

## CAPITULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1. ANTECEDENTES

Los recursos forestales desempeñan un papel preponderante en el desarrollo de la civilización. En muchos países en vías de desarrollo los recursos forestales son utilizados como combustible para calefacción o la cocción de sus propios alimentos.

Una importante contribución de los bosques consiste en el suministro de combustible de madera. Alrededor del 40 % de la población de los países menos desarrollados, utilizan combustible de madera para cocinar.(FAO, 2014) Además, es posible que estas personas, también utilicen combustible de madera para hervir el agua.

En nuestro país el 70% de los hogares del área rural utiliza leña como combustible para cocinar (Hans Soria, 2013)

Los bosques implantados hacen contribuciones de carácter tanto local, nacional como global y aproximadamente dos tercios del potencial maderable provienen de este tipo de bosques. (Vázquez, 2014)

En las zonas altas el recurso maderable tiene alta demanda para cubrir diferentes necesidades pero, la cobertura arbórea se ve reducida por la constante presión que ejercen los animales sobre los árboles generalmente recién plantados y la falta de cuidados (falta de podas).

La zona alta de Tarija se caracteriza por la poca cobertura de árboles forestales, y las condiciones ambientales críticas (sequías y heladas) que muchas veces a simple vista dan la idea errónea de que el establecimiento de plantaciones forestales puede ser poco efectivo y por esa cuestión se da poca importancia a planes de reforestación en estas zonas.

La falta de cobertura vegetal viene acompañado del deterioro que no solo incide en la naturaleza, sino que trae consigo un impacto directo sobre los pobladores del lugar que priva a los mismos de su uso tradicional como la producción de madera para leña, o de manera indirecta degradando los suelos a efecto de la erosión (eólica e hídrica) volviendo a estos suelos improductivos.

En estos últimos años instituciones y comunarios establecieron plantaciones de especies exóticas, pinos y álamos en su mayoría, con buenos resultados que hasta el momento subsisten y dan buenas características de desarrollo, el cual es un indicador que zonas altas son aptas para la plantación de especies forestales con un buen desarrollo en cuanto al incremento.

El uso que los comunarios le dan a los árboles forestales en la zona alta es principalmente como combustible (leña), sombra, cortinas rompe vientos y para dar un agradable aspecto al paisaje, los comunarios están dispuestos a realizar más plantaciones pero requieren de la dotación del material por parte del municipio.

En las zonas altas la superficie de bosques nativos es muy reducida. No obstante, en muchos lugares del mundo se realizan plantaciones significativas, con eucaliptos,

sauces, álamos y pinos, con fines de usar su madera principalmente para pastas celulósicas y tableros aglomerados (IDITS, 2004). En la zona alta de Tarija, Iscayachi se realizaron plantaciones con especies como pinos y álamos, también se introdujeron especies latifoliadas (molle, sauce, etc.) como árboles de vereda plantados en su mayoría por los comunarios.

### **1.1.1. PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN**

La demanda de material leñoso es permanente y se va incrementando ya sea para fines ambientales (protección del suelo, captación de agua, etc.) o para cubrir las necesidades de una población (fines energéticos, constructivos, etc.).

El siguiente estudio pretende contribuir al conocimiento sobre el incremento que presentan los árboles forestales en la zona alta de Tarija, la correlación entre las especies y el medio físico y las necesidades que cubren.

### **1.1.2. HIPÓTESIS**

La productividad de material leñoso en las zonas altas es posible a pesar de las condiciones ambientales críticas que se presenta en la zona alta de Tarija (Iscayachi), es posible establecer plantaciones forestales y con un estudio detallado sobre el crecimiento se podrá hacer un mejor manejo de este recurso.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVOS GENERALES**

- Evaluar el potencial forestal maderable del cantón Iscayachi en la zona alta de Tarija, a partir del censo y mensura del crecimiento de especies arbóreas nativas y exóticas implantadas en este ecosistema.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar taxonómicamente las especies arbóreas que se desarrollan en esta región.
- Determinar las tasas de crecimiento a partir de mensuras dasométricas bajo los principios de la epidometría.

Correlacionar las tasas de crecimiento determinadas con factores climáticos y edáficos de la región.

## **CAPITULO II**

### **REVISION BIBLIOGRÁFICA**

#### **2.1. CARACTERISTICAS DE LAS ZONAS ALTAS**

Las zonas altas son regiones que están ubicadas en las alturas andinas (por encima de los 3600m). Esta región se caracteriza por un clima extremado que hace difícil el crecimiento de árboles. Aunque hay una predominancia de especies herbáceas, se puede también encontrar vegetación arbustiva e incluso arbórea en sitios abrigados. La principal actividad de los habitantes de las zonas es el pastoreo. La agricultura de subsistencia se limita esencialmente al cultivo de tubérculos andinos y de la quinua. (Bombardella et all, 1985)

La Puna (altiplanicie) constituye un bioma neotropical del tipo herbazal de montaña, llamado a veces tundra alto andina, cubriendo territorios del noroeste de Argentina, del occidente de Bolivia y del noreste de Chile y del centro y sur del Perú.

En términos generales, la Puna es una región de baja presión atmosférica, menor difusión de oxígeno en el aire y clima frígido, con escasas precipitaciones y una temperatura media anual de 6° C hasta 10°C. Todos estos factores geográficos, aunados al relieve, le han dado varios endemismos a la región.(Willink, 1973)

##### **2.1.1. CLIMA**

El clima de la puna es en general un clima de montaña, frio y seco, aunque según la posición geográfica y la altura se pueden observar diferentes variaciones. La puna tiene elevada sequedad atmosférica, es calurosa en el día y muy fría en la noche.

Suele presentar precipitaciones estivales de lluvia, granizo y nieve de diciembre a abril, especialmente en enero y febrero (llamado también invierno andino), que determina un clima húmedo en esta época.

### **2.1.2. CARACTERISTICAS DEL ALTIPLANO BOLIVIANO**

Tiene una temperatura media entre 0 y 10°C. La ganadería es de camélidos, ovina y vacuna. Se divide en 2 regiones ecológicas, la puna sureña que es árida y la puna norteña que es moderadamente lluviosa.

- **Puna Sureña:** Situada al suroeste del país, en La Paz, Oruro y Potosí, es árida con precipitaciones que están entre 50 y 400 mm anuales y con 6 a 12 meses áridos al año. Presenta extensas llanuras altiplánicas, volcanes, valles, serranías, dunas, el lago salado Poopó y grandes salares como el de Uyuni (el mayor del mundo) y el de Coipasa. La vegetación predominante es de pajonales abiertos (gramíneas), el matorral es abierto de arbustos y el bosque relictos de keñua es el más alto del mundo (5200 m). En esta región se encuentran áreas protegidas como el parque Sajama y la Reserva Eduardo Abaroa. La puna sureña se subdivide en puna seca y puna desértica según su aridez.
- **Puna Norteña:** Atraviesa el país desde el lago Titicaca hacia el sur, es húmeda estacional con precipitaciones entre 400 y 1600 mm y de 3 a 6 meses áridos al año. Presenta llanuras altiplánicas, serranías, laderas, valles glaciares, lagunas y cimas rocosas. La vegetación es de pajonal más o menos denso, arbustal, pradera, tundra, bofedal, restos de bosque de

*Polylepis* y de *Puya*. Sus áreas protegidas son los parques Madidi y Tunari entre otros. La puna norteña se subdivide en puna húmeda, puna semi-húmeda y puna alto-andina de la cordillera oriental.(Aramayo, 2004)

## **2.2. NECESIDADES ENERGÉTICAS (BIOCOMBUSTIBLE)**

Muchos pensarían que cocinar con leña es cosa del pasado. Sin embargo, países en desarrollo utilizan este combustible como principal fuente de energía, situación que no parece cambiar en el mediano plazo. (Clawson, 1997).

Nuestro país todavía tiene gran demanda de energía, sobre todo en el área rural donde el 70% de los pobladores usa la leña como fuente de energía para cocción de alimentos, purificación del agua o como fuente de calor (especialmente en zonas alto-andinas).

### **2.2.1. LEÑA COMO COMBUSTIBLE**

Como fuente de energía, los combustibles se pueden dividir en fósiles y renovables, según sus características. Entre los fósiles se encuentran el carbón, el petróleo y sus derivados. Entre las energías alternativas están las que se conocen como no renovables, nucleares, gas de carbón y gasolinas sintéticas, y todas aquellas derivadas de la energía proveniente del sol, entre ellas la biomasa a la que pertenece la leña.

La biomasa: La biomasa puede definirse en términos generales como “toda la materia viviente en la tierra”; la biomasa existe entre la capa llamada biósfera; representa solo una pequeña fracción de la masa total del planeta pero es una enorme fuente de energía para los humanos ya que se regenera continuamente (FAO, 2009). Hasta el siglo XVII, en los inicios de la revolución industrial, la madera fue el combustible

más utilizado, obteniendo su energía mediante la combustión directa, tal y como se hace hoy en día en los países en desarrollo. Su reemplazo por carbón permitió la revolución tecnológica, mediante el empleo de la máquina de vapor. La Tabla 2.1 presenta la clasificación general de la biomasa.

**Tabla 2.1 Clasificación general de la biomasa**

Relativo a la Producción (oferta)	Grupos comunes	Relacionado con los usuarios (demanda)
Combustibles de madera directos	Combustibles de madera	Sólidos: Leña (madera en bruto, aserrín, pellets) Carbón vegetal.
Combustible de madera indirectos		Líquidos: licor negro, metanol y aceite pirolítico.
Combustibles derivados de la madera		Gases: productos de la gasificación y gases de la pirolisis de los productos mencionados.
Cultivos usados como combustibles	Agrocombustibles	Sólidos: paja, tallos, cáscara, bagazos, y cartón vegetal de los combustibles.
Sub-productos agrícolas		Líquidos: etanol, aceite vegetal en bruto Aceite diester metanol y aceite pirolítico procedente de agrocombustibles.
Sub-productos de origen animal		Gases: biogás, gases procedentes de la producción de la pirolisis de agro combustibles sólidos.
Sub-productos agroindustriales		
Sub-productos de origen municipal	Sub-productos de Origen municipal	Sólidos: residuos sólidos de origen municipal
		Líquidos: fango de aguas residuales, aceite pirolítico o residuos de origen municipal.
		Gas: procedente de vertedero y de fango de aguas residuales.

fuelle: DAMA 1998

La leña se considera una fuente de energía primaria, es decir, se obtiene directamente de la naturaleza, específicamente de los recursos forestales. Incluye los troncos y ramas de los árboles, pero excluye los desechos de la actividad maderera (Olade, 2008). De acuerdo con (Singer) “La leña es la fuente más antigua de calor utilizada por el hombre, lo que quizás se debe al hecho de que es mucho más accesible que otros combustibles y a que prende fácilmente. A esa accesibilidad se debe el que aún hoy día se siga quemando en hogares rurales de acuerdo con métodos tradicionales. El resultado no puede ser otro que un intenso consumo equivalente a un verdadero despilfarro”. El consumo de leña está determinado por variables técnicas, económicas, ecosistémicas, sociales y culturales, donde se aprecia que la leña es considerada un servicio de suministro con implicaciones a nivel de bienes de materiales para una buena vida y para la salud, por ser un recurso que sirve para cocción y calefacción. También tiene incidencia en las relaciones sociales, evidente en las casas rurales, donde la visita se realiza muchas veces en la cocina, por ser el sitio más acogedor (Martinez, 2006).

En 2007, el consumo mundial de energía superó los 8.286 millones de toneladas equivalentes de petróleo (MTEP), donde la leña aportó el 12,4%. (Pascal, 2007)

### **2.2.2. DEMANDA POR COMBUSTIBLE**

Generalmente se hacen análisis que involucra el tamaño de la población, el medio ambiente y la pobreza. En este aspecto, son frecuentes los estudios que evalúan los efectos del crecimiento poblacional sobre la escasez de recursos.(Dasgupta, 1999), por el contrario, estudia, como la escasez de recursos afecta el crecimiento

poblacional, evaluando la decisión de procrear a partir de la disponibilidad de recursos naturales. Atribuye la función de recolectar leña a la mujer tarea que demanda gran parte de su tiempo con apoyo de los niños. En su análisis, un hogar pequeño (pocos miembros) no sobrevive pues se requieren muchas manos para desempeñar las labores diarias entre ellas la recolección de leña.

Otros trabajos utilizan como indicador la escasez de la leña para explicar la relación existente entre degradación del medio ambiente y crecimiento poblacional. Sin embargo, en ningún momento estiman la demanda física por leña. Los estudios sobre la demanda física por leña o combustible por los hogares no son abundantes. Las primeras investigaciones realizadas al respecto enfocan el análisis sobre la deforestación y degradación de los bosques e ignoran el problema energético. Más adelante, otros estudios, incorporan en la determinación de la demanda por energía algunos factores macroeconómicos y microeconómicos que estiman la demanda por combustible.

### **2.2.3. DETERMINANTES MACROECONÓMICOS**

La demanda por combustible está determinada por factores macroeconómicos tales como el nivel de pobreza e ingreso y su distribución, el avance tecnológico, el crecimiento poblacional y el grado de concentración de la población urbana.

La demanda por combustible también depende del nivel de ingreso de los países: en la medida en que estos se desarrollan, aumenta el consumo de combustibles comerciales y se reduce la dependencia de la leña. En Bolivia a pesar de registrarse

una tasa de crecimiento del 6.83% en ingresos, la demanda total de energía creció un 19% desde 2003 (Urquiola, 2006)

#### **2.2.4. DETERMINANTES MICROECONÓMICOS**

(Gowen, 1987) Analiza los determinantes de la demanda por combustible de los hogares e identifican su dependencia del ingreso, tamaño del hogar, clima y precipitación (para calentar la vivienda) y de factores culturales tales como: dieta, hábitos al cocinar, iluminación, número de comidas diarias, rituales y costo de aparatos electrónicos. Los autores identifican que el factor que más incide sobre la demanda por combustible, inclusive por encima del ingreso, es el tamaño del hogar. Sostienen que a mayor tamaño del hogar, mayor ingreso total y mayor demanda por energía (por ser más los miembros). El costo de la tecnología o de los electrodomésticos varía en el tiempo, lo que lo hace importante en la determinación de la futura demanda por energía.

Sobre la demanda por combustible también incide el género, edad y educación de los miembros del hogar. Según (FAO, 1997), las mujeres y niños son los principales recolectores de leña y la mujer es la que toma la decisión de que combustible utilizar para preparar los alimentos, en especial en los países en vías de desarrollo. La mujer sacrifica tiempo en la recolección de la leña, tiempo que podría utilizar generando algún ingreso adicional que permita adquirir combustibles alternativos.

