

CAPÍTULO I
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. DENDROCROLOGÍA

Es una disciplina científica dotada de un conjunto de principios, técnicas y métodos que permiten datar los anillos de crecimiento anuales, extraer, separar e interpretar la información que contienen de los diferentes factores que han influido en su crecimiento. (Harriague, 1992).

Es un 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 (Larousse 1999).

1.1.1. Estudio de la Dendrocronología en el Mundo

Uno de los primeros iniciadores del estudio de los anillos de crecimiento según lo citado por Flores (2007), ha sido Douglas en 1901 cuya investigación fue basada bajo las siguientes premisas:

Afirma que el crecimiento de los anillos de un árbol, son la medida de su frente de nutrición, que depende en gran manera de la cantidad disponible de humedad especialmente en zonas o regiones secas, donde la cantidad de humedad es limitada y los árboles luchan por sobrevivir, y que los anillos de crecimiento son una medida de que se puede ver si hubo o no precipitación.

Si el método incluye la preparación de una curva de crecimiento de un árbol, se identifica también el crecimiento de anillos gruesos y delgados que sirven de patrones de los árboles que muestran el crecimiento en diferentes lugares.

Según Gutiérrez (2009), fue la primera investigadora en introducir la dendrocronología en Cataluña - España. De hecho, su tesis doctoral fue la primera en todo el estado español sobre el tema. Desde entonces se ha encargado de llevar a cabo investigaciones dentro de este ámbito y gran parte de las publicaciones que se hacen hoy en día sobre este tema. Aun así, actualmente hay diversos centros en España que

se dedican a la dendrocronología y que han aportado series cronológicas importantes. Por ejemplo, el CREAM (Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales) (Carolina Llorente 2012).

En Australia, para la Dendrocronología se realizó un estudio de un árbol de angiospermas que fue el *Nothofagus gunni* de Tasmania, La Marche et al. (1979), pero los mejores resultados que han sido logrados fueron con coníferas australianas. Sugieren que el ancho de los anillos es dependiente de las lluvias, sin embargo el potencial de estas especies es limitado por la corta edad, se tiene dos cronologías públicas que son de 43 y 64 años respectivamente.

1.1.1.1 Dendrocronología en América Latina

En Perú, La aplicación de la dendrocronología en la región norte del Perú se inició por la Universidad de Piura (1987), registrándose tesis de Flores (1994) y Martínez (2002), determinando las curvas del incremento radial del tronco, obteniendo una alta correlación de los índices de anchura de los anillos y los niveles de precipitación. (Rodríguez, B.C., S. Sabate, C. A. Gracia & R. y López 2005).

En Chile 1993, comienza a funcionar el primer Laboratorio de Dendrocronología en la Universidad Austral de Chile, este laboratorio ha desarrollado más de 43 cronologías para el Alerce, tanto en la Cordillera de los Andes, en el Valle Central y la cordillera de la Costa (Tagle, 1999).

En Argentina, estudios dendrocronológicos en la Selva Subtropical de Montaña en el noroeste argentino han permitido construir 12 cronologías empleando tres especies: *Cedrela Angustifolia*, *Cedrela lilloi* y *Junglans australis*. A partir de cuatro cronologías de estas doce cronologías se efectuó una extensión del registro de la precipitación (junio a noviembre) para la ciudad de Jujuy hasta el año 1788 (Villalba 1995). Los árboles de *Cedrela angustifolia* de bosques de baja latitud del norte de la Argentina y de Bolivia mostró el potencial para la Dendroclimatología, presentando crecimiento de septiembre hasta abril o mayo, seguido de caducifolia. Los anillos de crecimiento son anuales, diferentes con una buena uniformidad circular, permitiendo

obtener dataciones cruzadas de alta calidad, con la temperatura y la precipitación en el inicio de la estación de crecimiento, induciendo un aumento de la espesura de los anillos de crecimiento. (Villalba, Boninsegna & R.L. Holmes, 1985).

Para otros países de América Latina, la literatura muestra algunos trabajos científicos relacionados con la dendrocronología. En Venezuela, Dezzeo, N. M. Worbes, I. Ishii & R. Herrera (2003) examinaron la madera de los árboles de especies de la zona húmeda, encontrando los anillos de crecimiento estrechos correspondientes a las características de la inundación. Anteriormente, Worbes (1999) llevó a cabo evaluaciones de los árboles tropicales de la Reserva Forestal de Caparo, identificando los anillos formados en respuesta al clima de temporada. En Honduras, la contribución de Devall, M. S., B. R. Parresol & S. J. Wright (1995) describieron la formación de anillos anuales de algunas especies y las condiciones ecológicas de su área. En Costa Rica, los anillos de crecimiento de *Cordia alliodora* fueron analizados y sincronizados por Tschinkel (1966), continuado por Lojan (1967) con un estudio más amplio, quien relacionó respecto al clima los anillos de árboles de numerosas especies. McKenzie (1972) estudió la dinámica de la formación de anillos a través de lesiones del cambium en árboles de *Prioria copaifera*. Además Hazlett (1987) evaluó la estacionalidad de la actividad cambial de árboles de *Pentaclethra*, *Goethalsia* y *Carapa* correlacionada con las variaciones climáticas. (Citado por Flores, 2007).

México, se ha constituido en uno de los principales países de la región en la investigación sobre dendrocronología, con el registro de cronologías de anillos de crecimiento en 1940-1950 (Schulman 1944, 1956, Scott 1966) en base a árboles de *Pinus sp.*, *Pseudotsuga mensiesii* y *Abies duranguensis*. Las cronologías de anillos de crecimiento de árboles de coníferas de las regiones norte y noroeste fueron correlacionadas con las lluvias de invierno e índices de El Niño/oscilación del sur, aplicadas en la reconstrucción de esos índices (Villanueva-Díaz, J. Cerano-Paredes, D.W. Stahle, M.D. Therrell & M.K. Cleaveland 2004, 2008).

1.1.1.2 Dendrocronología en Bolivia

En Bolivia López (2003), desarrolló los primeros estudios dendrocronológicos de árboles en 11 especies comerciales, de la provincia Guarayos, Departamento de Santa Cruz, analizando los anillos de crecimiento anuales para la evaluación de los ciclos de corta de los planes de manejo forestal. En 2003 se generaron tesis sobre dendrocronología aplicada a especies de árboles en Bolivia, en la Universidad de Utrecht (Holanda) por Rijpkema, Rodenburg y Janssens y por Callejas en la Universidad Autónoma Gabriel René Moreno (Bolivia). En el mismo año el Programa de Gestión de Bosques de la Amazonía Boliviana (PROMAB), divulgó dos importantes publicaciones científicas: En la primera, Brienen & Zuidema (2003) describieron los diferentes tipos de anillos de crecimiento de los árboles de 32 especies tropicales, indicando que *Cedrelinga catenaeformis* y *Cedrela odorata* con edades máximas de 123 y 308 años respectivamente. Las formaciones forestales, fenología de las especies y los anillos de crecimiento de árboles que ocurren en Bolivia son presentadas por Roig (2000), con una tabla de 39 especies, lo que indica el potencial de la dendrocronología. Tomacello Mario. Citado por Flores (2007).

1.2. ESPECIES FORESTALES POTENCIALES PARA LA DENDROCRONOLOGÍA

Durante los años pasados, muchos investigadores han estudiado el potencial de cientos de especies de árboles y arbustos. Estas investigaciones han resultado en la publicación de listas de especies usadas en el análisis de los anillos de crecimiento.

Las coníferas ocuparon un lugar predominante en el desarrollo de la Dendrocronología debido a la simplicidad de su estructura leñosa, lo que facilita en gran medida la visibilidad de sus anillos de crecimiento (Fritts, 1976; Schweingruber, 1988, citado por Villalba y col., 2000).

Los estudios dendrocronológicos en regiones tropicales y subtropicales son muy escasos (Boninsegna & Villalba 1996, citado por Villalba y col., 2000). Esto se debe en parte a que los árboles de estas regiones en general no producen anillos de

crecimiento visibles (Jacoby, 1989, Worbes, 1995 y Argollo, 2004), citado por Beltrán, (2011).

Ya que para realizar estudios de dendrocronología las especies arbóreas deben cumplir con ciertas características principales tales como anillos de crecimiento bien definidos, uniformidad circular y una longevidad relativamente importante. (Beltrán, 2011).

1.2.1. Anillos de Crecimiento

Según Zuidema Pieter A. Citado por Flores (2007), los anillos de crecimiento son bandas concéntricas o casi concéntricas compuestas de distinta proporción de tejidos o por distinto tamaño o morfología de células, otra definición nos manifiesta que un anillo de crecimiento es un manto continuo de células que, con la forma de un cono, se sobrepone a los anillos ya existentes. Todos los años, con la llegada de la primavera, se comienza a agregar un nuevo anillo de crecimiento el que cubre fuste ramas y raíces.

Los anillos de crecimiento se deben a variaciones estacionales de temperatura, humedad y a incidentes como granizos, incendios, etc. Zuidema y Beltrán (2011).

1.2.2. Formación y Ocurrencia de los Anillos de Crecimiento.

El inicio y cese del crecimiento periódico se manifiesta en los árboles mediante características estructurales, que se reflejan en incrementos del tejido de la madera (xilema) del tallo. En plantas leñosas, el cambium vascular se activa durante la temporada de crecimiento, formando xilema hacia el interior y floema hacia el exterior (Kozlowski, 1979, Zuidema A.). Citado por Beltrán (2011).

Recordemos también que el crecimiento de las plantas, especialmente de los árboles, está básicamente influenciado por factores internos relacionados con las características genéticas propias de cada especie, como edad, tasa de división del cambium vascular, actividad fotosintética y liberación de fitohormonas, entre otros. Sin embargo, el crecimiento también está influenciado en gran medida por factores externos bióticos y abióticos, como competencia e interrelación con otros

organismos, ataque de patógenos, clima, condiciones geográficas, luz, nutrientes, disponibilidad de agua, entre otros (Fritts 1976; Panshin & de Zeeuw, 1980; Schweingruber, 1988, 1996, citado por Beltrán, 2011).

Aunque el patrón de crecimiento en los árboles puede estar afectado por factores exógenos y endógenos, la variabilidad climática deja huellas distintivas en la serie de anillos de crecimiento de los árboles (Sander, 1998, 2001; Tomazello Filho et al., 2001, citado por Beltrán (2011).

Entonces, la formación de anillos de crecimiento puede responder a ciclos bien marcados en la estacionalidad térmica o hídrica. La estacionalidad térmica es la que induce los anillos de crecimiento en los árboles de zonas templadas y frías. Por el contrario, en las regiones tropicales con estacionalidad térmica nula o muy débil, los anillos de crecimiento resultarían de una marcada estacionalidad hídrica. En regiones donde tanto la estacionalidad térmica como la hídrica son débiles, el crecimiento radial será continuo y, teóricamente, no tendríamos formación de bandas de crecimiento (Anillos de crecimiento) (López, 2006). Por tanto, la definición de los anillos de crecimiento depende principalmente de los factores externos, como el clima y las condiciones edáficas, e internos como la especie, carácter caducifolio, madurez del árbol y estructura de la madera (Worbes, 1997, citado por Ortiz y col., 2006). (Beltrán, 2011).

1.3. APLICACIONES DE LA DENDROCRONOLOGÍA

Se denomina dendrocronología a la ciencia que estudia los anillos de crecimiento de los árboles, el tiempo de formación y su relación con las condiciones medioambientales pasadas de un sitio. A su vez, es la ciencia que permite datar la madera con anillos anuales de crecimiento (Kaennel & Schweingruber 1995). Citado por Flores J. (2007).

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

Con la dendroecología de un bosque es formado en comunidades, es decir las interrelaciones de los árboles entre sí como competencia, estructura, edad, relación edad/diámetro, mortalidad y otros que pueden ser tomados en cuenta para un estudio dendrocronológico.

Existen otros fenómenos que tienen una relación dinámica del bosque con el ataque de insectos, hongos, incendios, ramoneo de la vegetación por animales que pueden cuantificarse empleando la dendrocronología (León, 2000). Citado por Leyton (2002).

La primera aplicación de 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.

