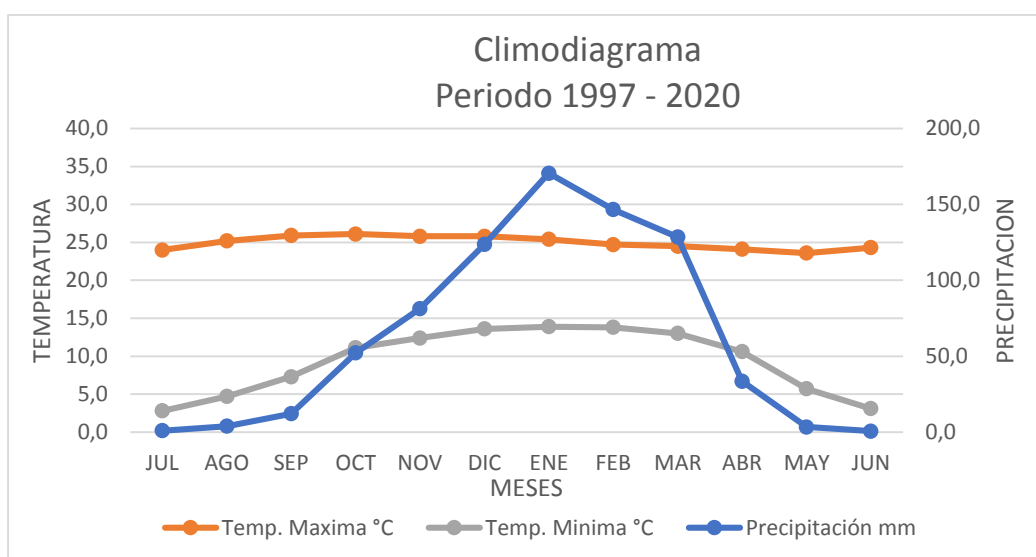
El incremento corriente anual alcanzó un máximo de 9,85 mm a la edad de 12 años, observándose una reducción en el crecimiento en la cual se pudo apreciar pequeños incrementos; y el incremento medio anual alcanzó 8,29 mm a la edad de 12 años.

En la gráfica se puede observar que a partir de los 13 años disminuye su crecimiento, mostrando un crecimiento más bajo. Así también se puede observar en la gráfica de Incremento Basal que el ciclo de corta es aproximadamente a los 33 años.

3.4 ANÁLISIS DENDROCLIMÁTICO

Para realizar el análisis dendroclimático, fue necesario realizar un climodiagrama de un periodo de 23 años (1997 – 2020) con datos de la estación meteorológica, Cañas de la Provincia Arce.

Gráfico N° 7: Climodiagrama de la estación Cañas - Arce



Las precipitaciones en la comunidad de Camacho, tienen un comportamiento unimodal, es decir, hay un periodo de lluvias y otro periodo de meses secos, de ahí, la importancia del climodiagrama, en la investigación dendrocronológica, porque muestra el mes de inicio de las precipitaciones, que a la vez coincide con el año de crecimiento de los árboles, siendo en este caso, el mes de septiembre.

3.4.1 Análisis de precipitación y temperatura con el ancho de anillos.

Cuando se trata de relacionar la precipitación con el ancho de los anillos, se remite nuevamente al climodiagrama, que indica el inicio de las precipitaciones en el mes de septiembre, de acuerdo a la metodología adoptada, se asume que los árboles también inician su crecimiento.

Bajo este criterio, se calculan los nuevos valores denominadas precipitación de año de crecimiento, tomando los meses de septiembre a diciembre del año presente a esto se adiciona la precipitación de enero a agosto del siguiente año.

Un ejemplo, para el año 2001 la precipitación resulta sumar de las precipitaciones de cada mes desde septiembre a diciembre de 2001, más la suma de las precipitaciones de los meses de enero a agosto de 2002. Al comparar la precipitación anual con precipitación de crecimiento se puede observar que hay diferencias entre estos valores.

