

## CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO.

#### 1.1. DENDROCRONOLOGÍA.

La palabra Dendrocronología proviene del griego "Dentro" que significa "árbol", "Cronos" que significa "tiempo" y "logos" que significa "ciencia o conocimiento". Según (Fritts, 1976).

es la disciplina que estudia, registra y reconstruye los fenómenos meteorológicos, los incendios forestales, actividad volcánica, entre otras características en los anillos de crecimiento de los árboles. Por lo tanto, es el campo de la Ciencia Forestal que se centra en el estudio de los anillos de crecimiento o capas de madera y su relación con la edad de los árboles, incluyendo la aplicación de la información registrada en su estructura para estudios ambientales y de historia, citado por (Zegarra, A., 2018)

Las técnicas dendrocronológicas son esenciales para estudiar la producción de madera en el bosque y para estimar el ciclo de corte óptimo de las especies maderables, además del modelo basado en el crecimiento de estos procesos para obtener pronósticos sobre la producción de la especie (Fritts, 1976). Aprovecha parámetros mensurables de la estructura de anillos, determinando el año exacto de su formación, para deducir condiciones medioambientales del pasado, tales como el clima, plagas, incendios forestales, actividad volcánica, contaminación, etc. (KAENNEL, M. & F. H. SCHWEINGRUBER., 1995) Citado por (Zegarra, A., 2018)

El método de extracción de las muestras de madera del tronco del árbol se puede dividir en método destructivo y no destructivo. La primera 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 (Zegarra, A., 2018).

La dendrocronología es por naturaleza una ciencia multidisciplinaria, dirigiendo las investigaciones para diferentes y diversos objetivos y aplicaciones, como la dendroclimatología, dendroecología, dendroquímica, dendroarqueología, dendrogeomorfología, dendroglaciología, dendroentomología, y entre otros, así mismo esta ciencia se complementa con otras metodologías para estudios de reconstrucciones climáticas con el objetivo de verificar el efecto del cambio climático (Zegarra, A., 2018).

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 PRINCIPIO DE LA DENDROCRONOLOGÍA**

La dendrocronología se fundamenta en una serie de principios, considerados como ‘‘leyes de la ciencia’’. Esos principios fueron enunciados a partir de 1785 (principio de uniformidad), siendo el más reciente el de 1987 (principio de agregación de los factores ambientales). Algunos principios, como el de la repetición, son comunes a otras ciencias, pero las investigaciones dendrocronológicas deben necesariamente, atender a todos los principios. (Zegarra, A., 2018). Y (Tomazello Filho, M. C. S. Lisi, N. Hansen & G. Cury., 2004), describen los principios de la siguiente manera:

**Principio de uniformidad:** este principio afirma que los procesos físicos y biológicos que influyen en el crecimiento de un árbol en la actualidad, estuvieron presentes en el pasado. Es decir, que, al conocer las condiciones climáticas predominantes en el pasado, mediante el estudio de los anillos de crecimiento, se puede predecir las condiciones ambientales en el futuro. Sin embargo, el principio de uniformidad no quiere decir que las condiciones del pasado son exactamente

iguales a las del presente, sino que condiciones parecidas afectan similares tipos de procesos. (Grissino - Mayer, 2001).

**Principio de Factores limitantes:** este principio indica que el proceso de crecimiento de la planta puede ocurrir sólo tan rápido como lo permita el factor que actúa como principal limitante. Cuando las condiciones son limitantes, muchos factores relacionados con el proceso de crecimiento son limitados, produciéndose menor cantidad de células, anillos estrechos y las características de las células y densidad de la madera varían en función de que factor actúa como limitante (Fritts, 1976). Citado por (Zegarra, A., 2018).

**Principio de amplitud ecológica:** cada especie, dependiendo de su genotipo (el cual determina en combinación con los factores ambientales su fenotipo), puede crecer, reproducirse y dispersarse sobre cierto rango de hábitats que puede ser amplio, estrecho o restringido. Este rango es conocido como amplitud ecológica (Fritts, 1976) Este principio es importante puesto que muchas de las especies útiles en los estudios dendrocronológicos, a menudo se encuentran cerca de su ámbito natural de desarrollo (McCarthy, 1998).

**Principio de crecimiento agregado:** establece que cualquier serie individual o proceso de crecimiento en un árbol puede ser separado en un conjunto de factores agregados que afectan el patrón de crecimiento del árbol a través del tiempo. Por ejemplo, el crecimiento que se produce en un año está en función de factores agregados como la edad, clima, ocurrencia de eventos dentro y fuera del bosque. Para elevar la relación o influencia que tiene un factor ambiental en específico, los otros factores deben ser minimizados. Por ejemplo, al maximizar la señal correspondiente al clima, se debe eliminar la tendencia relacionada con la edad y los árboles y los sitios seleccionados deben minimizar la posibilidad de acción de la presencia de factores externos o internos que puedan afectar el crecimiento. El modelo puede ser una afirmación, ecuación o diagrama que representa un conjunto básico de factores y sus interrelaciones (Fritts, 1976). Citado por (Zegarra, A., 2018)

**Principio de sincronización o datación cruzada (Cross-dating):** el principio de sincronización es básico en la dendrocronología y dendroecología, y consiste en

asignar a cada anillo el año exacto de su formación. El ancho de los anillos anuales tiene que ser sincronizado entre radios del mismo árbol y entre árboles de un mismo rodal. Las variaciones en las características del anillo, especialmente del ancho, se examinan y acoplan de forma sincronizada entre todas las muestras de una región determinada. Si hay suficiente covariancia entre los anillos en diferentes árboles y la muestra es lo suficientemente grande, el año en que cada anillo se formó se puede determinar correctamente (Fritts, 1976). Citado por (Zegarra, A., 2018).

**Principio de selección de sitio:** los sitios útiles para la dendrocronología pueden ser identificados y seleccionados con base en criterios donde se indique que se producirán series de anillos sensibles a las variables ambientales de donde están siendo examinadas. La dendrocronología debe seleccionar sitios donde se maximizará la señal que está siendo investigada (McCarthy, 1998). Por tanto, la dendrocronología requiere que sus muestras estén afectadas similarmente por un conjunto determinado de factores limitantes, así como también el muestreo es deliberadamente estratificado para resaltar observaciones de esa población de ancho de anillos que contiene la información deseada, pero es restringida a una especie en particular para mantener la respuesta genética más o menos constante (Fritts, 1976). Citado por (Zegarra, A., 2018).

**Principio de sensibilidad:** la variación del ancho de los anillos como consecuencia de la presencia de un factor limitante recibe el nombre de **sensibilidad**, mientras que la carencia de variación recibe el nombre de **complacencia**, así como también estas variaciones se pueden calcular para cada individuo o especie a partir de mediciones y pueden ser expresadas como un estadístico llamado sensibilidad media (mean sensitivity), la cual es una medida de la diferencia relativa del ancho entre anillos adyacentes (Fritts, 1976). Los árboles muestran anillos sensibles cuando su crecimiento es afectado por factores, tales como la pendiente, suelos pobres, poca humedad. La presencia de anillos complacientes se produce bajo la acción de condiciones climáticas constantes, tales como medias anuales de precipitación altas, suelos fértiles o crecimiento en regiones protegidas (McCarthy, 1998).

**Principio de replicación:** este principio indica que se debe tomar más de una muestra del radio del tallo por el árbol y más de un árbol por sitio. Esto permite

realizar comparaciones estadísticas de variabilidad entre árboles y entre grupos de árboles. Las mediciones de esta variación proporcionan información valiosa sobre como los factores del sitio y clima controlan el crecimiento (Fritts, 1976). Al tomar más de una serie de anillos por árbol se reduce más la variación dentro de un mismo árbol (Grissino - Mayer, H. D., 2001)

### **1.1 APLICACIÓN DE LA DENDROCRONOLOGÍA.**

Basándose en el conocimiento de la estructura anatómica de la especie en estudio, como primer paso para comenzar un estudio dendrocronológico, el cual nos puede dar una serie de informaciones como diferencias microscópicas de la madera en diferentes ecosistemas. Existe una serie de métodos para realizar investigaciones en dendrocronología cuyos parámetros mensurables útiles son el ancho de los anillos, la densidad de la madera y la concentración isotópica en la madera.

Los anillos de crecimiento contienen información de muchos factores por ello tienen numerosas aplicaciones en diversos campos de la ciencia. Esta información, convenientemente analizada, permite el estudio y análisis de procesos ecológicos, geomorfológicos, climatológicos, arqueológicos, etc. (RODRIGUEZ, R. y FERNANDEZ, R., 2009).

### **1.2 CLIMA Y DENDROCRONOLOGÍA.**

(Zegarra, A., 2018). La Dendroclimatología es una rama de la Dendrocronología que usa el análisis de los anillos de crecimiento para reconstruir y estudiar el clima presente y pasado (KAENNEL, M. & F. H. SCHWEINGRUBER., 1995). Si bien hay diferentes métodos para estudiar la relación entre el clima y el crecimiento forestal, los estudios dendrocronológicos son muy valiosos para determinar cambios a largo plazo de las especies leñosas como resultado de condiciones climáticas más cálidas y variables.

Es muy importante saber para qué periodo es fiable la cronología que hemos 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 (determinado por el coeficiente de correlación)

entre series puede variar y no ser significativo a lo largo del periodo cubierto por la cronología.

#### **1.4.1 Efectos del clima en el crecimiento.**

El clima es uno de los factores de mayor incidencia en la estructura y características de la vegetación. Este factor está formado por los elementos del clima entre los cuales está la temperatura del aire, temperatura del suelo, humedad del aire, viento, radiación, etc. (Donoso, C., 1994).

Rook, citado en Hellmers y Rook (1973), determina que el óptimo de temperatura para que se verifique la fotosíntesis neta en *P. radiata* es cercana a los 16 °C. Stupendick y Shepherd (1979), señalan que las temperaturas más favorables para el crecimiento de raíces, en la especie mencionada, son similares a aquellas necesarias para el crecimiento de las plántulas, es decir, entre los 20 y 30° C. (Donoso, C., 1994).

#### **1.4.2 Influencia sobre el tipo de crecimiento.**

Estima que la temperatura del aire ejerce un importante efecto sobre el desarrollo de los árboles forestales, como factor condicionado del crecimiento en altura. (Henriquez, 1998)

(Burdon, R., 1994), en sus estudios de crecimiento en *P. radiata*, encontró un asincronismo evidente entre la discontinuidad estacional para crecimiento en altura y en diámetro del tronco respectivamente. Para crecimiento en diámetro del tronco, la discontinuidad es clara, la cual aparece en forma consistente en la mitad del invierno, siendo visible en el límite externo de la madera tardía de un anillo de crecimiento. Para crecimiento en altura, sin embargo, la discontinuidad es, a menudo, menos clara, pero cuando esta es externamente visible se presenta típicamente en verano. Cuando un crecimiento importante en altura “de otoño” ocurre, el asincronismo puede generar una mayor discordancia entre estados de crecimiento anual para crecimiento en altura y diámetro; esto puede causar confusión en análisis de tallo y potenciales estimaciones sesgadas de incrementos en volumen del tallo. La magnitud de la discordancia, según este mismo autor, puede ser influenciada por: el régimen

de humedad, fertilidad del suelo, temperatura, latitud, genotipo, estado de desarrollo, vigor de germinación, y tamaño del árbol. . (Enriquez, 1998)

### **1.4.3 Dendroclimatología .**

Patrones de variación en el ancho de los anillos de crecimiento anual en los árboles, han sido largamente usados como registros legados de la variación climática pasada. Numerosos estudios indican que una variedad de factores climáticos influencia el crecimiento de los árboles. Su importancia cambia de especie en especie, de sitio en sitio, y de estación en estación durante el año. En general, dos especies diferentes creciendo en la misma área, responderán de manera relativamente similar al clima, pero excepciones ocurrirán por diferencias fenológicas características u otros factores (Fritts, 1976).

Adicionalmente,

(Richter, K. Eckstein, D. y Holmes, R., 1991), trabajando con diferentes especies de pinos en amplias regiones de España, demuestran que el clima regional influencia la actividad cambial más que las diferencias genéticas.

Extracciones acertadas de una señal climática a partir de registros en los anillos de los árboles, dependen de la cuantificación de la influencia de las variables climáticas en el crecimiento radial del árbol. Está bien establecido que la relación del crecimiento de los árboles con la variación climática varía debido a diferencias fisiológicas entre especies y diferencias medioambientales entre sitios. En efecto, el conocimiento de las diferencias interespecíficas y de intersitio en las respuestas del crecimiento arbóreo a las variaciones climáticas, es conveniente en la extracción de diferentes tipos de señales climáticas a partir de registros en los anillos de los árboles (Fritts, 1976).

(Richter, K. Eckstein, D. y Holmes, R., 1991), trabajando con cronologías de ancho de anillos de pinos en España, encontraron un agrupamiento de éstas en las diferentes regiones de estudio, presumiéndose la causa sobre todo en la temperatura, la cual varía menos en amplias áreas que las precipitaciones.

Eckstein et al. (1991). Citado por Henríquez, 1998, en su estudio observaron que las cronologías de pinos y abedules, muestran obvias similitudes entre las dos especies de árboles, indicando una respuesta similar al clima.