1.3.1. Dendroclimatología

El clima es uno de los factores que más frecuentemente afecta el crecimiento de los árboles. Años en que la cantidad de precipitaciones y las temperaturas son adecuadas, el árbol crece relativamente más y el anillo correspondiente será relativamente más ancho, a la inversa años en que el clima es particularmente severo, el árbol crece menos y los anillos son más estrechos, si medimos entonces el ancho de los anillos tenemos una pintura o serie que representara de alguna manera el comportamiento del clima en la zona.

Utilizando las herramientas estadísticas desarrolladas para el análisis de series temporales podemos mejorar enormemente esta presentación y calibrar nuestra reconstrucción de manera cuantitativa.

Las reconstrucciones climáticas realizadas con ancho de anillos de árboles y con variaciones de la densidad de madera son reconocidas por su alta confiabilidad y por la alta resolución con que se trabaja. Citado por Leyton (2002).

1.3.2. Dendroecología

Los árboles por lo general no crecen aislados sino formando parte de comunidades las interrelaciones de los árboles entre sí, como competencia, estructura de edades, relación edad vs diámetro y otros pueden estudiarse utilizando técnicas de dendrocronología. Además, otros fenómenos que están relacionados con la dinámica del bosque como infestaciones por insectos, aparición de determinadas plagas, incendios, aumento de poblaciones animales que comen o ramonean parte de los árboles pueden cuantificarse empleando la dendrocronología. (León, 2000). Citado por Leyton (2002).

1.3.3. Producción Forestal

Cuando el hombre cultiva árboles con fines comerciales, la dendrocronología suele ser una herramienta interesante, no destructiva y de fácil manejo para evaluar el efecto de algunas prácticas silvícolas tales como poda, raleos, fertilizaciones.

Además, es posible emplear técnicas dendrocronológicas para tener información sobre velocidad de crecimiento, rendimiento y hasta posibles determinaciones de turnos de corta en especies de bosque nativo, evaluar calidad de sitio forestal. (Leyton, 2002).

1.4. PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA DENDROCRONOLOGÍA

Según Gutiérrez (2009), manifiesta que los principios básicos de la Dendrocronología son los siguientes:

1.4.1. Principio de Uniformidad:

Se establece que los principios físicos y biológicos que inciden en el crecimiento de un árbol son siempre los mismos a lo largo del tiempo.

1.4.2. Principio de los Factores Limitantes:

Los factores limitantes (suelos, actividad humana, condiciones climáticas, etc.) intervienen en el crecimiento. Este principio es fundamental en la Dendroclimatología, ya que se deben localizar los árboles más representativos que se muestren más vulnerables a los cambios climáticos. Estos árboles son los que mejor reflejan la señal climática, que posteriormente permitirá la reconstrucción de climas pasados.

1.4.3. Principio de Respuesta a la Amplitud Ecológica

Las especies crecen en virtud de los factores hereditarios que les permite adaptarse a un determinado rango de ambientes, cualquier especie puede crecer y reproducirse por encima de cierto rango de hábitat y que depende de su herencia.

Según Fritts and Swetnam (1986), este rango de hábitats en lo que vive la especie en su amplitud ecológica. Un crecimiento individual casi al margen de su rango de hábitats de la especie, es más probablemente que sea limitado por variaciones en los factores climáticos que creciendo individualmente en el medio de este rango.

1.4.4. Principio de Cofechado

El cofechado implica comparar la secuencia de los anillos de todos los árboles de una misma especie y entre otras, es posible 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.

1.5. CARACTERÍSTICAS DE ESPECIES LEÑOSAS PARA SER ESTUDIADAS EN LA DENDROCRONOLOGÍA

Según Dunwiddie (1980), citado por Flores (2007), se indica lo siguiente:

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

1.5.1. Anillos 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. Citado por Flores (2007).

En regiones templadas y frías, los incrementos anuales resultan particularmente evidentes en plantas leñosas, donde una temporada de crecimiento activo se alterna con otro sin actividad.

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. Beltrán (2011). Citado por Flores (2007).

Los anillos de crecimiento de árboles que se desarrollan en la sombra de un dosel superior suelen ser angostos, cuando se cortan los árboles grandes las hojas de los

árboles pequeños captan mayor cantidad de luz, aumentan así la velocidad de la fabricación de alimento y crecimiento, los nuevos anillos se hacen 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.

El análisis de los troncos y la confección de las tablas de volumen proporcionan bases para el diagnóstico de la producción. Por todo esto los anillos de crecimiento, prestan una valiosa ayuda en la Silvicultura, Dasonetría y Ordenación Forestal. Villalba, (1995); citado por Flores (2007).

Los círculos concéntricos del leño son resultado del desarrollo desigual que se encuentra conformado y que corresponde al tiempo en que se inició, para el árbol, el periodo vegetativo (primavera), cuando las plantas salen del periodo de latencia y reinician su actividad fisiológica.

El leño tardío, a medida que se acerca el final del periodo vegetativo, las células disminuyen su actividad vital y por esto las paredes se tornan más gruesas, los lúmenes más pequeños y presentan una coloración más oscura.

Los falsos anillos de crecimiento, que 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.

1.6. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CRECIMIENTO

Según Finegan B. (1991). Contreras F. (1998). Manifiestan que los factores que influyen el crecimiento son los siguientes.

1.6.1. Competencia

Según Finegan, (1991). 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.

La competencia en general es el elemento menos importante en el crecimiento del bosque ya que ésta se puede controlar con tratamientos silviculturales. Así mismo Finegan, distingue dos tipos de competencia:

- Competencia intraespecífica, se llama así porque la competencia no involucra una interacción entre dos organismos que compiten, sino que cada individuo responde al nivel de recurso que ha sido o ésta siendo explotado por los demás.
- Competencia interespecífica, en este caso los individuos se enfrentan directamente para impedir que sus competidores ocupen una porción de hábitat y así explotan los recursos que contienen.

1.6.2. 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 (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.

Varios autores al analizar la tendencia de crecimiento con el tamaño inicial en bosques naturales como implantados, encuentran que hay tendencia de un crecimiento

diametro mayor en árboles grandes que en pequeños, esto se puede deber a que los árboles pequeños crecen en su mayoría en condiciones de baja intensidad de luz entre los cuales se incluyen árboles con crecimiento estancado y los de tasa de crecimiento reducido debido a la posición que ocupan en el bosque o sencillamente porque son adultos de especies del sotobosque, lo que influye en los promedios, por otra parte los árboles grandes normalmente tienen mejores condiciones de luz y los árboles que logran ser grandes son por naturaleza de crecimiento rápido. Finegan (1991).

1.6.3. Forma de Copa

Contreras (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.

- Perfecta: Corresponde a las copas que presentan el mejor tamaño y forma que se observa generalmente, amplia, circular y simétrico.
- Buena: Copas que se acercan mucho al anterior nivel, silviculturamente satisfactorias pero con algún defecto leve de simetría o algún extremo de rama muerta.
- Tolerable: Apenas satisfactorias silviculturamente, evidentemente asimétricas o ralas pero aparentemente poseen capacidad de mejorar si se les da el espacio.
- Pobre: Presentan muerte regresiva en forma extensa fuertemente asimétricas y pocas ramas, pero probablemente capaces de sobrevivir.
- Muy pobre: Definitivamente degradadas o suprimidas o muy dañadas pero con posibilidades de incrementar su tasa de crecimiento como respuesta a la liberación.

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.

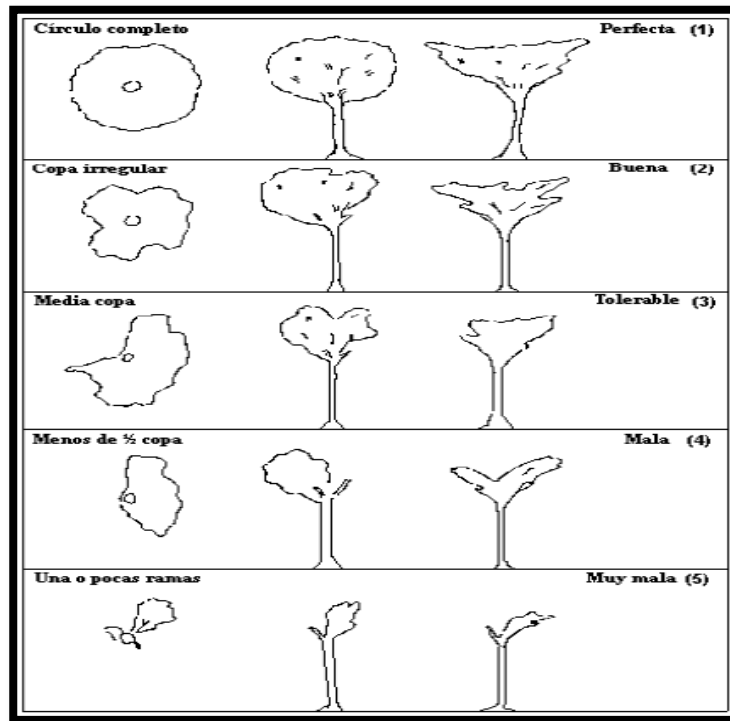


Gráfico N° 1 “Forma de la Copa”

Fuente: *Guía para la instalación y evaluación de parcelas permanentes de muestreo*

1.6.4. Densidad de la Masa

Existe una relación directa entre espaciamiento y desarrollo dimétrico, es decir que a menor densidad mayor es el crecimiento en diámetro, esta relación está afectada por la edad, la especie y la calidad del sitio. La Marche (1980). Citado por Flores (2007).

Las intervenciones silviculturales que pueden aplicarse como parte de un esquema de manejo, tienden a acelerar la dinámica natural de la masa forestal, uno de los factores es la competencia entre individuos, cuando se establece una plantación, la competencia es mínima pero en la medida que los árboles crecen comienzan a ejercer un efecto sobre el medio.

Los efectos de un raleo sobre las variables de un rodal son muy semejantes a los que produce una variación en el espaciamiento de plantación, ya que en ambos casos se está afectando la disponibilidad de espacio de crecimiento de cada uno de los árboles, el diámetro medio del rodal está relacionado con la intensidad, inicio y periodicidad de los raleos.

Un raleo más intenso produce un mayor desarrollo dimétrico; un raleo temprano produce una mejor respuesta en diámetro y una disminución en los intervalos entre raleos, también tiene un efecto positivo en esta variable. Bass Werner (2002). Citado por Flores (2007).

1.7. OTROS FACTORES QUE AFECTAN AL CRECIMIENTO

A continuación, se puede hacer mención de otros factores considerados que afectan el crecimiento de los árboles: Álvarez (2002).

- Estado sanitario del árbol y del fuste: Refleja la habitabilidad del árbol, guarda estrecha relación con su crecimiento e incremento, al mismo tiempo indica la situación en que se encuentra.
- Características genéticas: Existen diferencia de crecimiento entre especies y dentro de la misma especie. Por esta razón es importante agruparlas de acuerdo a su temperamento o rango de incremento.
- Vigor: Es la capacidad interior de cada individuo de aprovechar los recursos del medio, agua, luz y nutrientes. el vigor se pierde por factores internos y externos como ser plagas y enfermedades.
- Edad o etapa de desarrollo: Este factor se asocia con las dimensiones de los árboles, se asumen que los árboles más grandes son los que poseen mayor edad.
- Factores de sitio: Uno de los factores más influyentes es el clima, como es el factor que causa la variación periódica de crecimiento tomando en consideración que estas tienen una periodicidad diurna, nocturna y anual. en varios estudios de la periodicidad del crecimiento en bosques húmedos tropicales. Citado por Siteo (1992) dentro de éstos se encuentran que la

temperatura, la precipitación anual, muestran conclusiones fuertes y significativas con el incremento dimétrico, sin embargo algunos autores observan que en regiones donde no hay una de marcada periodicidad de estas variables no se encuentra correlación significativa especialmente en especies siempre verdes.

1.8. LÍMITES DE CRECIMIENTO

Según Valerio salas (1998), citado por Flores (2007). Los límites de crecimiento están determinados por los siguientes:

- Relación de la superficie y el volumen: Cuando la proporción de la superficie con el volumen no lleguen a alcanzar niveles críticos, el árbol continúa creciendo. Este volumen requiere de los productos de la síntesis para alcanzar su superficie.
- El follaje y las raíces, no son capaces de abastecer satisfactoriamente el crecimiento, estos disminuyen hasta detenerse y eventualmente el árbol comienza a perder ramas y luego muere.
- La relación entre la albura, Tejido de conducción y el duramen, tejido de soporte estructural: El Representa un factor que limita el crecimiento, cuando la cantidad de duramen necesaria para mantener el árbol en pie Es proporcionalmente mayor que la albura, el balance energético es desfavorable y el crecimiento disminuye hasta detenerse.