CUADRO N° 7: Valores de Precipitación Anual y Precipitación de Año de Crecimiento

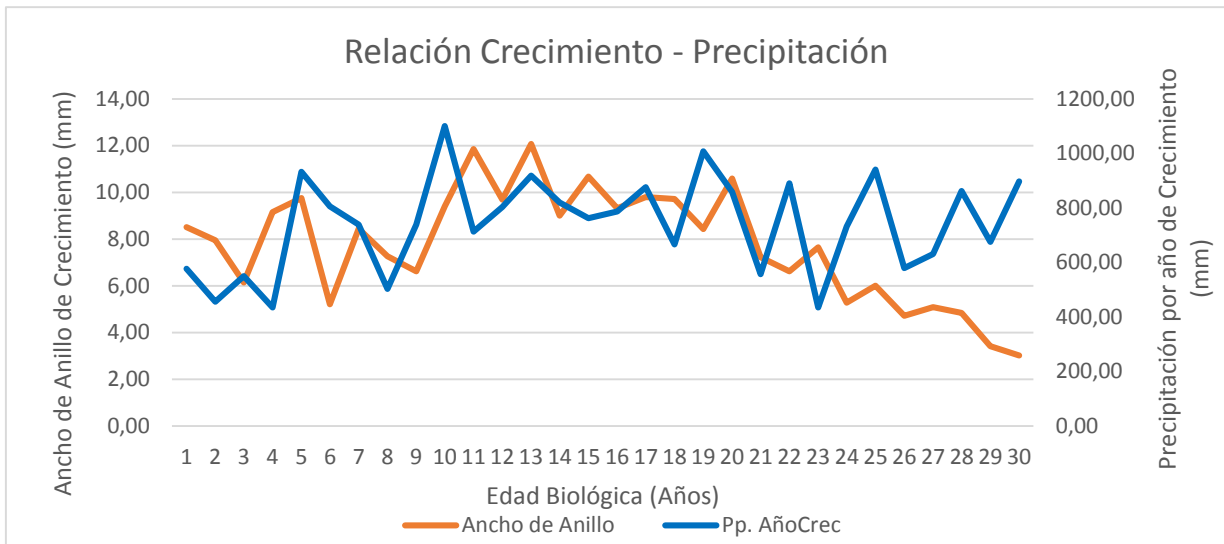
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PP_AÑO	PP_CREC
1997	116,20	168,00	119,60	56,50	5,30	0,00	0,00	0,00	10,70	28,40	54,70	138,40	697,80	502,30
1998	90,10	77,30	51,40	49,30	0,00	0,00	0,00	2,00	3,00	37,20	84,60	130,20	525,10	738,60
1999	175,80	99,80	166,60	23,00	15,60	0,00	2,20	0,60	89,10	108,60	88,30	148,00	917,60	1100,70
2000	348,20	117,70	177,50	23,10	0,20	0,00	0,00	0,00	2,00	37,90	110,80	126,50	943,90	712,80
2001	121,40	170,40	94,20	48,80	0,00	0,00	0,00	0,80	14,40	72,30	94,80	168,60	785,70	802,90
2002	132,50	162,40	133,20	22,50	1,40	0,00	0,80	0,00	0,20	225,80	65,80	32,40	777,00	918,30
2003	218,80	81,70	271,60	17,80	2,60	1,60	0,00	0,00	0,70	99,00	45,20	89,00	828,00	819,50
2004	177,00	195,90	111,90	85,60	9,00	2,40	1,80	2,00	50,90	11,40	75,80	206,70	930,40	762,70
2005	89,80	198,00	95,10	35,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,20	10,40	56,50	137,20	623,20	786,30
2006	186,60	171,60	161,20	46,20	14,40	1,00	0,00	0,00	0,00	126,90	27,60	111,50	847,00	875,70
2007	260,10	112,70	172,20	59,00	5,30	0,40	0,00	0,00	7,40	86,00	68,80	75,80	847,70	666,30
2008	149,00	132,10	123,00	24,00	0,00	0,00	0,00	0,20	3,60	30,40	77,00	386,80	926,10	1007,30

Fuente: Senamhi Tarija (2020).

Para determinar si la precipitación está relacionada con el crecimiento de los árboles de *A. acuminata H.B.K.*, es necesario elaborar un gráfico mostrando la variación de la precipitación y el ancho de los anillos en función del tiempo, Gráfico N° 8.

Los resultados completos de la precipitación de año de crecimiento para el periodo 1997 – 2020, se encuentran en el anexo 10.