(Villalva & Veblen, 1994), trabajando con árboles subalpinos en la sierra de Colorado (*Picea engelmannii*, *Abies lasiocarpa*, *Pinus contorta* var. *latifolia*, *Pinus flexilis*) encontraron que diferencias interespecíficas en las respuestas a las variaciones climáticas generalmente fueron menos importantes que las diferencias de sitio y que, diferencias entre sitios en las respuestas de crecimiento de los árboles a las variaciones climáticas pueden ser usadas como indicadores de diferencias medioambientales.

Durante un intervalo de más de 30 años libre de ataque de insectos, en el área de Torneträsk, cerca de la localidad de Abisko sobre el círculo polar ártico en el norte de Suecia, los abedules de este lugar respondieron principalmente a las temperaturas de verano y en una menor magnitud a las precipitaciones de años anteriores. (Enriquez, 1998).

trabajando con pinos y abedules, encontraron una evidente y estrecha relación entre las temperaturas promedio de mayo a agosto (verano boreal) y el ancho de anillos de crecimiento. Sin embargo, el patrón de respuesta es algo diferente, en que los pinos aparentemente crecen mejor en una estación de crecimiento distinta, calurosa y seca, independiente de las precipitaciones de años anteriores. Adicionalmente a las lluvias veraniegas, las temperaturas de invierno son beneficiosas para el crecimiento de los pinos. La varianza de ancho de anillos de crecimiento explicada por el clima asciende al 67% (Richter, K. Eckstein, D. y Holmes, R., 1991).

### **1.5 ANILLOS DE CRECIMIENTO Y DENDROCRONOLOGÍA EN ESPECIES TROPICALES.**

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, 1995). La existencia de anillos de crecimiento en los árboles tropicales 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-Alvarado J. , 2009) indica que no todas las especies arbóreas del bosque tropical 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 que el de zonas templadas y boreales, debido a la compleja estructura anatómica de los árboles tropicales, 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, L. Valencia, G., 2012); sin embargo, diferentes estudios demuestran la existencia de anillos anuales de crecimiento en muchas especies de árboles tropicales (Tomazello Filho, M. C. S. Lisi, N. Hansen & G. Cury., 2004); debido a que muchos de los climas tropicales 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, L. Villalva, R. Peña, C., 2002)

Otros sugieren que en el trópico se forman anillos anuales sólo en climas estacionalmente secos o en bosques estacionalmente inundados (Brienen. R. & P. A. Zuidema, 2005); sin embargo, el descubrimiento de anillos anuales en varias especies de la Estación Biológica La Selva, Costa Rica, bajo un clima ecuatorial con precipitaciones superiores a 4000 mm anuales y promedios mensuales superiores a 100 mm, ha hecho afirmar a los autores que la anualidad de los anillos en árboles tropicales se debe extender a todas las condiciones en que pueden crecer los árboles en el trópico (Fichtler, Clark, & Worbes, 2003).

(Campos, L., 2009) mencionan que 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 (leño tardío).

Según (Rosero-Alvarado J. , 2011) al estudiar *Bursera graveolens* y *Loxopterygium huasango* pudo comprobar la influencia del fenómeno de niño de 1997-1998 en el

crecimiento en diámetro de sus árboles, siendo mucho más marcado en esta última especie pudiéndose definir como una especie sensible a cambios climáticos y de gran potencial para estudios de reconstrucción climática en la costa norte. La variable climática determinante para el mayor crecimiento en diámetro del tronco de los árboles fue la precipitación anual acumulada de Lambayeque. (Zegarra, A., 2018)

(RODRIGUEZ, R. y FERNANDEZ, R., 2009) seleccionaron árboles de *Capparis angulata*, *Bursera graveolens* y *Loxopiterigium huasango*, 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.

Al estudiar a la *Cedrela odorata*, *Retrophyllum rospigliosii Pilger* y *Prumnopitys harmsiana* obtuvo como resultado que las tres especies mostraron un gran potencial dendrocronológico y densitométrico, siendo el Cedro, el que sobresalió por su estructura anatómica, ya que sus anillos, fueron fácilmente distinguibles y medibles; formados por madera temprana y madera tardía, la primera generalmente de color más claro que la segunda. (Zegarra, A., 2018) y (Becerra, 2008)

En su estudio de la especie *Tectona grandis* L. f., concluyó que la especie tiene una relación directa entre el crecimiento en diámetro del fuste y la precipitación, es decir la correlación es alta entre el crecimiento y la precipitación. (Zúñiga, 2012)

Al estudiar la *Cedrelinga cateniformis Ducke*, concluyó que mostraron tener una relación entre el crecimiento en diámetro del tronco, y la precipitación durante época de lluvias (Enero – Abril y Mayo), indicando su potencial para reconstrucciones climáticas en la Región. (Campos, L., 2009)

## **1.6 ANILLOS DE ÁRBOLES COMO REGISTROS INDIRECTOS DEL CLIMA.**

Dado el incremento tanto del conocimiento del fenómeno ENSO y su impacto a nivel global, como del interés en el problema del cambio climático en todas las escalas de tiempo, los trabajos interdisciplinarios con otras ciencias como la Paleoclimatología (estudio de las características climáticas de la Tierra a lo largo

de su historia), la cual incluye el estudio del clima a través de fuentes indirectas, han ganado terreno en años recientes.

Los anillos de crecimiento de los árboles tienen características que los hacen una buena fuente de información paleoclimática, entre sus atributos destacan que el ancho de sus anillos puede ser medido en una serie continua de años y estas medidas pueden ser calibradas con datos climáticos, y que los anillos pueden datarse al año específico en el cual se formaron, de esta manera la información climática tiene un lugar específico en el tiempo (Fritts, 1976).

Por lo tanto, los datos de ancho de anillos son fuentes indirectas del clima que pueden usarse para reconstruir la variabilidad climática que ocurrió antes del intervalo cubierto por registros directos, como los que proporcionan las estaciones meteorológicas (Roig F.A., 2000).

De este modo, la interpretación del paleoclima puede beneficiarse de los procesos climáticos observables durante el siglo XX a la fecha, mientras que los modelos climáticos predictivos que usualmente se derivan de registros directos del clima, podrían verificarse a través de las fuentes indirectas. Este conocimiento en conjunto, podría ayudar a discernir entre una variabilidad climática natural y un cambio acentuado por la actividad antropogénica a través de periodos largos de tiempo (Delgado, 2000)

## **1.7 EL USO DE LA DENDROCRONOLOGÍA EN EL ESTUDIO DEL CLIMA.**

La Dendrocronología como en cada ciencia, se basa en un marco del conocimiento a partir del cual se pueden hacer algunas generalizaciones, éstas a su vez basadas a través de la observación y la experiencia. A continuación, se describen algunos conceptos y principios de esta ciencia.

La palabra Dendrocronología proviene de las raíces griegas “dendro”, que significa árbol, “cronos” tiempo y “logos” conocimiento de. La Dendrocronología, por tanto, es el conocimiento o estudio de la edad de los árboles (Fritts, 1976)

La edad de los árboles se registra a través del crecimiento anual de sus anillos contenidos en la madera, en las especies que son capaces de generarlos, tal es el caso de las gimnospermas que crecen en lugares donde las estaciones del año son marcadas, con climas templados o fríos, y donde es factible que los árboles produzcan un anillo de crecimiento por año. (Villanueva-Díaz, 2004).

En las coníferas, por ejemplo, cada anillo anual está formado por células denominadas traqueidas, que inician su formación durante la estación de crecimiento, periodo que se caracteriza por un rápido incremento radial (madera temprana); pero con el tiempo la actividad del cambium decrece y las traqueidas desarrollan paredes celulares más gruesas con cavidades progresivamente más pequeñas (madera tardía). La diferencia en color y densidad de la pared celular de las últimas células, en relación con las primeras del año siguiente, es lo que delimita a un anillo de crecimiento anual (Fritts, 1976)

### **ESTUDIO DE LA DENDROCROLOGÍA EN EL MUNDO.**

Unos de los primeros iniciadores del estudio de los anillos de crecimiento ha sido Andrew E. Douglas 1901 cuya investigación fue basada bajo las siguientes premisas:

Afirma que el crecimiento de los anillos de un árbol es la medida de su fuente 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 son una medida de precipitación.

Su método incluyó la preparación de una curva de crecimiento de un árbol, identificó también el crecimiento de anillos gruesos y delgados que podían servir de patrones de árboles que crecían en diferentes lugares, cuando estudió un tocón muerto que le permitió especificar la fecha de corte.

Más tarde Smiley en 1953 realizó un trabajo de información de anillos de crecimiento de más de 5600 datos individuales de 365 sitios al sur este de Estados Unidos. (Stokes, M. A. y T. L. Smiley, 1968)

## 1.8 DENDROCRONOLOGÍA EN BOLIVIA.

Bolivia por contar con su diversidad de clima sus condiciones climáticas que permiten en gran medida el crecimiento anual de diferentes especies leñosas, no ha tenido importancia el estudio de esta ciencia, habiendo pocos estudios como de Rivero, Harriague Leyton estudiaron al Nogal y Cedro que determinaron que crecen en un ritmo continuo con un incremento de 5.25 mm/año y 7.5 mm/año respectivamente de crecimiento diametral medio, siendo su crecimiento mayor en los meses de primavera–verano con precipitaciones que oscilan entre 650 a 850 mm/año.

Existen otros trabajos realizados en las especies del género *Polylepis* que indica que las estrías de crecimiento son limitadas por una estrecha banda al final de pequeñas fibras de color más oscuro, formadas al final de la época, los factores como temperatura, radiación solar son más importantes para el crecimiento que la baja precipitación de la región (Villalva & Veblen, 1994).

En forma específica estudio realizado para *Cedrela balanceae* (cedro) se determinó que crece a un ritmo continuo más o menos lento (7.5 mm/año de incremento diametral medio). Su mayor crecimiento se da en primavera – verano, en otoño – invierno se registra también un crecimiento más o menos considerable cuando la precipitación para el periodo es de 150 mm a 175 mm. con temperaturas de 21.5° C. a 22.5° C. en primavera – verano las especies registran un comportamiento positivo en su crecimiento y es óptimo a los 22.3° C. otoño invierno registran un mayor desarrollo entre los 16.3° C y los 17.3° C (Harriague, 1992.).

## 1.9 PRINCIPALES MÉTODOS Y TÉCNICAS DE DATACIÓN EN ZONAS TROPICALES.

Existen varios métodos para la datación, uno de los más utilizados es el de la *Medición de anillos de Crecimiento*; el cual determina la edad de los árboles mediante la identificación, reconocimiento anatómico, conteo y medición de los anillos anuales de crecimiento. El ancho de un anillo de crecimiento es obtenido a través de la medición del inicio de la zona clara (leño inicial) al final de la zona oscura (leño tardío) y brinda la cantidad de crecimiento en un determinado año. Los anillos anchos indican un crecimiento acelerado, mientras que anillos estrechos un

crecimiento más lento; siendo una de las metodologías más precisas para determinar la edad de un árbol. (Roig F.A., 2000)

***Densitometría por Rayos X***, técnica que consiste en la atenuación de los rayos X por la madera obteniendo valores exactos en anchos de anillos de crecimiento y densidades aparentes internas. Los estudios con rayos X, puede verse como una actividad netamente investigativa, sin embargo, se trata de una valiosa herramienta que permite reunir en un proceso gran cantidad de información de alto valor para el seguimiento y toma de decisiones en el manejo forestal, (Rosero-Alvarado J. , 2009)

***Isotopía radioactiva***; es el estudio de isótopos estables de Carbono ( $^{14}\text{C}$ ), Oxígeno ( $\text{O}_{18}$ ,  $\text{O}_{16}$ ) y Nitrógeno (N) de anillos de crecimiento y aplicados a climatología, ecología e hidrología. Estos análisis son costosos y requieren de personal altamente entrenado, (Worbes, 1995); (Vetter, 2000); (Botosso, 2002). En el trópico la técnica de isotopía permite estimar las variaciones de precipitación pasadas asociadas con el Fenómeno del Niño y también la posibilidad de proveer un control dendrocronológico de los árboles con variación isotópica interanual bien definida, (Rosero-Alvarado J. , 2011).