1.9. 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. Nina (1999). Citado por Flores (2007).

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 visible 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 anillos anormalmente estrechos pueden provocar errores en la estimación de la edad. (Beltrán, 2011).

1.10. 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 período 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.

Según Álvarez (2002), El patrón de crecimiento diametral de árbol de una especie heliófita o de luz (aquella que no soporta la sombra o la cubierta para reproducirse y para desarrollarse correctamente durante las primeras fases de su vida) está generalmente definida por tres etapas:

- Una inicial antes del cierre de copas de la masa donde el crecimiento en diámetro es elevado, al no verse afectado por la competencia con otros árboles.
- Otra intermedia donde el crecimiento disminuye, aunque los árboles son capaces de responder rápidamente a tratamientos como claras o fertilizantes.

- Y una final de disminución de crecimiento y falta de respuestas ante claras.

Por el contrario el patrón de crecimiento de un árbol de una especie umbrófila o de sombra (Aquella que requiere o tolera la sombra por la cubierta para reproducirse y desarrollarse correctamente durante las primeras fases de su vida) exhibirá una fase inicial de crecimiento muy lento hasta que se ha liberado de la cubierta, momento en el que se aumentará muy rápidamente.

A igualdad de otros factores, el crecimiento diametral es mayor en los terrenos de mejor calidad de estación en los que el árbol encuentra las mejores condiciones para su desarrollo.

Uno de los factores que más influyen en el crecimiento en diámetro de un árbol es la silvicultura aplicada y concretamente el manejo de la densidad de la masa, que se regula mediante las operaciones de claras, densidades bajas favorecen el crecimiento diametral de los árboles al disminuir la competencia entre individuos.

El crecimiento en diámetro tampoco es uniforme a lo largo de toda la longitud del tronco; sin embargo a efectos prácticos se puede considerar sólo el estudio del crecimiento del diámetro normal, al ser éste el que se puede medir en los inventarios forestales.

1.11. ANÁLISIS TRONCAL DEL ÁRBOL

Procedimiento para conocer el crecimiento e incremento del árbol durante su vida que consiste en la medición y representación gráfica del crecimiento en diámetro y altura de los árboles. (Álvarez, 2002).

1.11.1. Anillo Anual

En la madera y en la corteza capa correspondiente al período de un año, según se observa en la sección transversal de un tronco. (Padilla, 1987)

1.11.2 Anillo de Crecimiento

Periodo de crecimiento representado por células xilémicas producidas por el cambium vascular, estos periodos vistos a simple vista en corte transversal de un tallo

se ven como anillos concéntricos, en árboles de zonas templadas generalmente estos periodos de crecimiento se producen por un año por lo que se les ha llamado anillos anuales, en especies de zonas tropicales los periodos de crecimiento pueden producir un número variado de anillos por año. (Padilla, 1987).

1.11.3. Anillo de Falso Crecimiento

Resultado de un crecimiento tardío estimulado que presenta el aspecto de dos anillos producidos en un año. (Padilla, 1987).

1.12. CRECIMIENTO DIAMETRAL

Desde el punto de vista biológico es simplemente el desarrollo de 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 ese desarrollo puede ser en diámetro altura Área Bisimétrica y volumen. (Padilla, 1987).

1.12.1. Incremento

Es la magnitud de crecimiento en otras palabras se puede definir como la diferencia de mediciones de algunas 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, 2007).

1.12.2. Incremento Corriente Anual (ICA)

Cantidad de aumento de un árbol o 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).

1.12.3. Incremento Medio Anual (IMA)

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

1.12.4. Incremento Total

Crecimiento de un árbol o masa forestal durante toda su vida. (Flores, 2007).

1.13. TIEMPOS DE PASO

Determina el número de años que tardan los árboles en pasar de una clase diamétrica a la inmediata superior. Determina el tiempo requerido para que un individuo pase del límite inferior de una clase diamétrica al límite superior de la misma clase diamétrica, este concepto se utiliza para calcular las edades de las cuales los árboles van alcanzando los diferentes diámetros. Ávila (2003).

1.14. LOS ÁRBOLES REGISTRAN EL PASO DEL TIEMPO

1.14.1. Características Peculiares de los Árboles

Los árboles son plantas perennes con una gran cantidad de madera, son los organismos más grandes y longevos. Algunos ejemplares miden más de 100 m de altura. A su vez, se ha comprobado, contando sus anillos, que algunos árboles pueden vivir hasta los 9.550 como es el caso del Abeto falso en Suecia. En España, los árboles vivos más viejos encontrados son individuos de *Pinus nigra* con unos 1000 años (Andalucía) y de *Pinus uncinata* con más de 800 años (Pirineo). La larga vida de los árboles y sus grandes dimensiones se deben a un crecimiento continuo sobre las estructuras ya formadas y a que los materiales de construcción, la celulosa y la lignina, son muy recalcitrantes a la descomposición. También son organismos inmóviles y allí donde nacen pasan toda la vida registrando aquellos acontecimientos que hayan podido afectar a sus procesos de crecimiento. Gutiérrez (2009).

1.14.2. El Crecimiento de los Arboles

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 meristemas 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 cambium (Fig. 2). 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. Gutiérrez (2009).

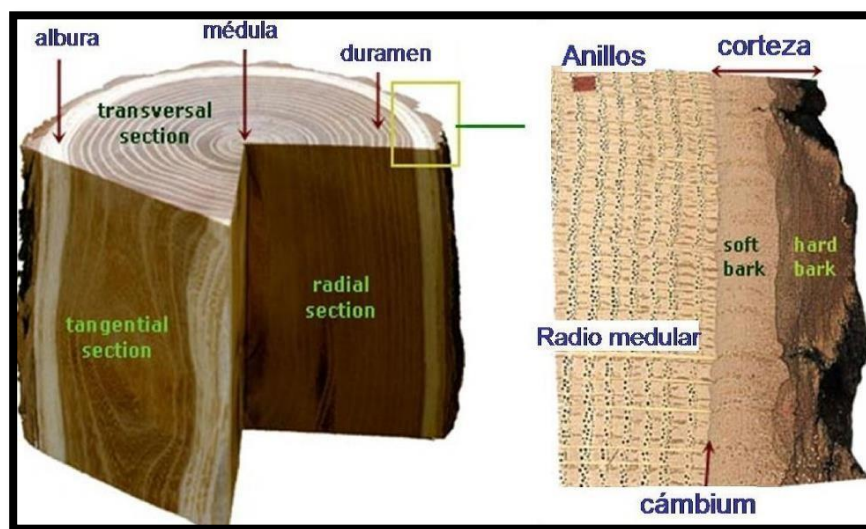


Gráfico N° 2 Cortés anatómicos de la madera

Fuente: http://revistes.ub.edu/index.php/b_on/index

El Gráfico N° 2, muestra: Derecha, estructura de la madera del tronco de un Roble vista según tres secciones de corte: transversal, radial y tangencial. La parte más oscura del interior es el duramen el cual está rodeado de una capa más clara, la albura. Los anillos muestran la típica disposición concéntrica alrededor de la médula (sección transversal). Izquierda, ampliación de la parte más externa del tronco. El cambium está situado entre la madera y la corteza. El último anillo formado es el que se encuentra justo debajo de la corteza. Los poros que se observan al principio de los anillos son los vasos del sistema conductor de la savia bruta. Este tipo de estructura corresponde a maderas de anillo poroso.

1.14.3. La Formación de los Anillos: El Registro Anual del Tiempo

El crecimiento de los árboles no es continuo y se detiene en algún momento debido a la limitación impuesta por algún factor externo o/y interno, formándose los anillos. En muchas zonas del planeta con una estacionalidad climática marcada, los árboles detienen el crecimiento durante la época desfavorable y lo vuelven a iniciar cuando las condiciones climáticas son otra vez favorables. Este patrón anual de actividad y reposo queda marcado en la estructura de la madera en forma de capas concéntricas anuales, las cuales, en un corte transversal, se ven como anillos. Gutiérrez (2009).

En la formación del anillo anual, la producción de nuevas células de xilema (madera) es rápida al principio, se enlentece a medida que avanza el verano y, finalmente, se detiene cuando las temperaturas vuelven a ser bajas. Estas diferencias de velocidad en la formación de las células también quedan reflejadas en las características de la madera de los anillos. Así y debido a los cambios en el ritmo de la formación de un anillo, las células de la madera que lo forman también son distintas. La madera temprana, formada al principio del periodo de crecimiento, es distinta de la madera tardía, la formada al final, y por esta razón en el anillo anual de muchas especies se suelen distinguir dos bandas.

1.14.4. Tipos de Anillos: Anatomía de la Madera

En las coníferas o gimnospermas (pinos, abetos, etc) la madera temprana es más clara y está formada por células (traqueidas) más grandes de paredes celulares finas. Por el contrario, la madera tardía es más oscura y está formada por células más pequeñas de paredes celulares más gruesas. En estas especies la casi totalidad de la madera (95%), está formada por traqueidas pero las diferencias de tamaño y coloración entre la madera tardía de un anillo y la temprana del siguiente permiten la identificación y la datación de los anillos, según el Gráfico siguiente. Gutiérrez (2009).

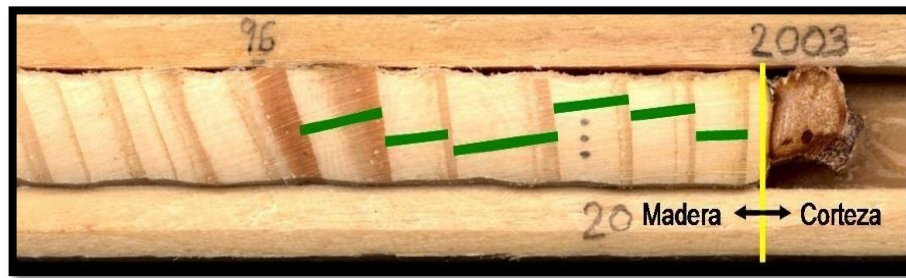


Gráfico N° 3 Testigo de conífera. La línea amarilla marca el fin de la corteza y las líneas verdes marcan los diferentes anillos.

Fuente: http://revistes.ub.edu/index.php/b_on/index

Gráfico N° 3: Testigo de madera pegado, pulido y datado sobre un soporte de madera. El último año de crecimiento todavía sin acabar es el 2003, justo debajo de la corteza. Cada anillo de crecimiento anual corresponde a una banda de madera temprana (banda clara) y otra de madera tardía (banda más oscura). Puede apreciarse la variabilidad en el grosor de los anillos (se han marcado los 6 últimos) así como en el grosor de la madera temprana y tardía. También puede observarse que hay bandas oscuras dentro de algunos anillos; estas bandas se forman como consecuencia de la parada del crecimiento durante el periodo favorable debido, normalmente a la falta de agua. Gutiérrez (2009).

1.15. MEDICIÓN DE LOS ANILLOS Y VALIDACIÓN ESTADÍSTICA DE LA DATACIÓN

Una vez que las series individuales se han datado e ínterdatado se mide el grosor de los anillos. La validación estadística de las dataciones se lleva a cabo determinando el grado de sincronía entre las series mediante el coeficiente de correlación con un nivel de significación del 95% y 99%. El programa estadístico más utilizado es el COFECHA. Holmes (1983). Los pasos fundamentales que realiza este programa son:

- Eliminar la tendencia debida a la edad y calcular los residuos para que las series sean estacionarias, con la misma media.

- Comparar cada serie individual con la cronología maestra elaborada con el resto de series. Es decir, en la cronología maestra nunca interviene la serie que está siendo comparada. La comparación consiste en calcular el coeficiente de correlación, una medida del grado de sincronía entre series. El resultado nos da tantos coeficientes de correlación como series haya.
- Calcula la correlación entre la cronología maestra y cada serie por segmentos de años que el usuario puede especificar, por defecto son de 50 años ($r = 0,328$; $p < 0,01$). Además, computa el coeficiente de correlación desplazando la serie sobre la cronología maestra 10 posiciones hacia un lado y otras 10 posiciones hacia el otro, el objetivo es determinar si hay alguna posición que de una mejor correlación, en tal caso querría decir que hay anillos ausentes o que hay algún anillo repetido. También nos informa de potenciales errores de medición.
- A continuación la serie se desplaza 25 años hacia atrás, con lo cual hay una superposición de 25 con el segmento anterior, y se repite todo el proceso explicado en el punto 3. Y, así sucesivamente hasta que se analiza la serie en toda su longitud.