### **2.3. PLANTACIONES FORESTALES EN ZONAS ALTAS**

La elección de especies arbóreas para establecer plantaciones en zonas altas (superiores a los 3000 msnm) depende del suelo y clima que presente el lugar.

Se hizo una plantación en la zona alta en Puno, Perú con pisos altitudinales desde 3000 hasta los 4000 msnm. con las siguientes especies:

#### Eucalyptus globulus

Por ser de rápido crecimiento, adecuada para el tipo de suelos del proyecto, producción y manejo conocidos por pobladores de la zona, disponibilidad de semillas certificadas y rebrote después de cosecha. Tiene buen mercado local. Rango altitudinal óptimo: 0 -3,400 msnm.

#### Queñual o Queñua (Polylepis sp.) El "Queñual"

Adecuada para tipo de suelos con altitudes superiores a los 3600 msnm, es idóneo para el cultivo mixto con especies agrícolas: también para el establecimiento en combinación con pastos (Silvopasturas) y plantaciones agroforestales. La madera es apreciada por su dureza y resistencia a la podredumbre; en especial para la construcción y fabricación de herramientas agrícolas. Proporciona leña y carbón de excelente calidad.

#### Pino: Pinus radiata

Adecuada para el tipo de suelos, madera con buen mercado, de fácil manejo y obtención de semillas certificadas. Resistente a heladas. Rango altitudinal óptimo: 2,300 -3,600 msnm.

#### Aliso: Alnus sp.

Es recomendado como una especie apta para plantaciones forestales y agroforestales en la región Huancavelica por su probada capacidad de crecimiento en suelos degradados de similares características en cuanto a requerimientos edáficos y climático, tiene buen mercado su madera y potencial para otros usos como tintes naturales. Rango altitudinal óptimo: 1,200-3,800 msnm. (Aguirre)

## **2.4. CRECIMIENTO DE LOS ÁRBOLES**

El árbol, al igual que todo organismo vivo, experimenta procesos de crecimiento los cuales permiten el incremento dimensional de los mismos. Este crecimiento se produce en zonas especializadas que reciben el nombre de meristemas. (Wheeler, 1999) Define a los meristemas como regiones donde se producen nuevas células, durante toda la vida de la planta, a través de procesos de división. Las células originadas por la división de las células meristemáticas.

### **2.4.1. CRECIMIENTO EN ALTURA**

El crecimiento en altura se produce por la actividad de la yema apical o terminal a través de la división celular. Este crecimiento es también llamado “crecimiento primario”. Esta variable, altura del árbol, produce las modificaciones más notorias del crecimiento, especialmente en la edad juvenil.

El crecimiento en altura es evaluado midiendo la altura al inicio y al final de un intervalo de tiempo definido.

En algunos árboles, donde es posible hacer análisis del tronco se puede determinar los correspondientes valores e índice del crecimiento en altura. Cuando los arboles adquieren más de 40 a 50 cm de DAP (diámetro a 1.30 m. del suelo), el incremento a

la altura disminuye 0.5 m por cada cm de DAP, evidenciando que el árbol se encuentra probablemente en la fase madura del crecimiento. En los arboles adultos en crecimiento en altura tienden a estabilizarse hasta llegar a ser nulos mientras el diámetro sigue creciendo.

En las plantas leñosas se encuentran con tejidos particulares en el crecimiento como: Meristema apical o secundario, que es el responsable en crecimiento en altura situado en el extremo de las ramas.(Chavez, 2012)

#### **2.4.2. CRECIMIENTO EN DIAMETRO**

El crecimiento en diámetro se refiere al aumento del diámetro de un árbol en un determinado periodo de tiempo. Este crecimiento es también denominado de crecimiento secundario. Generalmente primero el árbol crece en altura y después en diámetro. Este crecimiento es influenciado principalmente por su distribución espacial y por los mismos factores señalados en el crecimiento en altura.

El crecimiento en diámetro está influenciado directamente por la actividad del cambium. Por esta razón es posible registrar el crecimiento correspondiente de un día o a veces será necesario establecer el respectivo crecimiento por tiempos más cortos, por ejemplo, desde la salida hasta la puesta del sol, o intervalos de tiempo más prolongados, como semanas, meses o años. Para los propósitos de la ordenación forestal, generalmente se efectúa mediciones cada año o a intervalos de tres a cinco años; sin embargo, de acuerdo con los objetivos de la investigación las mediciones pueden ser realizadas en intervalos más cortos o más largos.(Imaña, 2008)

El crecimiento en diámetro no es igual a lo largo del árbol. Para evaluarlo se emplea generalmente la variable DAP al inicio y al final del periodo requerido. Los arboles adultos de las zonas tropicales, generalmente se presentan índices de crecimiento en diámetro bastante bajos entre 1 y 2 mm por año (Zuidema, 2002)

### 2.4.3. CRECIMIENTO EN VOLUMEN

El crecimiento en volumen se refiere al aumento del volumen en un determinado periodo de tiempo y como en los casos anteriores, se evalúa calculando la diferencia de los volúmenes que el árbol tuvo al inicio y al final del periodo (n) correspondiente:

$$C_v = \frac{V_f - V_i}{n}$$

Donde:

Cv= crecimiento en volumen.

Vf= volumen final

Vi= volumen inicial

n= años

El crecimiento en volumen es el resultado de los crecimientos del diámetro y de la altura, y depende de la forma del tronco. (Imaña, 2008)

## 2.5. MENSURA

La Mensura Forestal se compone de tres partes fundamentales: la dendrometría, la dasimetría y la epidimetría.

- Dendrometría
  - Medición y la descripción cuantitativa estática del árbol.
  - Medición de diámetros y alturas, la cubicación de árboles y de madera apilada y la construcción de tablas de volumen. Mediciones de copa.

- Dasometría
  - Mismos parámetros que la dendrometría pero para el rodal o la masa forestal. Ligado al inventario forestal.
  
- Epidometría:
  - Dinámica de parámetros de árboles y bosques.
  - Crecimiento e incremento.
  - Estimaciones de producción futura, desde estimaciones simples de corto plazo a complejísimos modelos digitales de producción.

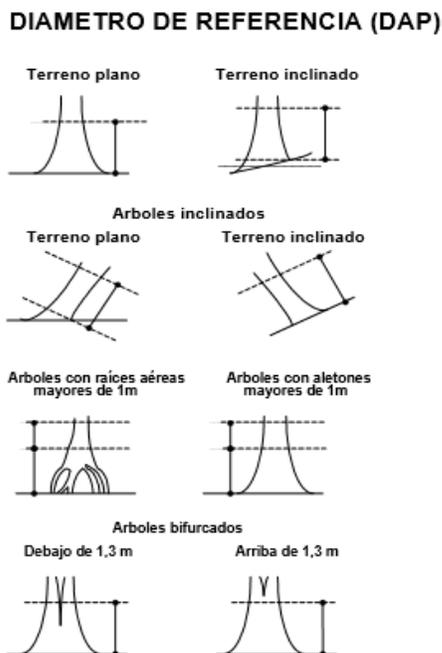
### **2.5.1. CONSIDERACIONES TÉCNICAS EN LA MEDICION DE CAMPO**

Para realizar la toma de datos dasométricos se debe tener en cuenta algunos puntos para evitar cometer errores y que los resultados varíen. A continuación se presentan las consideraciones que se hacen frente a diferentes situaciones.

### **2.5.2. MEDICIÓN DE ALTURA**

Es la operación más común y simple de mensurar y es la variable que más incide en la determinación del volumen. En árboles en pie el diámetro representativo es el que se encuentra a 1,30 m desde el nivel del suelo y por su altura de medición se lo llama diámetro de altura de pecho (DAP) y también se lo conoce como diámetro normal. Para casos especiales en cuanto al terreno sobre el que se encuentran los árboles o bien debido a presencia de bifurcaciones, contrafuertes u otra irregularidad sobre el tronco el diámetro debe medirse de acuerdo a lo ejemplificado en la Figura 2.1.

**Figura 2.1: Formas de medición**



Con los valores de diámetro se puede calcular la superficie del círculo correspondiente y si el diámetro utilizado es el normal la sección que se obtiene también se llamará sección normal. La suma de las secciones normales por hectárea se la denomina área basal o área basimétrica que es un parámetro muy relacionado con el volumen y a su vez de una idea de la densidad del bosque y de la ocupación del sitio forestal.

### 2.5.3. MEDICIÓN DE DIÁMETRO

Normalmente se mide sobre el árbol la altura total del árbol, pero en algunas ocasiones y haciendo la correspondiente salvedad se puede medir la altura del fuste o también hasta la altura de copa viva. La altura es un parámetro directamente relacionado a la calidad de un sitio forestal y no está tan influenciada por la densidad de un bosque, por ese motivo es un valor muy utilizado para clasificar los distintos

tipos de sitio por una metodología denominada “índice de sitio”. Los métodos para medir la altura pueden ser directos o indirectos.

Los directos pueden ser por medio de reglas, varas o cortando el árbol y midiéndolo una vez apeado. El empleo de reglas o varas tiene algunas limitaciones como por ejemplo que solo pueden alcanzarse como máximo hasta los quince metros por lo que se adaptaría solo en casos de plantaciones o bosques jóvenes, por otro lado el traslado de estas herramientas suele ser complejo o incómodo y además son en general de costo elevado.

Los indirectos se pueden llevar adelante utilizando principios geométricos o trigonométricos.

#### **2.5.4. PRECAUCIONES EN LA MEDICIÓN DE ALTURAS**

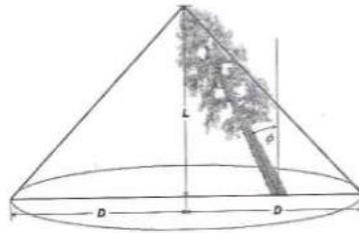
La medición de la altura requiere que tanto la base como el ápice del árbol sean claramente visibles. Este último puede ser difícil en árboles de copa globosa, caso en que tenderá a sobreestimarse la altura total. Otra causa de error en la medición de alturas es la inclinación del árbol en relación al plano vertical como se muestra en las figuras 2.2 y 2.3. Estos errores de medición se reducen al aumentar la distancia entre el observador y el árbol. En la medición de la altura de un árbol inclinado, las lecturas obtenidas del instrumento óptico no corresponden a la altura real del árbol. Esta lectura puede denominarse altura aparente. La altura aparente debe corregirse para obtener la altura real. Cuando la medición de la distancia horizontal se realiza hasta la proyección vertical del ápice del árbol, el operario puede posicionarse a esa distancia en cualquier posición alrededor del punto de proyección del ápice del árbol sobre el

plano horizontal que pasa por la base del árbol (fig. 1). En este caso, la altura total del árbol se obtiene de:

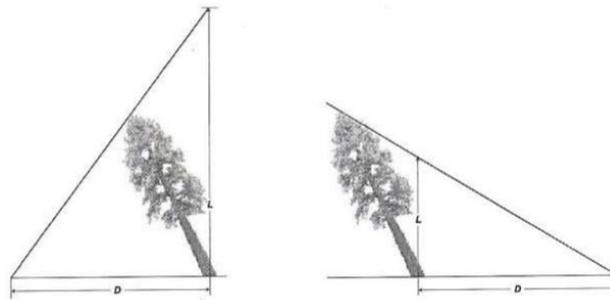
$$h = \frac{L}{\cos \alpha}$$

Dónde: L es la altura aparente del árbol (m)  $\alpha$  es el ángulo de inclinación del fuste del árbol (grados)

**Figura 2.2: Medición de la altura de un árbol inclinado. Medición de la distancia horizontal hasta la proyección vertical.**



**Figura 2.3: Medición de la altura de un árbol inclinado.**



Medición de la distancia horizontal hasta la base del árbol y en el plano de inclinación del árbol. Izquierda: distancia horizontal medida en el sentido de inclinación. Derecha: distancia horizontal medida en el sentido contrario a la inclinación.

Cuando la medición de la distancia horizontal se realiza hasta la base del árbol, la fórmula para la corrección de la altura aparente varía dependiendo de la posición del operario. El posicionamiento en el plano de inclinación del fuste facilita la corrección, la cual se realiza mediante

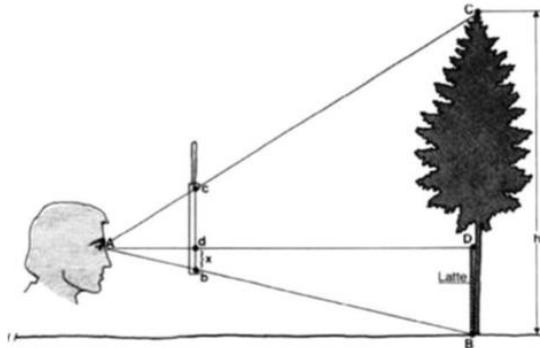
$$h = D \frac{L}{D \cos \alpha \pm L \operatorname{sen} \alpha}$$

Dónde:  $L$  es la altura aparente del árbol (m)  $\alpha$  es el ángulo de inclinación del fuste del árbol (grados)  $D$  es la distancia horizontal hasta la base del árbol (m).

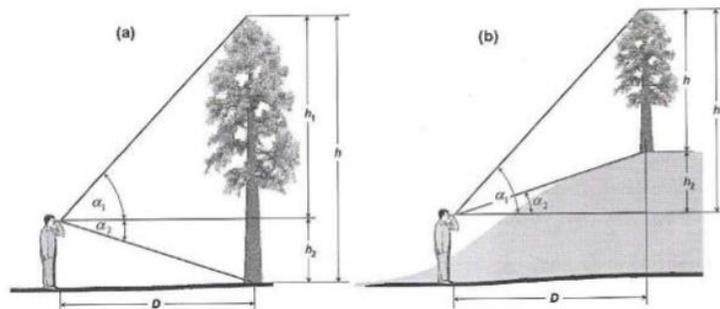
La operación en el denominador de la relación anterior es una suma en caso de posicionarse en la dirección de la inclinación del árbol, y una resta en el caso de posicionarse en la dirección opuesta a la inclinación del árbol. Posicionamientos en otros puntos fuera del plano de inclinación del árbol requieren de correcciones más complejas, que incorporan, además, la inclinación del fuste en relación al plano vertical de observación.

Los aparatos que se utilizan en la medición de alturas en árboles se los conoce como hipsómetros. Dentro de estos encontramos aquellos que utilizan principios geométricos como el de Christen, Merritt, Klein, etc.; y otros que se basan en principios trigonométricos, tal el caso de los hipsómetros Blume-Leiss y Haga, el nivel Abney y el clinómetro Suunto. En la figura 2.2 se muestra el principio de base para la medición de altura de los aparatos anteriormente mencionados y en la figura 2.3 se muestran algunos de los mismos.