***Mediciones continuas de la circunferencia y/o diámetro de los árboles***; Un método dinámico consiste en la implantación de fajas dendrometrías permanentes en el fuste de los árboles, los cuales permiten la medición continua del crecimiento diametral o de la circunferencia determinando los periodos de actividad cambial en relación al ritmo de crecimiento y las variables climáticas mediante su asociación con marcaciones anuales del cambium y fenología. (Botosso, 2002), la probable fuente de error de este método es el propio ritmo de crecimiento, no constante, durante toda la vida. Esta metodología es muy utilizada como parte de la aplicación de la dendrocronología principalmente en dendroecología y la dendroclimatología. (Botosso, 2002) determinaron la periodicidad y tasa de crecimiento del fuste de los árboles tropicales con dendrómetros de cintas de acero inoxidable. Además, los mismos autores determinaron variaciones en la tasa de crecimiento de tres especies forestales tropicales (*Cedrela odorata*, *Eperua bijuca*, *Calophyllum angulare*) relacionadas estrechamente a la precipitación y la disponibilidad de agua en el suelo

en la estación lluviosa y la ocurrencia del periodo de seca con reducción de la actividad cambial. Con el estudio se obtuvo una relación entre el incremento radial de *Cedrela odorata* con los cambios de la copa del árbol y con el periodo anual de sequía. (Zúñiga, 2012)

**Marcación cambial;** para el registro de la marcación cambial y la datación de cicatrices existe el "método de la ventana", descrito por Mariaux, el cual consiste en la eliminación de la corteza y el floema (5 cm de alto x 0,5 cm de longitud) en la dirección longitudinal del tronco. (Lisi, 2008). elaboraron cada año de tres hasta seis ventanas de cada especie en el invierno (de junio) y la primavera (diciembre). Un total de 48 árboles (dos individuos por especie) se llenaron de cicatrices. De las muestras de madera que tuvieron las cicatrices se extrajeron con un extractor de motor en dos períodos (octubre y diciembre). Luego cortaron las secciones transversales de madera con un micrótopo y analizaron su superficie con un microscopio estereoscópico (1040X). Las cicatrices fueron fechadas por contar el número de anillos formados ya que marca el cambium. Este método daña el cambium vascular y al dejar una marca en la madera con fechas conocidas se corroboran mediante observaciones macro o microscópicas al obtener una sección transversal completa o parcial del tronco. Así se determina si el anillo se formó durante un año. (Zúñiga, 2012)

### **EL 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. (Harriague, 1992.)

### **1.10 ELABORACIÓN DE LA SERIE MAESTRA EN LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO:**

En la elaboración de la Serie Maestra es importante describir los conceptos de *señal y ruido*. Se *conceptualiza* señal, a la información relevante contenida en los anillos de crecimiento para el estudio, en particular de una variable, en cambio *ruido* es un parte de la información presente en las series de los anillos de crecimiento que es irrelevante para el estudio de la variable considerada. De esta manera, las series en los anillos de crecimiento en el leño de los árboles, es un conjunto (agregado) de varias señales, pudiendo tener la presencia de ruido, según la aplicación del estudio dendrocronológico. El análisis de un disturbio particular por la aplicación de los anillos de crecimiento en los árboles consiste en realizar una buena descodificación de las señales contenidas en los anillos de crecimiento, resaltando el de interés (a ser estudiado) y minimizando los restantes.

En el presente estudio, el disturbio particular o *señal* en el ancho de los anillos de crecimiento está en función al clima (precipitación y temperatura), considerándose como ruido todos los factores, diferentes al clima, que afectaron el ancho de los anillos de crecimiento (o el crecimiento del tronco de los árboles). Como metodología, fueron aplicados los conceptos de los cuales consideraron las series de los anillos de crecimiento como un agregado lineal compuesto por *señales* presentes. (Botosso, 2002)

### **1.11 LA DENDROCRONOLOGÍA EN EL MANEJO FORESTAL Y EL CRECIMIENTO DE LOS ÁRBOLES.**

En los aprovechamientos forestales, sobre todo en bosques tropicales es necesario que los estudios de manejo se apoyen en información que indique tanto el estado actual del arbolado adulto, como el de su regeneración y el incremento de las especies a fin de fundamentar el manejo. Esta información es más valiosa a la hora de tomar las decisiones de tratamientos silvícolas que permitan asegurar la sostenibilidad de los bosques (García, 1993)

En las últimas décadas se han establecido y monitoreado un gran número de parcelas permanentes de muestreo (PPM) en diversos bosques tropicales. Dichas parcelas han proporcionado datos sobre abundancia, distribución y crecimiento de árboles (Inga, 2011)

En Bolivia, calcularon promedios de incremento diamétrico por regiones y especies maderables de uso actual. En las parcelas de la Chiquitania señalan entre las especies de alto incremento diamétrico al roble (*Amburana cearensis*) y cedro (*Cedrela fissilis*) con un valor de 0,3 cm/año. En la parcela Preandino Amazónico, el cedro (*Cedrela odorata*) fue considerada como una especie de alto incremento diamétrico con un valor cercano a 0,4 cm/año; éste análisis mostró que existen diferencias importantes entre regiones y entre las especies. (Inga, 2011)

En Perú, para plantaciones de enriquecimiento y campo abierto en bosques residuales, establecidos con fines de investigación en la Región Ucayali y la Provincia de Puerto Inca, reportan datos de incremento para las principales especies comerciales: caoba (*Swietenia macrophylla*) un incremento medio anual (IMA) de 0,91 a 2,04 cm/año, cedro (*Cedrela odorata*) de 1,45 a 5,64 cm/año y en tornillo (*Cedrelinga cataeniformes*) de 2,34 cm/año. Asimismo, para una parcela permanente ubicada en la Selva Centra, señalan entre las especies con mayor incremento diamétrico anual a: *Hieronyma asperifolia* (0,66 cm/año), *Palicourea stipularis* (0,55 cm/año), *Cecropia sp.* (0,48 cm/año), *Miconia aureoides* (0,47 cm/año) y *Hieronyma oblonga* (0,45 cm/año) respectivamente. (Inga, 2011)

Los resultados han jugado un papel muy importante como fuente de colección de datos y como medio para ampliar los conocimientos sobre la ecología de árboles. Sin embargo, los datos provenientes de PPM tienen la desventaja de que su alcance es limitado debido a su corto tiempo de observaciones (generalmente < 20 años), lo que se puede considerar relativamente bajo si se toma en cuenta la expectativa de vida de árboles adultos en bosques tropicales (Fichtler, Clark, & Worbes, 2003) Muchos individuos con dimensiones comerciales pueden presentar edades superiores a 200 años (Vetter, 2000)

En el manejo forestal interesa determinar cuánto crece anualmente el árbol en términos de diámetro y altura, y cómo varía este crecimiento entre sitios. En este contexto surge como alternativa el análisis de anillos de crecimiento siendo un

método conveniente y directo para la recolección de información de crecimiento de árboles (Worbes, 1995). Asimismo, se puede determinar de forma más precisa la velocidad de crecimiento de las especies arbóreas y dar pautas sobre sus posibles turnos biológicos de corta (Villalva & Veblen, 1994)

Mediante el método dendrocronológico es posible obtener no sólo el valor de espesor de los anillos de crecimiento con una alta precisión, sino también conocer la historia del desarrollo del árbol, lo cual pondera a este método por sobre otros de uso tradicional en estudios forestales (forcípula, cinta, dendrografía y otros). (Inga, 2011)

### **1.11.1 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. (Gutierrez, 2009)

### **1.11.2 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 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 . 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. (Gutierrez, 2009)

### **1.11.3 La Formación De Los Anillos:**

#### **1.11.3.1 El Registro Anual Del Tiempo.**

El crecimiento de los árboles, como cualquier proceso de crecimiento, 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. (Gutierrez, 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. (Gutierrez, 2009)

#### **1.11.4 Tipos de anillos: anatomía de la madera.**

Manifiesta que en las coníferas o gimnospermas (pinos, abetos) 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 (Gutierrez, 2009)

La estructura del anillo en las angiospermas, árboles planifolios, es más compleja ya que la diversidad de células que forman la madera es mayor que en las coníferas. Se distinguen 3 grandes grupos. Uno, especies de porosidad anular, como los robles y castaños, cuya madera temprana se distingue de la tardía por los grandes vasos conductores que se forman al inicio del periodo de crecimiento. Dos, especies de porosidad semifusa, como el haya, el tamaño de los vasos es progresivamente más pequeño. Y tres, especies de porosidad difusa, como el chopo, cuyos vasos son de diámetro muy parecido a lo largo de todo el anillo. En cualquier caso, los anillos anuales se distinguen bien debido a las diferencias entre madera temprana y tardía en unos casos o por la formación de unas células diferentes al final de anillo que son distintas y marcan el final del anillo. (Gutierrez, 2009)

#### **1.11.5 El principio básico de la dendrocronología y su práctica la datación cruzada.**

El principio básico de la dendrocronología es la datación cruzada (*crossdating*) o “cofecha”. Esta es una técnica que garantiza que a cada anillo de un árbol individual se le asigne un año exacto de formación. Esto se logra combinando patrones de crecimiento (diferentes anchos de anillos) de un árbol con los patrones de otros árboles que crecieron en otros sitios. De esta forma, se pueden construir cronologías o series maestras. Al replicar el proceso de datación cruzada con series cada vez más antiguas es posible la reconstrucción de la serie hacia el pasado (SCHWEINGRUBER, 1996.)

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. (Gutierrez, 2009)

Sin embargo, como ya se ha comentado, en clima diferentes se pueden presentar anillos falsos, dobles crecimientos (en especies que puedan presentar policiclismo), o incluso puede haber años en los que no se haya producido un anillo por las malas condiciones climáticas (generalmente sequía).

Para corregir los posibles errores que se puedan cometer se realiza la caracterización de los anillos (en la cual se ve qué anillos presentan particularidades) y la datación cruzada la cual consiste en la comprobación visual de la sincronía que debe haber entre los años característicos de los árboles que han crecido bajo las mismas condiciones climáticas durante un periodo común. (Rubio, 2002)

Tras la realización de la datación cruzada se miden los anillos con herramientas de precisión y se realiza la validación estadística de la datación determinando el grado de sincronía entre las series mediante el coeficiente de correlación con un nivel de significación del 99%. Si no se consiguiese la validación estadística habría que detectar los errores cometidos en las dataciones efectuadas o eliminar aquellas muestras que distorsionen el conjunto. De esta manera se obtiene la datación absoluta de los anillos, asignando de manera definitiva y precisa el año que corresponde a cada anillo.

En los anillos se superponen muchas señales (información) que reflejan las variaciones de todos aquellos factores internos y externos que influyen en el crecimiento (edad en la que se formó cada anillo, características del

suelo, genética, perturbaciones, etc.), sin embargo, si sólo interesa la relación entre crecimiento y clima lo que se hace es extraer la señal que interese mediante la utilización de técnicas estadísticas y matemáticas (estandarización), considerando ruido el resto de señales. (Rubio, 2002)

Una vez estandarizadas independientemente cada una de las series de crecimientos se hace la media y de esta manera se obtiene la serie maestra, que es adimensional y es la que se utiliza en las comparaciones con el clima.

## **1.12 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CRECIMIENTO DE LOS ÁRBOLES.**

### **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, 1991).

### **1.12.2 Luz.**

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 (Finegan, 1991).

### **1.12.3 Forma de Copa.**

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. (Zuidema, 2003)

#### **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, 2002.)

#### **1.13 RELACIÓN DE LA PLANTA CON FACTORES CLIMÁTICOS Y FISIOLÓGICOS.**

(Zuidema, 2003) manifiesta que 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 (Zuidema, 2003)

#### **1.14 CRECIMIENTO EN DIAMETRO.**

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.

El patrón de crecimiento diametral de árbol de una especie heliófila 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. (Ortega, 2014.)

#### **1.14.1 Crecimiento diametral.**

Desde el punto de vista biológico es simplemente el desarrollo 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)

##### **1.14.1.1 Incremento.**

Es la magnitud de crecimiento en otras palabras se puede definir como la diferencia de mediciones de algunas variable dasométrica 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)

##### **1.14.1.2 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)

##### **1.14.1.3 Incremento Media Anual (IMA).**

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

#### **1.14.1.4 Incremento Total.**

Crecimiento de un árbol o masa forestal durante toda su vida.

### **1.15 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁRBOL.**

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

#### **1.15.1 Altura Total.**

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

#### **1.15.2 Altura Commercial.**

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

#### **1.15.3 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.

#### **1.15.4 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.

## 1.16 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE EN ESTUDIO.

### 1.16.1 Taxonomía:

*Especie: Cupressus macrocarpa Hartw. ex Gord.*

*N. Común: Ciprés*

### 1.16.2 Descripción dendrológica.

El *Cupressus macrocarpa Hartw. ex Gord.*, es una especie arbórea posee una altura de 10 a 15 m. entre 50 y 80cm de diámetro; algunos ejemplares pueden alcanzar 1.2m y 1.5mde diámetro tienen copas frondosas, formadas por ramas bastantes largas; la poda natural es pobre.