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, la cronología.

Así, la sincronía en las fluctuaciones interanuales y el patrón común de anillos característicos de los árboles de una región es lo que permite la interdatación y finalmente la datación absoluta de los anillos, asignando de manera definitiva y precisa del año que corresponde a cada anillo. Gutiérrez (2009).

1.16. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁRBOL

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

1.16.1. Altura Total

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

1.16.2. 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.

1.16.3. 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.

1.16.4. Planos de Corte

La descripción de los elementos leñosos se da mediante las siguientes secciones o planos de corte de 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 paralelos a los radios desde la corteza hasta la médula.
 - Sección Tangencial: Si el plano de corte sigue una dirección perpendicular a los radios o tangentes a los anillos de crecimiento.

1.17. DESCRIPCION DE LA ESPECIE EN ESTUDIO

Taxonomía

Reino:	Plantae
División:	Pinophyta
Clase:	Pinopsida
Orden:	Pinales
Familia:	Cupressaceae
Género:	Cupressus
Especie:	<i>C. macrocarpa</i>

Este árbol es originario del sudoeste de los EE.U.U, presenta una copa ancha y abovedada, llegando a alcanzar los 30 m. pequeños hojas escamiformes, de color verde oscuro, bastante gruesas y de ápice obtuso no punzante, Suele mantener hojas aciculares de primera edad durante bastante tiempo. Al frotar las hojas desprenden olor a limón o mandarina. Corteza rojiza muy agrietada. Estróbilos femeninos y masculinos, los primeros de 4 cm, redondeados y verdes que tornan a púrpura al madurar, y los segundos de 5 cm igualmente redondeados y amarillos. Zubieta. (2012).

El Tronco es ensanchado en la base y a veces dividido en dos a partir de cierta altura. Ramillas bastante gruesas, de 1.5-2 mm de grosor, subtetrágonas, Conos subglobosos de 25-35 mm de diámetro, de color marrón rojizo y grisáceo en la madurez, formados por 8-12 escamas. Pueden permanecer cerrados en el árbol durante varios años. Maduración bianual. Contienen numerosas semillas de ala estrecha que tienen diminutas ampollas de resina en su superficie. Zubieta (2012).

1.17.1. Cultivo y usos:

Se multiplica por semillas, y las variedades se injertan. Especie poco exigente en suelos que tolera incluso la cercanía al mar. Cultivado en todo el mundo por sus valores ornamentales. Uno de los cultivares más difundido es 'Lutea' (más conocido como Lambertiana aurea), de porte extendido y follaje dorado. Se suele cultivar de forma aislada o formando grupos. Zubieta. (2012).

CAPÍTULO II
MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

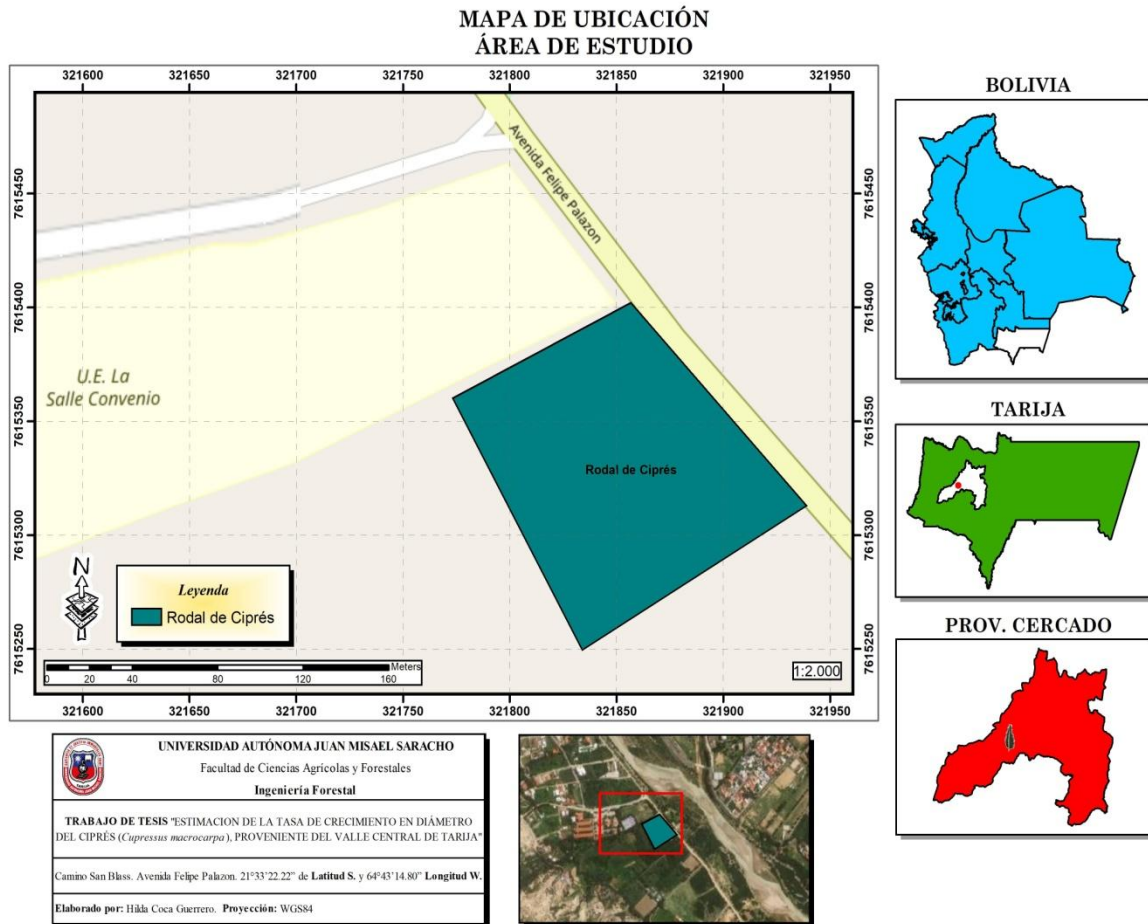
2.1.1. Ubicación

El Municipio de Tarija, sección municipal única de la provincia Cercado del departamento de Tarija comprende la ciudad de Tarija capital con aproximadamente 75 comunidades rurales, se encuentra ubicado dentro del Valle Central de Tarija, con alturas que varía desde los 1.250 metros sobre nivel del mar en la parte más baja, por la comunidad de Tipas, llegando al piedemonte con altura de 2.100 msnm y pasando a elevaciones más altas de 4.300 msnm, como la montaña de la Reserva Biológica de Sama. (Gobierno Municipal de Tarija, 2007).

La provincia Cercado, limita al norte con las provincias Méndez y al sur con la provincia Avilés, al este con O'Connor y al oeste con la provincia Méndez. Geográficamente se encuentra ubicado entre las coordenadas mínima 21° 51' 30'' latitud S. 64° 59' 51'' longitud W; la máxima 21° 08' 07'' latitud S. y 64° 17' 42'' de longitud oeste.

La zona de extracción del material de investigación, se encuentra en la provincia Cercado del Departamento de Tarija, dentro de los predios del terreno del Sr. Pedro Brozovich. El acceso a la propiedad, es a través del camino carretero de San Blas, con acceso a través de la avenida Felipe Palazón, la cual tiene una parte de camino asfaltado y lo demás de tierra, limitando como colindante con la familia Campero al Sur-Este, al Sur-Oeste con la familia Fernández, y un canal de desagüe, al Nor-Oeste con el colegio La Salle, y al Nor-Este con la Avenida Felipe Palazón correspondientes al camino de San Blas. Con las siguientes coordenadas 21°33'22.22'' de Latitud S. y 64°43'14.80'' Longitud W. *VER MAPA ANEXO I.*

Gráfico N° 4: MAPA DE UBICACIÓN DE EXTRACCIÓN DE LOS ÁRBOLES



Fuente: Elaboración propia. 2020

2.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1.2.1. Clima

La Provincia Cercado es la región que tiene instalada una red aceptable de estaciones meteorológicas, consistente en 7 estaciones climáticas y 10 estaciones pluviométricas, la de mayor información record es la estación Aeropuerto y la más completa El Tejar.

Su clima es templado, con una temperatura promedio de 18°C, aunque cada estación es muy marcada. Durante los inviernos (especialmente durante el mes de julio) la temperatura suele descender por debajo de los 0 C, llegando a disminuciones térmicas inusuales para la latitud y altitud.

Los inviernos suelen tener temperaturas agradables durante el día y frías durante las noches. El clima de Tarija puede ser clasificado como Clima Semiárido Cálido (BSh/BSk) - fronterizo con el clima oceánico de invierno seco (Cwb), según la clasificación climática de Köppen. . (SENAMHI 2017).

2.1.2.2. Temperatura

La temperatura media oscila alrededor de 17°C, con máximas extremas que sobrepasan 30°C en verano y mínimas de hasta -9.6°C en invierno. La localidad de cercado se caracteriza por tener un clima templado. (SENAMHI 2017).

En forma general el clima de la provincia Cercado, en función a 9 estaciones climáticas, se presenta con una temperatura media anual de 17,4° C, la máxima media de 25,5° C, mínima de 9,4° C, se tiene en verano extrema máxima de 39,4° C, y extrema mínima de invierno de -8,6° C, tal como se muestra en el cuadro siguiente.

Cuadro N° 1: Provincia Cercado: Área Rural; Temperatura Media

ESTACIONES	TEMPERATURA MEDIA °C											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Aeropuerto	20,7	20,3	19,9	18,3	15,4	13,3	13,1	15	16,8	19,4	20,2	20,7
El Tejar	21	20,5	20,2	18,6	15,7	13,7	13,5	15,4	17	19,5	20,3	20,9
San Jacinto Sud	20,6	20,2	20	18,6	16,1	13,9	13,8	15,3	16,6	19,3	20	20,7

Fuente: SENAMH, I 2017

2.1.2.3. Precipitación

La precipitación media anual es de 605.2 mm, el 85% de la precipitación está concentrada en los meses de noviembre a marzo, existiendo un 90% de probabilidad que las precipitaciones no sean mayores a los 630 mm y un 50% de que no sean mayores a 550 mm.

La precipitación se caracteriza por periodos relativamente cortos de lluvias (noviembre - abril), con regímenes de precipitaciones muy variables en cuanto a frecuencia e intensidad y con un periodo largo de estiaje (mayo-octubre), periodo en el cual es más notorio el déficit de agua en las subcuencas del Río Santa Ana, Sella y El Monte. (SENAMHI, 2017).

2.1.2.4. Suelos

Por las características geomorfológicas del Valle de Tarija, los suelos son moderadamente desarrollados, de profundos a moderadamente profundos, sometidas a fuertes limitaciones de erosión. Los suelos tienen origen de sedimentos fluvio lacustre, aluviales y coluviales, intemperismo y meteorización con alteraciones físicas y químicas.

La pendiente predominante es de ligeramente inclinado (2 - 5%) a inclinado (5 a 10%). La forma de la pendiente es convexa, el microrelieve presenta pequeñas ondulaciones; la cobertura de vegetación se compone de Churquial alto moderadamente degradado, Chañares y Algarrobales degradados. Los suelos en general tienen profundidad efectiva y radicular moderadamente profundas (50 - 100

cm), el drenaje es de clase bien drenado, la permeabilidad o drenaje interno es moderadamente rápido y el drenaje externo presenta escurrimiento moderadamente rápido, el perfil al momento de su evaluación presentaba humedad.

En la superficie se observa erosión hídrica severa en sus tipos de laminar a cárcavas principalmente en los límites de las disecciones, en las quebradas existe derrumbe por socavamiento fluvial.

2.1.2.5. Vegetación

En la zona de llanura aluvial, una de las formaciones que ocupa más superficie y predomina en todo el valle central y parte de las colinas bajas, es el matorral bajo a alto, de cobertura variable en lo general ralo a abierto, deciduo y xerofítico, con predominancia en su mayoría por *Acacia caven* (Churqui), en los sitios con avanzada degradación la especie *Prosopis alpataco* (Taquillo), asociadas a especies suculentas y gramínoideas bien adaptados a estas condiciones climáticas.