**Figura 2.2: Principios geométrico (triángulos semejantes) para la medición de alturas.**



**Figura 2.3: Medición de la altura de un árbol con instrumental óptico**



por principio trigonométrico (relación angular). (a) Lectura al ápice positiva (sobre el horizontal), lectura al tocón negativa (bajo la horizontal); (b) Ambas lecturas positivas

## 2.6. POTENCIAL FORESTAL

El concepto de productividad potencial forestal, que nació originariamente como un parámetro sustancialmente económico, representa la máxima productividad, expresada en  $\text{m}^3$  de madera, de una estación forestal con las restricciones impuestas por el suelo y clima de la misma, por lo que tiene también un componente ecológico asociado.

La metodología seguida para cuantificar la productividad potencial se ha basado en la utilización del Índice Climático de Paterson (1956)

Los índices de productividad surgen con el fin de correlacionar la productividad vegetal con el macroclima. Entre ellos destacan las formulaciones que tras elaborar un índice con valores climáticos medios mensuales, correlacionan éste con la producción vegetal(Almorox)

Paterson, al tratar de encontrar una estrecha correlación entre la productividad potencial forestal de una estación y sus factores ecológicos comienza considerando que el clima siempre se refleja en la edafogénesis. Por otra parte considera que las condiciones topográficas generales de una región condicionan el clima de la misma.

Dentro del factor clima, considera que los factores más importantes para el desarrollo de la vegetación son la temperatura, la precipitación y la luz; elementos con los que elabora el índice CPV de Paterson, denominado así por ser exponente del clima, la productividad y la vegetación de la estación para la que se calcula.

La productividad potencial forestal, de una especie compatible con la estabilidad del medio, es la máxima producción que se puede llegar a obtener en una zona con suelo maduro y equilibrado, gestión técnica adecuada y buen estado fitosanitario.

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. MATERIALES

Los materiales usados en campo y gabinete fueron los siguientes:

##### 3.1.1. MATERIAL DE CAMPO

- Planillas elaboradas en gabinete (para recolección de datos)
- Barreno de Pressler
- Cinta métrica
- Clinómetro Suunto
- Hipsómetro Blume-Leiss
- Wincha
- Herborizador
- Tijera de podar
- Cámara fotográfica
- Depósitos para los cilindros de madera (bombillas)
- Brújula
- GPS
- Cartas geográficas
- Mapas temáticos
- Guías de campo de flora

##### 3.1.2. MATERIAL DE GABINETE

- Regletas para fijación de los cilindros de madera
- Lijas para madera de 100 y 220 granos/cm<sup>2</sup>
- Pegamento para madera (PVC)
- Lupa estereoscópica con aumento x10

## **3.2. MÉTODOS**

### **3.2.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

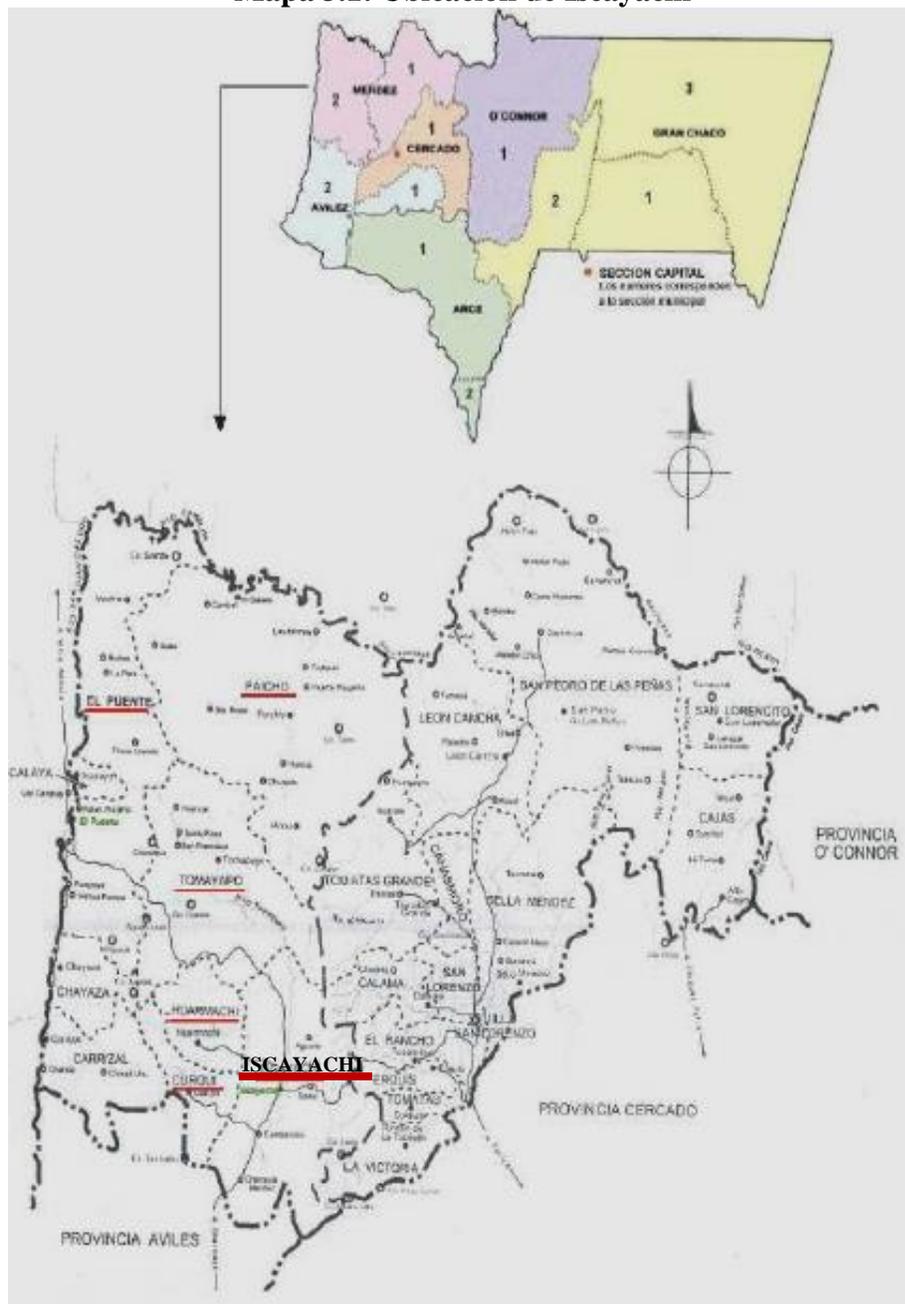
#### **3.2.1.1. UBICACIÓN**

El cantón Iscayachi cuenta con una superficie de aproximadamente 3986 has. de acuerdo al estudio realizado por Quiroga para PRODIZAVAT y con una latitud Sur de  $21^{\circ} 28' 25''$ , longitud Oeste de  $64^{\circ} 57' 05''$ , a una altura de 3440 msnm. Administrativamente pertenece al municipio de El Puente, segunda sección de la provincia Méndez del departamento de Tarija.

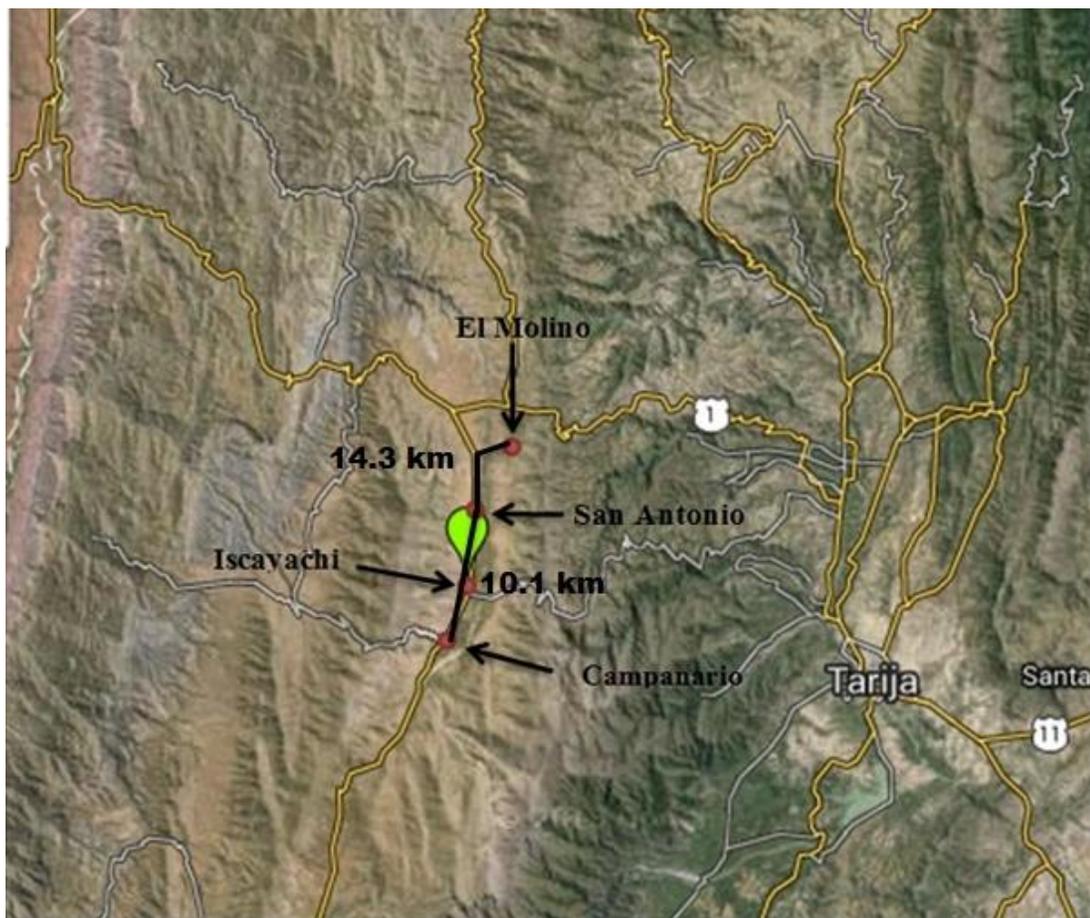
Se estudió tres sitios de la zona alta que están ubicados geográficamente de la siguiente manera:

- El Molino se encuentra a una altura de 3387 msnm. con latitud Sur  $21^{\circ} 23' 19''$  y longitud Oeste  $64^{\circ} 56' 49''$ .
- El Campanario se encuentra a una altura de 3460 msnm. con latitud Sur  $21^{\circ} 30' 45''$  y longitud Oeste de  $64^{\circ} 58' 32''$ .
- San Antonio se encuentra a una altura 3450 msnm. con latitud Sur  $21^{\circ}28'25''$  y longitud Oeste  $64^{\circ}57'05''$ .

Mapa 3.1: Ubicación de Iscayachi



**Mapa 3.2: Ubicación de los sitios de estudio**



### 3.2.1.2. SUELOS Y CLIMA

La zona de Iscayachi corresponde al sistema de tierras caracterizado por presentar colores café-oscuro, con textura franco arcillosa, de mediana estructura, débil a moderada presentando una capa superior pedregosa, con un pH con rango de 6 a 7, lo que significa que son suelos relativamente neutros. Posee una unidad fisiográfica de cordillera oriental de piedemontes, llanura de piedemonte disección ligera, además tiene una formación geológica denominada cuaternario. (SOPRASUR, 2000)

Estas zonas son áridas y frías y presenta una temperatura media anual de 6,4°C. la máxima extrema se presenta en 24, 4°C en diciembre y la mínima extrema de -17,2°C en julio. La precipitación según la estación meteorológica de San Antonio (Iscayachi) presenta un promedio de 370 mm/año.

### 3.2.1.3. VEGETACIÓN

Las especies arbóreas presentes en la zona alta son básicamente de tipo xerofítico en forma de bosque abierto y árboles aislados. La protección que brinda la vegetación arbórea es relativamente baja, quedando los suelos al descubierto hay una mayor degradación de suelo y reducida captación de agua. La clasificación de la vegetación se presenta en la tabla 3.1

#### - Bosque Xerofítico Pluvioestacional

Está conformado por un conjunto de bosques secos, chaparrales, matorrales y tierras erosionadas, que se extiende desde Iscayachi hasta el río San Juan del Oro. La vegetación es decidua (el follaje cae en invierno y se renueva cada año) el tipo de vegetación más común es el chaparral.

**Tabla 3.1: Bosque Xerofítico Pluvioestacional**

Nombre científico	Nombre común
<i>Prosopis alba L.</i>	Algarrobo
<i>Schinus molle L.</i>	Molle
<i>Prosopis ferox Grisebach.</i>	Churqui

Fuente: PERTT 2005

### **3.2.2. METODOLOGÍA PARA IDENTIFICACION DE ESPECIES**

Se identificaron las especies de la Zona Alta de Tarija, en las plantaciones de las comunidades del Molino, Campanario y San Antonio de la siguiente manera:

Primero se sacaron muestras botánicas y se codificaron para posteriormente identificar en el herbario botánico de la facultad, también se sacaron fotografías del árbol para corroborar su identificación y para especies más conocidas se hizo la identificación con guías de reconocimiento de especies de Tarija.

### **3.2.3. METODOLOGÍA PARA MENSURA DE DATOS DASOMETRICOS**

#### **3.2.3.1. ELABORACIÓN DE PLANILLAS**

Para la toma de datos dasométricos se elaboraron previamente planillas para la recolección de las mismas y se consideraron dentro de la planilla: altura total, altura de fuste limpio, diámetro de base y diámetro altura al pecho, información básica para obtención de volúmenes y forma dendrométrica de cada individuo.

#### **3.2.3.2. DETERMINACION DE DIAMETRO Y ALTURA**

Se hicieron dos mediciones de circunferencia en todos los árboles el primero a la altura al pecho (DAP. a 1.30 metros del nivel del suelo) y la segunda medición se tomó en la base del árbol, estos datos nos sirvieron para poder hacer el cálculo del tipo dendrométrico de los árboles, estas mediciones se hicieron con una cinta métrica y posteriormente se transformó la circunferencia en diámetro mediante la siguiente fórmula:

$$D = \frac{C}{\pi}$$

D= diámetro.  
 C= circunferencia  
 $\pi$ = Pi (3.1416)

Dentro de los arboles con algún tipo irregular de crecimiento se encontró en su mayoría bifurcaciones por debajo del DAP, ramificaciones desde la base (sin altura de fuste limpio) por falta de podas, ápices muertos y arboles suprimidos.

