

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**FORESTAL**



**EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO E INCREMENTO DE LAS  
PLANTACIONES FORESTALES DE *Pinus radiata* D. Don, EN EL CENTRO  
POBLADO COBRO NEGRO - SAN SILVESTRE DE COCHÁN**

**T E S I S**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO FORESTAL**

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

**WILLAN CRUZADO BARBOZA**

ASESOR:

**Ing. ANDRÉS HIBERNON LOZANO LOZANO**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2021**



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Fundada por Ley N° 14015 del 13 de febrero de 1,962

"Norte de la Universidad Peruana"

### FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica

-----000-----

### ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los **diez** días del mes de setiembre del año dos mil veintiuno, se reunieron en la Plataforma Virtual de la Universidad Nacional de Cajamarca, a través del Google Meet, los miembros del Jurado, designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 097-2021-FCA-UNC, con el objeto de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulado: "**EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO E INCREMENTO DE LAS PLANTACIONES FORESTALES DE *Pinus radiata* D. Don EN EL CENTRO POBLADO COBRO NEGRO, SAN SILVESTRE DE COCHÁN**", ejecutado(a) por el Bachiller en Ciencias Forestales, don WILLAN CRUZADO BARBOZA para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

A las *diecinueve (19) horas y cuarenta (40) minutos*, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando a la sustentante a exponer su trabajo de Tesis y, luego de concluida la exposición, el jurado procedió a la formulación de preguntas. Concluido el acto de sustentación, el Jurado procedió a deliberar, para asignarle la calificación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció *la aprobación* por *unanimidad* con el calificativo de *DIECISEIS (16.00)*; por tanto, El Bachiller queda expedito para que inicie los trámites y se le otorgue el Título Profesional de **Ingeniero Forestal**.

A las *veintún (21) horas y veinte (20) minutos* del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.



---

Ing. M. Sc. Walter R. Roncal Briones  
PRESIDENTE



---

Ing. N. Honorio Sangay Martos  
SECRETARIO



---

Ing. Andrés H. Lozano Lozano  
VOCAL

## **DEDICATORIA**

A Dios por guiar mis pasos y por permitirme tener a los padres más valiosos: Armando Cruzado Leyva y María Amelida Barboza Bautista a mi asesor Andrés H. Lozano Lozano, amigos familiares y docentes de nuestra Universidad Nacional de Cajamarca, por inculcar el conocimiento y valores para ser mejor cada día.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi sincera gratitud a mi asesor él Ing. Andrés H, Lozano Lozano, quien tuvo la predisposición de acompañarme en la presente investigación, con el único anhelo de ayudarme a lograr mi propósito. A mis educadores y compañeros de estudios de la Facultas de Ciencias Agrarias, Escuela Académico Profesional de Ingeniería forestal de la Universidad Nacional de Cajamarca, quienes me ayudaron a ser cada día mejor profesional, a mi jurado evaluador por dedicar su tiempo Ing. Walter, Roncal Briones y Honorio N, Sangay Martos, los pobladores del centro poblado Cobro Negro quienes muy gentilmente colaboraron con el desarrollo de la presente investigación.