- a) **Corteza:** La corteza es lisa, de color pardo rojizo oscuro en los árboles jóvenes; pardo claro, escamosos y fisurada, longitudinalmente en los viejos.
- b) **Hojas:** Son en forma de escama de 1-2 mm de longitud de color verde, a veces amarillento, y con ápices obtusos que se disponen muy pegadas alrededor de las semillas terminales y de forma solapada a modo de escamas de pez. Suelen tener los conos masculinos y los femeninos separados en el mismo pie de planta son opuesta, decusadas, pegadas al ramillo y de color verde brillante.
- c) **Flores:** Tienen carácter unisexual, las masculinas terminales, de color amarillo las femeninas agrupadas en un cono florífero. Los conos femeninos dan lugar a un fruto leñoso, similares a una piña botánicamente se llaman estróbilos que tienen en forma globosa y son de color pardo rojizo al madurar. El tipo de fruto y el intenso olor a limón o mandarina que desprenden de hojas y ramillas al frotarles, lo diferencian del ciprés común. (Zubieta, 2012)

## CAPÍTULO II

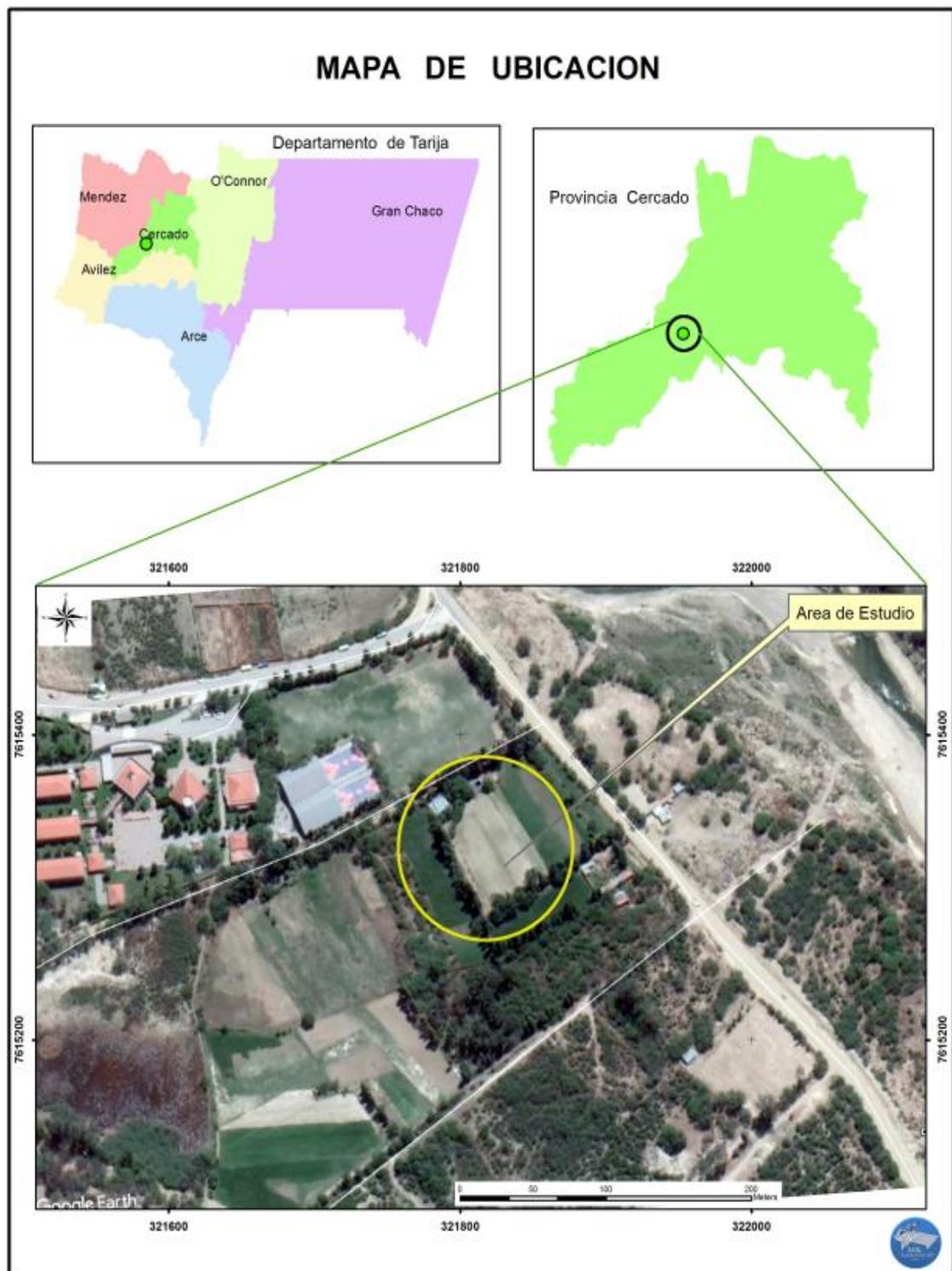
### MATERIALES Y MÉTODOS.

#### 2.1 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

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.

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. (GOBIERNO MUNICIPAL, 2007.)



**Figura 1: Mapa de Ubicación**

## 2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

### 2.2.1 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 récord es la estación Aeropuerto y la más completa El Tejar.

Para realizar las respectivas interpolaciones a través de un Sistema de Información Geográfica y obtener los diferentes mapas temáticos de precipitación, temperatura, se precisó de otras estaciones aledañas a la Provincia Cercado, tal como se muestra en los cuadros siguientes de información climática.

La clasificación climática se determinó, por el método Schaufelberguer quien establece la unión de dos metodologías como la clasificación de Caldas y Lang.

Para los cuales Caldas establece sus parámetros en función de la altura y la temperatura, como se muestra en el cuadro siguiente:

**Cuadro N° 1: Rangos De Clasificación Climática De Caldas**

Piso térmico	Símbolo	Rango de alturas (m)	Temperaturas (°C)	Variación de la altitud por condiciones locales
Cálido	C	0 - 1000	$T \geq 24$	Limite superior + - 400
Templado	T	1001 - 2000	$24 > T \geq 17,5$	Limite superior + - 400
Frió	F	2001 - 3000	$17,5 > T \geq 12$	Limite superior + - 400
				Limite inferior + - 400
Páramo bajo	Pb	3001 - 3700	$12 > T = 7$	
Páramo alto	Pa	3701 - 4200	$T < 7$	

**Fuente:** (SENAMHI , 2017)

De la misma manera se muestra los parámetros de clasificación climática según Lang en el siguiente cuadro:

**Cuadro N°2: Rangos De Clasificación Climática De Lang**

Factor de Lang P/T	Clase de clima	Símbolo
0 a 20	Desértico	D
20,1 a 40	Árido	A
40,1 a 60	Semiárido	Sa
60,1 a 100	Semihúmedo	Sh
100,1 a 160	Húmedo	H
> 160	Superhúmedo	SH

**Fuente:** (SENAMHI , 2017)

### 2.2.2 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° 3: Provincia Cercado: Temperatura Media**

Estaciones	Temperatura media											
	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:** (SENAMHI , 2017)

### 2.2.3 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. También se presenta precipitaciones máximas en 24 horas en un promedio de 111mm, días con lluvia de 70, tal como se muestra en el cuadro siguiente.

**Cuadro N° 4: Provincia Cercado: Precipitación Media**

Estaciones	Precipitación Media												PP anual	Pmax en 24h	Días de lluvia	Velocidad viento	Dirección viento
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D					
Aeropuerto	133	114	84	22	2	1	1	2	7	36	70	131	602	125	65	6 SE	
El Tejar	133	107	96	19	3	1	1	3	7	39	81	132	622	106	79	6 S	
San Jacinto Sud	110	107	100	20	3	0	1	3	8	45	79	115	590	111	65	5 E	

**Fuente:** (SENAMHI , 2017)

#### 2.2.4 Velocidad y dirección de los vientos.

La velocidad promedio anual es de 6.0 km/h, estos se presentan con mayor intensidad de agosto a diciembre. La dirección de los vientos es hacia el SE (Sur-Este), con una velocidad de vientos de 10 km/h. (SENAMHI , 2017)

Se presenta vientos débiles a moderados de dirección variable de origen local, el régimen normal de vientos en la provincia Cercado, que corresponde en gran parte al Valle central de Tarija, está determinado por el ingreso de masas de aire denso a través de la fractura geológica de la Angostura, razón por la cual, la intensidad, así como la dirección predominante se modifica al distribuirse tanto hacia el norte como al sur, de este punto de referencia.

#### 2.2.5 Evaporación.

La evaporación media diaria es de 4.41 mm. Bajando este promedio los meses de invierno y elevándose en los meses de verano. La evapotranspiración calculada por el método del tanque evaporímetro tipo “A” basándose en los datos de evaporación alcanza los 1.287 mm/año. (SENAMHI , 2017)

#### 2.2.6 Radiación solar.

Alcanza un valor promedio de 406.8 cal/cm<sup>2</sup>/mes, alcanzando los meses de invierno 150 cal/cm<sup>2</sup>/mes en verano.

La insolación (horas de brillo solar), se tiene un promedio en agosto el valor más alto 8.1 horas y el más bajo en enero con 5.1 horas. (SENAMHI , 2017).

### 2.2.7 Suelos.

Los suelos de acuerdo a la geomorfología, en la parte de Cercado, son moderadamente desarrollados, moderadamente profundos, con moderadas y fuertes limitaciones por erosión, originados a partir de sedimentos fluvio lacustre, aluviales coluviales. (SENAMHI , 2017)

### 2.2.8 Vegetación.

La existencia de variables ambientales existentes en las áreas de estudio, genera diferentes tipos de clima, que son determinantes para existencia de diferentes tipos de formación vegetal natural, estas características ambientales han originado una gran variabilidad de paisajes en sus diferentes estratos de vegetación. (GOBIERNO MUNICIPAL, 2007.).

#### **Cuadro N° 5: Las principales especies nativas de árboles en la zona de San Blas.**

<b>Nombre Común</b>	<b>Nombre Científico</b>	<b>Familia</b>
Churqui	<i>Acacia caven mol.</i>	Leguminosae
Molle	<i>Schinus molle L.</i>	Anacardiaceae
Algarrobo blanco	<i>Prosopis alba sp.</i>	Leguminosae
Jarca	<i>Acacia visco Lor. Griseb</i>	Leguminosae
Chañar	<i>Geoffroea decorticans</i>	Leguminosae

**Fuente:** (GOBIERNO MUNICIPAL, 2007.)

#### **Cuadro N° 6: Cultivos frutícolas más comunes en San Blas.**

<b>Nombre Común</b>	<b>Nombre Científico</b>	<b>Familia</b>
Duraznero	<i>Prunus pérsica L.</i>	Rosaceae
Higuera	<i>Ficus carica L.</i>	Moraceae

**Fuente:** (GOBIERNO MUNICIPAL, 2007.)

### 2.2.9 Agricultura

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

### 2.3 MATERIALES E INSTRUMENTOS.

Para lograr un buen desarrollo y eficiente trabajo sobre el “Estudio Dendrocronológico del Ciprés”, se utilizó los siguientes materiales para las diferentes fases de campo, aserradero, laboratorio y gabinete. (**Figura 2**).



**Figura 2: Materiales e instrumentos**

#### 2.3.1 Fase de campo

- GPS Garmin
- Motosierra; Machetes
- Cinta diamétrica; Flexómetro
- Cámara fotográfica Samsun
- Planillas de campo; Marcadores
- Vehículo para el transporte del material
- Pintura en spray (marcado de árboles)

### **2.3.2 Fase de aserradero.**

- Sierra circular; Cepilladora
- Grueseadora; Marcadores
- Serrucho; Flexómetro
- Escuadras y reglas de carpintería
- Cepillo manual
- Lijadora eléctrica orbital SKIL.
- Marcadores y lápices
- Planillas de registro
- Mascarilla protectora

### **2.3.3 Fase de laboratorio.**

- Regla milimétrica.
- Lupa de 10  $\mu$  de aumento.
- Calculadora.
- Lijas de diferentes granulometrías.
- Planillas de Laboratorio.
- Material de escritorio

### **2.3.4 Fase de gabinete.**

- Mesa o escritorio
- Planillas de registro
- Cartas geográficas de la zona
- Mapas de la zona de estudio
- Material de escritorio
- EXCEL Programa
- Computadora; Impresora
- Información SENAMHI

## **2.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO**

### **2.4.1 Ubicación de la zona de extracción de los árboles.**

Está ubicado en la zona de San Blas, en los predios del Sr. Pedro Brozovich, bajo las siguientes coordenadas: 21°33'22.22" de latitud S. y 64°43'14.80" longitud W.

### **2.4.2 Tipo de investigación.**

El trabajo de investigación es de tipo explicativo y descriptivo, pues se busca investigar el crecimiento de la especie *Cupressus macrocarpa* Hartw. ex Gord., a través de los anillos de crecimiento y su relación con variables climatológicas como la temperatura y la precipitación.

### **2.4.3 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 (Leyton, 2002.)

### **2.4.4 Diseño estadístico:**

La investigación realizada es no experimental, no se manipularon las variables de estudio. Es cuantitativa porque los datos son producto de las mediciones de ancho de anillos y se analizaron a través de los programas para dendrocronología. Se aplicó un diseño transversal descriptivo ya que la evaluación y medición de las variables se dio en un momento dado.

### **2.4.5 Material biológico para el estudio dendrocronológico.**

#### **2.4.5.1 Selección de los Árboles de la Población.**

Se elaboró un plano de ubicación de los árboles del *Cupressus macrocarpa* a ser muestreados (Ver figura 1), se procedió a levantar la información de los datos de la población de las especies existentes en la zona, (Ver Anexo 1), posteriormente a la selección de 5 árboles de la especie en estudio *Cupressus macrocarpa*, tomando en cuenta las siguientes características.

- 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. (Figura 3).



**Figura 3: Árboles seleccionados**

Las arboles utilizadas para el desarrollo del estudio dendrocronológico, fueron colectadas en noviembre del año 2020. Los árboles han sido seleccionados bajo el sistema al azar, de manera que todos los individuos tengan la misma probabilidad de ser elegidos, para lo cual se tiene que tener especial cuidado en obtener muestras de árboles de la misma especie con diámetros similares. Para la colección de muestras de madera de *Cupressus macrocarpa Hartw. ex Gord.*; se realizaron los siguientes pasos:

- a) Identificación y marcación de árboles.
- b) La extracción de las muestras de la rodaja de los árboles.
- c) Identificadas y acondicionamiento de las muestras

#### **2.4.5.2 Apeo de los Árboles.**

Luego de la selección, identificación y marcación de árboles con pintura, se realiza, el limpiado el área alrededor del árbol para su posterior derribo con la ayuda de una

motosierra dirigiendo la caída, (Figura 4). De las cuales se cortaron 5 árboles dominantes, las mismas que fueron cortados perpendicular al fuste, para medir los crecimientos entre el ancho de sus anillos.