**Figura 3.1: Determinación de diámetro, sitio San Antonio**



Para la altura se determinaron en cada individuo la altura total y la altura de fuste limpio, las mismas que se determinaron a través del clinómetro de Suunto e hipsómetro de Blume Leiss. (Suunto y Blume Leiss instrumentos de medición indirecta) (Lopez, 2007), se obtiene la altura mediante la siguiente fórmula:

$$HT = Dc * (P1\% + P2\%)$$

HT= altura total del árbol.  
 Dc= distancia conocida.  
 P<sub>1</sub>%= visual lanzada hacia el ápice del árbol.

$P_2\%$ =visual lanzada hacia la base del árbol.

**Figura 3.2: Determinación de altura con Clinómetro Suunto**



➤ **Determinación de la altura de fuste limpio**

La medición de altura de fuste limpio se la realizo de manera directa, con cinta métrica y wincha.

Además se hicieron mediciones de las circunferencias a cada metro de altura de individuos seleccionados para que por medio de estos datos puedan predecirse los diámetros a cierta altura y sacar el volumen por el método de ahusamiento.

### 3.2.3.3. DETERMINACIÓN DE VOLUMEN

En base a los datos obtenidos de la mensura de diámetro y altura de cada pie, pudo determinarse el volumen con la siguiente fórmula:

$$Vol = Ab * h * cf$$

**Vol**= volumen del árbol

**Ab**= área basal

**h**=altura hasta 10 cm de diámetro del tronco.

**cf**= coeficiente mórfico

Como los árboles no tienen manejo no se uso la altura de fuste limpio para determinar el volumen. La altura que se utilizó en la fórmula del volumen fue desde la base del árbol hasta donde el tronco llega a los 10 cm. de diámetro.

se obtuvo mediante los datos procesados del ahusamiento que aproximadamente los árboles llegan a un diámetro de 10 cm. dos metros antes de la altura total del árbol. este fue el criterio que se aplicó a todos los individuos para su cubicación.

### 3.2.3.4. DETERMINACION DE LA FORMA DEL ÁRBOL

La especie *Pinus radiata* D Don. por ser una especie de tronco o fuste entero (donde el cuerpo axial se prolonga hasta la cima del árbol) se le aplicó el modelo de "coeficiente de forma base" para determinar el tipo dendrológico del fuste al cual corresponde, la fórmula empleada fue:

$$qb = \frac{dh^{1/2}}{db}$$

qb= coeficiente de forma base.

dh<sub>1/2</sub>= diámetro a media altura.

db= diámetro base.

Los rangos que se emplearon para realizar la clasificación en base al coeficiente calculado se encuentran en la Tabla 3.2

**Tabla 3.2: Tipos dendrométricos**

$qb = \frac{dh/2}{db}$	Tipo Dendrométrico
$qb \geq 0,85$	<b>Cilindro</b>
$0,85 > qb \geq 0,70$	<b>Paraboloide</b>
$0,70 > qb \geq 0,50$	<b>Cono</b>
$0,5 > qb \geq 0,35$	<b>Neiloide</b>

Fuente López 2007

### 3.2.3.5. SELECCIÓN DEL ÁRBOL TIPO

El árbol tipo es un árbol promedio representativo de toda la población. Se eligieron árboles tipo para realizar el barrenado y obtener las muestras cilíndricas de madera, también este criterio se uso para elegir los árboles que se medirían para determinar el coeficiente mórfico y las funciones de ahusamiento.

La elección de los árboles tipo se hizo después de la mensura de todos los individuos de cada sitio de estudio.

### 3.2.3.6. OBTENCIÓN DE CILINDROS DE MADERA MEDIANTE BARRENO DE PRESSLER

Se obtuvieron un total de veintitrés muestras de los tres sitios de estudio, ocho muestras del Molino (instalaciones del SEDAG), cinco muestras de San Antonio (Centro PAN), diez muestras del Campanario (instalaciones del SEDAG) se escogieron los árboles más representativos de cada lugar, de cada árbol seleccionado se barrenó una sola vez obteniendo una sola muestra por árbol tipo, algunos autores

sugieren barrenar dos muestras para que a la hora de hacer el conteo de los anillos se evite el conteo de anillos falsos (Imaña, 2008).

Se hizo el armado del barrenado que previamente fue acondicionado para la obtención de los cilindros de madera (afilado y lubricado) para que al introducir el barrenado al árbol las muestras no se estropeen.

Se introdujo el barrenado colocando la punta en sentido perpendicular y de manera centrada al árbol, se giró en sentido de las manecillas del reloj aproximadamente 5 cm. después en sentido contrario para retirar la muestra del árbol y con ayuda de una vara de madera se empuja la muestra hacia el contenedor que son bombillas de plástico de 0,5 cm. de diámetro en el cual encaja muy bien de manera que la muestra no se quiebre o dañe, por último se codificó cada muestra y se colocaron en un envase que permita transportarlas de manera segura.

El orificio que queda en el árbol es tapado con una rama de tamaño aproximado a la perforación que se hizo, esta rama es previamente desinfectada y se la coloca para evitar la entrada de patógenos que puedan afectar al individuo.

En laboratorio los cilindros de madera se sacaron de su contenedor (bombillas) y se las colocó con su respectivo código en papel sellado para que sequen a temperatura ambiente por una semana reduciendo el riesgo de que las muestras se malogren por ataque de hongos u otros patógenos que puedan cambiar el color de las muestras dificultando la lectura de los anillos.

### 3.2.4. DETERMINACIÓN DEL INCREMENTO RELATIVO DE CRECIMIENTO

Pasada la semana desde que se obtuvieron las muestras, estas se encontraron sin humedad y sin riesgo de la entrada de algún patógeno se procedió a establecer cada muestra en regletas de madera de 20 cm de largo \* 2 cm de ancho y con una pequeña ranura justo en medio de 0.5 cm de ancho para que la muestra encaje, con pegamento para madera (pegamento PVC) se fijaron las muestras en las regletas y se codificaron con especie, lugar y número de muestra, como se muestra en la figura 3.1.

**Figura 3.3: Muestra cilíndrica de madera**



Cilindro de madera (*Pinus radiata*) montada en regleta, del sitio San Antonio.

La lectura de anillos de crecimiento de las muestras cilíndricas de madera se puede hacer de muchas maneras, alguna literatura sugiere la tinción de la madera con tintes especiales la utilización de una solución de Fluorglucinol, producto que colorea en rojo la lignina (anillos otoño más lignificados) y no actúa sobre la celulosa que facilita su labor (Lopez, 2007), que generalmente son utilizados cuando los anillos no son muy visibles.

En este caso las especies de la zona alta tienen los anillos definidos por lo que no es necesario ningún tipo de colorante, para este caso se utilizaron lijas para madera con granos progresivamente más finos de 100 hasta 220 granos por centímetro cuadrado

para obtener una mayor claridad de los anillos y hacer la lectura en la lupa estereoscópica.

Se utilizaron dos métodos para la estimación del incremento relativo, método de Schneider y de Wahlemborg, ya que los datos de entrada proveniente del conteo de número de anillos nos permite trabajar con estos métodos.

➤ **Método de Schneider**

Para la obtención del incremento mediante Schneider se utilizaron los siguientes datos y se aplicaron a su fórmula.

$$P_{ab} = \frac{400}{r * Df}$$

$P_{ab}$  = % porcentaje del crecimiento del área basal.

$r$  = número de anillos en el último centímetro.

$Df$  = diámetro sin corteza al final del periodo.

➤ **Método de Wahlemborg**

Para la obtención del incremento mediante Wahlemborg se utilizaron los siguientes datos y se aplicaron a su fórmula.

$$P_{ab} = \frac{40 * k}{Df}$$

$P_{ab}$  = % porcentaje del crecimiento del área basal.

$K$  = longitud radial en cm. de los últimos 10 anillos.

$Df$  = diámetro sin corteza al final del periodo.

### 3.2.5. METODOLOGIA PARA ESTABLECER RELACIÓN ENTRE CLIMA Y CRECIMIENTO

#### 3.2.5.1. MÉTODOS PARA DETERMINAR EL ÍNDICE CPV DE PATERSON

Para determinar el incremento y la producción de la zona alta se utilizó el índice de Paterson, CPV, que se obtiene mediante la formulación:

$$CPV = \frac{tm12 * G * P * f}{12 * (T12 - t1)}$$

CPV= índice de clima, productividad y vegetación.

P= precipitación media anual en mm

tm12= temperatura media del mes más cálido

t1= temperatura media de las mínimas del mes más frío

t12= temperatura media de las máximas del mes más cálido

G= duración de periodo vegetativo

f= factor de insolación

La duración en meses del período vegetativo, G:

Para el índice de productividad forestal, consideraremos, para la determinación del factor G, como mes activo para la vegetación forestal, de acuerdo con Gaussen, aquel en el que la precipitación media mensual expresada en mm sea igual o superior al doble de la temperatura media mensual expresada en °C; siempre que ésta sea igual o superior a 6 °C. Por lo tanto:

$$G = n^{\circ} \text{ de meses "i" que cumplen que } P_i \geq 2t_{mi} \text{ y } t_{mi} \geq 6$$

El factor de insolación (factor de radiaciones) de la fórmula original de Paterson se convierte, en un factor prácticamente constante. Por este motivo, se considera válida la formulación del término de radiación propuesta por Gandullo y Serrada, 1977:

$f = 2500/[n + 1000]$  siendo “n” el número de horas de insolación totales en el año.

La producción potencial viene definida por medio de una regresión cuya expresión es:

$$y \text{ (m}^3 \text{ de madera/ha}\cdot\text{año)} = (5,3 \cdot \log_{10} \text{CPV}) - 7,41$$

De forma que se introduce en la expresión de Paterson un coeficiente k que depende de la litofacies. La producción potencial de madera se estima por medio de la expresión:

$$P \text{ (m}^3 \text{ de madera/ha}\cdot\text{año)} = k \cdot y$$

Así:  $P \text{ (m}^3 \text{ de madera/ha}\cdot\text{año)} = k \cdot (5,3 \cdot \log_{10} \text{CPV} - 7,41)$

El factor k se obtiene según la clase litológica del lugar de estudio. Una vez obtenida la clase según el factor litológico, la cuantificación del factor de litofacies va en relación con la producción potencial forestal, en las tablas adjuntas se muestran un ejemplo de las tablas de clase y factor litológico para España Peninsular.

**Tabla 3.2: Clases Litológicas**

CLASE LITOLOGICA	COEFICIENTE K
Clase I	1,66
Clase II	1,44
Clase III	1,22
Clase IV	1,00
Clase V	0,77
Clase VI	0,55
Clase VII	0,33
Clase VIII	0,00

**Tabla 3.3:Factor litológico de productividad forestal**

CLIMA SECO	CLIMA HUMEDO
<b>Clase I:</b> Aluviones calizos Aluviones silíceos	<b>Clase I:</b> Aluviones calizos
<b>Clase II:</b> Esquistos silíceos Gneiss y micacitas Pizarras	<b>Clase II:</b> Aluviones silíceos Calizas Dolomías Esquistos calizos Gabros y peridotitas Pizarras
<b>Clase III:</b> Areniscas calizas Esquistos calizos Gabros y peridotitas Granitos gneísicos Margas y areniscas Molasas margosas Arenas arcólicas algo arcillosas	<b>Clase III:</b> Areniscas calizas Esquistos silíceos Gneiss y micacitas Margas y areniscas Margas y calizas Molasa margosas Areniscas pizarrosas
<b>Clase IV:</b> Areniscas arcillosas Areniscas pizarrosas Conglomerados calizos Dolomías Granitos Margas Margas y calizas	<b>Clase IV:</b> Arenas arcólicas algo arcillosas Areniscas arcillosas Granitos Granitos gneísicos Margas
<b>Clase V:</b> Calizas Arenales calizos Arenales silíceos	<b>Clase V:</b> Arcillas Arenales calizos Conglomerados calizos
<b>Clase VI:</b> Arcillas Areniscas cuarzosas Conglomerados silíceos Graveras calizas Margas yesíferas	<b>Clase VI:</b> Arenales silíceos Areniscas cuarzosas Conglomerados silíceos Graveras calizas Margas yesíferas
<b>Clase VII:</b> Graveras silíceas	<b>Clase VII:</b> Graveras silíceas
<b>Clase VIII:</b> Sitios semiencharcados*	<b>Clase VIII:</b> Sitios semiencharcados*

\* Los sitios con encharcamiento permanente se consideran improductivos

Fuente: Gardullo y Serrada 1977.

En función de la productividad potencial forestal obtenida (P, m<sup>3</sup> de madera/ha·año) se han definido diferentes clases que consideran las limitaciones para el crecimiento de bosques productivos.

PRODUCTIVIDAD	CLASE	Limitaciones para el crecimiento de bosques productivos
> 9,0	Ia	Sin limitaciones graves
7,5-9,0	Ib	Sin limitaciones graves
6 - 7,5	II	Limitaciones débiles
4,5 - 6	III	Limitaciones moderadas
3 - 4,5	IV	Lim. moderadamente graves
1,5 - 3	V	Limitaciones graves
0,5 - 1,5	VI	Limitaciones muy graves
< 0,5	VII	Impedido el bosque productivo

## CAPITULO IV

### 2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS

##### 4.1.1. ESPECIES ARBOREAS LEÑOSAS QUE SE DESARROLLAN EN LA ZONA ALTA

En el área de estudio se encontraron cultivadas ocho especies arbóreas leñosas, en la Tabla 4.1 se presenta el detalle de las mismas.

**Tabla 4.1: Especies arbóreas presente en la zona alta de Tarija**

N. común	N. técnico	Familia	Observaciones
Álamo	<i>Populus alba L.</i>	<i>Salicaceae</i>	Puede vivir en suelos pobres calcáreos. Soporta bien el frío
Churqui	<i>Prosopis ferox Grisebach.</i>	<i>Leguminoseae</i>	Soporta climas adversos
Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa Hartw ex Gord.</i>	<i>Cupressaceae</i>	Soporta bien el frío.
Kishuara	<i>Buddleja sp.</i>	<i>Loganiaceae</i>	Muy resistente al frío.
Molle	<i>Schinus molle L.</i>	<i>Anacardiaceae</i>	Se desarrolla mejor sobre suelos pobres.
Olmo	<i>Ulmus pumila L.</i>	<i>Ulmaceae</i>	Se adapta bien a condiciones adversas.
Pino	<i>Pinus radiata D Don.</i>	<i>Pinaceae</i>	Crecimiento rápido.
Queñua	<i>Polylepis sp.</i>	<i>Rosoideae</i>	Muy resistente al frío.