## INDICE

|   | Pág.     |
|---|----------|
| DEDICATORIA .....   | iii      |
| AGRADECIMIENTO .....  | iv       |
| ÍNDICE DE TABLAS .....  | viii     |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....   | ix       |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....  | x        |
| RESUMEN .....   | xi       |
| ABSTRACT .....  | xii      |
| <br>  |          |
| <b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>   | <b>1</b> |
| 1.1. Planteamiento del problema.....                                  | 2        |
| 1.2. Formulación del problema .....                                   | 2        |
| Hipótesis de la investigación .....                                   | 2        |
| 1.3. OBJETIVOS .....  | 2        |
| 1.3.1. Objetivo general.....  | 2        |
| 1.3.2. Objetivos específicos .....                                    | 3        |
| <br>  |          |
| <b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>                                | <b>4</b> |
| 2.1. Antecedentes .....   | 4        |
| 2.2. Bases teóricas.....  | 5        |
| 2.2.1. Tierras con aptitud forestal en el Perú .....                  | 5        |
| 2.2.2. Plantaciones en Cajamarca Perú.....                            | 6        |
| 2.2.3. Manejo forestal en plantaciones.....                           | 6        |
| 2.2.4. Monitoreo de plantaciones forestales .....                     | 7        |
| 2.2.5. Métodos para monitoreo forestal. ....                          | 7        |
| 2.2.6. Muestreo de plantaciones forestales .....                      | 7        |
| 2.2.7. Parcelas de muestreo .....                                     | 8        |
| 2.2.8. Tipos de parcelas.....   | 8        |
| 2.2.9. Tamaño y forma de las parcelas .....                           | 9        |
| 2.3. Crecimiento e incremento de masas forestales .....               | 10       |
| 2.3.1. Crecimiento de un árbol.....                                   | 10       |
| 2.3.2. Incremento de un árbol .....                                   | 12       |
| 2.3.3. Mediciones más utilizadas en el crecimiento e incremento ..... | 14       |
| 2.3.4. Factores que influyen en el crecimiento .....                  | 18       |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 2.3.5. | Patrón del crecimiento diamétrico .....                             | 19 |
| 2.3.6. | Evaluación del crecimiento e incremento .....                       | 20 |
| 2.3.7. | Métodos para el cálculo del crecimiento e incremento.....           | 20 |
| 2.3.8. | Importancia del crecimiento y la estructura para el manejo forestal | 22 |
| 2.3.9. | Predicción del crecimiento e incremento .....                       | 22 |
| 2.4.   | Modelo de crecimiento .....   | 23 |
| 2.5.   | Modelos matemáticos de incremento.....                              | 23 |
| 2.6.   | Sitio .....   | 24 |
| 2.6.1. | Evaluación de la calidad de sitio .....                             | 24 |
| 2.7.   | Plantaciones forestales .....                                       | 25 |
| 2.8.   | Objetivos de las plantaciones forestales .....                      | 25 |
| 2.8.1. | Producto y beneficios de las plantaciones forestales .....          | 26 |
| 2.9.   | Descripción de la especie .....                                     | 26 |
| 2.9.1. | Aspectos generales de la especie: .....                             | 26 |
| 2.9.2. | Fenología.....  | 27 |
| 2.9.3. | Anatomía de la madera.....  | 28 |
| III.   | MATERIALES Y METODOS.....   | 29 |
| 3.1.   | Zona de estudio.....  | 29 |
| 3.1.1. | Ubicación política y geográfica .....                               | 29 |
| 3.1.2. | Descripción de la plantación en estudio.....                        | 29 |
| 3.1.3. | Acceso.....   | 30 |
| 3.1.4. | Clima.....  | 30 |
| 3.1.5. | Suelos.....   | 32 |
| 3.1.6. | Geología .....  | 32 |
| 3.1.7. | Geomorfología .....   | 32 |
| 3.1.8. | Fisiografía.....  | 32 |
| 3.2.   | Materiales y Equipos .....  | 33 |
| 3.2.3. | Metodología.....  | 33 |
| 3.2.4. | Distribución y ubicación de las parcelas a ser evaluadas .....      | 34 |
| 3.3.   | Fase de campo .....   | 35 |
| 3.3.1. | Reconocimiento del área de estudio .....                            | 35 |
| 3.3.5. | Medición de parámetros dasométricos.....                            | 36 |

|   |    |
|---|----|
| 3.4. Fase de gabinete .....   | 37 |
| 3.4.1. Cálculo de área basal.....   | 37 |
| 3.4.2. Cálculo del volumen total (Vt).....  | 38 |
| 3.5. Cálculo del incremento medio anual(IMA) .....                                      | 38 |
| 3.5.1. Cálculo del incremento total (IT).....   | 39 |
| <br>  |    |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....   | 40 |
| 4.1. Crecimiento e incremento de las plantaciones de <i>Pinus radiata</i><br>D.Don..... | 40 |
| <br>  |    |
| V.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....   | 51 |
| <br>  |    |
| VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 52 |
| <br>  |    |
| VII. ANEXOS .....   | 59 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   | <b>Pág</b> |
|---|------------|
| Tabla 1. Superficie de las plantaciones (ha), evaluadas hasta el 2019 ..... | 34         |
| Tabla 2. Resultados del DAP promedio e IMA del diámetro .....               | 40         |
| Tabla 3. Resultados del IT e IMA de la altura total .....                   | 43         |
| Tabla 4. Resultados del IT e IMA del área basal .....                       | 46         |
| Tabla 5. Resultados del IT e IMA del volumen total .....                    | 47         |
| Tabla 6. Resultados del IT e IMA del volumen comercial .....                | 49         |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  | <b>Pág</b> |
|--|------------|
| <b>Fig. 1.</b> Mapa de ubicación.....  | 31         |
| <b>Fig. 2.</b> Diagrama de flujo del trabajo de campo .....                          | 35         |
| <b>Fig. 3.</b> Relación encontrada entre el DAP promedio (cm) y edad (años).....     | 42         |
| <b>Fig. 4.</b> Relación entre la altura promedio y la edad de las plantaciones ..... | 44         |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|  | <b>Pág</b> |
|--|------------|
| <b>Anexo 1.</b> Formato usado para recolección de datos de campo ..... | 78         |
| <b>Anexo 2.</b> Tablas de datos recolectados en campo .....            | 79         |
| <b>Anexo 3.</b> Coordenadas de las parcelas de muestreo .....          | 85         |
| <b>Anexo 4.</b> Panel fotográfico .....                                | 86         |