Se hace presente también la formación herbácea, distribuida desde las llanuras erosionadas hasta las serranías que rodean el valle. Desde los límites entre los valles hasta cerca de la media ladera son pastizal con arbustos emergentes, en donde los arbustos forman matorrales en manchas localizadas en sectores con mayor humedad en el suelo.

Finalmente, en las áreas intervenidas o antrópicas, que exhiben una mayor alteración por las actividades agrícolas, pecuarias, agroforestales, usos urbanos, etc. Comprende desde unidades netamente agrícolas, hasta unidades misceláneas conformadas por un patrón irregular de parcelas agrícolas mezclados con matorrales, pastizales y otras coberturas.

Cuadro N° 2: Las principales especies nativas de arbustos en la zona de San Blas.

Nombre común	Nombre científico	Familia
Churqui	<i>Acacia caven mol.</i>	Leguminosae
Molle	<i>Schinus molle L.</i>	Anacardiaceae
Algarrobo	<i>Prosopis alba sp.</i>	Leguminosae
Jarca	<i>Acacia visco lor. griseb</i>	Leguminosae
Chañar	<i>Geoffroea decorticans</i>	Leguminosae

Fuente: (Gobierno Municipal de la Ciudad de Tarija, 2007)

Cuadro N° 3: Cultivos frutícolas más comunes en San Blas.

Nombre común	Nombre científico	Familia
Duraznero	<i>Prunus pérsica L.</i>	Rosaceae
Higuera	<i>Ficus carica L.</i>	Moraceae

Fuente: (Gobierno Municipal de la Ciudad de Tarija, 2007)

2.1.2.6. Agricultura

Se desarrolla, bajo dos formas de producción agrícola: 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. (Gobierno Municipal de Tarija, 2007).

2.2. MATERIALES

Los materiales que se utilizarán para el presente estudio se agrupan de acuerdo a las fases de trabajo los cuales se mencionan los siguientes:

2.2.1. Fase de Gabinete

- Información bibliográfica
- Computadora
- Impresora
- Material de escritorio

2.2.2. Fase de Campo

- Calculadora
- Cinta Diamétrica
- Pintura látex
- Pinceles
- Motosierra
- Cámara fotográfica
- Machetes
- Material vegetal
- Bolsa de colectas
- Planillas de campo
- Tableros de campo
- Libreta de anotaciones.

2.2.3. Fases de Laboratorio

- Vernier
- Alfileres lapiceras lápices
- Regla milimétrica
- Martillo
- Cámara fotográfica
- Calculadora
- Cepillo manual
- Lijas de diferentes granulometría
- Rodajas
- Lupa.

2.3. MÉTODOS

2.3.1. Selección del Área del Estudio

Las mediciones dasométricas y extracción de árboles, se realizó en la zona de San Blas, en un rodal de Ciprés, ubicado al margen derecha del río Guadalquivir, mientras que el trabajo de preparado de muestras, identificación y medición de anillos, se lo realizó en el Laboratorio de Tecnología de la Madera, ubicado en el campus universitario (U.A.J.M.S).

2.3.1.1 Muestreo al azar

Para determinar los arboles objeto de estudio, se aplicó un muestreo al azar, debido a que las unidades a medirse, debían tener la misma probabilidad de ser elegidos, además este muestreo carece de errores sistemáticos. Dicho de otro modo, la idea fundamental en este tipo de muestreo, fue seleccionar una muestra de N unidades, con la misma posibilidad de ser escogida.

Por otro lado, se consideró la necesidad de asegurarse de que en cualquier etapa del muestreo, la elección de cualquier unidad no se vea influida por las otras unidades que fueron escogidas con anterioridad, o lo que es lo mismo que la elección de cualquier unidad dada debe ser totalmente independiente de la elección del resto de unidades.

2.3.2. Selección de los Árboles para ser apeados

Se seleccionaron cinco árboles al azar de la plantación forestal, los cuales fueron marcados y posteriormente apeados. Al momento de la selección, se consideró la clase diamétrica, y características de sanidad, calidad del fuste y forma copa (árboles sanos y de fuste limpio).

2.3.2.1. Apeo de Árboles

La corta de árboles se realizó con motosierra, previamente a esta actividad se registraron todas las características de los árboles (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 obtuvieron las tortas para el estudio, cuidando la calidad de las mismas, afín de que puedan observarse sin dificultad los anillos de crecimiento.

2.3.2.2. Obtención de Muestras (Rodajas)

Las muestras se obtuvieron a una altura del suelo de 39,20 cm, con un espesor entre 10 a 11 centímetros, luego se hizo la respectiva codificación de las rodajas para facilitar su identificación.

Cuadro N° 4: Codificación de las muestras

Especie	N° De Muestras
<i>Cupressus macrocarpa</i>	M.1
<i>Cupressus macrocarpa</i>	M.2
<i>Cupressus macrocarpa</i>	M.3
<i>Cupressus macrocarpa</i>	M.4
<i>Cupressus macrocarpa</i>	M.5

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2.3. Cepillado y Lijado

En esta etapa se llevó a cabo el cepillado correspondiente de las respectivas rodajas, se tuvo mucho cuidado ya que fue muy dificultosa para algunas de las muestras por tener un diámetro elevado, además por la contra fibra del corte.

Se lo realizo en la cara que presentaba mejores condiciones de trabajabilidad, preparando de esta manera para el respectivo lijado de las rodajas. El cual se lo realizó sobre la cara bien cepillada, con una serie de lijas de diferentes granulometrías (100 – 150), con la finalidad de obtener una superficie perfectamente pulida.

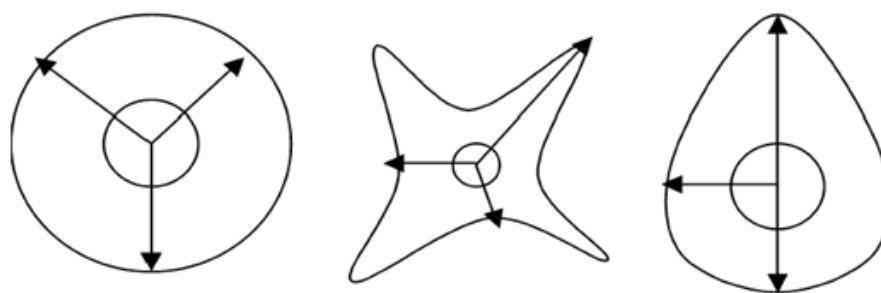
2.3.2.4. Observación de la Sección Transversal.

Se procedió a la observación macroscópica de las secciones, con la ayuda de lupas de 10 μ m de aumento para observar con mayor claridad los diferentes anillos de crecimiento.

2.3.2.5. Marcado y Medición de los Anillos

Se midió los tres radios, un radio mayor, un radio menor y un intermedio. Luego se procedió a la marcación con alfileres en cada uno de los anillos de crecimiento partiendo desde la médula. Se trabajó con tres radios para poder tener más información sobre los anillos de la especie y así poder identificar cuáles eran anillos falsos y anillos anuales.

GRÁFICO N° 5 Medición de los Radios



Otro factor que se tomó en cuenta es la circularidad de la rodaja como se presenta en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 5 Formas de las rodajas

N° de Árboles	Rodajas	Formas de las rodajas	Calidad del árbol
1	1	Irregular – Aovada	2
2	1	Irregular *	2
3	1	Irregular *	2
4	1	Irregular *	2
5	1	Circular	1

Fuente: Elaboración propia. 2020

(*): Que no tiene un ángulo recto, no es regular o uniforme en cuanto a la forma.

Posteriormente, se hizo la medición de los respectivos anillos de crecimiento con la ayuda del vernier, registrando los datos en una planilla construida para tal actividad. Los datos de registro de los anillos de crecimiento se encuentran en ANEXO 3.

2.3.2.6. Determinación del Incremento Corriente Anual (ICA)

Según Flores (2007), El ICA (Incremento Corriente Anual), es el crecimiento que se desarrolla en un determinado tiempo, es decir que es lo que crece en diámetro dentro de uno o varios años y puede expresarse de la siguiente manera:

$$ICA = \frac{\text{Incremento}}{\text{Diferencia de tiempo}}$$

Para el método se utiliza la siguiente ecuación:

$$ICA = \frac{DAP_2 - DAP_1}{T}$$

Donde:

ICA = incremento corriente anual

DAP₁ = Diámetro en la primera medición, (cm)

DAP₂ = Diámetro en la segunda medición, (cm)

T= Tiempo transcurridos entre las mediciones, (años)

Por ejemplo, en el Cuadro N° 6: Análisis multitemporal de crecimiento en diámetro de *Cupressus macrocarpa*, se muestra que a los 2 años, los plántones tienen un promedio de 0.89 cm de diámetro y a los 5 años alcanzan 3.23 cm de DAP. El tiempo transcurrido entre 2 y 5 años es 3 años. Con estos valores se aplica la ecuación del ICA.

Cuadro N° 6 Datos extraídos del análisis multitemporal de crecimiento en diámetro de *Cupressus Macrocarpa*

ARBOL	2 Años	5 Años	10 Años	15 Años
	DAP (cm)	DAP (cm)	DAP (cm)	DAP (cm)
Árboles	5	5	5	5
Media DAP	0.890	3.230	8.090	12.600
ICA DAP	0.443	0.780	0.973	0.902
IMA DAP	0.443	0.646	0.809	0.840

$$ICA = \frac{3,23 - 0,89}{3} = 0,78 \text{ cm/año}$$

El Incremento Corriente Anual (ICA) del diámetro del fuste, entre la primera medición (2 años) y la segunda medición (5 años) es 0,78 cm/año, esto, significa que, si inicialmente el diámetro era 0,89 cm, durante los próximos 3 años el incremento será de 0,78 cm/año, hasta alcanzar 3,23 cm de DAP.

2.3.2.7. Determinación del Incremento Medio Anual (IMA)

El Incremento Medio Anual (IMA), es el crecimiento acumulado relacionado con la edad (BOLFOR 1998), por ejemplo, si a la edad de 15 años el DAP es 12,6 cm, aplicando la relación, se tiene:

$$IMA = \frac{12,60}{15} = 0,84 \text{ cm/año}$$

Quiere decir que cada año, el diámetro, fue incrementando 0,84 cm, hasta alcanzar en 15 años 12,60 cm. (Ver cuadro N° 6)

2.3.2.8. Determinación del Incremento Corriente Anual ajustado (ICAa)

Para la determinación del ICAa (Incremento Corriente Anual ajustado), con los valores promedios de los diámetros en cm para los años de observación y el ICA-promedio, calculado, de la manera anteriormente mencionado, se dibuja un eje de coordenadas rectangulares, colocando los valores del diámetro en “X” y en el eje “Y”, los valores del ICA, pudiéndose realizar de manera manual o asistido por un programa en un computador.

En nuestro caso, se obtuvo los datos de diámetro de ICA presentados en el Cuadro N° 6: Análisis Multitemporal de Crecimiento en Diámetro de *Cupressus macrocarpa*, valores que fueron introducidos al SPSS Statistics 25, para determinar el mejor ajuste, es decir, una curva donde el error estándar sea mínima y el valor del coeficiente de determinación (R^2) sea mayor, a partir de este modelo matemático, se generaron nuevos puntos, lo que se denomina ICA-ajustado.

2.3.3. TIEMPOS DE PASO

El crecimiento de los árboles como en todo ser vivo, es un proceso biológico que está fuertemente influenciado por factores genéticos de vigor, de edad o etapa de desarrollo del ambiente físico y manejo (Ávila, 2003). Citado por Flores, 2007.

De todos los factores sólo los últimos pueden ser manipulados por el hombre o por lo menos tiene una incidencia de importancia sobre los mismos, ya sea a través de los aprovechamientos forestales o los tratamientos silviculturales aplicados.

Los tiempos de paso fueron determinados para conocer el tiempo que requiere un individuo para pasar del límite inferior de una clase al límite superior de la misma clase diamétrica.