Fuente: Elaboración propia en base a observaciones de campo, literatura y Herbario..

Siguiendo con la metodología planteada se hizo la respectiva identificación en el herbario botánico de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales cuyo informe se encuentra en el anexo 3.

Se encontraron ocho especies diferentes que crecen en los tres sitios de estudios, todas las especies presentan similitudes en cuanto a la poca exigencia del tipo de suelo y demanda de agua, con una rápida adaptación a climas adversos y presentan buen incremento en altura y diámetro como indican Linares (2005) y Aguirre (2010) para estas zonas limitadas.

#### **4.1.1.1. SITIOS DE ESTUDIO**

Los sitios de estudios fueron elegidos después de haber hecho un recorrido previo, ya que la zona alta es caracterizada por presentar escasa vegetación especialmente leñosa, es por eso que se tomo en cuenta las plantaciones que se encontraron en cada sitio.

#### **4.1.1.2. SITIOS OBSERVADOS**

Las especies leñosas encontradas crecen en diferentes ambientes y espacios de carácter público (plazas, veredas, escuelas, postas.) y privado (viviendas y parcelas de cultivo). En el recorrido se pudo observar diferentes plantaciones que no presentaban condiciones favorables, por falta de atención a las mismas.

Una evaluación a detalle, por la magnitud de la plantación, se realizaron en las comunidades de El Molino y El Campanario en predios del SEDAG y en el Centro PAN de la comunidad de San Antonio.

En los predios del SEDAG (Servicio Departamental Agropecuario) El Molino se pudo observar una plantación no muy extensa de nísperos (*Eriobotrya japonica*) (plantación realizada en octubre 2013), los individuos se encontraban en su mayoría

muertos y en otros casos se encontraron huecos vacíos debido a la falta de atención y a que la especie tiene un mejor rendimiento en altitudes que van desde los 600 hasta los 2000 msnm. siendo no apto para zonas altas con climas y suelos desfavorables para este tipo de especies. También se observó una plantación de cipreses (*Cupressus macrocarpa Hartw ex Gord.*) de la misma edad que de igual manera presentaba individuos muertos y otros sobreviviendo en muy malas condiciones, también por la falta de atención (déficit de agua) a pesar de que la adaptabilidad de esta especie en zonas altas es muy eficaz.

Dentro de las mismas instalaciones se encontraron plantaciones de pinos (*Pinus radiata D. Don.*) plantación realizada en 1989 y olmos (*Ulmus pumila L.*) que presentaban un buen desarrollo, lo que nos indica que tuvieron una buena adaptación al clima debido al buen porte que presentaban y se pudo notar que se aplican podas.

En el centro PAN de San Antonio se encontró una importante plantación de pinos (*Pinus radiata D. Don.*) que datan aproximadamente del año 1984, esta plantación fue realizada por los mismos pobladores, especies que presentan buen crecimiento salvo algunos casos que se encontraron árboles suprimidos seguramente debido a la competencia, si bien presenta un buen desarrollo debido al buen cuidado en un inicio, últimamente se dejaron a estos árboles sin ningún tipo de manejo ya que se veían árboles con ramas desde la base por falta de podas.

En el sitio de estudio ubicado en el Campanario en instalaciones del SEDAG se encontraron plantaciones de pinos, ciprés y olmo que además incluyen álamos

(*Populus alba L.*), donde estos últimos se encuentran en mejores condiciones de desarrollo con alturas hasta aproximadamente los 20 metros y diámetros hasta de 51 centímetros.

#### **4.1.1.3. CARACTERISTICAS**

En el recorrido que se hizo se observó varias especies descritas en la tabla 4.1 muchas como árboles de vereda, ornamentales y como fuente de energía (extracción de leña) pero no todas presentan un buen estado, los árboles que se encuentran en la plaza de Iscayachi presentan malas podas algunos árboles presentan ramas removidas sin ningún tipo de herramienta. En los árboles encontrados y observados en domicilios privados se pudo notar que la mayoría tienen un mejor cuidado en cuanto a las podas ya que la gente utiliza este producto como leña (combustible bioenergético).

En la plantación en el sitio El Molino se pudo evidenciar que hay una falta de cuidados en las plantaciones más recientes. Las plantaciones de pinos y olmos presentan un mejor cuidado con podas parciales cada dos años.

En el Campanario se encuentran árboles con buen cuidado, presentan un buen porte y los mismos presentan podas parciales.

En San Antonio se pudo evidenciar que la plantación de pinos tiene un buen desarrollo aunque no todas presentan manejo.

#### 4.1.1.4. FORMA DEL TRONCO

Se determinó la forma del tronco mediante el "coeficiente de forma" a continuación se presentan las tablas con los tipos dendrológico de cada sitio.

**Tabla 4.2: Tipos dendrológicos en El Molino**

Árbol	Db	d <sub>h/2</sub>	$qb = \frac{dh/2}{db}$	Tipo dendrológico
1	0,39	0,19	0,49	Neiloide
2	0,55	0,35	0,64	Cono
3	0,44	0,20	0,45	Neiloide
4	0,49	0,23	0,47	Neiloide
5	0,51	0,35	0,69	Cono
6	0,51	0,35	0,69	Cono
7	0,66	0,41	0,62	Cono
8	0,61	0,42	0,69	Cono
9	0,66	0,39	0,59	Cono
10	0,50	0,34	0,68	Cono
11	0,53	0,35	0,66	Cono
12	0,64	0,39	0,61	Cono
13	0,51	0,33	0,65	Cono

**Tabla 4.3: Tipos dendrológicos en el Campanario**

Árbol	Db	d <sub>h/2</sub>	$qb = \frac{dh/2}{db}$	Tipo dendrológico
1	0,89	0,67	0,75	Paraboloide
2	0,76	0,51	0,67	Cono
3	0,82	0,64	0,78	Paraboloide
4	0,80	0,63	0,79	Paraboloide
5	0,88	0,69	0,78	Paraboloide
6	0,88	0,66	0,75	Paraboloide
7	0,75	0,49	0,65	Cono
8	0,85	0,63	0,74	Paraboloide
9	0,83	0,62	0,75	Paraboloide

**Tabla 4.4: Tipos dendrológicos en San Antonio**

Nº	Db	d <sub>h/2</sub>	$qb = \frac{dh/2}{db}$	Tipo dendrológico
1	0,6	0,41	0,68	Cono
2	0,59	0,41	0,69	Cono
3	0,6	0,42	0,70	Cono
4	0,48	0,23	0,48	Neiloide
5	0,66	0,42	0,64	Cono
6	0,7	0,42	0,60	Cono
7	0,68	0,46	0,68	Cono

Como puede observarse la mayor cantidad de los individuos de pino evaluados tienen un fuste de tipo dendrométrico "cono" con un coeficiente forma base (qb) que oscila entre 0,50 y 0,70 y un menor porcentaje, no significativo en la masa forestal evaluada correspondiente al tipo "Neiloide" que oscila entre 0,35 y 0,50 de coeficiente de forma base, sin embargo para el Campanario se determinó en su mayoría la forma del tronco del tipo paraboloides.

#### 4.1.1.4. AHUSAMIENTO

Realizando un análisis de ahusamiento en su modelo más sencillo (relación diámetro-altura) a 29 individuos tipo de la especie pino se encontró que la misma presenta altos niveles de correlación por lo que se pueden emplear estos modelos para determinar diámetros a distintas alturas de fuste de un árbol cualquiera. En la siguiente tabla se presentan las ecuaciones ajustadas.

**Tabla 4.5 Funciones de ahusamiento El Molino**

Nº árbol	Ecuación	r <sup>2</sup>
1	$y = -29,09x + 8,033$	$r^2 = 0,958$
2	$y = -23,372x + 9,1795$	$r^2 = 0,989$
3	$y = -23,03x + 5,200$	$r^2 = 0,967$
4	$y = -33,68x + 7,511$	$r^2 = 0,985$
5	$y = -33,426x + 9,6018$	$r^2 = 0,991$
6	$y = -40,63x + 9,7$	$r^2 = 0,969$
7	$y = 45,06x - 4,910$	$r^2 = 0,982$
8	$y = -40,81x + 10,77$	$r^2 = 0,986$
9	$y = -35,70x + 11,14$	$r^2 = 0,998$
10	$y = -31,93x + 10,03$	$r^2 = 0,969$
11	$y = -32,01x + 6,850$	$r^2 = 0,990$
12	$y = -43,58x + 9,318$	$r^2 = 0,983$
13	$y = -30,63x + 8,893$	$r^2 = 0,962$

**Tabla 4.6 Funciones de ahusamiento El Campanario**

Nº árbol	Ecuación	r <sup>2</sup>
1	$y = -39,782x + 9,5944$	$r^2 = 0,966$
2	$y = -26,27x + 6,9736$	$r^2 = 0,991$
3	$y = -37,796x + 17,942$	$r^2 = 0,982$
4	$y = -37,104x + 17,043$	$r^2 = 0,992$
5	$y = -29,502x + 12,662$	$r^2 = 0,987$
6	$y = -42,751x + 13,828$	$r^2 = 0,972$
7	$y = -35,045x + 19,37$	$r^2 = 0,993$

**Tabla 4.7 Funciones de ahusamiento San Antonio**

Nº árbol	Ecuación	r <sup>2</sup>
1	$y = -22,187x + 8,2139$	$r^2 = 0,989$
2	$y = -24,791x + 9,0329$	$r^2 = 0,989$
3	$y = -22,223x + 11,377$	$r^2 = 0,997$
4	$y = -27,245x + 10,159$	$r^2 = 0,977$
5	$y = -29,88x + 9,6265$	$r^2 = 0,995$
6	$y = -47,219x + 7,7882$	$r^2 = 0,993$
7	$y = -33,63x + 11,96$	$r^2 = 0,976$

En las ecuaciones de las tablas 4.5, 4.6 y 4.7 "y" hace referencia a las alturas y "x" hace referencia a los diámetros.

En el presente estudio se utilizó el modelo indicado para determinar la altura a la cual se encontraría un diámetro de 10 cm del fuste para la determinación del volumen total del fuste. No se puso énfasis en el volumen de fuste limpio porque más del 80% de

los individuos evaluados presentaban alturas bajas por la falta de podas puesto que esta especie no presenta poda natural.

Se encontró que de manera general los 10 cm de diámetro se encuentran a 2 metros del ápice del fuste, por lo que esta dimensión fue restada de las alturas totales medidas a cada individuo para la estimación de su volumen total.

#### 4.1.2. DESARROLLO VOLUMÉTRICO

En los tres sitios evaluados; San Antonio, Campanario y El Molino; se mensuraron un total de 334 árboles que corresponden a tres especies distintas, de este total el pino representa el 81,13%, el olmo el 15,56 % y el álamo el 3,31%. En la tabla 4.8 se puede apreciar el número de individuos por cada sitio.

**Tabla 4.8: N° de árboles evaluados por especie en los tres sitios de estudio**

ESPECIE		Sitio			total árboles en Los tres sitios	OBSERVACIONES
N. Común	N. Técnico	Campanario	San Antonio	Molino		
Álamo	<i>Pópulos alba L.</i>	11	0	0	11	Usado como cortina rompe vientos
Olmo	<i>Ulmus pumila L.</i>	0	0	52	52	Distribuido aleatoriamente
Pino	<i>Pinus radiata D. Don</i>	19	151	101	271	Plantado como bosquetes y en hileras
<b>Total arboles evaluados</b>		<b>30</b>	<b>151</b>	<b>153</b>	<b>334</b>	

Fuente: elaboración propia de datos recolectados en base a planillas elaboradas en gabinete

### 4.1.3. ANÁLISIS POR SITIOS

#### 4.1.3.1. ANÁLISIS DE EL MOLINO

**Tabla 4.9: Características principales de *Pinus radiata* D. Don. en El Molino**

Variable	n	Media	Desviación	CV %	Máx.	Mín.
HT (m)	101	9,84	2,92	29,67	17,20	3,66
HFL (m)	101	2,91	0,75	25,77	4,20	0,84
DAP (cm)	101	23,09	6,66	28,84	42,65	7,96
AB (cm <sup>2</sup> )	101	453,27	253,93	56,02	1428,89	49,74
VOL m <sup>3</sup>	101	0,20	0,13	65,10	0,57	0,02
IMA H (m/año)	101	0,55	0,16	29,71	0,96	0,20
IMA DAP(cm/año)	101	1,28	0,37	28,84	2,37	0,44

HT= altura total; HFL= altura de fuste limpio; DAP= diámetro a 1,30 m.; AB= área basal; VOL= volumen; IMA H= incremento medio anual de la altura; IMA DAP= incremento medio anual de diámetro.

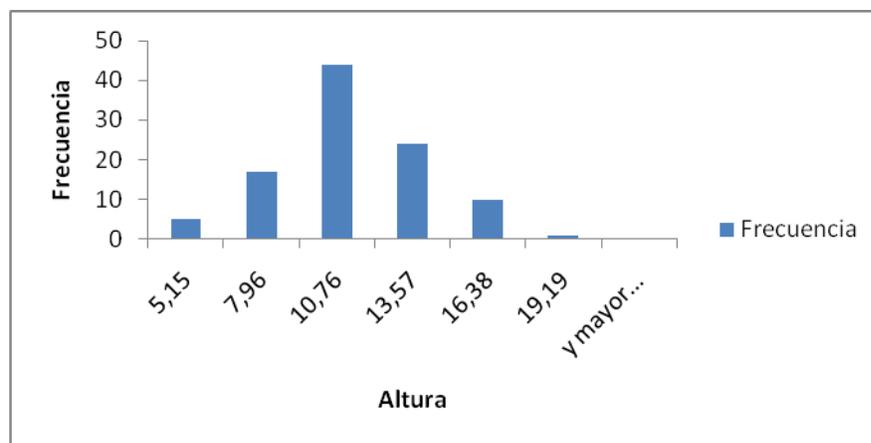
En la tabla 4.9 se puede apreciar que las medidas que presentan mayor porcentaje de variabilidad son el de volumen (65,10%), seguido por área basal (56,02%), el IMA H (29,71%) y la altura total (29,67%). El IMA DAP (28,84%) y DAP (28,84%) presentan la misma variación y la altura de fuste limpio (25,77%) presenta menor variabilidad en comparación a los anteriores parámetros, las variaciones que se presentan en la tabla 4.9 se deben a que los árboles no tienen un crecimiento homogéneo y unas se desarrollan más que otras.