## RESUMEN

En este estudio se realizó la evaluación del crecimiento e incremento en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don de tres edades diferentes, 8, 12 y 22 años, en el Centro Poblado “Cobro Negro”, del Distrito de San Silvestre de Cochán, Provincia de San Miguel, Departamento de Cajamarca, se instalaron 2 parcelas de muestreo de 20 m x 25 m ( 500 m<sup>2</sup> ) en cada rodal de diferente edad, dentro de las parcelas se midieron los parámetros, diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (Ht) y altura comercial (Hc), con estos datos se realizaron los cálculos del incremento medio anual (IMA) e incremento total (IT) dando como resultados; IMA en diámetro es 1.43 cm/árbol/año para la edad de 8 años 1.39 cm/árbol/año a los 12 años y 0.96 cm/árbol/año a los 22 años; para el IMA en altura, 1.17 m/árbol/año a los 8 años, 1.06 m/árbol/año a los 12 años y 0.7 m/árbol/año a la edad 22 años; IMA del área basal, 1.47 m<sup>2</sup>/ha/año para 8 años, 1.96 m<sup>2</sup>/ha/año para 12 años y 1.73 m<sup>2</sup>/ha/año a 22 años de edad; mientras que el IMA en volumen total, 6.65 m<sup>3</sup> /ha/año para 8 años, 12.62 m<sup>3</sup> /ha/año a 12 años y 13.25 m<sup>3</sup> /ha/año para 22 años.

El incremento total, en sus diferentes edades nos muestra resultados variables: IT altura, 9.4 m, 12.8 m, 15.4 m, a los 8 años, 12 años y 22 años respectivamente; el IT en volumen total nos muestra resultados de, 53 m<sup>3</sup>/ha, 151 m<sup>3</sup>/ha y 291 m<sup>3</sup>/ha, en las tres edades respectivamente.

**Palabras clave:** incremento medio anual, incremento total, crecimiento, volumen total, volumen comercial, *Pinus radiata*, plantación forestal.

## ABSTRACT

In this study, an evaluation of the growth and increase in *Pinus radiata* D. Don plantations of three different ages, 8, 12 and 22 years, was carried out in the Centro Poblado "Cobro Negro", in the District of San Silvestre de Cochán, Province of San Miguel, Department of Cajamarca, 2 sampling plots of 20 mx 25 m (500 m<sup>2</sup>) were installed in each stand of different age, within the plots the parameters, diameter at breast height (DBH), total height were measured (Ht) and commercial height (Hc), with these data the calculations of the annual mean increase (IMA) and total increase (IT) were made, giving as results; IMA in diameter is 1.43 cm / tree / year for the age of 8 years 1.39 cm / tree / year at 12 years and 0.96 cm / tree / year at 22 years; for the IMA in height, 1.17 m / tree / year at 8 years, 1.06 m / tree / year at 12 years and 0.7 m / tree / year at age 22; IMA of the basal area, 1.47 m<sup>2</sup> / ha / year for 8 years, 1.96 m<sup>2</sup> / ha / year for 12 years and 1.73 m<sup>2</sup> / ha / year for 22 years of age; while the IMA in total volume, 6.65 m<sup>3</sup> / ha / year for 8 years, 12.62 m<sup>3</sup> / ha / year for 12 years and 13.25 m<sup>3</sup> / ha / year for 22 years.