**Figura 4: apeo de los arboles**



#### **2.4.5.3 Obtención de las muestras o rodajas.**

La extracción de las muestras de la rodaja de los árboles, fue hecha 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 cuatro a cinco pulgadas, Se colectaron una muestra de rodaja por árbol. Todas las muestras fueron codificadas, el código está compuesto por letras y dígitos, la primera letra representa a la especie y los dígitos representan el número de árbol. (Figura 5).

Luego de ser identificadas, se procedió al acondicionamiento de las rodajas en bolsas de plástico y las muestras o rodajas fueron colocadas en una parrilla bajo techo para realizar el secado al aire libre, para luego proceder a trasladarlo a la carpintería prepararlos para el laboratorio. y luego fueron transportadas al Laboratorio de Tecnología de la madera (LATEMA) de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

**Figura 5: extracción de rodajas**



#### **2.4.5.4 Preparación de las muestras o rodajas**

El principal objetivo de la preparación de las muestras es resaltar, de la mejor forma posible, los anillos de crecimiento para su posterior identificación, conteo y medición. En el caso del presente trabajo, las muestras que se seleccionó fueron rodajas, que se vio que presentaran una cara con mejores condiciones de trabajabilidad, las mismas que se cepillaron con una lijadora eléctrica, hasta que disminuyeron considerablemente las sinuosidades de la madera y obtener una superficie lisa para una mejor identificación de los anillos de crecimiento. (Figura 6).

Para un análisis posterior de los anillos de crecimiento del leño, se consideró que los elementos leñosos estén dispuestos en sentido longitudinal, buscando exponer en la cara superior la sección transversal, para visualizar los anillos de crecimiento (Zúñiga 2012). Para destacar los anillos de crecimiento, se lijaron con una lijadora orbital y se usaron lijas de granulometría de densidad creciente (80, 100, 120, 150, 180, 360. granos.cm<sup>-2</sup>). En cada cambio de lija se realizó la limpieza del exceso de polvo con una compresora de aire.

**Figura 6: preparación de las rodajas**



#### **2.4.6 Observación de la Sección Transversal.**

Una vez que las muestras presentaron la superficie totalmente pulida, se procedió a la observación macroscópica de las secciones, esta operación se realizó con la ayuda de una lupa de 10 micras de aumentos y se obtuvo una superficie de observación concreta, clara y bien diferenciada de los anillos de crecimientos.

Una vez que las muestras presentaron la superficie totalmente pulida, luego se procedió a preparar las rodajas para su marcación de los anillos de crecimiento en su sección transversal, para cual se utilizó un estereoscopio de aumento 10x, un lápiz. (Figura 7).

**Figura 7: observación de la sección.**



**transversal**

#### **2.4.7 Marcación de los anillos de crecimiento**

Una vez preparados las rodajas para la marcación se procedió a definir los radios a considerar, para lo cual, se trabajó con tres tipos de radios, recomendado por Brienen 2003. Citado por Leyton, 2002, el radio mayor, el radio medio y el radio menor, ya que en pocos casos podemos tener una rodaja completamente circular, para tal efecto se tomaron tres radios para conseguir mejores datos.

Después de obtener las muestras físicas de las rodajas donde se pueden ver los anillos de crecimiento, se realizó el fechado visual, que consistía en asignar a cada anillo el año correcto en el que se formó (se utilizó alfileres para marcación de los anillos). Para ello, primeramente, se estableció el año de cada anillo, haciendo el conteo de la corteza a la médula. Se asignó el año 2020 al último anillo (año en que se apeó el árbol), y a los demás los años en orden descendente a partir de este. Se marcó con un lápiz un punto cada diez años. 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 el leño. No se tomarán en cuenta en la medición aquellos espacios ocasionados por rajaduras. (Figura 8).

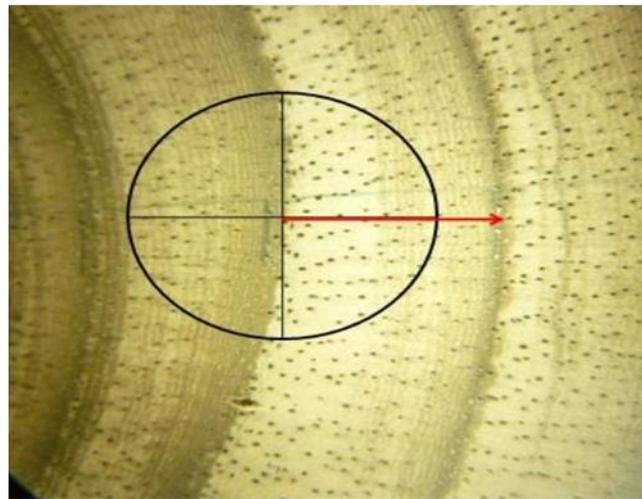
**Figura 8: marcado de los anillos**



#### **2.4.8 Medición de los anillos de crecimiento.**

Una vez que se realizó la marcación se procedió a realizar la medición de los anillos de crecimiento con instrumentos de precisión (como ser el vernier), se midió en dirección perpendicular a los tejidos radiales desde la medula hacia la corteza, generando mediciones en los puntos preparados anteriormente (ancho de anillos de crecimiento), que las mismas se exportaron hacia el programa Microsoft Office Excel, (Ver Anexo 3). La demarcación, marcación, conteo y medición del ancho de los anillos fueron realizadas en forma manual. (Figura 9 y 10).

**Figura 9: medición de los anillos**



**Figura 10: Observación y medición de ancho de anillo de crecimiento.**

#### **2.4.9 Datación cruzada de los anillos de crecimiento.**

El principio básico de la dendrocronología es la datación cruzada (*crossdating*) o “cofecha”. Esta es una técnica que garantiza que a cada anillo de un árbol individual se le asigne un año exacto de formación.

El cofechado, este principio consiste en comparar las variaciones en los anchos de los anillos de muestras provenientes de un mismo árbol, o bien de muestras de distintos árboles colectadas en un área dada, así como de muestras colectadas de árboles de áreas cercanas. Lo anterior permite identificar claramente el año exacto en que un anillo de crecimiento fue formado y hacer correcciones debido a anillos que se encuentren localmente ausentes o bien a anillos falsos (bandas de crecimiento intra-anual). Su adecuada aplicación permite un tipo de control

experimental, pues determina el año en que tuvo lugar cada crecimiento en el ancho de anillos, De esta forma, se construyeron las cronologías. (Fritts 1976). Citado por Gutiérrez, 2008

Como se explicó en el punto de la marcación de los anillos, la datación de las secuencias de anillos de los árboles 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). Citado por Gutiérrez, 2008. De manera que, retrocediendo hacia atrás en la secuencia de anillos, es decir en el tiempo, se va asignando a cada uno de ellos el año de calendario durante el cual se formó. A medida que se hace esta asignación, se anotan también los anillos característicos como ser los anillos estrechos, los muy anchos, los que tienen la madera tardía clara, anillos de helada.

Para estar seguros de que las dataciones individuales de las secuencias de anillos son correctas, se llevó a cabo la comparación de las dataciones individuales que es el proceso de interdatación o datación cruzada. Para ello se comprobó, visualmente, si existe o no una sincronía de los anillos característicos de los 5 árboles. La interdatación 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. Los cambios en el grosor de los anillos reflejan la respuesta de los árboles a la variabilidad del clima. Los anillos que presenten problemas pueden identificarse porque si los anillos coinciden adecuadamente en un lado del área con problema, parecerán no coincidir del otro lado. Cuando se reconoce la discrepancia, la secuencia de anillos es corregida incorporando anillos de crecimiento anual faltantes o extrayendo los anillos falsos (Fritts 1976). Citado por Gutiérrez, 2008

#### **2.4.10 Validación estadística de la datación.**

Una vez que las series individuales se han datado e ínter datado 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%.

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 5). Gutiérrez, 2009.

## **2.4.11 Crecimiento en diámetro.**

### **2.4.11.1 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 (cm/años)

DAP<sub>1</sub> = Diámetro en la primera medición, (cm)

DAP<sub>2</sub> = Diámetro en la segunda medición, (cm)

T= Tiempo transcurridos entre las mediciones, (años)

Para nuestro caso utilizamos la siguiente ecuación:

$$ICA = \left( \frac{R_1 + R_2 + R_3}{3} \right) * 2$$

Donde:

**ICA** = Incremento Corriente Anual (cm/años).

**R1** = Radio 1 en cm.

**R2** = Radio 2 en cm.

**R3** = Radio 3 en cm.

Como se está trabajando con anillos de crecimiento anuales, la variable del tiempo no se lo toma en cuenta, por tratarse de tiempos igual a un año.

#### **2.4.11.2 Determinación del Incremento Corriente Anual ajustado (ICAA).**

Para la determinación del ICAa (Incremento Corriente Anual ajustado) es realizada a partir del cálculo de la ecuación anterior (ICA). Para encontrar la mencionada ecuación, se realizó con paquete estadístico para obtener el modelo matemático adecuado e identificado y con el cual se ajustó la mejor tendencia de crecimiento. Los datos fueron introducidos para el eje “X” el punto medio de la clase diamétrica y para el eje “Y” el ICA encontrado para esa categoría diamétrica, para el *Cupressus macrocarpa*.

#### **2.4.11.3 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. La determinación del IMA en nuestro caso, se determinó por medio de la siguiente ecuación:

$$IMA = \left( \frac{\sum \text{Radios...medios}}{N^\circ \text{ De...anillos}} \right) * 2$$

#### **2.4.12 Dendroclimatología.**

##### **2.4.12.1 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 7 y 8), a partir de dos estaciones meteorológicas. La Estación del Aeropuerto con datos correspondientes al periodo entre 1980 a 2020, localizado en el aeropuerto lea Plaza, Provincia de Cercado, Departamento de Tarija, con una latitud sud de  $21^{\circ}32'48''$ , Longitud sud de  $64^{\circ}42'39''$  y una altitud de 1849 msnm. La Estación de Turumayo también en la Provincia Cercado con datos correspondientes a los periodos entre 0000 a 2020, localizado Provincia Cercado Departamento de Tarija, con una latitud sud de  $21^{\circ}30'12''$ , una longitud sud de  $64^{\circ}40'37''$  y una altitud de 1855 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.

#### **2.4.12.2 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 9) y por otro las series mensuales de precipitación y de temperaturas medias (Ver Anexo 6y 7). 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 del Aeropuerto ubicado en la provincia cercado, 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.

#### **2.4.12.3 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 *Cupressus macrocarpa Hartw. ex Gord.* determinados, fueron comparados con los valores mensuales de variables climáticas para la zona de estudio, que fueron obtenidos a través SENAHMI de la Estación del Aeropuerto (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, 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

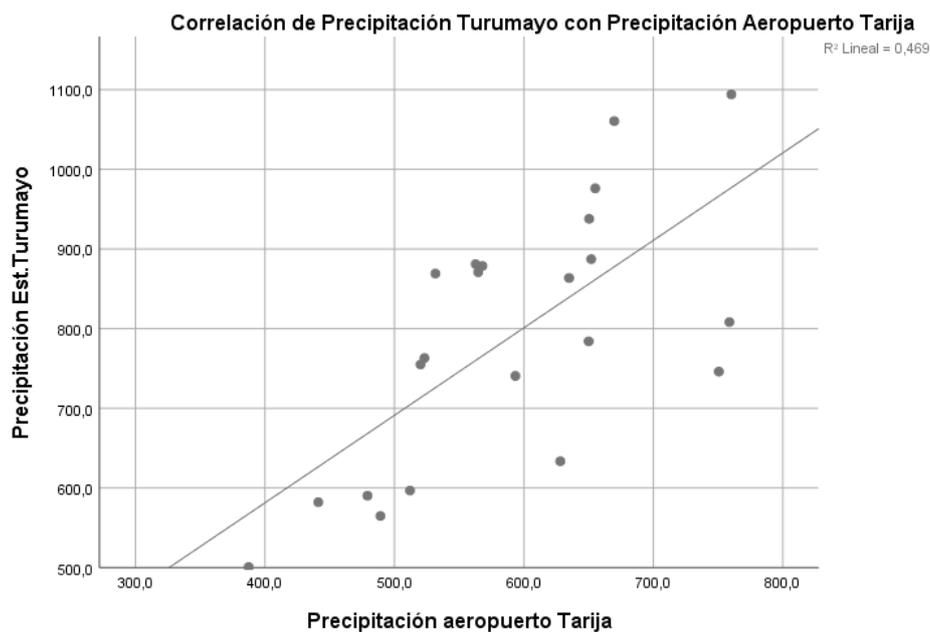
### RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

De acuerdo a las observaciones y análisis de las muestras correspondientes para el presente estudio se establecieron los siguientes resultados de acuerdo a las unidades de trabajo y especie en estudio.

#### 3.1 ANÁLISIS DE DATOS METEOROLÓGICOS.

Con el propósito de validar los datos climáticos con el comportamiento de los anillos de crecimiento de la plantación de Ciprés, se optó por realizar el análisis de valores precipitación y temperatura de la Estación Aeropuerto de Tarija, mediante la correlación con los registros de la estación meteorológica de Turumayo; que se encuentra cercana a la estación Aeropuerto y ambas localizadas en el Valle Central de Tarija.