Gráfico N° 8: Relación de la Precipitación con el ancho de anillo



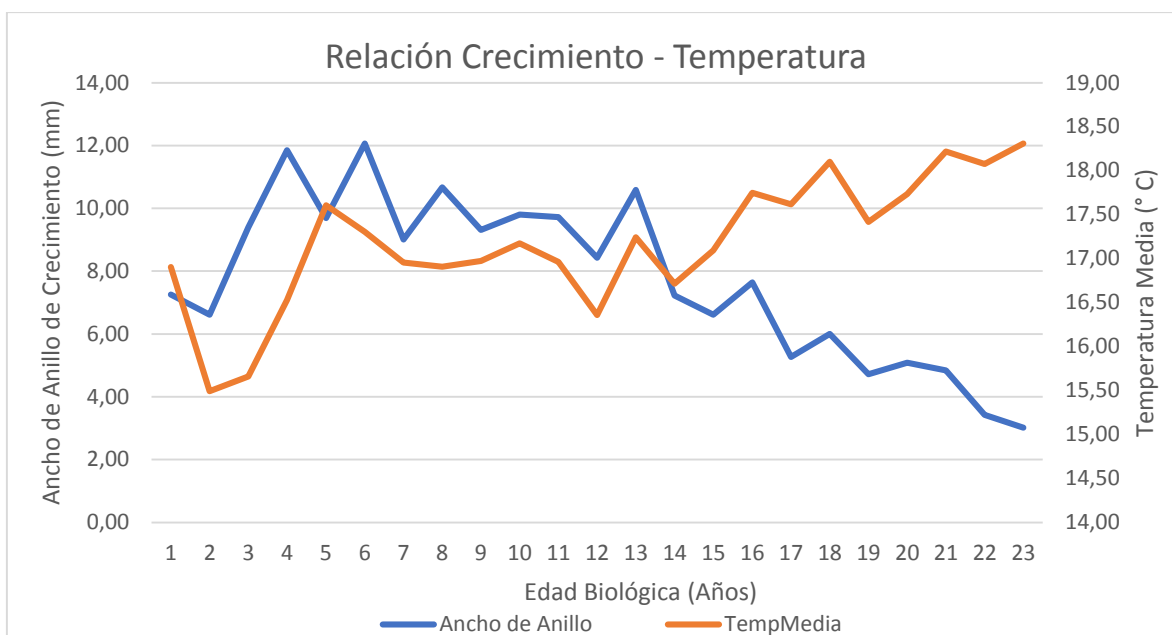
Se puede observar que en ciertos casos donde hay un incremento en la precipitación, hay un descenso en el crecimiento del anillo, así también donde se presenta un descenso de la precipitación existe un incremento en el crecimiento de los anillos, para revisar esta aseveración se acude a la prueba de correlación entre estas dos variables, habiendo verificado que la correlación no es significativa con un valor de $r = 0,157$.

Correlaciones

		Ancho de anillo	Pp. AñoCrec
Ancho de anillo	Correlación de Pearson	1	0,157
	Sig. (bilateral)		0,407
	N	30	30
Pp. AñoCrec	Correlación de Pearson	0,157	1
	Sig. (bilateral)	0,407	
	N	30	30

Habiendo tomado en cuenta que, en el valle de Tarija, las precipitaciones se concentran en primavera y verano, siguiendo el mismo procedimiento se examinó el crecimiento de los anillos con la precipitación en primavera y verano, efectuándose un comportamiento diferente del ancho de los anillos con la temperatura de año de crecimiento, Gráfico N° 8 y 9.

Gráfico N° 9: Relación del crecimiento con la temperatura



Correlaciones

Correlaciones

		Ancho de anillo	TempMedia
Ancho de anillo	Correlación de Pearson	1	-,494**
	Sig. (bilateral)		0,017
	N	30	23
TempMedia	Correlación de Pearson	-,494**	1
	Sig. (bilateral)	0,017	
	N	23	23

** . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

De acuerdo a la gráfica y la prueba de correlación que tuvo un valor de $r = -0,494$ y el alto nivel de significancia entre la temperatura media y el ancho de los anillos, se deduce que la temperatura tiene gran influencia en el crecimiento del Aliso en el Valle Central de Tarija, a mayor temperatura se obtiene un mayor crecimiento en el anillo.

Clasificación De La Madera Según Velocidad De Crecimiento

La medición del número de anillos por centímetro se tiene un número menor de 3 anillos con una distancia de 3 a 5,6 mm. Según la norma UNE 56524 se clasifica como madera de crecimiento rápido.

CUADRO N° 8: Clasificación De La Madera Según Velocidad De Crecimiento

Clase	Numero de anillos por centímetro
Maderas de crecimiento lento	Mas de (< 2,5 mm)
Maderas de crecimiento medio	De 3 a 4 (2,5 a 3,3 mm)
Maderas de crecimiento rápido	Menos de 3 (> 3,3 mm)

3.5 DISCUSIÓN

En este estudio, se presenta las primeras cronologías de anillos del aliso, una especie de gran valor maderera de acuerdo en zonas templadas y cálidas de Bolivia. De acuerdo a otras investigaciones en el país vecino del Perú, estos estudios coadyuvan para posteriores investigaciones y comparar los resultados.