The total increase, in their different ages shows us variable results: IT height, 9.4 m, 12.8 m, 15.4 m, at 8 years, 12 years and 22 years respectively; the IT in total volume shows us results of 53 m<sup>3</sup>/ ha, 151 m<sup>3</sup>/ha and 291 m<sup>3</sup>/ha, in the three ages respectively.

**Respectively Keywords:** mean annual increase, total increase, growth, total volume, commercial volume, *Pinus radiata*, forest plantation.

## I. INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales son muy importantes por los bienes y servicios que ofrecen, por esta razón, en las zonas alto andinas de Cajamarca se establecieron plantaciones en varios centros poblados, incluido el Centro Poblado Cobro Negro, perteneciente al Distrito de San Silvestre De Cochán, en la cual destaca la especie *Pinus radiata* D. Don, por su buena calidad de madera, fácil propagación, adaptación y relativa facilidad de manejo silvicultural (SERFOR 2015).

Debido a la importancia que tiene esta especie forestal, se tiene que conocer el crecimiento e incremento que obtiene en este centro poblado, el crecimiento de un árbol es el aumento de tamaño en el tiempo debido a los procesos de anabolismo o síntesis y catabolismo producido por la actividad fisiológica de la planta que dependen directamente de la genética de la especie, calidad de sitio y el tiempo (Prodan *et al.*1997).

A medida que un árbol crece, sus dimensiones aumentan (diámetro, altura y volumen), este crecimiento del árbol en un periodo de tiempo determinado se llama incremento, en la cual los parámetros que determinan la productividad es, incremento del árbol en diámetro, incremento del árbol en altura, incremento del árbol en volumen y por analogía se habla del incremento de una masa o bosque (Imaña y Encinas 2008).

El presente estudio tiene como objetivo principal evaluar el crecimiento y las tasas de incremento de, *Pinus radiata* D.Don, establecida en el Centro Poblado Cobro Negro, con el fin de conocer la producción en sus diferentes edades.

## **1.1. Planteamiento del problema**

Cajamarca es una de las Regiones donde se han establecido plantaciones con especies del Género *Pinus*, mayormente en las zonas alto andinas, dentro de estas especies destaca *Pinus radiata* D. Don, la cual está influenciada por diversos factores que determinan el crecimiento y las tasas de incremento, el conocimiento del crecimiento e incremento permitirá realizar predicciones precisas sobre el rendimiento esperado de esta especie, ayudando a los propietarios a planificar el manejo y uso de su recurso (MINAGRI 2013).

En este contexto, es muy importante conocer sobre el crecimiento y las tasas de incremento de la especie *Pinus radiata* D. Don, para poder hacer una buena planeación forestal.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál es el crecimiento e incremento en diferentes edades de las plantaciones forestales de *Pinus radiata* D. Don instaladas en el Centro Poblado Cobro Negro?

### **Hipótesis de la investigación**

Las plantaciones forestales de *Pinus radiata* D. Don, en el Centro Poblado Cobro Negro, presentan crecimiento y tasas de incremento diferentes en sus distintas edades.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar el crecimiento e incremento de las plantaciones forestales de *Pinus radiata* D. Don establecidas en el Centro Poblado Cobro Negro-San Silvestre de Cochán - Cajamarca.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Conocer el crecimiento de las plantaciones de *Pinus radiata* D.Don instaladas en el Centro Poblado Cobro Negro de San Silvestre de Cochán.
- Determinar el incremento anual de las plantaciones de *Pinus radiata* D.Don en el Centro poblado Cobro Negro.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes

Sánchez *et al.* (2003), en su estudio realizado en Galicia sobre crecimiento y tablas de producción de *Pinus radiata* D. Don, a partir de una sola medición de parcelas de inventario y el análisis de fuste de árboles dominantes y árboles tipo, en sus resultados obtiene que el turno máximo de renta es desde los 28 a 44 años y el crecimiento medio de la masa principal a los 30 años de edad varía entre 8.1 y 19 m<sup>3</sup>/ha/año.