**Grafico N° 1: Prueba de correlación de datos de precipitación entre las estaciones Aeropuerto de Tarija y Estación Turumayo**



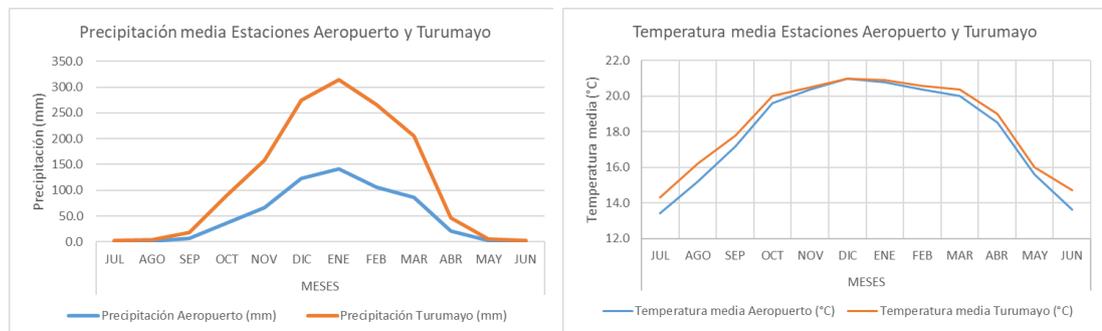
### Correlaciones

		Precipitación aeropuerto Tarija	Precipitación Est. Turumayo
Precipitación aeropuerto Tarija	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	1	,685** ,000
Precipitación Est. Turumayo	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	,685** ,000	1

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

Mediante esta prueba estadística, se demuestra que la correlación es significativa a un nivel de 0.01, habiéndose obtenido coeficientes de correlación significativos para precipitación con  $r = 0,685$  y para temperatura un  $r = 0,795$ .

### **Grafico N° 2: Serie de datos de Precipitación y Temperatura de las Estaciones Meteorológicas: Aeropuerto de Tarija y Turumayo**



Estas dos graficas muestran visualmente, que la precipitación y temperatura tienen el mismo comportamiento, es decir, coinciden en el inicio de la precipitación, ascienden en los meses de verano y similar comportamiento corresponde a la temperatura, razón por la cual, se validó la consistencia de los datos climáticos que posteriormente fueron utilizados en el análisis dendrocronológico de los árboles de la plantación de Ciprés localizado en la zona de San Blas del Valle Central de Tarija

## 3.2 CRONOLOGÍA DEL CIPRÉS.

### 3.2.1 Edad de los árboles.

Para determinar la edad de los árboles de Ciprés, se prepararon discos completos (torta) obtenidos a la altura de 1.30 m de los troncos, donde se realizaron el conteo y las mediciones del ancho de los anillos de crecimiento, con el propósito de construir las respectivas series cronológicas.

Se pudo observar, que cada anillo consta de una porción clara de madera temprana y otra más oscura de madera tardía. Los anillos se distinguieron por la marca evidente al final de la madera tardía que es más oscura del año anterior y la madera temprana más clara del siguiente año.

Se consideró el centro de la médula como punto cero, de manera que el número de anillos contados, corresponde a la edad del árbol, sin embargo, a este valor se le debe sumar el tiempo que le toma al árbol alcanzar la altura de 1.30 m, que, según varias investigaciones se asumen unos 5 años, antes de empezar a desarrollar anillos. Dicho de otro modo, la edad del árbol equivale al número de anillos más 5.

### **Gráfico N° 3: Identificación y conteo de los anillos de crecimiento en una torta de fuste de Ciprés**



**Cuadro N° 7: Cronología y estadísticas del ancho de los anillos de crecimiento.**

**(Datos del ancho de anillos se encuentran en Anexo 11)**

Cronología	1980 - 2020 (41 años)
Muestra	5 arboles
Numero de anillos/árbol	41
Promedio ancho de anillos	4.83 mm
Desviación estándar ancho de anillos	1.966
Error estándar ancho de anillos	0.508

Por tanto, la cronología generada, indica que los árboles analizados de Cupressus macro carpa, provenientes de la zona de San Blas - Tarija, tiene una edad de 46 años (Periodo 1974 - 2020).

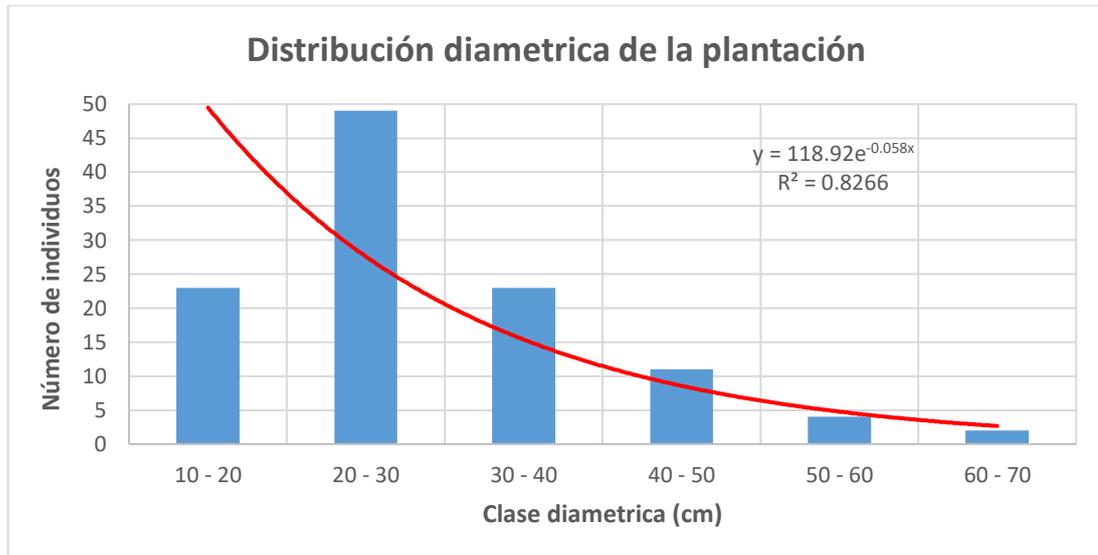
**3.3 DISTRIBUCIÓN DIAMÉTRICA DE LA ESPECIE.**

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 arboles con diámetros entre 40 y 70 cm, participan con el 15.2%, representando el dosel superior del rodal de ciprés.

**Cuadro N° 8. Distribución diamétrica para una plantación de ciprés, por medio del Modelo exponencial (valores promediados a una hectárea).**

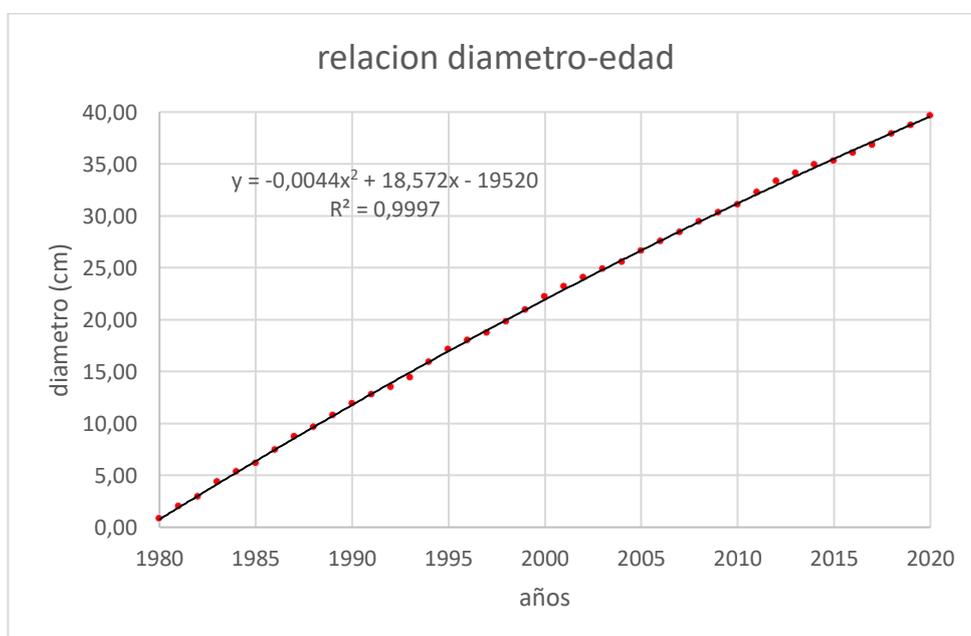
Clase Diamétrica	Marca de Clase (cm)	Nro. De Arboles	Área Basal (m2)	Volumen (m3)	Nro. Arboles Ajustado	Porcentaje
10 - 20	15	23	0.524	0.829	50	20.5
20 - 30	25	49	2.380	3.771	28	43.8
30 - 40	35	23	2.219	4.414	16	20.5
40 - 50	45	11	1.763	3.168	9	9.8
50 - 60	55	4	0.870	2.568	5	3.6
60 - 70	65	2	0.589	3.317	3	1.8
Total		112	8.347	18.066	110	100.0

**Gráfico N° 4 Número de árboles por clase diamétrica y modelo matemático de ajuste**



Según el cuadro del análisis de crecimiento en diámetro de los árboles de Ciprés, muestra variabilidad entre las muestras analizadas de incremento en diámetro del fuste, aspecto que es corroborado por los valores de Coeficiente de variación que oscila entre 30 y 50%, posiblemente se deba a la competencia intraespecífica natural de las plantas en el rodal. Dicho de otro modo, unas plantas mostraron mayor desarrollo que otras en función al tiempo.

**Gráfico N° :5 tasas de incremento diametral**



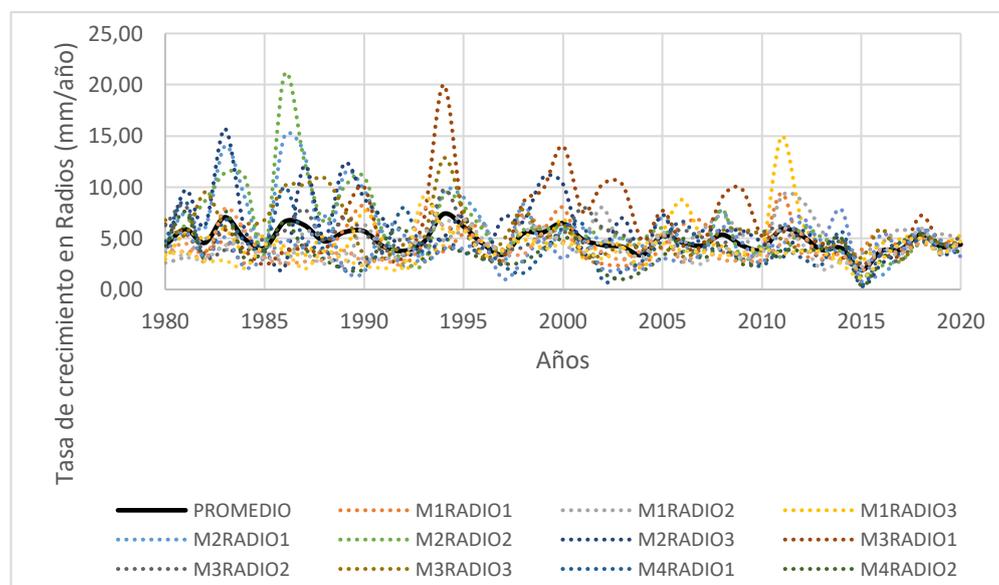
La ecuación cuadrática de segundo orden, representa adecuadamente el crecimiento en diámetro de la especie estudiada, con un nivel de significancia de 99%.

Indica las tasas de incremento diametral de la plantación en cm por cada periodo (Año 1980 – 1985; año 1986 – 1990; año 1991 – 2000; .....; año 2016 - 2020), mostrando que en el año 2010 al 2015 hubo un crecimiento diametral elevada debido a abundantes precipitaciones en esos años y también debido a que reaccionan a tratamientos silviculturales como ser poda, raleo. etc. obteniéndose tendencias de crecimiento polinómica. El análisis de regresión mostró un valor de coeficiente de determinación para “cipres” de  $r^2 = 0.9997$

### 3.3.1 Diámetro en base al ancho de los anillos.

Los resultados para este análisis se han obtenido del análisis de los discos de los 5 árboles que constituyen la muestra. Para ello, se midió el ancho de los anillos en 3 direcciones desde el centro (radios), con estos valores, se generó la curva media para cada individuo, utilizando el promedio de crecimiento de cada dirección. Con el propósito de mostrar los anteriormente mencionado, se presenta el crecimiento en 3 radios medidos y el promedio de estos radios, en el gráfico 6.

**Grafico N° 6: 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 gruesa oscura) de las diferentes direcciones de los discos de los 5 árboles considerados muestras.

El diámetro del fuste, fue calculado sumando el ancho de los anillos precedentes, es decir, el ancho representa el radio de una circunferencia, por tanto, para obtener el diámetro se multiplicó por 2, para luego reconstruir los diámetros en función al tiempo, cuyos resultados se muestra en el cuadro 9.