**Tabla 4.10: Características principales de *Ulmus pumila* L. en El Molino**

Variable	n	Media	Desviación	CV %	Máximo	Mínimo
HT (m)	52	6,22	2,06	33,11	9,90	3,52
HFL (m)	52	1,73	1,00	57,80	8,00	0,90
DAP (cm)	52	14,62	5,90	40,36	33,42	7,64
AB (cm <sup>2</sup> )	52	194,66	170,24	87,46	877,34	45,84
VOL m <sup>3</sup>	52	0,03	0,03	87,65	0,14	0,004

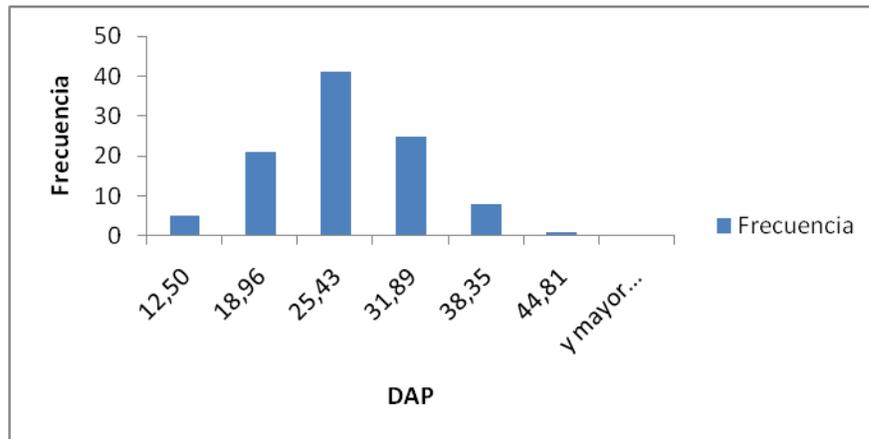
En la tabla 4.10 se observa que hay una mayor variación en el volumen (87,65%) y el área basal (87,46%) seguido de la altura de fuste limpio (57,80%) esto debido a que existe una mayor variación de alturas de fuste limpio en los arboles por las podas que se aplican o no en los mismos y por último el DAP (40,36%) y la altura total (33,11%).

**Figura 4.1: frecuencia de altura Pinus radiata D. Don. 18 años de edad en El Molino**



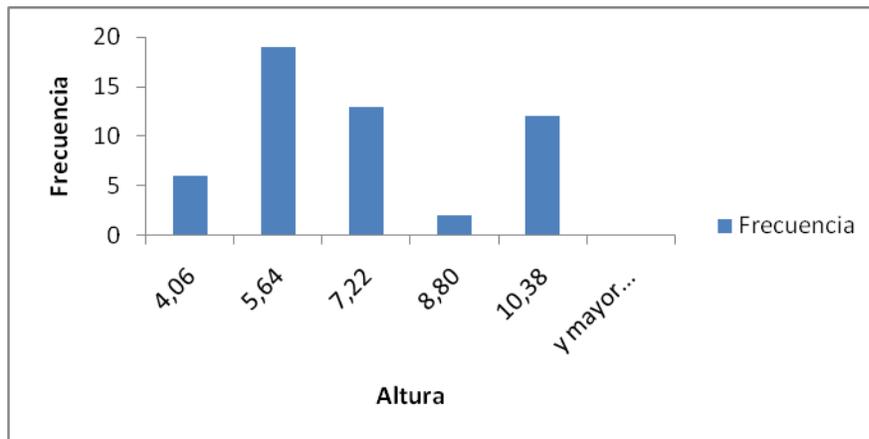
En este sitio de estudio se puede observar que existe un mayor número de árboles (44 individuos) que inciden dentro de la clase de 10 metros.

**Figura 4.2: frecuencia DAP *Pinus radiata* D. Don. 18 años de edad en El Molino**

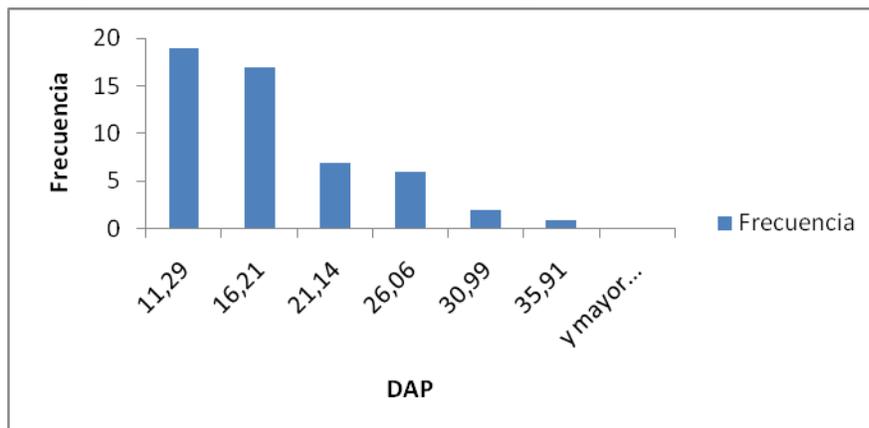


En el caso del DAP se observa una mayor concentración de árboles dentro de la clase diamétrica de 25 centímetros (41 individuos)

**Figura4.3: frecuencia de altura *Ulmus pumila* L. en El Molino**



Para *Ulmus pumila* L. se tiene mayor concentración de árboles dentro de las clases 5 y 10 metros (19 y 12 árboles respectivamente).

**Figura 4.4: frecuencia DAP *Ulmus pumila* L. en El Molino**

En la figura 4.4 se puede observar una mayor cantidad de árboles que se encuentran dentro de la clase diamétrica de 11 y 16 centímetros (19 y 17 individuos respectivamente), menos de la mitad de los árboles tiene un diámetro mayor a 20.

#### 4.1.3.2. ANÁLISIS DE EL CAMPANARIO

**Tabla 4.11: Características del *Pinus radiata* D. Don. en El Campanario**

Variable	n	Media	Desviación	CV %	Máx.	Mín.
<b>HT (m)</b>	19	16,49	4,53	20,04	20,65	8,56
<b>HFL (m)</b>	19	2,99	1,04	34,78	5,36	1,60
<b>DAP (cm)</b>	19	51,98	11,88	22,85	73,21	26,42
<b>AB (cm<sup>2</sup>)</b>	19	2227,51	956,63	42,95	4209,64	548,21
<b>VOL m<sup>3</sup></b>	19	1,47	0,80	52,71	3,30	0,33
<b>IMA H (m/año)</b>	19	0,66	0,13	20,04	0,83	0,34
<b>IMA DAP (cm/año)</b>	19	2,08	0,48	22,85	2,93	1,06

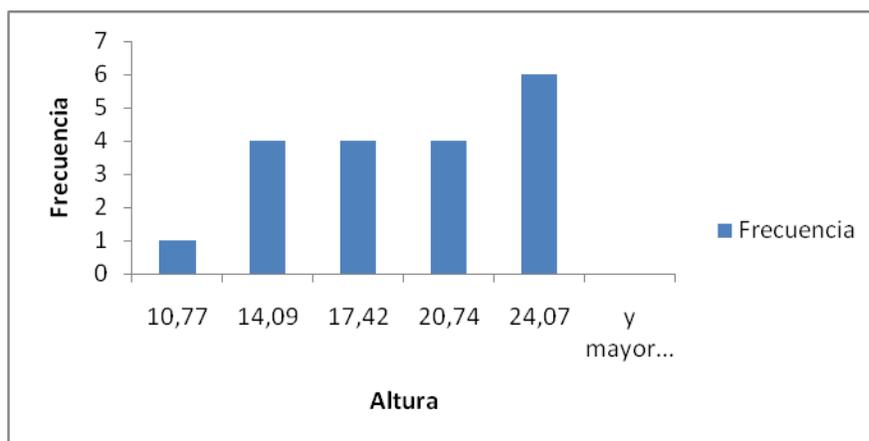
En la tabla 4.11 se puede observar una mayor variabilidad en el volumen (52,71%) como consecuencia de las mediciones de altura y DAP, el área basal (42,95%), altura de fuste limpio (34,78%), altura total (20,04%) y el IMA H (20,04%) con la misma variación y por último el DAP (22.85%).

**Tabla 4.12: Características principales de *Populus alba L.* en El Campanario**

Variable	n	Media	Desviación	CV %	Máx.	Mín.
HT (m)	11	15,41	3,96	25,07	19,06	7,40
HFL (m)	11	3,78	1,92	50,80	8,30	1,50
DAP (cm)	11	37,39	10,53	28,16	51,25	17,51
AB (cm <sup>2</sup> )	11	1176,96	597,49	50,08	2062,7	240,7
VOL m <sup>3</sup>	11	0,51	0,50	98,4	1,70	0,10

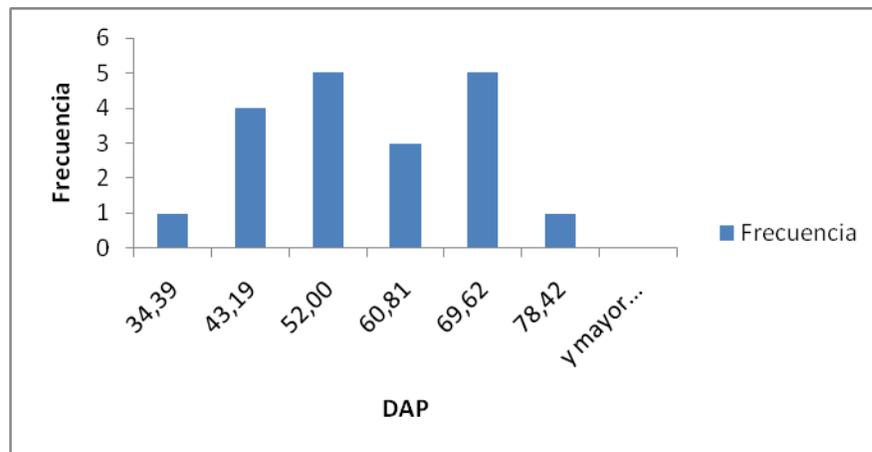
Para la especie del álamo se encuentra una mayor variación en el volumen (98,04%), altura de fuste limpio (50,80%) esto depende de los manejos que se aplican en cada árbol, área basal (50,08%), DAP (28,16%) y por último la altura total (25,07%)

**Figura 4.5: frecuencia de altura *Pinus radiata* D. Don. 25 años de edad en El Campanario**



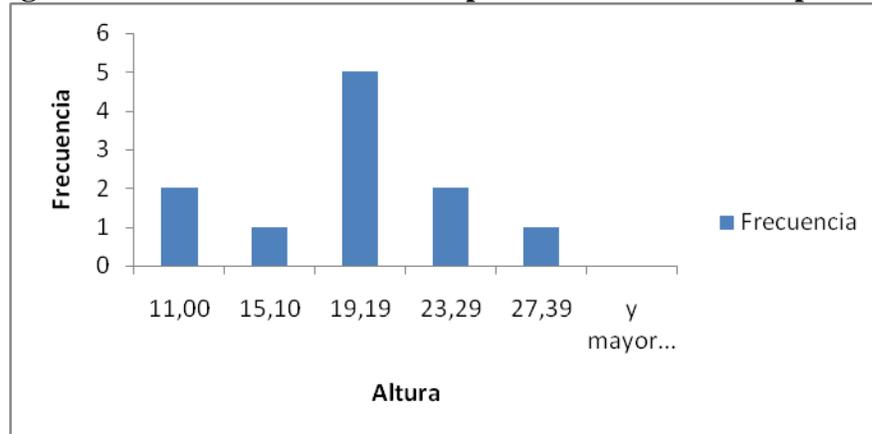
En la figura 4.5 se observa que el pino concentra más de la mitad de los árboles (12 individuos) entre las clases de altura de 14 y 20 metros.

**Figura 4.6: frecuencia DAP Pinus radiata D. Don. 25 años de edad en El Campanario**



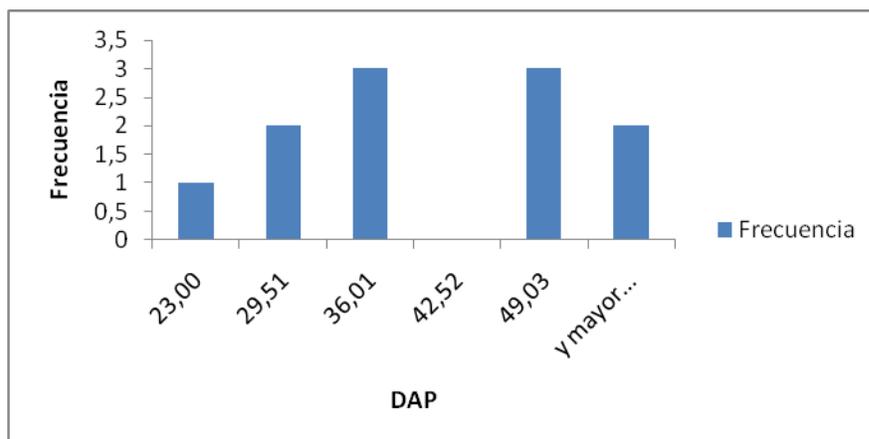
En cuanto al DAP se observa que tiene fluctuaciones como se muestra la figura 4.6 con mayor concentración entre las clases diamétricas de 40 y 52 centímetros con otra concentración dentro de los 69 centímetros, lo que indica que en este sitio el incremento diamétrico tuvo más desarrollo que la altura de los mismos.

**Figura 4.7: frecuencia de altura Populus alba L. en El Campanario**



Para la especie del álamo se observa que concentra árboles dentro del intervalo de 19 metros poco más de la mitad de individuos dentro del mismo.

**Figura 4.8: frecuencia DAP *Populus alba* L. en El Campanario**



La clase diamétrica que concentra mayor cantidad de árboles comprendido entre los 36 y 49 centímetros respectivamente, lo que indica que *Populus* tiene buen incremento diamétrico presentando altos valores.