Sáenz *et al.* (2011), realizaron un estudio en plantaciones de *Pinus radiata* de 15 años de edad, instaladas en Veracruz México, el estudio se realizó mediante métodos de medición directa, con la instalación de parcelas de muestreo, los resultados obtenidos muestran que el incremento medio anual en diámetro es de 1.06 cm/árbol/año, concluyendo que presenta un incremento bueno en el estado de México.

Por su parte, Murillo *et al.* (2016), realizaron un estudio, en Michoacán - México. con el objetivo de buscar árboles plus en plantaciones de *Pinus montezumae*, de 15 años, mediante parcelas de muestreo y medición directa de los parámetros forestales de esta especie, determinaron que la especie de *P. radiata* tiene un incremento medio anual en diámetro de 1.23 cm/árbol/año, la cual fue utilizada como rodal semillero por sus características de buen crecimiento e incremento de su masa forestal.

Por otro lado, un estudio comparativo entre las tasas de crecimiento mensual de tres especies realizado por Espinoza (2006), mediante parcelas de monitoreo, demostró que *Abies religiosa* Schltdl. & Cham. tiene una tasa de crecimiento mayor (0.85 mm/mes), comparado con *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl. (0.52 mm/mes) y *Pseudotsuga macrolepis* (0.47 mm/mes).

Domínguez (2016), menciona en su estudio el crecimiento de *Pinus patula* y *Pinus radiata* en plantaciones de Granja Porcón (Cajamarca), mediante el análisis de los anillos de crecimiento determinó la edad de los árboles y con

ayuda de programas como son COFECHA, ARST y RESPO determinó la variable climática de mayor influencia en el crecimiento de los árboles, obteniendo como resultado que en las plantaciones instaladas, la variable climática con mayor influencia en el crecimiento de los árboles es la precipitación, posteriormente con el ancho de anillos modeló ecuaciones matemáticas para describir el crecimiento de cada especie a través del programa curver expert, este modelo muestra que a los 25 años de edad el rodal de *Pinus patula* presenta mayor tasa de incremento en diámetro el cual tiene 1.13 cm/árbol/año frente a un rodal de *Pinus radiata* con 0.88 cm/árbol/año en promedio.

Gonzales (1975), indica que se ha realizado estudios en plantaciones de *Pinus radiata* en Nueva Zelanda, Chile, Australia y África de Sur, encontrándose un incremento medio anual que alcanza hasta 25 m<sup>3</sup> /ha, para un turno de 25 años de edad y en España hasta 17 m<sup>3</sup> /ha; en cambio en el mismo California, lugar de donde es originaria la especie, alcanza los 15 m<sup>3</sup> /ha, por otra parte, existe lugares excepcionales como Lota en la zona Austral de Chile, en que se obtiene hasta 28 m<sup>3</sup> /ha además indica que el manejo forestal es un factor muy importante en la producción forestal.

Romero (2002), en su estudio realizado en Cajamarca Perú menciona, que las especies de *Pinus patula*, *Pinus radiata*, a los 25 años estimó una producción de 318 m<sup>3</sup> /ha, con un incremento medio anual promedio de 16 m<sup>3</sup> /ha, así mismo indica que en la localidad de Camacani Puno Perú, a los 13 años los pinos tienen una altura promedio de 12 m, un área basal de 49 m<sup>2</sup> /ha y un volumen de 332 m<sup>3</sup> /ha y un incremento de 25 m<sup>3</sup> /ha obteniendo como resultado que los lugares que mejor se han adaptado estas especies es en Puno presentando mayor crecimiento e incremento.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Tierras con aptitud forestal en el Perú**

Nuestro país posee una superficie de 128,5 millones de hectáreas (12% costa, 28% sierra y 60% selva), de los cuales 7,6 millones (6%) tienen capacidad para cultivos agrícolas, 17 millones (14%) corresponden a tierras con aptitud para pastos y 48,7 millones son tierras con aptitud

forestal (38%); el resto comprende a tierras de protección (Guariguata *et al.*2017).

### **2.2.2. Plantaciones en Cajamarca Perú.**

Cajamarca tiene gran potencial de tierras aptas para plantaciones forestales, estas ocupan una superficie de 549,324.26 has, que equivale al 16.67 % del total del área de la región, este grupo de tierras, comprenden suelos superficiales a moderadamente profundos; de texturas ligeras, medias y pesadas, en algunos casos con presencia de fragmentos gruesos como gravas, gravillas y piedras tanto en superficie y perfil; drenaje bueno, excesivo y a veces imperfecto; de reacción desde muy fuertemente ácida hasta moderadamente alcalina; pendientes variables desde ligeramente inclinadas hasta empinadas (Poma y Alcántara 2011).