2.3.3.1. Cálculo de Tiempos de Paso

Para el cálculo del tiempo de paso se utilizó la ecuación propuesta por Martins, (1996):

$$TP = \frac{IC}{ICA_a}$$

Donde:

TP: Tiempos de paso (años)

IC: Intervalo de la Clase Diamétrica (cm)

ICAa: Incremento Corriente Anual ajustado (cm/año)

Por ejemplo:

Si se considera, una clase diamétrica entre 18 y 21 cm de DAP, existe una amplitud de clase de 3 cm, y si de acuerdo al modelo matemático, se determinó un ICA ajustado de 0.82, entonces el Tiempo de Paso, será:

$$TP = \frac{IC}{ICA_a} = \frac{3}{0.82} = 3.7 \text{ años}$$

Esto significa, que un árbol de Ciprés con 18 cm de DAP, necesita 3,7 años para alcanzar un diámetro de 21 cm.

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 RESULTADOS

Se tiene los siguientes resultados.

3.1.1. DISTRIBUCIÓN DIAMÉTRICA DE LA ESPECIE

El modelo que describe la relación Diámetro – Número de árboles, fue el modelo Exponencial, encontrándose 112 árboles en el sitio de estudio. El 84.8% de los árboles, presentan diámetros del fuste entre 10 y 40 cm, mientras árboles con diámetros entre 40 y 70 cm, participan con el 15.2%, representando el dosel superior del rodal de Ciprés.

Cuadro N° 7. Distribución diamétrica para una plantación de Ciprés, por medio del Modelo Exponencial.

Clase diamétrica	Marca de Clase (cm)	N° de Árboles	Área Basal (m ²)	Volumen (m ³)	N° Árboles Ajustado	Porcentaje
10 - 20	15	23	0.524	0.829	50	20.5
20 - 30	25	49	2.380	3.771	28	43.8
30 - 40	35	23	2.219	4.414	16	20.5
40 - 50	45	11	1.763	3.168	9	9.8
50 - 60	55	4	0.870	2.568	5	3.6
60 - 70	65	2	0.589	3.317	3	1.8
Total		112	8.347	18.066	110	100.0

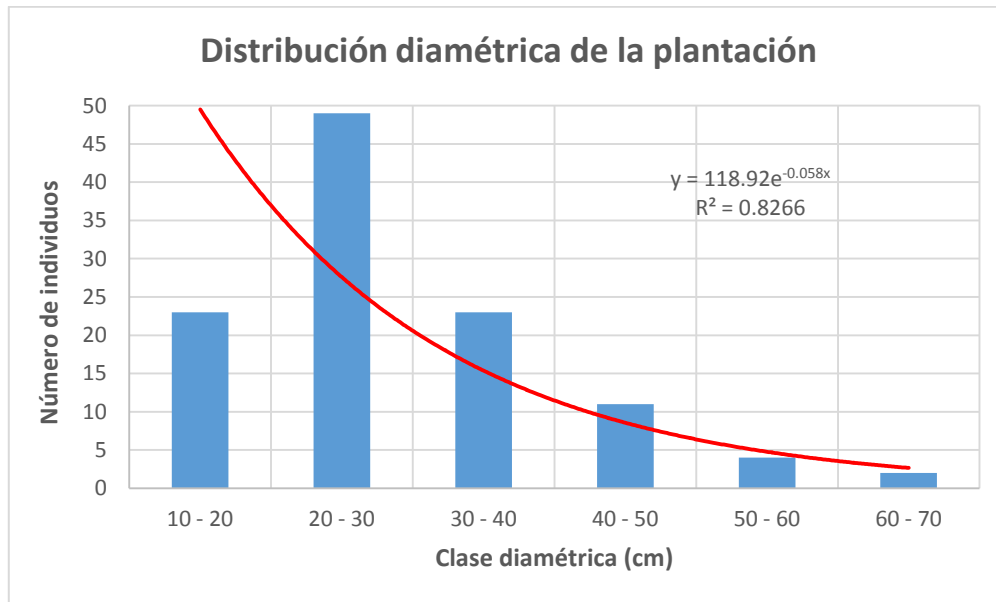
Fuente: Datos del levantamiento de campo se encuentran en ANEXO: 2 PLANILLAS DE CAMPO.

Los datos recogidos en campo, se ingresaron a una hoja electrónica de Excel, para procesar y reportar en una tabla dinámica, cuyos resultados se encuentran en Anexo 2.

Luego, en base a los resultados del Cuadro N° 7, asignando al eje X, la clase diamétrica y al eje Y, el número de árboles por categoría diamétrica, se realiza el ploteo, a fin de determinar el modelo matemático de ajuste, que refleje el Número de Árboles Ajustado, habiéndose encontrado un modelo exponencial de $Y = 118.92e^{-x}$

$0.058x$, donde Y será el número de árboles; mientras que X es la marca de clase diamétrica. Esta operación es necesaria hacerla, con el propósito de disminuir el error de muestreo.

Gráfico N° 6. Número de árboles por clase diamétrica y modelo matemático de ajuste.



Fuente: Elaboración propia. 2020. Los datos para generar el modelo, se encuentran en el Cuadro N° 7

Al tratarse de una plantación con la misma especie y con la misma edad, el rodal tendría que estar compuesto con individuos de igual tamaño, sin embargo, el gráfico 6, muestra individuos en distintas categorías diamétricas. Este comportamiento, podría atribuirse a la competencia intraespecífica, que se da cuando la interacción entre individuos de una misma especie, comparten el uso de un recurso limitado, que conduce a una reducción del crecimiento de unos y el crecimiento significativo de otros individuos dentro el rodal de plantación.

3.2 ANÁLISIS DENDROCRONOLÓGICO

Mediante el análisis de las series de anillos de los árboles de Ciprés, se realizaron las mediciones del ancho de los anillos de crecimiento, con el propósito de construir las respectivas series cronológicas. Los datos de los valores del ancho de los anillos, se

encuentran en Planillas de Registro de Anillos de Crecimiento (Anexo 3 y Anexo 3A).

De este modo, al confeccionar la serie de los anillos de crecimiento, inicialmente se detectó bajas correlaciones, debido que existe mucha amplitud entre muestras (elevada variabilidad), aspecto que es corroborado por los gráficos 7 y 8.

Gráfico N° 7. Dispersión de los datos de espesor de los anillos usando datos sin normalizar

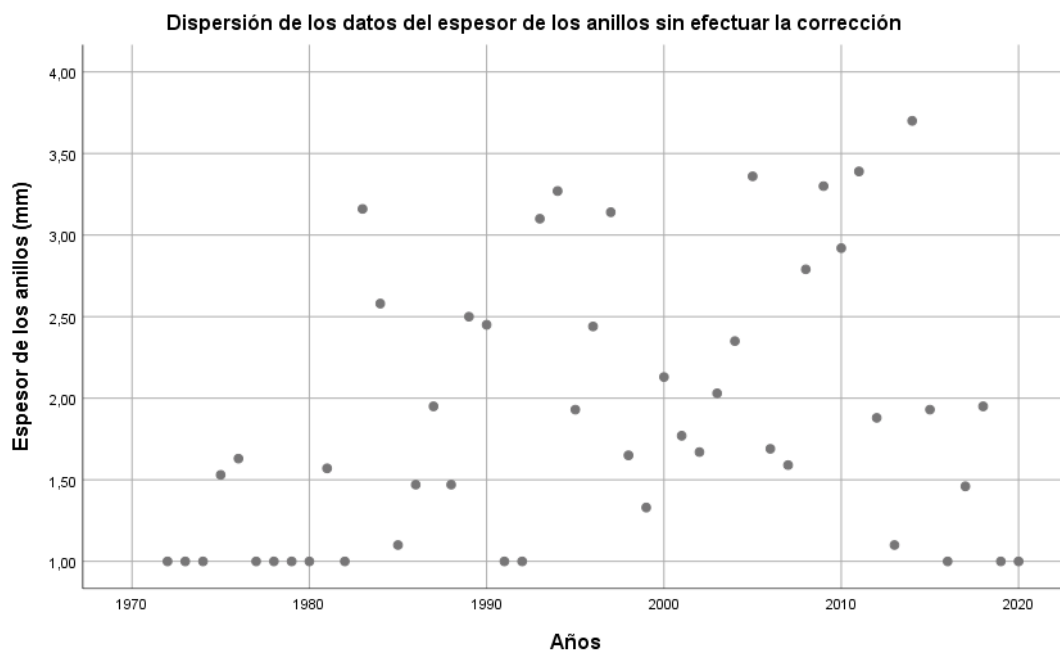
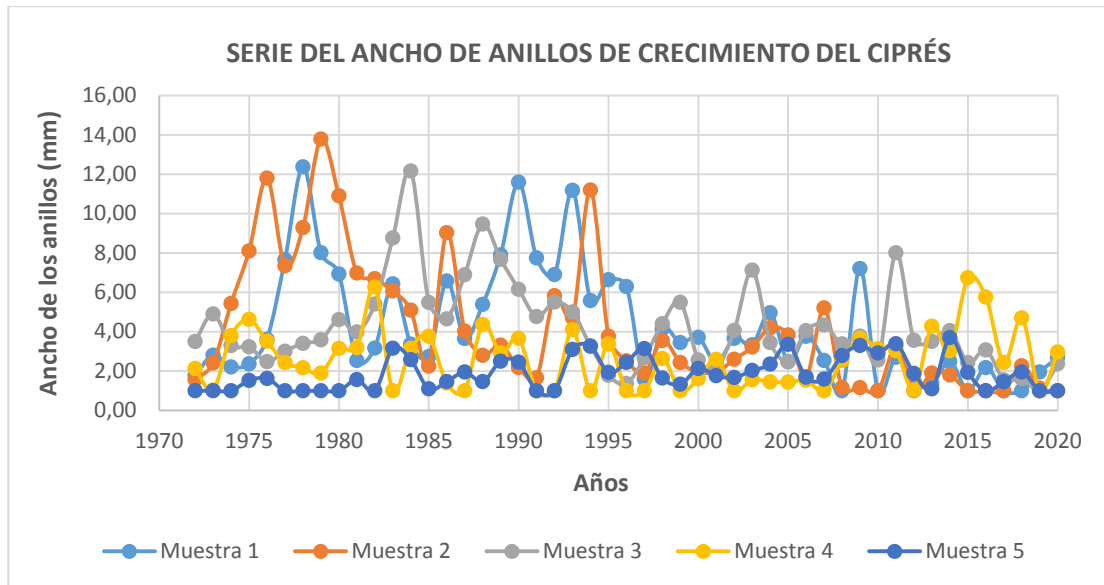


Gráfico N° 8. Ancho de anillos de crecimiento diamétrico del Ciprés por muestras



Fuente: Elaboración propia. 2020. Ver anexo 3 para los datos del gráfico.

Por lo anteriormente mencionado, fue necesario realizar la normalización de los datos, teniendo en cuenta que, al provenir de una plantación, se tiene referencia de la edad de los árboles, lo que permite conocer de antemano el posible número de anillos anuales a marcar. En esta operación, se detectaron muestras con anillos de crecimiento falso, como resultado de un crecimiento tardío, que presentan el aspecto de dos anillos producidos en un año, motivo por el cual, fueron excluidos del análisis; de esta manera la serie fue normalizada, para formar una serie sólida que represente el comportamiento del crecimiento en diámetro de la especie *Cupressus macrocarpa* Hartw. Ex Gordon, en plantaciones en el Valle Central de Tarija.

Una vez corregidos los datos de los anillos falsos, se volvió a generar pruebas de significancia, empleando el software IBM SPSS Statistics, habiendo conseguido una correlación de 0.601, esto indica que existen características comunes en el espesor de los anillos de crecimiento en los árboles cosechados de la plantación.

Cuadro N° 8. Correlación y prueba de significancia de Pearson para el espesor de los anillos de crecimiento de la especie *Cupressus macrocarpa* Hartw. Ex Gordon.