Según la investigación en Perú por Juan Carlos Domínguez Varas 2013 expone que la tasa promedio de incremento en diámetro de los árboles de Aliso fue 0.867 cm/año en bosque natural y 1.252 cm/año en plantación.

La investigación en Huancayo – Perú, de la especie *Alnus acuminata* H.B.K. por M. Sc. Alejandro Félix Taquire Arroyo 2016 según su estudio expone que la función de correlación muestra que el crecimiento radial de *Alnus acuminata* H.B.K., se encuentra relacionado con condiciones climáticas de precipitación mensual de enero del año previo y año corriente ($r = 0,35$ $p < 0,05$) para 1949-2009 de la estación Huayao. Del mismo modo existe una influencia significativa negativa de la precipitación mensual de septiembre del año corriente en el crecimiento de los árboles.

Así también la función de correlación muestra que el crecimiento radial de *Alnus acuminata* H.B.K, está relacionada positivamente con la temperatura mínima mensual del mes de septiembre del año previo así mismo negativamente con la estación de otoño e invierno del año corriente siendo significativo en el mes de mayo.

La función de correlación indica que el crecimiento radial de *A. acuminata* H.B.K., se encuentra influenciado negativamente por las temperaturas mínimas de invierno y primavera del año previo y corriente. Estas correlaciones resultaron ser no significativa tomados mes por mes para 1970 – 2008 de la estación Jauja.

Las comparaciones entre la cronología de crecimiento radial de *A. acuminata* H.B.K. y la temperatura mínima mensual de Huayao (1972-2008) indican que los datos de temperatura mínima mensual representan el periodo de septiembre del año previo a agosto del año corriente. Con un coeficiente de correlación de $r = -0,38$ $p < 0,005$. Podemos ver también una correlación significativa negativa con la temperatura mínima mensual entre agosto – octubre con la cronología general de ancho de anillos entre el periodo 1972 – 2008.

Así también la investigación en Perú de la especie *Alnus acuminata*. por Edilson Jimmy Requena Rojas 2015 según la investigación realizada indica que la función de correlación muestra que el crecimiento radial de *A. acuminata* H.B.K., se encuentra relacionado con las condiciones climáticas de temperatura mínima mensual de setiembre del año previo al 95 % confianza ($r= 0,41$ $p\text{-valor}<0,05$) y negativamente con las del mes de abril del año corriente ($r= -0,33$ $p\text{-valor}<0,05$).

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Alnus acuminata H.B.K es una especie prometedora para realizar estudios dendroclimáticos y dendroecológicos, presentando una potencialidad para abrir la posibilidad de reconstruir las precipitaciones locales y la temperatura.

En base a la medición de los anillos de crecimiento la especie se desarrolla con un incremento medio anual IMA de 0,721 cm/año y un incremento corriente anual ICA en diámetro obteniendo 0,611 cm/año.

La especie *Alnus acuminata H.B.K.* tiene una relación directa entre el crecimiento en diámetro del fuste y la temperatura, con una correlación de $-0,494$ entre el crecimiento y la temperatura, mientras que en la precipitación y el crecimiento no existe correlación.

Según la medición del número de anillos por centímetro se tiene un número menor de 3 anillos con una distancia de 3 a 5,6 mm. Según la norma Une 56524 se clasifica como madera de rápido crecimiento.

4.2 RECOMENDACIONES

Realizar estudios dendrocronológicos de *Alnus acuminata* H.B.K. u otra especie con un mayor número de árboles preferentemente superior a 10, (1 rodaja por árbol). En caso de uso con barreno obtener dos a tres muestras (radios) por árbol.

Efectuar un estudio comparativo con muestras tomadas con barreno y muestras de rodajas o radios de *Alnus acuminata* H. B.K., para determinar en cuál de ellas facilita mejor la delimitación de anillos de crecimiento.

Realizar estudios dendroclimáticos, específicamente con la variable temperatura máxima, media y mínima.

Los árboles muy jóvenes pueden ser especialmente difíciles de utilizar para la datación, puesto que no contienen gran información sobre las variables climáticas, es por ello que se debe de escoger los árboles longevos.

Para facilitar el conteo de anillos y obtener una mejor datación es recomendable el uso de lijas número 80, 120, 150, 200, 220, 280, 300, 400, 500, 600 a 1200 y obtener una mejor visibilidad de los anillos.