Debido al potencial forestal en esta región, las plantaciones forestales iniciaron entre 1960 y 1970, estas plantaciones se han ido expandiendo en las últimas décadas, teniendo como resultado 471 plantaciones inscritas en total en el Registro Nacional de Plantaciones Forestales, que representa una extensión total de 17 642.48 ha. de las cuales 209 pertenecen a la provincia de Cajamarca, 141 a Cajabamba, 27 a San miguel y los 94 restantes a las demás provincias de la región, sin contar las plantaciones no inscritas, la mayor unidad lo constituye Granja Porcón ocupada en su mayoría por *Pinus radiata* y *Pinus patula* con 9 000 has forestadas (SERFOR 2015).

### **2.2.3. Manejo forestal en plantaciones**

El manejo forestal se compone de tratamientos o intervenciones silvícolas que se aplican a una plantación o bosque establecido a objeto de mejorar su estado, con fines ambientales o para obtener productos comerciales en el mediano y largo plazo además de aumentar su valor, mediante la ejecución de podas y raleos, etc (Cortez y Fernández 2009). Todas las definiciones del manejo forestal, apuntan al aprovechamiento sostenible de los productos deseados y de los servicios ambientales que provee el bosque, sin reducir sus valores inherentes ni su productividad,

en términos simples, el manejo forestal se puede definir, como la planificación y ejecución del aprovechamiento, recuperación y protección del bosque (FAO 2008).

#### **2.2.4. Monitoreo de plantaciones forestales**

El monitoreo forestal es un instrumento que permite a la sociedad generar información actualizada para evaluar la extensión y salud de sus bosques, así como de los bienes y servicios eco sistémicos que ese bosque proporciona como son: carbono, biomasa acumulada, producción de madera, regulación del agua, biodiversidad, etc. Dentro del monitoreo forestal esta las evaluaciones del crecimiento e incremento de los árboles y masas forestales que tiene el fin de observar el desarrollo y la tasa de incremento en sus diferentes etapas de vida (FAO 2017).

#### **2.2.5. Métodos para monitoreo forestal.**

La evaluación de las necesidades de información producirá una lista clasificada de los datos que las principales partes interesadas desearían obtener, por lo general, esta lista contiene variables que pueden observarse o estimarse, por ejemplo, la superficie forestal o las especies de árboles, así como características que necesitan desglosarse en variables o indicadores (Chagas y García 2002).

#### **2.2.6. Muestreo de plantaciones forestales**

El muestreo de plantaciones forestales se hace con el fin de obtener información representativa de la masa forestal a bajo costo y con un error de muestreo bajo, estas deben adecuarse al tipo de bosque ya sea bosques coetáneos o disetáneos (Campo 2008)

A través del muestreo se buscan obtener resultados confiables para la planeación de las actividades silvícolas, información de la plantación u bosque, que los costos y tiempos de la toma de información sean reducidos, en plantaciones coetáneas uno de los objetivos principales es el crecimiento y las tasas de incremento que presentan estas mismas

para comprender el estado actual en función al rendimiento, evaluación del vuelo forestal, en sus diferentes etapas de desarrollo, dentro de los métodos más utilizados están las parcelas de muestreo que se utilizan de acuerdo al objetivo de los evaluadores (Ugalde 2000).

### **2.2.7. Parcelas de muestreo**

Para llevar a cabo de manera eficiente el monitoreo de una plantación forestal, se recomienda el levantamiento de las parcelas permanentes y/o temporales de muestreo, con la finalidad de realizar un monitoreo continuo de las variables dasométricas así como también ver el estado fitosanitario, que posteriormente estos resultados, antes de la aplicación de cualquier tratamiento, se debe estar seguro de que sus efectos contribuyan a cumplir los objetivos deseados, en las condiciones específicas del ecosistema y el marco social y económico (FAO 2010)

### **2.2.8. Tipos de parcelas**

Según el tiempo requerido, existen dos tipos de parcelas, que, aunque tienen fines diferentes, unas pueden complementar a las otras, de manera que, tanto en bosques naturales como en plantaciones se pueden establecer ambos tipos de parcelas (Vanclay 1994).