		Año	Ancho
Año	Correlación de Pearson	1	-,601**
	Sig. (unilateral)		,000
	N	49	49
Ancho	Correlación de Pearson	-,601**	1
	Sig. (unilateral)	,000	
	N	49	49

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

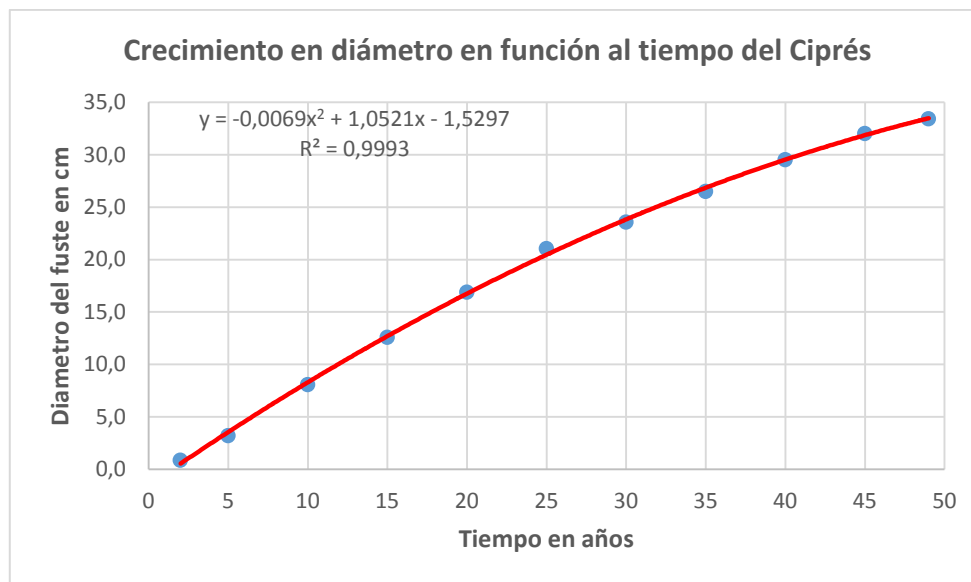
Con el respaldo de la prueba de correlación de Pearson, la cronología generada, indica que la plantación de la especie *Cupressus macrocarpa* Hartw. Ex Gordon localizada en la zona de San Blas del Valle Central de Tarija, tiene una edad de 49 años (Periodo 1972 - 2020).

3.3 ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE CRECIMIENTO EN DIÁMETRO

Los resultados de ancho de los anillos de crecimiento, sirvieron para generar los diámetros del fuste, para efectuar los cálculos posteriores del Incremento Medio Anual y del Tiempo de Paso.

Con los valores de diámetros promedio por años que tiene la plantación, se realizó la regresión entre estas dos variables, siendo la variable independiente el tiempo y la variable dependiente el diámetro, habiéndose obtenido una ecuación cuadrática de segundo orden, para representar el crecimiento en diámetro de la especie estudiada, con un nivel de significancia de 99%, demostrado por el valor de R^2 .

Gráfico N° 9. Incremento en diámetro de acuerdo al tiempo



EDAD (años)	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	49
DAP (cm)	0.9	3.2	8.1	12.6	16.9	21.1	23.6	26.5	29.5	32.0	33.4

Dicho de otro modo, al aplicar este modelo, se podrá inferir en primera instancia, el crecimiento dimétrico en función al tiempo.

CUADRO N° 9. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE CRECIMIENTO EN DIÁMETRO EN cm DE *Cupressus macrocarpa*

ÁRBOL	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	49
	DAP	DAP	DAP	DAP	DAP	DAP	DAP	DAP	DAP	DAP	DAP
1	0.92	2.55	9.82	14.27	21.53	28.85	31.91	35.55	38.44	40.16	41.49
2	0.80	5.86	15.52	21.35	24.15	29.75	32.11	35.22	37.57	38.91	39.99
3	1.68	3.48	7.20	14.49	21.48	24.87	28.32	32.56	36.97	40.29	41.60
4	0.63	3.02	5.59	8.70	11.29	13.39	15.16	16.56	19.23	23.40	25.62
5	0.40	1.23	2.34	4.21	6.08	8.43	10.43	12.65	15.45	17.37	18.46
Arboles	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Mínimo	0.40	1.23	2.34	4.21	6.08	8.43	10.43	12.65	15.45	17.37	18.46
Máximo	1.68	5.86	15.52	21.35	24.15	29.75	32.11	35.55	38.44	40.29	41.60
Media	0.89	3.23	8.09	12.60	16.91	21.06	23.59	26.51	29.53	32.03	33.43
Desv. Standart	0.48	1.69	4.96	6.49	7.80	9.61	10.10	11.01	11.22	10.85	10.72
Coef. Variación	54.74	52.50	61.25	51.50	46.15	45.61	42.84	41.55	38.00	33.88	32.07
Error típico	0.22	0.76	2.22	2.90	3.49	4.30	4.52	4.93	5.02	4.85	4.80
Error muestral	24.48	23.48	27.39	23.03	20.64	20.40	19.16	18.58	16.99	15.15	14.34
Tabla de t	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78
Lim superior	1.49	5.33	14.25	20.66	26.59	32.98	36.13	40.18	43.46	45.50	46.74
Lim inferior	0.28	1.12	1.94	4.55	7.22	9.13	11.04	12.83	15.60	18.55	20.12
ICA DAP	0.443	0.781	0.973	0.902	0.860	0.830	0.506	0.584	0.605	0.499	0.352
IMA DAP	0.443	0.646	0.809	0.840	0.845	0.842	0.786	0.757	0.738	0.712	0.682
IMA TOTAL DAP	0.68										

3.4 INCREMENTO CORRIENTE ANUAL

El Incremento Corriente Anual (ICA) en diámetro de la especie en estudio reporta un promedio de 0,67 cm/años, valor que fue calculado con los Incrementos parciales que se presentan en el Cuadro N° 9, para periodos de 5 años hasta los 49 años que es la edad de la plantación.

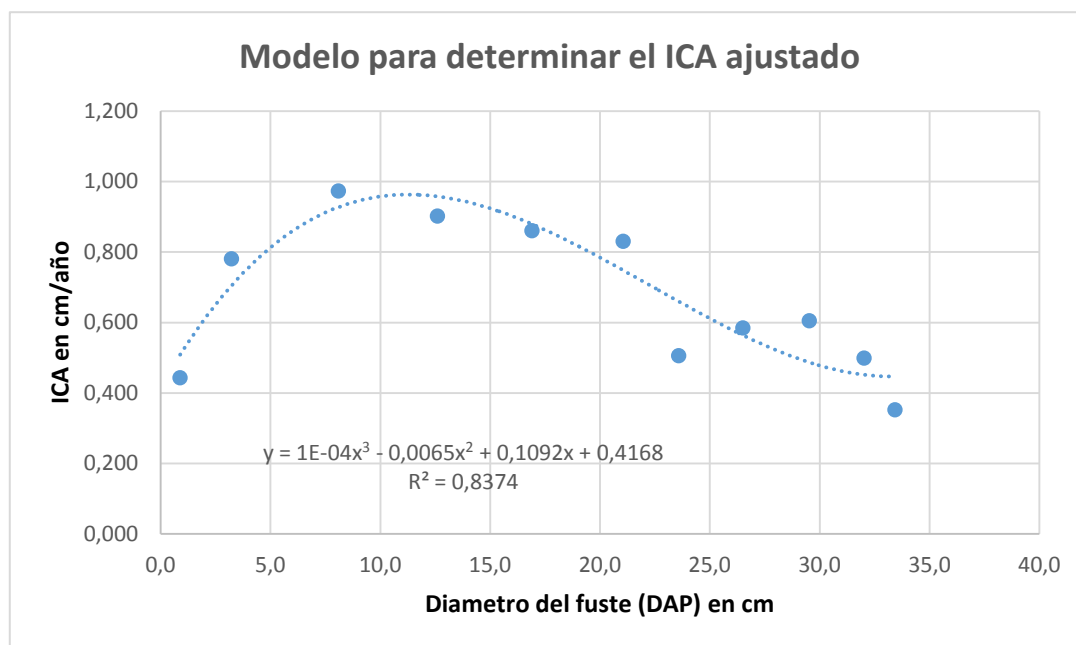
Cuadro N° 10. Valores de Incremento Corriente Anual (ICA) en diámetro de la especie *Cupressus macrocarpa* Hartw. Ex Gordon

EDAD (años)	DAP (cm)	ICA (cm/año)	ICAa (cm/año)
2	0.89	0.44	0.51
5	3.23	0.78	0.70
10	8.09	0.97	0.93
15	12.6	0.90	0.96
20	16.91	0.86	0.89
25	21.06	0.83	0.77
30	23.59	0.51	0.69
35	26.51	0.58	0.61
40	29.53	0.61	0.55
45	32.03	0.50	0.53
49	33.43	0.35	0.54
Promedio		0.67	

Fuente: Elaboración propia. 2020

Para determinar la ecuación del Incremento Corriente Anual Ajustado (ICAa) en diámetro, se efectuó regresiones no lineales, con datos del Cuadro N° 10, hasta encontrar el modelo de mayor coeficiente de determinación (R^2) y menor error estándar, considerando como variable independiente el DAP, y variable dependiente el Incremento Corriente Anual ICA, habiéndose determinado una ecuación polinómica de tercer orden como el modelo de mejor ajuste:

$$ICAa = a + b * DAP + c * DAP^2 + d * DAP^3$$

Gráfico N° 10. Determinación del Incremento Corriente Anual Ajustado (ICAa)

Fuente: Elaboración propia. 2020. Datos que se encuentran en el Cuadro N° 10.

Cuadro N° 11. Análisis de Varianza de Incremento Corriente Anual Ajustado (ICAa)

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	,402	3	,134	10,734	,005
Residuo	,087	7	,012		
Total	,489	10			

El modelo muestra alta significancia.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizado		Sig.
	B	Desv. Error	s	t	
DAP	,109	,033	5,385	3,187	,015
DAP ** 2	-,0065	,002	-11,112	-2,678	,032
DAP ** 3	1E-4	,000	5,316	2,029	,082
(Constante)	,416	,116		3,675	,008

Resumen del modelo			
R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,915	,837	,745	,112

El análisis de varianza, indica que el modelo polinómico de tercer orden, muestra una alta significancia, puesto que, los valores de significancia de los coeficientes de la ecuación, en todos los casos, son mayores a 0,005

Una vez validado el modelo, se reemplaza en la ecuación para obtener el ICAa. Por ejemplo, se quiere determinar el ICAa para 10 años, vemos que tiene un DAP de 8.1 cm. Estos valores se rempazan en la ecuación, y se tiene:

$$ICAa = 0.4168 + 0.1092 * 8.1 + (-0.0065 * 8.1^2) + 0.0001 * 8.1^3 = 0.93 \text{ cm/año}$$

De esta manera se llena la última columna del cuadro 10.

3.5 TIEMPO DE PASO

El tiempo de paso representa el número de años que le toma al árbol promedio de una clase diamétrica, para pasar desde el límite inferior de su clase hasta el límite superior de la clase siguiente. La metodología, indica que primeramente se debe organizar en categorías diamétricas y marcas de clase de la variable que en este caso es el diámetro (la forma de calcular el tiempo de paso se describió detalladamente en metodología).

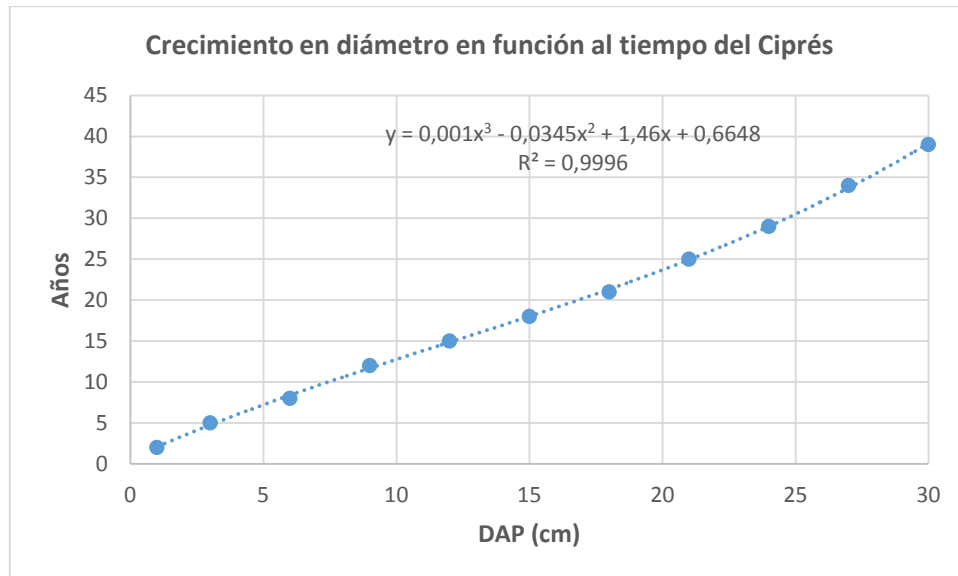
Cuadro N° 12. Determinación de los tiempos de paso por clase diamétrica de la especie *Cupressus macrocarpa* Hartw. Ex Gordon en el Valle Central de Tarija

Clase Diamétrica (cm)	Marca de Clase	ICA_A (cm/año)	Tiempo de paso (años)	Edad límite sup. (años)
0-3	1.5	0.57	5.30	5
3-6	4.5	0.79	3.82	9
6-9	7.5	0.91	3.29	12
9-12	10.5	0.96	3.12	16
12-15	13.5	0.95	3.15	19
15-18	16.5	0.90	3.34	22
18-21	19.5	0.82	3.68	26
21-24	22.5	0.72	4.15	30
24-27	25.5	0.63	4.74	35
27-30	28.5	0.56	5.32	40
30-33	31.5	0.53	5.63	46

La edad límite superior, (última columna del cuadro 12), es la suma acumulada de los tiempos de paso; sus valores indican el tiempo que necesita el árbol, para alcanzar un diámetro mayor cualquiera, por ejemplo, si se desea saber cuánto se debe esperar para que un árbol logre 30 cm de DAP, nos remitimos a la última fila y ésta indica que debe transcurrir 40 años. En caso de averiguar, cuánto tiempo se necesita para que un árbol de Ciprés, que tiene un diámetro de 12 cm alcance 15 cm de DAP, se remite nuevamente al Cuadro 12, y vemos que se requiere 3.1 años.