**Cuadro N° 9: Reconstrucción de los diámetros en base al ancho de los anillos de crecimiento. (Datos se encuentran en Anexo 11)**

AÑO	DIAMETRO (cm)	DESV. ESTANDAR	ERROR ESTANDAR	AÑO	DIAMETRO (cm)	DESV. ESTANDAR	ERROR ESTANDAR
1980	4.3	1.28	0.33	2001	4.9	1.52	0.39
1981	5.9	2.07	0.53	2002	4.3	2.48	0.64
1982	4.6	2.17	0.56	2003	4.2	2.29	0.59
1983	7.1	3.80	0.98	2004	3.4	1.04	0.27
1984	4.9	2.50	0.65	2005	5.3	1.38	0.36
1985	4.1	1.10	0.28	2006	4.6	1.68	0.43
1986	6.6	5.34	1.38	2007	4.3	1.15	0.30
1987	6.3	3.86	1.00	2008	5.3	1.87	0.48
1988	4.7	2.18	0.56	2009	4.3	1.93	0.50
1989	5.6	3.54	0.91	2010	3.9	1.03	0.27
1990	5.7	3.33	0.86	2011	5.9	3.15	0.81
1991	4.2	1.33	0.34	2012	5.3	1.58	0.41
1992	3.8	1.66	0.43	2013	3.9	1.03	0.27
1993	4.6	1.94	0.50	2014	4.0	1.44	0.37
1994	7.4	4.40	1.14	2015	1.9	1.14	0.29
1995	6.1	1.57	0.41	2016	3.8	1.32	0.34
1996	4.4	1.31	0.34	2017	3.9	0.86	0.22
1997	3.4	1.38	0.36	2018	5.4	0.73	0.19
1998	5.5	2.18	0.56	2019	4.2	0.60	0.16
1999	5.6	2.11	0.55	2020	4.4	0.65	0.17
2000	6.5	2.69	0.69				

### 3.3.2 Crecimiento en diámetro.

Una vez generada la serie de datos de diámetros que se muestra en el cuadro 9, se determinó el Incremento Corriente Anual (ICA) y el Incremento Medio Anual (IMA), que presentan en el cuadro 10.

**Cuadro N° 10: Crecimiento del diámetro de *Cupressus Macrocarpa Hartw. ex Gord.*, en periodos de 5 años**

Estadísticos/Año	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
N (Radios)	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Mínimo	0.52	3.82	6.76	11.78	16.03	9.46	12.47	25.32	29.36
Máximo	1.36	9.08	21.30	26.88	32.28	32.72	39.42	48.22	52.34
Promedio DAP	0.86	6.15	11.93	17.15	22.22	26.62	31.10	35.30	39.62
Desv. Standart	0.26	1.80	4.51	5.06	5.82	6.76	7.35	7.39	7.30
Coef. Variación	29.90	29.28	37.82	29.50	26.21	25.41	23.62	20.94	18.42
Error típico	0.07	0.46	1.16	1.31	1.50	1.75	1.90	1.91	1.88
Error muestreo	7.72	7.56	9.76	7.62	6.77	6.56	6.10	5.41	4.76
Tabla de t	1.35	1.35	1.35	1.35	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76
Lim superior	0.94	6.77	13.49	18.90	24.86	29.70	34.44	38.66	42.94
Lim inferior	0.77	5.52	10.36	15.39	19.57	23.54	27.76	31.94	36.31
ICA DAP	0.17	0.88	1.16	1.04	1.01	0.88	0.90	0.84	0.86
IMA DAP	0.99								

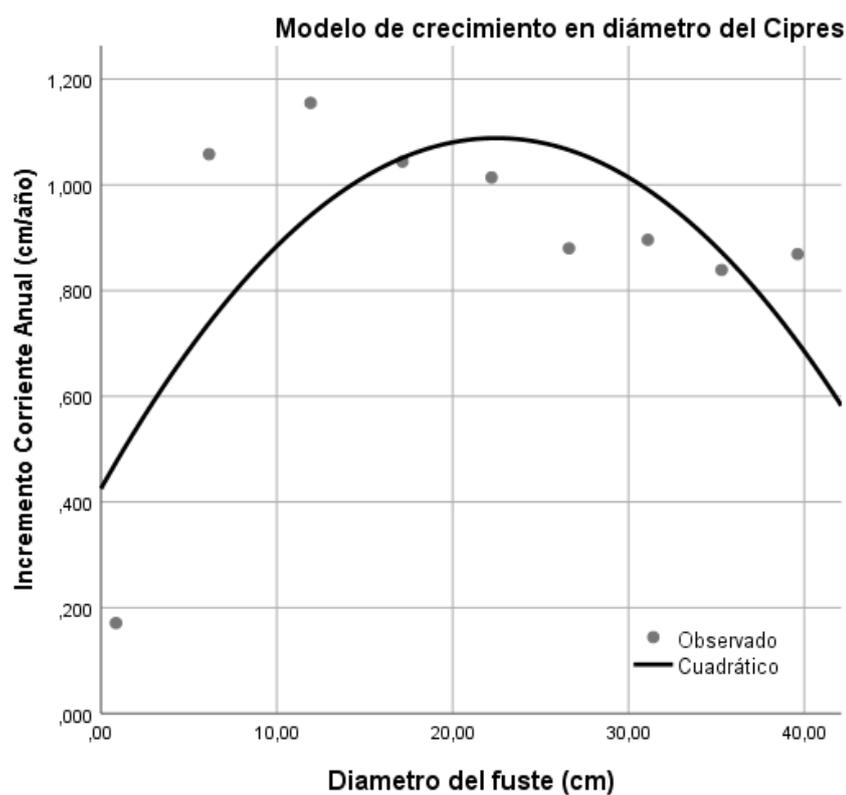
El análisis temporal de crecimiento en diámetro de los árboles de Ciprés, muestra variabilidad entre las muestras analizadas de incremento en diámetro del fuste, aspecto que es corroborado por el Rango entre los valores máximos y mínimos, por ejemplo, en el año 2020, una torta reporta 52 cm de DAP, mientras que otra, muestra con la misma edad, obtuvo un diámetro de 29 cm. Asimismo, los resultados de coeficiente de variación alcanzan a 30%, esto quiere decir, que hay un 30% de variabilidad entre las muestras. Dicho de otro modo, unos árboles mostraron mayor desarrollo que otros, probablemente se deba a la competencia intraespecifica que se produce en las plantaciones.

Para determinar el Incremento Corriente Anual (ICA) en diámetro de la especie en estudio, considerando periodos de 5 años, se calculó haciendo la diferencia entre diámetros consecutivos para luego dividirlo entre el tiempo que pasa entre las dos observaciones, hasta alcanzar el diámetro promedio mayor de la plantación.

Mientras que el valor del Incremento Medio Anual (IMA), se obtiene dividiendo el máximo diámetro entre la cantidad de años transcurrido.

Para validar el modelo de crecimiento, con los datos de diámetro y el ICA observado, mediante regresiones no lineales, se halló el modelo de mejor ajuste, en base del mayor coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el menor error estándar, siendo el diámetro la variable independiente.

**Grafico N° 7: Curva de Tasa de crecimiento expresado por el Incremento Corriente Anual (ICA)**



$$ICA = a + b * DAP + c * DAP^2$$

### Resumen del modelo

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,719	,516	,355	,230

La variable independiente es Diámetro del fuste.

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	,339	2	,170	3,205	,113
Residuo	,318	6	,053		
Total	,657	8			

Coeficientes					
	Coeficiente no estandarizado	Desv. Error	Coeficientes estandarizados	t	Sig.
DAP (b)	,059	,023	,170	2,516	,046**
DAP^2 (c)	-,001	,001	,053	-2,354	,057**
Constante (a)	,425	,207		2,051	,086**

\*\* Altamente significativo

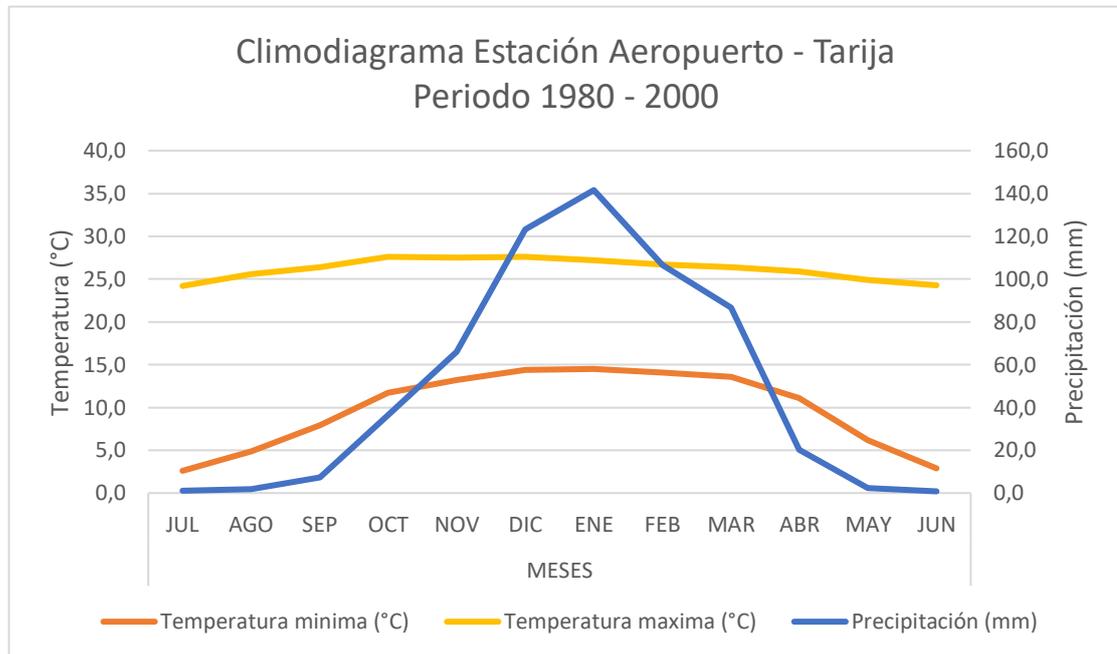
Al observar la gráfica 7, se deduce una alta variación en el crecimiento del diámetro en el transcurso de los años, probablemente este comportamiento se deba a las variaciones climáticas de precipitación y temperatura. En general la tendencia de la curva, muestra tasas de crecimiento bajo para diámetros pequeños, que se incrementan gradualmente hasta que el crecimiento óptimo es alcanzado en los diámetros intermedios. Aproximadamente a los 22 cm de DAP, que al remitirse al cuadro 10, se observa que corresponde al año 2000, (25 años de la plantación).

### 3.4 ANÁLISIS DENDROCLIMÁTICO.

Para realizar el análisis dendroclimático, fue necesario realizar un climodiagrama de un periodo de 40 años (1980 – 2020) con datos de la estación meteorológica, Aeropuerto de Tarija. A este respecto, algunos autores afirman que es más correcto llamar al climodiagrama como diagrama ombrotérmico, debido que “ombro”

significa lluvia y térmico viene de temperatura, sin embargo, en la mayoría de investigaciones en dendrocronología, es llamado climodiagrama, que se construye en base al promedio de las precipitaciones y las temperaturas, mensuales.

**Grafico N° 8: Climodiagrama de la estación Aeropuerto de Tarija**



Las precipitaciones en el Valle de Tarija, 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. Los datos climáticos (Anexo 8 y 9), reportan que hubo años muy lluviosos y otros más secos mientras que las temperaturas varían un poco en el periodo analizado.

#### 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.

Por ejemplo, la precipitación de crecimiento para el año 1983, resulta de sumar las precipitaciones de septiembre a diciembre de 1983, más la suma de las precipitaciones de enero a agosto de 1984. Al comparar la precipitación anual con la precipitación de crecimiento, se detecta diferencias entre estos dos valores.