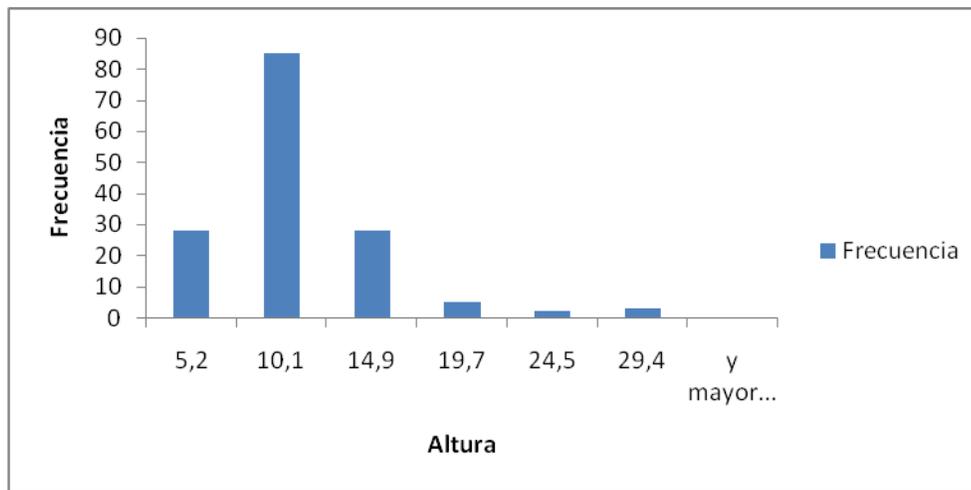
#### 4.1.3.3. ANÁLISIS DE SAN ANTONIO

**Tabla 4.13: Características principales de *Pinus radiata* D. Don. en San Antonio**

Variable	n	Media	Desviación	CV %	Máx.	Mín.
HT (m)	151	8,42	3,57	46,97	20,45	1,60
HFL (m)	151	1,58	0,36	22,72	2,70	0,23
DAP (cm)	151	26,77	8,39	31,33	55,07	8,89
AB (cm <sup>2</sup> )	151	617,95	370,62	59,96	2381,67	62,12
VOL m <sup>3</sup>	151	0,20	0,25	123,56	1,96	0,004
IMA H (m/año)	151	0,26	0,12	46,27	0,66	0,05
IMA DAP (cm/año)	151	0,86	0,27	31,33	1,78	0,29

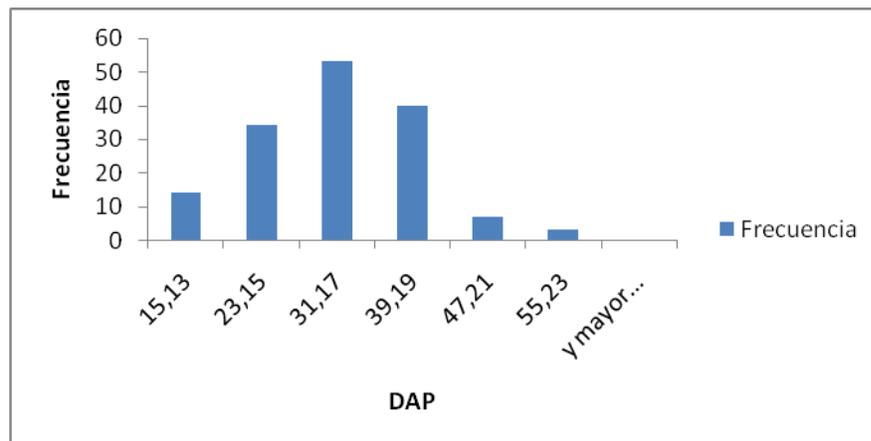
Para este sitio se observa que el volumen contiene mayor variabilidad (123,56%) por la diferencia marcada que existe entre los valores máximos y mínimos, seguido del área basal (59,96%), altura total (46,97%), el IMA H (46,27%), el IMA DAP (31,33%) presentando el mismo valor con el DAP (31,33%) y por último la altura de fuste limpio (22,72%) en consecuencia de la aplicación de podas que puedan presentar los árboles.

**Figura 4.9: frecuencia de altura Pinus radiata D. Don. 31 años de edad en San Antonio**



En este sitio se observa la mayoría de los árboles se concentra dentro de la clase de altura de 10 metros (85 individuos) a pesar de la edad de la plantación pocos árboles pasan los 14 metros de altura total.

**Figura 4.10: frecuencia DAP Pinus radiata D. Don. 31 años de edad en San Antonio**



El DAP tiene mayores concentraciones en las clases diamétricas de 20 a 40 centímetros (127 individuos), lo que indica que hay un mayor desarrollo diamétrico en comparación de la altura.

#### 4.1.4. TASAS DE CRECIMIENTO RELATIVO

A continuación se presentan las tablas para los tres sitios con el cálculo del crecimiento de relativo en base a las fórmulas de Schneider y Wahleberg.

##### 4.1.4.1. TASA DE CRECIMIENTO EL MOLINO

Para este sitio se tomaron 8 cilindros de madera de las cuales se tiene 1 cilindro de álamo, 1 de ciprés, 3 de olmo, 2 de pino y 1 de sauce. Los detalles de cada cilindro de crecimiento y su respectiva tasa de incremento se presentan en la tabla 4.14

**Tabla 4.14: Tasas de crecimiento relativo en el sitio de estudio El Molino**

N°	Especie	Long cilindro	Espesor corteza	r	K cm.	DAP cm	Df. cm	Wahleberg %	Schneider %	Observaciones
1	Álamo	11,8	0,5	2	4,3	29,72	28,72	5,99	6,96	
2	Ciprés	9,4	0,6	3	5,8	22,86	21,66	10,71	6,16	
3	Olmo	6,7	0,6	2	3,5	35,81	34,61	4,05	5,78	
4	Olmo	3,2	0,6	3	****	29,72	28,52		4,68	Cilindro muy corto
5	Olmo	9,2	0,7	3	****	17,78	16,38	****	8,14	Cilindro muy corto
6	Pino	14,1	0,5	2	6,5	28,45	27,45	9,47	7,29	
7	Pino	13,8	0,6	2	3,1	27,94	26,74	4,64	7,48	
8	Sauce	12	0,5	2	4,4	38,35	37,35	4,71	5,35	

Fuente: Elaboración propia en base a análisis de muestras obtenidas

En los resultados que se obtuvieron con los métodos de Wahleberg y Schneider se puede observar que las diferencias de resultados para una misma especie varían en algunos casos los resultados se alejan mucho uno del otro y en otros casos se presentan con una mínima diferencia.

##### 4.1.4.2. TASA DE CRECIMIENTO EL CAMPANARIO

En este sitio se tomaron 10 cilindros de madera de los cuales 3 cilindros son de álamo, 2 de ciprés y 5 de pino. La tabla 4.15 presenta los datos de cada cilindro para su respectivo análisis y los resultados del mismo.

**Tabla 4.15: Tasas de crecimiento relativo en El Campanario**

N°	ESPECIE	Long. cilindro	Espesor corteza	R	K cm.	DAP cm	Df. cm	Wahleber g %	Schneider %	Observaciones
1	Álamo	10,9	0,4	2	7,10	36,61	35,81	7,93	5,59	
2	Álamo	11,4	0,4	3	4,10	36,92	36,12	4,54	3,69	
3	Alamo	7,2	0,8	2	6,30	43,93	42,33	5,95	4,72	Anillos distanciados
4	Ciprés	8,7	0,3	2	2,90	26,74	26,14	4,44	7,65	Anillos diagonales
5	ciprés	10,9	0,5	4	3,80	25,15	24,15	6,29	4,14	
6	Pino	10,3	0,4	6	2,40	23,24	22,44	4,28	2,97	
7	Pino	9,8	0,3	2	4,80	46,79	46,19	4,16	4,33	
8	Pino	10,6	0,5	2	5,10	33,10	32,1	6,36	6,23	
9	Pino	10,4	0,5	2	3,70	46,15	45,15	3,28	4,43	
10	Pino	9,6	0,6	2	7,50	63,66	62,46	4,80	3,20	

Elaboración propia en base a análisis de las muestras obtenidas

Los resultados que obtuvieron presentan una discrepancia al comparar los valores de cada método utilizado en una misma especie, presentando en algunos casos mayor diferencia que en otros.

#### 4.1.4.3. TASA DE CRECIMIENTO SAN ANTONIO

En este sitio se tomaron 5 muestras todas pertenecientes a pino. A continuación en la tabla 4.16 se presenta los datos y análisis de cada cilindro.

**Tabla 4.16: tasas de crecimiento relativo en el sitio de estudio San Antonio**

N°	ESPECIE	Long. cilindro	Df cm.	r	K cm.	DAP cm	DAP s/c cm.	Wahleberg %	Schneider %	Observaciones
1	Pino	5,2	0,6	3	3,2	31,83	30,63	4,18	4,35	
2	Pino	8,2	0,5	3	4,9	34,70	33,7	5,82	3,96	
3	Pino	9,8	0,6	5	2,2	25,14	23,94	3,68	3,34	
4	Pino	10,1	0,5	10	1	14,01	13,1	3,05	3,05	
5	Pino	6,4	0,6	5	2,1	21,32	20,12	4,17	3,98	

Elaboración propia en base a análisis de cilindros de madera

Para este sitio se puede apreciar que las diferencias existentes entre métodos son menores, en relación a los dos sitios anteriores.

#### 4.1.4.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS TRES SITIOS

Se hace el análisis comparativo de las especies que se repiten en los tres sitios y sus resultados se muestran en las siguientes tablas:

**Tabla 4.17: tabla comparativa de crecimientos relativos para *Pinus radiata***

Sitio	Especie	Método de Wahleberg %	Método de Schneider %
Campanario	Pino	4,57	4,23
El Molino	Pino	7.05	7.38
San Antonio	Pino	4.18	3.74

Se compara el incremento del área basimétrica para la especie de pino en los tres sitios de estudios observándose un mayor incremento para el sitio El Molino tomando como indicador el método de Schneider, (según bibliografía consultada árboles de la especie *Pinus radiata D. Don* presentan incrementos relativos de 3,35%, según (García, Espinosa, & Valeria, 1994) en la tabla 4.17 se observa los incrementos para cada sitio.

**Tabla 4.18: tabla comparativa de crecimientos relativos para *Populus alba***

Sitio	Especie	Wahleberg %	Schneider %
Campanario	Álamo	6,14	4,67
El Molino	Álamo	5.99	6.96
San Antonio	No se encuentran es. implantadas		

De la misma manera se compara la especie de álamo y tomando indicador a Schneider (según bibliografía consultada) se ve que hay un mayor incremento anual del área basimétrica en el sitio de El Molino.

**Tabla 4.19: Tabla comparativa de crecimientos relativos para *Cupressus macrocarpa* Hartw ex Gord.**

Sitio	Especie	Wahleberg %	Schneider %
Campanario	Ciprés	5,37	5,90
El Molino	Ciprés	10,71	6,16
San Antonio	No se encuentran esp. implantadas		

En la tabla 4.19 se observa que el mayor incremento se produce en el sitio del Molino tomando como indicador a Schneider, tiene un incremento anual de 5,90 % en El Campanario y 6,16% en El Molino mostrando este sitio un mayor incremento de área basimétrica.

Se tomaron muestras de las especies de olmo y sauce del sitio de estudio El Molino, las mismas que no se repiten en los demás sitios de estudio por ende no se hizo la comparación de las mismas.

**Figura 4.11: Muestras cilíndricas de madera para determinación de crecimiento relativo**



Bajo lupa estereoscópica x10

#### 4.1.5. RELACION ENTRE CRECIMIENTO Y FACTORES CLIMÁTICOS

Para evaluar la productividad forestal maderable de la región aplicamos como indicamos en la metodología el índice CPV de Paterson. En este estudio se evaluó plantaciones en tres sitios diferentes, lo ideal sería poder determinar un índice de Paterson para cada lugar y de esa manera individualizar la productividad de cada predio.

Debido a la dificultad de contar con datos de los tres sitios para la aplicación del índice indicado es que procedimos a calcular el mismo solamente para la comunidad de El Campanario, estación que cuenta con el registro meteorológico necesario.

Por otro lado, dada la cercanía de los tres lugares (El Campanario-San Antonio 10,1 km y El Campanario-El Molino es 14,3 km) se puede apreciar también que no existen diferencias climáticas marcadas entre los tres sitios por lo que el índice que se determine para El Campanario podría asumirse como similar para El Molino y San Antonio. En la tabla 4.20 se pueden apreciar los principales parámetros normales térmicos e hídricos de los tres sitios que corroboran lo indicado.

**Tabla 4.20: Parámetros climáticos de los tres sitios**

Sitios	altura	Temperatura media anual	Precipitación media anual	Índice de Lang	Índice de Martonne
<b>Campanario</b>	3460	10,0	361,1	36,11 clima árido	18,05 zona semiárida
<b>San Antonio</b>	3387	11,4	411,2	36,07clima árido	18,69 zona semiárida
<b>El Molino</b>	3440	10,3	462,6	49,20 clima húmedo	24,60 zona subhúmeda

Fuente: elaboración propia en base a datos obtenidos del SENAMHI

Se puede apreciar la similitud de las variables climáticas en el sitio del Campanario y San Antonio, más existe una diferencia de los dos sitios mencionados con el sitio de El Molino ya que los datos meteorológicos que se obtuvieron de este sitio no son totalmente representativos porque solo se tiene registro de precipitación y temperaturas medias anuales de dos años, por ello que los resultados de los índices mostrados en la tabla 4.20 difieren en comparación de los otros dos sitios del Campanario y San Antonio.

Se utilizó los índices de aridez de Lang y Martonne que utiliza como datos fundamentales precipitación y temperatura media anual. En el cual se estima la eficiencia de la precipitación en relación con la temperatura. En las tablas 4.21 y 4.22 se muestran las clasificaciones para cada índice.

**Tabla 4.21: Índice de Lang**

Valor de $P_f$	Zona
0 - 20	Desiertos
20 - 40	Árida
40 - 60	Húmedas de Estepa y sabana
60 - 100	Húmedas de bosques claros
100 - 160	Húmedas de grandes bosques
>160	Pre-húmedas con prados y tundras

Fuente: J. Almorox

**Tabla 4.22: Índice de Martonne**

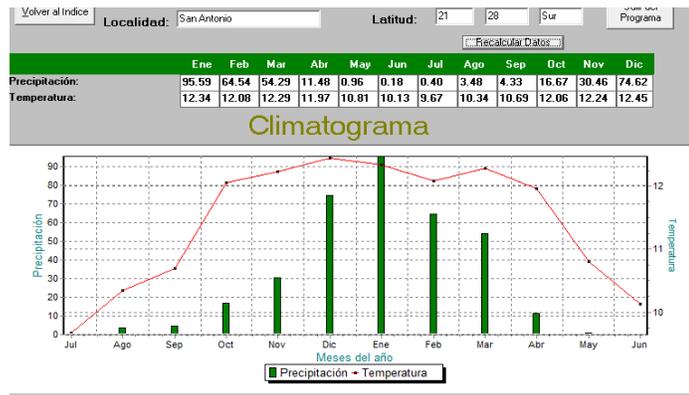
Valor de $I_a$	Zona
0 – 5	Desiertos (Hiperárido)
5 – 10	Semidesiertos (árido)
10 – 20	Semiárido de tipo mediterráneo
20 – 30	Subhúmeda
30 – 60	Húmeda
> 60	Perhúmeda

Fuente: J. Almorox

Se obtuvo como resultado un clima árido para los sitios El Campanario y San Antonio, mientras que en El Molino nos indica según que pertenece a clima húmedo, esto debido a los escasos datos de la estación de este sitio como se explicó anteriormente.