Otra utilidad que se puede obtener de estos resultados, es la deducción del máximo crecimiento, que se produjo en la plantación, para lo cual se usa como variable independiente la marca de clase de los diámetros y la variable dependiente el tiempo en años que se necesita para alcanzar esos diámetros.

Gráfico N° 11. Modelo de crecimiento en diámetro en función al tiempo de paso del Ciprés.



El modelo matemático encontrado fue una ecuación polinómica de tercer orden, respaldado por el coeficiente de determinación cercano a 1 ($R^2 = 0.9996$), este valor refleja la bondad del ajuste del modelo polinómico a la variable que se pretende explicar, siendo la ecuación resultante:

$$0.001x^3 - 0.0345x^2 + 1.46x + 0.6648 = 0$$

Para saber el DAP del máximo crecimiento, se aplican la primera y segunda derivada al modelo encontrado

a) Primera derivada

$$0.003x^2 - 0.0708x + 1.46 = 0$$

b) Segunda derivada

$$0.006x - 0.0708 = 0$$

c) Despeje de la variable x

$$x = \frac{0.0708}{0.006} = 11,8 \text{ cm}$$

Esto significa, que la plantación ha experimentado un máximo crecimiento hasta alcanzar 11,8 cm de diámetro.

Para averiguar la edad, se resuelve la ecuación de tercer orden, con la variable encontrada.

$$Y = 0.001x^3 - 0.0345x^2 + 1.46x + 0.6648$$

$$Y = 0.001(11,8)^3 - 0.0345(11,8)^2 + 1.46(11,8) + 0.6648 = 14.6 \text{ años}$$

En base a estos resultados, se afirma que el mayor crecimiento y establecimiento de la plantación se alcanza cuando los arboles tienen aproximadamente 12 cm de DAP, a una edad de 15 años.

3.6 TASA DE CRECIMIENTO DIAMÉTRICO E INCREMENTO MEDIO ANUAL

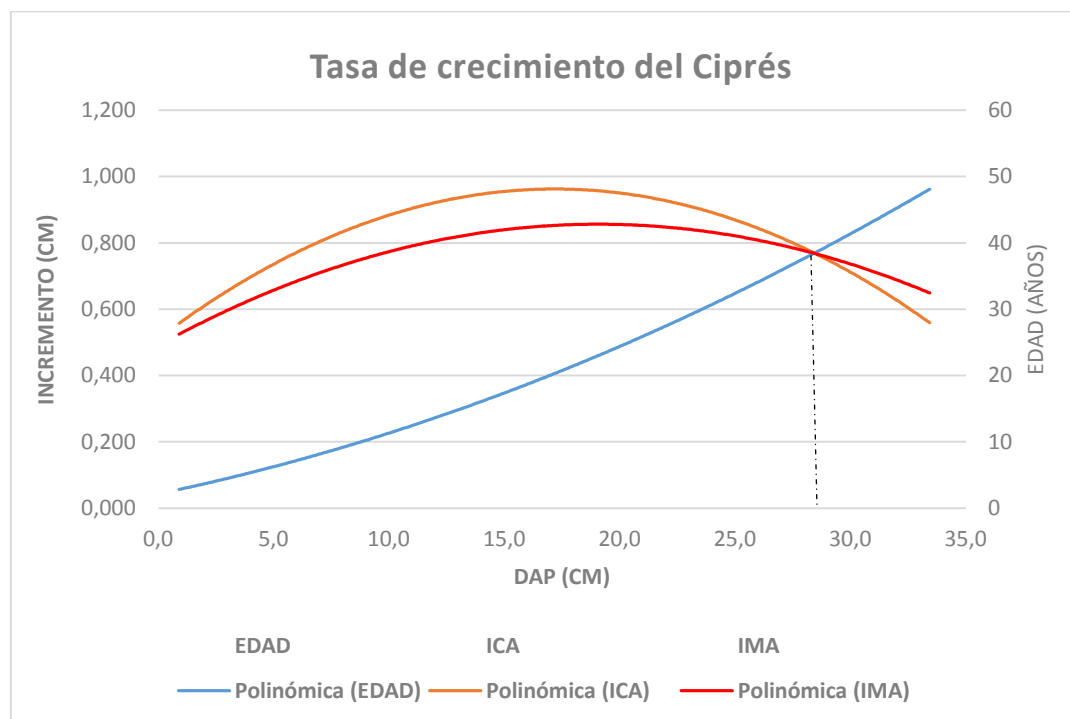
Nos remitimos nuevamente a los resultados del Cuadro N° 6: Análisis multitemporal de crecimiento en diámetro en cm de *Cupressus Macrocarpa* Hartw. Ex Gordon, de donde se extraen los valores del Incremento Medio Anual (IMA), el diámetro por intervalos de tiempo y los valores de ICA, corresponden a los ajustes efectuados.

Cuadro N°13. Datos utilizados para generar el grafico de tasa de crecimiento de la especie *Cupressus macrocarpa* Hartw. Ex Gordon, en el Valle Central de Tarija

EDAD (años)	DAP (cm)	ICA (cm/año)	IMA (cm/año)
2	0.89	0.51	0.443
5	3.23	0.70	0.646
10	8.09	0.93	0.809
15	12.6	0.96	0.840
20	16.91	0.89	0.845
25	21.06	0.77	0.842
30	23.59	0.69	0.786
35	26.51	0.61	0.757
40	29.53	0.55	0.738
45	32.03	0.53	0.712
49	33.43	0.54	0.682

Fuente: Elaboración propia.2020

Gráfico N° 12. Proyección del desarrollo de la plantación para optimizar la tasa de crecimiento



Fuente: Elaboración propia. 2020, con datos del Cuadro N° 13.

De acuerdo a este gráfico, se puede advertir que las curvas de ICA e IMA, denotan que la especie presenta tasa de crecimiento rápido, en los primeros años, que corrobora al resultado obtenido para el máximo crecimiento, luego presenta un segundo periodo de crecimiento regular a lento a partir de los 15 años, finalmente, un tercer periodo reportado por la descendencia de las curvas de ICA e IMA, por estas razones, la especie *Cupressus macrocarpa* Hartw. Ex Gordon, podría ser catalogado como de crecimiento regular.

El Incremento Medio Anual (IMA) obtenido a partir de las tasas de crecimiento en diámetro para cada periodo de años, se ajusta a una línea de tendencia polinomial y al igual que la curva de edad. De esta manera, en el gráfico, se observa la forma de las

curvas, para obtener con este procedimiento el turno de raleo que se localizaría en la intersección de las líneas de ajuste de las curvas de ICA e IMA.

Si se baja con una línea vertical el punto de intersección hasta el eje horizontal, se advierte que cuando la plantación tenga aproximadamente 29 cm de DAP se podrá efectuar la primera extracción de árboles, para optimizar la tasa de crecimiento.

3.2 DISCUSIÓN

El estudio realizado por J. Petit Aldana; Gabriel Uribe Valle; R. Muchacho Briceño 2009, sobre el Comportamiento del Ciprés (*Cupressus lusitánica* Mill.) En la producción de árboles de Navidad bajo condiciones de clima alto andino, Venezuela. Desarrolla un incremento anual 3.8 cm/años, con valores promedios para diámetro de 2,64 cm a los 5 meses, hasta 7,79 cm a los 20 meses. En el trabajo presenta nos indica que para alcanzar o tener un diámetro de 20 cm requiere de 25 años, con un incremento corriente anual promedio de 0,67 cm/año.

Una de las investigaciones realizadas en Guatemala por Edwin Enrique Cano Morales 2017, de la especie *Cupressus Lusitanica* Miller. Según los estudios realizados indican que esta especie presenta un incremento medio anual (IMA) de 0,98 cm/año. El valor que se obtuvo en nuestra investigación fue de un incremento medio anual de 0.74 cm/año, presenta mucha diferencia entre los crecimientos que pueden desarrollar estas especies forestales.

Otro de los estudios realizados fue por Fidel A. Roig y José A. Boninsegna en Mendoza Argentina 1991, obteniendo un incremento promedio anual de 1,3 cm/año para el *Pilgerodendron uviferum*. Comparando con el presente estudio se puede ver que hay una notable diferencia.

Según la evaluación realizada por Silva (1973), señala que para el Ciprés, en el Bosque San Eusebio, se obtuvo un incremento medio anual de 2 cm/año.

La diferencia posiblemente se deba a la diferencia de condiciones ambientales debido a la latitud y altitud que provocan variaciones climáticas entre ambos lugares, factores como ser precipitación, temperatura, suelos, radiación solar entre otros, llegan a ser

causas importantes en la variación del crecimiento de las plantas. Por ejemplo en la investigación que se realizó en Mendoza Argentina se constata que su clima es más árido a comparación de Tarija que es más templado, ese es un punto importante que hace que los resultados obtenidos varíen de esa manera.

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- ❖ Mediante la técnica de tiempos de paso se pudo determinar que el tiempo que necesita el árbol para alcanzar un diámetro de 6 cm de DAP debe transcurrir 9 años, para obtener los 15 cm de DAP tiene que pasar 19 años y a los 30 cm de DAP debe transcurrir 40 años.
- ❖ la plantación de la especie *Cupressus macrocarpa* Hartw. Ex Gordon, tiene una edad de 49 años (Periodo 1972 – 2020).
- ❖ Para determinar el Incremento Corriente Anual Ajustado (ICAA) se encontró la ecuación polinómica de tercer orden como el modelo de mejor ajuste; $ICAA = a + b * DAP + c * DAP^2 + d * DAP^3$.
- ❖ En base a la medición de los anillos de crecimiento la especie se desarrolla con un Incremento Medio Anual (IMA) promedio de 0,74 cm/año y un Incremento Corriente Anual (ICA) en diámetro reportando un promedio de 0,67 cm/años. Tomando en cuenta su buena adaptabilidad en la zona de estudio, Por las condiciones naturales del lugar.
- ❖ Se puede decir que las curvas de ICA e IMA, denotan que la especie presenta tasa de crecimiento rápido, en los primeros años, luego presenta un segundo periodo de crecimiento regular a lento a partir de los 15 años, finalmente, un tercer periodo reportado por la descendencia de las curvas de ICA e IMA, por estas razones, la especie *Cupressus macrocarpa* Hartw. Ex Gordon, podría ser catalogado como de crecimiento regular.

4.2 RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda trabajar con tres radios para poder tener un mejor conteo de los anillos de crecimiento y poder identificar cuáles son anillos falsos y anillos anuales.
- ❖ Una vez obtenidas las rodajas, inmediatamente estas deben ser cepilladas y lijadas para evitar tener problemas con las rajaduras que pueden sufrir las muestras en estudio debido a la pérdida de humedad.
- ❖ También se recomienda que al momento de tener las rodajas en laboratorio estas sean pintada con barniz ya que esto evita que la madera presente rajaduras.
- ❖ Profundizar el estudio dendrocronológico con otras especies, para conocer el comportamiento del crecimiento, insumo que es importante para tomar decisiones de manejo silvicultural en plantaciones forestales.