**Cuadro N°11: Valores de precipitación anual y precipitación de año de crecimiento**

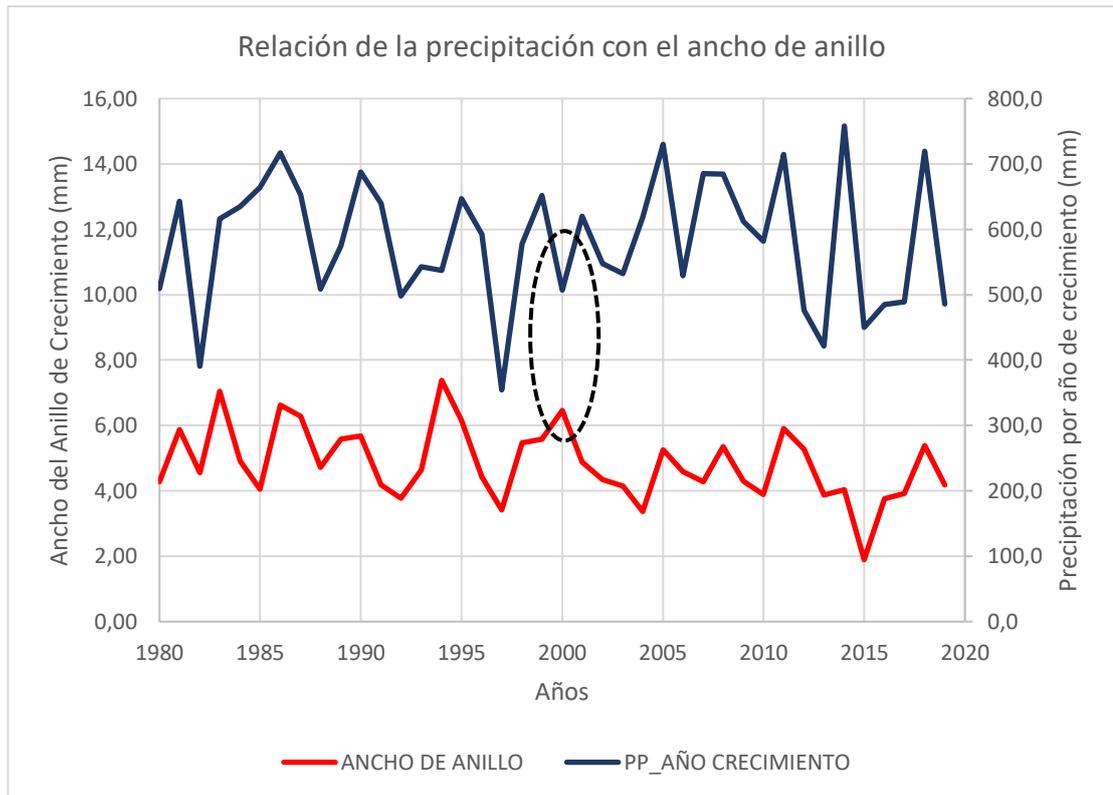
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PP_AÑO	PP_CREC
1980	145.4	95.5	133.1	13.6	10.5	0.0	0.0	3.5	0.0	45.2	24.4	69.4	540.6	509.2
1981	158.9	91.8	62.3	48.0	0.2	0.0	2.0	7.0	4.5	37.4	133.8	161.5	707.4	643.2
1982	143.4	50.0	73.0	36.1	3.5	0.0	0.0	0.0	0.2	30.3	22.3	196.1	554.9	390.6
1983	57.9	64.5	5.6	7.8	4.0	0.0	1.1	0.8	7.4	13.5	76.0	71.4	310.0	616.1
1984	144.5	134.6	146.9	1.8	0.0	0.0	0.0	20.0	0.6	41.6	65.4	121.2	676.6	634.5
1985	140.9	165.1	37.2	51.4	0.0	0.0	1.3	9.8	5.7	13.2	88.8	205.2	718.6	664.3
1986	69.2	180.3	74.3	27.6	0.0	0.0	0.0	0.0	7.7	21.4	118.4	203.0	701.9	716.7
1987	208.5	105.3	36.0	16.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	36.0	95.8	65.9	563.9	652.8
1988	181.6	94.4	128.0	48.5	0.4	0.8	1.4	0.0	1.9	14.8	12.2	175.3	659.3	508.2
1989	108.7	62.4	94.1	37.2	0.0	1.4	0.2	0.0	1.8	54.0	97.2	109.6	566.6	574.5
1990	150.6	116.7	38.4	5.2	0.0	0.0	0.0	1.0	2.4	8.8	94.0	111.2	528.3	688.0

**Fuente: Senamhi Tarija (2020).**

Los resultados completos de la precipitación de año de crecimiento para el periodo 1980 – 2020, se encuentran el Anexo 10.

Para determinar si la precipitación está relacionada con el crecimiento de los árboles de Cipres, es necesario elaborar un gráfico, que muestre la variación de la precipitación y el ancho de los anillos en función del tiempo, Gráfico N° 8.

**Gráfico N° 9: Relación de la Precipitación con el ancho de anillo**



A simple observación, se puede notar que, en la mayoría de los casos, cuando incrementa la precipitación, también aumenta el ancho del anillo, pero si observamos los años 1985 y el año 2000, se puede notar que la precipitación es elevada, pero el ancho del anillo decrece, esto, puede deberse a la dificultad que se tuvo en el momento de identificar los anillos durante la toma de datos. Para respaldar esta afirmación, se recurre a la prueba de correlación entre estas dos variables, habiéndose demostrado que la correlación es significativa con valor de  $r = 0.57$

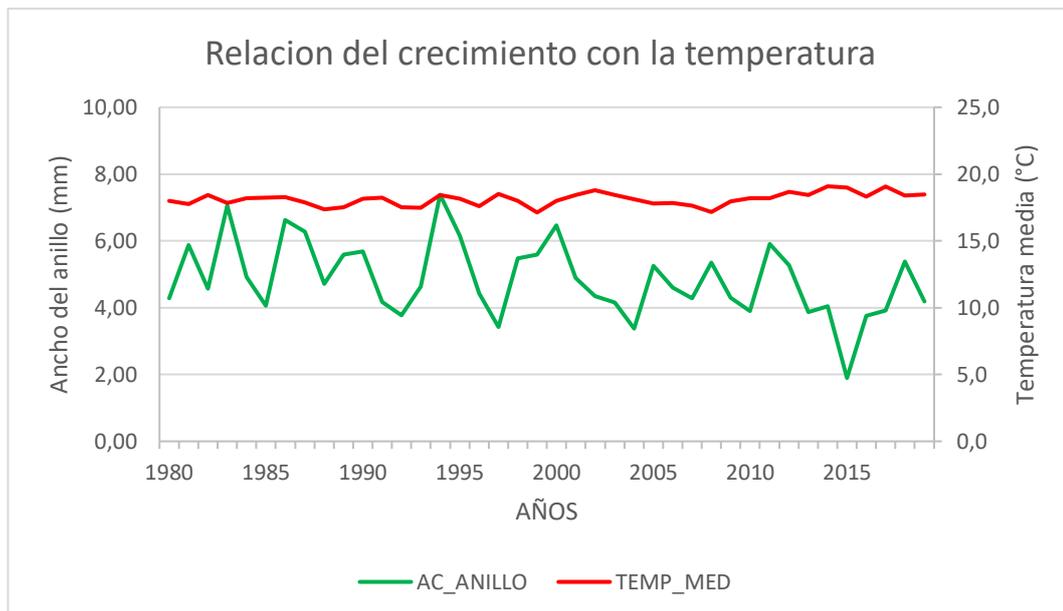
## Correlaciones

		Precipitación	Ancho de anillo
Precipitación	Correlación de Pearson	1	,570**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	40	40
Ancho de anillo	Correlación de Pearson	,570**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	40	40

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

Teniendo en cuenta que las precipitaciones en el Valle de Tarija, se concentran en primavera y verano, siguiendo el mismo procedimiento se analizó el crecimiento de los anillos con la precipitación caída en primavera y verano, habiéndose detectado similar comportamiento del ancho de los anillos con la temperatura de año de crecimiento, Gráfico N° 9.

**Gráfico N° 10: Relación del crecimiento con la temperatura**



<b>Correlaciones</b>			
		Ancho de anillo	Temperatura media
Ancho de anillo	Correlación de Pearson	1	,248
	Sig. (bilateral)		,123
	N	40	40
Temperatura media	Correlación de Pearson	,248	1
	Sig. (bilateral)	,123	
	N	40	40

La correlación NO es significativa (bilateral).

De acuerdo a la gráfica y la prueba de correlación, entre la temperatura media y el ancho de los anillos, la temperatura no tiene influencia alguna en el crecimiento del Ciprés en el Valle Central de Tarija.

El nivel de significancia que hay en la correlación entre la precipitación y el ancho de los anillos, es porque el agua tiene gran influencia en el crecimiento de los árboles no solo como resultado del déficit de precipitación durante los meses secos del año, si no también debido a la variación de la precipitación con años lluviosos y otros con pocas lluvias, tal como muestran los datos del SENAMHI.

La delimitación de los anillos de crecimiento, indican que su formación es causada por el poco crecimiento durante la época seca que ocurre más o menos tres meses (mayo, junio y julio) por año, debido a la carencia de agua en el suelo traduciéndose en la formación de anillos anuales.

### **3.5 DISCUSIÓN.**

En este estudio, presentamos las primeras cronologías de anillos de árboles de ciprés, una especie maderera de gran valor en zonas templadas y cálidas de Bolivia. De acuerdo a otras investigaciones realizadas el desarrollo de registros de anillos de árbol en el sector sur de la cuenca amazónica contribuye a los objetivos de los programas internacionales destinados a evaluar la tasa de crecimiento internacionales de los árboles tropicales y a reconstruir las variaciones climáticas del pasado en los trópicos de Sudamérica. Si bien se han desarrollado cronologías de anillos de árboles para latitudes similares en Sudamérica, estas provienen de dos

especies (*Polylepis tarapacana* y *Polylepis pepeii*) que crecen a 4 400 msnm en ambientes diferentes del altiplano boliviano (Roig et al. 2001, Soliz et al. 2009).

De acuerdo con nuestros resultados, la variación del crecimiento arboreo de tres especies de pando, en la amazonia boliviana, está parcialmente determinada por las precipitaciones (Brienen & Zuidema 2005b). Las variaciones interanuales en el crecimiento radial de *A. cearensis*, *C. caternaeformis* y *Tachigale vasquezii* están significativamente correlacionadas con las precipitaciones al final de la estación seca y al principio de la estación húmeda rompen el letargo de las yemas ampliando el periodo de crecimiento y, por tanto, el crecimiento total del árbol. También sugieren que una temporada de lluvias temprana aumenta gradualmente el agua almacenada en el suelo, que finalmente supera algunos niveles críticos necesarios para iniciar el crecimiento de los árboles. (Lopez y Villalba, 2011). La fuerza de las correlaciones entre las variaciones en la precipitación y la anchura de los anillos reportadas para *A. cearensis* ( $R^2=0.21$ ), *C. caternaeformis* ( $R^2=0.08$ ) y *T. vasquezii* ( $R^2=0.24$ ) son algo menores que las registradas para cipres ( $R^2=0.57$ ).

También se han documentado relaciones entre el clima y el crecimiento de los árboles. En un bosque nativo cerca del de Mato Grosso, Brasil, se desarrollaron cronologías de ancho de anillo para *Swietenia macrophylla* y *C. odorata* (Dunisch et al. 2003). Los análisis de correlación entre el clima y el crecimiento de los árboles revelan una relación significativa entre el crecimiento radial de *S. macrophylla* y las precipitaciones al inicio de la estación de crecimiento (noviembre-enero), por el contrario, las variaciones interanuales de la anchura de los anillos de *C. odorata* está relacionada con las precipitaciones de (marzo-mayo) durante la temporada de crecimiento anterior. No se ha informado de ninguna relación entre las variables de temperatura y crecimiento radial de estas dos especies estudiadas. En el estudio realizado de *Cupressus macrocarpa* se tuvo una relación significativa entre la relación del crecimiento radial del árbol y la precipitación al inicio de la estación de crecimiento de dicha zona. Hablando en cuanto a la relación de temperatura y crecimiento su correlación no es significativa.

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, no presenta mucha diferencia entre los crecimientos que pueden desarrollar estas especies forestales.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 4.1 CONCLUSIONES.

1. Para determinar el Incremento Corriente Anual Ajustado (ICAA) se encontró la ecuación polinómica de segundo orden como el modelo de mejor ajuste;  $ICA = a + b * DAP + c * DAP^2$
2. En base a la medición de los anillos de crecimiento la especie se desarrolla con un Incremento Medio Anual (IMA) promedio de 0,99 cm/año y un Incremento Corriente Anual (ICA) en diámetro reportando un promedio de 0,86 cm/años. Tomando en cuenta su buena adaptabilidad en la zona de estudio, Por las condiciones naturales del lugar.
3. Se pudo observar, que consta 41 anillos de crecimiento, siendo el corte a la altura del pecho tiene una edad total de 46 años, sabiendo que se debe de sumar 5 años más porque es el tiempo que tarda en formar su primer anillo a la altura del pecho.
4. La especie *Cupresus macrocarpa* tiene una relación directa entre el crecimiento en diámetro del fuste y la precipitación, es decir la correlación es alta entre el crecimiento y la precipitación
5. Las variaciones de precipitación en la plantación están fuertemente relacionada, en cuanto a la temperatura esto indica que tiene poca influencia en el incremento radial de la especie ciprés, pero siempre estas dos variantes de precipitación y temperatura van de la mano para un mejor desarrollo de la plantación, no hay un enfoque simple para extraer las diferentes influencias de la precipitación versus la temperatura en el crecimiento de los árboles.
6. Basándonos en las relaciones entre el clima y el crecimiento de los árboles de ciprés desarrolladas en este trabajo, podríamos inferir un potencial aumento del crecimiento radial en respuesta a una precipitación más abundante, pero esto podría verse aminorado por el efecto indirecto de las temperaturas.

#### 4.2 RECOMENDACIONES.

1. Se recomienda relacionar el clima y el crecimiento de los árboles a través de estudios que contemplen: Series cronológicas de mayor número de años, largos registros de todas las variables climáticas (temperatura, precipitación, evapotranspiración, etc.), conocimiento detallado de la biología y fenología de las especies con monitoreo mensual, y árboles de la misma o diferente edad desarrollándose en condiciones similares (clima, suelo, temperatura).
2. La especie “*Cupresus macrocarpa*” se considera una especie con gran potencial para reconstrucciones climáticas.
3. La clara dependencia climática del crecimiento de los arboles sugiere que el futuro cambio climático podría influir significativamente en el crecimiento de los arboles durante los siguientes siglos. Sin embargo, las inferencias sobre la naturaleza de estos efectos se complican por varios factores relacionados tanto con los cambios climáticos previstos como con las relaciones climáticas del crecimiento de los árboles
4. Se recomienda trabajar con tres radios para poder tener un mejor conteo de los anillos de crecimiento y poder identificar cuáles son anillos anuales y anillos falsos.
5. 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.
6. 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.