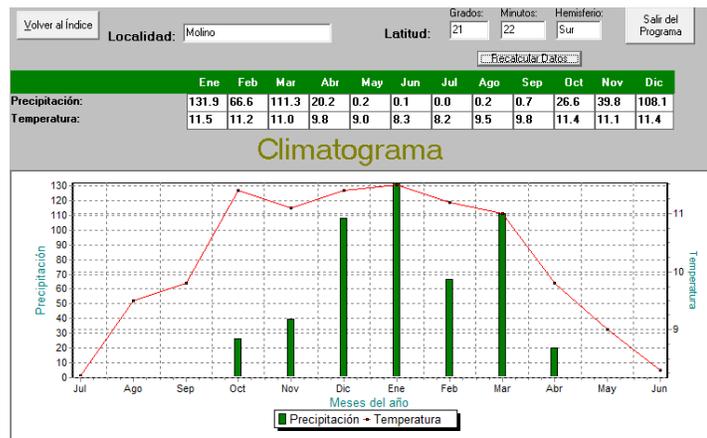
De la misma manera los climatogramas de las Figuras **4.11**, **4.12** y **4.13** indican que estamos ante sitios de similitud climática

**Figura 4.12: Climatograma de San Antonio**



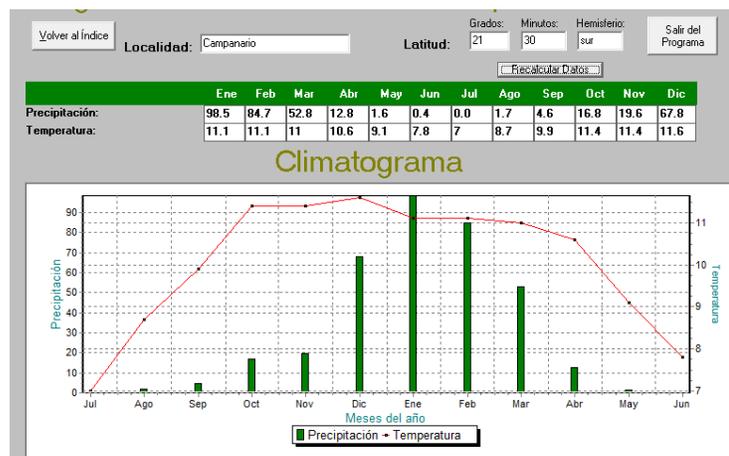
Fuente: elaboración propia en base a datos de SENAMHI

**Figura 4.13: Climatograma El Molino**



Fuente: elaboración propia en base a datos de SENAMHI

**Figura 4.14: Climatograma El Campanario**



Fuente: elaboración propia en base a datos de SENAMHI

#### 4.1.5.1. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE PATERSON CPV PARA EL CAMPANARIO

La determinación del Índice de CPV de Paterson para el Campanario parte de la aplicación de las siguientes formulas:

La fórmula del CPV es:

$$CPV = \frac{tm_{12} * G * P * f}{12 * (t_{12} - t_1)}$$

Dónde:

CPV= índice de clima, productividad y vegetación.

P= precipitación media mensual (mm)

tm<sub>12</sub>= temperatura media del mes más cálido

t<sub>1</sub>= temperatura media de las mínimas del mes más frío

t<sub>12</sub>= temperatura media de las máximas del mes más cálido (°C)

G = duración del periodo vegetativo en meses

f = factor de insolación

El factor de insolación se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$f = \frac{2500}{1000 + n}$$

En la ecuación precedente “n” es el numero horas sol anual promedio del sitio. Para la determinación del periodo vegetativo (G) se consideró que el mes "i" es activo para la vegetación forestal si cumple la condición de: **P<sub>i</sub> ≥ 2t<sub>mi</sub>** además de que **t<sub>mi</sub> ≥ 6**

Los datos meteorológicos para la estación de Campanario se presentan en la tabla

4.23



Como podemos observar los meses vegetativamente activos son Enero, Febrero, Marzo y Abril dando para G un valor igual a 4.

Aplicando la fórmula para obtener el índice tenemos que:

$$CVP = \frac{11,57 * 4 * 361,4 * 0,69}{12 * [19,9 - (-0,7)]} = \frac{11540,65}{230,4} = 50,08$$

El índice CVP alcanza un valor de 50,08 y para la determinación de la **PRODUCCIÓN POTENCIAL MADERABLE** se aplica la función:

$y = (5,3 * \log_{10} CPV) - 7,41$  donde “y” esta expresada m<sup>3</sup> de madera/ha\*año, obteniendo:

$$y = 5,3 * \log_{10} (50,08) - 7,41 = \mathbf{1,60 \text{ m}^3 \text{ de madera/ha*año}}$$

Con los cálculos desarrollados concluimos que la producción potencial forestal para el área de estudio es **1,60 m<sup>3</sup> de madera/ha\*año**, analizando el valor obtenido (a la luz de la tabla 4.25) observamos que el mismo corresponde a una **Clase V** que indica que es un sitio con **Limitaciones graves de producción**

**Tabla 4.25: Categorización de productividad según índice CVP**

PRODUCTIVIDAD	CLASE	Limitaciones para el crecimiento de bosques productivos
> 9,0	Ia	Sin limitaciones graves
7,5-9,0	Ib	Sin limitaciones graves
6 - 7,5	II	Limitaciones débiles
4,5 - 6	III	Limitaciones moderadas
3 - 4,5	IV	Lim. moderadamente graves
1,5 - 3	V	Limitaciones graves
0,5 - 1,5	VI	Limitaciones muy graves
< 0,5	VII	Impedido el bosque productivo

Fuente: J. Almorox

La productividad es potencial porque al valor obtenido habría que afectarle por un factor relacionado con el suelo, pero para tal efecto requeriríamos de un estudio de plantaciones y suelos que permitan establecer los patrones productivos de cada tipo de suelo como en nuestro medio no contamos con este estudio no podemos afectar el resultado obtenido por lo tanto quedamos con el valor de producción potencial forestal.

#### **4.1.5.2. POTENCIAL FORESTAL**

En las comunidades de San Antonio y El Molino las plantaciones están dispuestas en filas como se muestra en la figura 4.14 (sitio San Antonio) por lo que ésta situación dificulta la estimación de la densidad para el cálculo de la producción de material leñoso por unidad de superficie y su respectiva comparación con el Índice de Patterson estimado. Solamente en la comunidad de El Campanario la plantación fue realizada en un bosque que tiene ocupación específica para la determinación de su densidad.

La distancia promedio entre árboles en El Molino fue de 3 m y en San Antonio de 1.83 m. Si asumimos estas distancias como lados de un marco real de plantación tendríamos que: El Molino tendría 1111 árboles por hectárea mientras que San Antonio 2986. Considerando que la edad indicada para El Molino es de 18 años y para San Antonio de 31 años tendríamos una producción anual de 19,26 m<sup>3</sup>/ha/año para El Molino y de 28,67 m<sup>3</sup>/ha/año para San Antonio.

Para el caso El Campanario la distancia de plantación estimada a partir de las mensuras de campo es de 3 x 3 metros por lo que la densidad de esta plantación sería

de 1111 árboles por hectárea mismo que nos da una producción anual de 65,33 m<sup>3</sup>/ha/año considerando que esta plantación tiene 25 años de edad.

A la luz de estos resultados podemos observar que todos los datos de producción anual estimados son superiores a la producción calculada con el Índice de Patterson que fue de 1,6 m<sup>3</sup>\*ha/año y calificada como *“con limitaciones graves de producción”*, esto nos lleva a una reflexión sobre la aplicabilidad de este modelo en la zona de estudio de la forma como está planteada o si sería necesario una adecuación de los parámetros que emplea.

También es importante indicar que las densidades calculadas para la estimación de los rendimientos en los tres sitios son subjetivas porque provienen de plantaciones pequeñas; en plantaciones mono específicas de áreas mayores el comportamiento sería distinto y habría más elementos para juzgar con base científica.

**Figura 4.15: Plantación en filas, lugar San Antonio**



## 4.2. DISCUSIÓN

El análisis permitió conocer la variabilidad de los datos recolectados así como sus incrementos relativos y absolutos, la alta variabilidad de los parámetros evaluados pueden atribuirse a la falta de manejo de la plantación.

Para el análisis del IMA de altura y DAP se usaron datos de edad de las plantaciones de cada sitio que fue proporcionada por los pobladores, siendo datos aproximados mas no precisos.

Se determinó el IMA en altura para los sitios: El Molino presentando un incremento medio anual de 0,55 m/año; El Campanario 0,66 m/año y San Antonio 0,27 m/año.

El estudio de incremento de altura y diámetro de *Pinus radiata* realizado en la ciudad de Hidalgo (México), en un bosque de pino-encino, además de diversas especies arbustivas y herbáceas creciendo con esta especie, muestra que el incremento máximo en altura para *Pinus radiata* es de 0,60 m/año, después del cual comienza el decrecimiento de esta especie, lo que nos indica que a pesar de las condiciones adversas de los tres sitios de estudio el pino tiene un buen desarrollo en incremento de altura. (Calvillo, Cornejo, Valencia, & Flores, 2001)

Para el IMA en diámetro se determinó el incremento en los tres sitios de estudio, teniendo para El Molino 1,28 cm/año; El Campanario 2,08 cm/año y San Antonio 0,86 cm/año, lo que en la misma literatura nos indica que esta especie tiene un incremento diamétrico medio anual de 0,70 cm/año desde los primeros cinco años, después alcanza su máximo desarrollo con 80 cm/año.(Calvillo, Cornejo, Valencia, & Flores, 2001)

Para la determinación de incremento relativo de área basimétrica se tomaron en cuenta dos métodos que son los de Wahlembeg y Schneider porque nos permitió trabajar con datos de entrada que eran posibles de determinar en los cilindros de madera obtenidos en campo. Se tomó como indicador de este incremento el método de Schneider por tener mayor aproximación según la bibliografía consultada.

Se hizo la determinación del índice CPV de Paterson para el sitio de El Campanario y fue aplicado a los otros dos sitios, primero porque las estaciones meteorológicas de estos sitios no cuenta con la información completa que se requiere para la determinación de dicho índice, pero al ver que nos encontramos con similitudes climatológicas expuestas en las figuras 4.11, 4.12 y 4.13, se encuentra razonable la aplicación de un solo índice de productividad a los tres sitios.

En esta zona no se cuenta con datos de la litología del lugar, que si bien el suelo condiciona el factor biológico, más aun lo hace el clima, por lo cual se trabajó con datos climáticos y se pudo calcular la productividad de la zona que dio como resultado una tierra de clase V (tierras con limitaciones graves para bosques productivos).

Según Simón (1993), en el altiplano el principal factor limitante del crecimiento vegetal en general es la falta de humedad. Aun con todo, los suelos con un cierto grado de evolución, con una capacidad de retención de agua útil elevada y cierto equilibrio entre sus distintas propiedades, serán capaces de aprovechar al máximo la escasa lluvia recibida y la evolución de los ecosistemas será la máxima posible para esas circunstancias.

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

Después del análisis de los resultados se concluye que:

- Se ha encontrado un importante número de especies leñosas cultivadas (*ocho especies*) en distintos ambientes de la zona de estudio lo que hace prever que es posible el desarrollo de especies exóticas en esta región considerada como de baja productividad por las limitaciones sobre todo climáticas de bajas temperaturas y baja precipitación.
- A pesar del mal estado de las plantaciones evaluadas por la ausencia de manejo silvicultural, el crecimiento se considera bueno pudiendo mejorarse sustantivamente el mismo con la realización de proyectos de plantación sistemáticos y manejados.
- La alta variabilidad de los parámetros dasométricos estudiados (diámetros, alturas y volúmenes) se debe principalmente a la ausencia de intervenciones silvícolas en los momentos que la experiencia y la literatura recomiendan para las especies estudiadas. La planificación del manejo de la plantación haría de los productos forestales obtenidos en la región, materiales de mayor homogeneidad dimensional y estructural.
- Los coeficientes mórficos obtenidos y las relaciones de ahusamiento ajustadas se corresponden con los rangos establecidos para la especie por lo que estos

parámetros pueden emplearse satisfactoriamente en la predicción y determinación de crecimiento y volúmenes en plantaciones futuras.

- Para el estudio del crecimiento relativo se ajusta mejor el modelo propuesto por Schneider para la especie de *Pinus radiata*. D. Don. Para las otras especies habría que realizar una mayor cantidad de estudios sobre todo en aquellas que no muestran fácilmente sus anillos de crecimiento.
- Evaluando la potencialidad de productividad de material leñoso de zona de estudio con el Índice de Partesson (*1,6 m<sup>3</sup>/ha/año. Clasifica a la zona “con limitaciones graves”*) vemos que este coeficiente subestima la potencialidad; es posible que esto se deba a que los rangos de productividad empleados para su clasificación no se adecuen a la zona de estudio y que sea necesario revisar el método y generar parámetros propios en base a datos de la región y zonas similares.
- Los rendimientos obtenidos en los tres sitios de estudio son expectantes para la especie Pino radiata D Don. por lo que su mayor estudio se hace necesario.

## 5.2. RECOMENDACIONES

Sobre las especies

- En base al estudio de las especies implantadas se recomienda realizar ensayos de introducción de especies potenciales para la región considerando las grandes necesidades que tiene la misma como la de proveerse de material energético (leña), para la construcción y para la

implementación de sistemas agroforestales que permitan una interacción positiva con los cultivo agrícolas.

#### Sobre el crecimiento

- Desarrollar un programa que monitoree y evalúe el crecimiento de todas la plantaciones establecidas en la región, las mismas que generaran información suficiente y pertinente para el desarrollo de plantaciones con fines comerciales e industriales; brindando otra posibilidad cierta de desarrollo de las comunidades que habitan la zona.

#### Sobre la potencialidad forestal de la región

- Evaluar los métodos de predicción de productividad leñosa existentes y ajustarlos a nuestra realidad, o en su caso generar nuevos modelos en base a datos empíricos de campo de plantaciones establecidas en la zona de estudio que consideren variables climáticas, edáficas, litológicas, etc.