#### **Temporales**

Las parcelas temporales se usan primordialmente para la estimación de relaciones independientes del tiempo, sin embargo, esta distinción no es tan clara, ya que existe la posibilidad de determinar relaciones dependientes del tiempo con la información de los anillos de crecimiento, en situaciones donde estos existan, estas parcelas se miden normalmente una sola vez, aunque si se reubican podrían tener mediciones adicionales de manera que una parcela temporal puede eventualmente convertirse en una parcela permanente (FAO 2008).

#### **Permanentes**

Desde su establecimiento tienen como objetivo principal permitir mediciones por un período largo de años y si se hacen de un tamaño

adecuado podrían servir para el seguimiento y evaluar el crecimiento de los árboles hasta el final del turno de corta (Ugalde 2000). Es la unidad mínima de muestreo, cuyo tamaño varía con respecto a los objetivos para los cuales es establecida; tiene como objetivo principal permitir mediciones periódicas y seguimiento del crecimiento, y desarrollo de los árboles que quedan dentro de la parcela por un periodo de años que dependerá de la edad de rotación de la especie, producto y calidad de sitio (FAO 2008).

### **2.2.9. Tamaño y forma de las parcelas**

El tamaño de las parcelas está definido en función al número de árboles o en base a una superficie de área en metros cuadrados, la forma de las parcelas puede ser variada, en el caso de un inventario de diagnóstico, en una plantación comercial a veces se utilizan parcelas temporales de forma circular y rectangular, en el caso de parcelas permanentes en plantaciones con espaciamientos regulares, es más común utilizar parcelas rectangulares o cuadradas; facilitando la ubicación, la demarcación permanente y el sentido de medición de los árboles en mediciones consecutivas a largo plazo (FAO 2004).

El tamaño apropiado de las parcelas, varía dependiendo de los objetivos de la investigación del producto final y de las variables a medir, en el caso de las parcelas temporales y permanentes, es frecuente establecer parcelas de 500m<sup>2</sup> de forma rectangular, con dimensiones de 20 m X 25 m en sentido de la pendiente, sin embargo, recomienda que cuando la plantación haya sobrepasado los quince años de edad o tenga por lo menos 2 intervenciones aplicadas (raleos), el área de las parcelas sea incrementada a 1,000 m<sup>2</sup>, para mantener una densidad adecuada dentro de la parcela, la muestra debe estar representada como mínimo con el 10% del área total (FAO 2008).

## **2.3. Crecimiento e incremento de masas forestales**

### **2.3.1. Crecimiento de un árbol**

Bajo el término de crecimiento de un árbol o una masa, entendemos el fenómeno de desarrollo del árbol o masa observado en ellos íntegramente. El crecimiento de un árbol o de una masa está representado por su respectivo desarrollo; de aquí que se habló del desarrollo del árbol en altura, diámetro y del desarrollo en volumen de un árbol o de una masa, al referirnos al crecimiento (Esaú 2005).

El crecimiento es producto de los procesos de anabolismo, o síntesis y catabolismo; es decir, producido por la actividad fisiológica de la planta, el primer proceso captura la energía necesaria para producir tejidos y para cumplir con las funciones del organismo; el segundo mantiene los tejidos y en este proceso consume y libera parte de la energía mediante la respiración, el aumento de tamaño en el tiempo se puede expresar en términos de incremento donde los parámetros más evaluados son; diámetro, altura, área basal o volumen (Louman *et al.* 2001).

#### **Crecimiento primario**

Crecimiento que se origina en el meristemo apical de los vástagos y raíces, este crecimiento se manifiesta en el fuste, ramas de los árboles y las puntas de las raíces, esto da lugar a la ramificación (Vargas 2019). En las raíces, tallos y ramas de los árboles, se encuentran los meristemas apicales ubicados en las puntas, estos originan el crecimiento en longitud de la raíz, tallos y ramas, hay otros tipos de meristemas que se ubican en las ramas y crean nuevas estructuras como hojas flores y frutos (Esaú 2005)

#### **Crecimiento secundario**

El crecimiento secundario de las especies forestales consiste en el incremento de diámetro de las raíces tallos y ramas, el crecimiento primario consiste en el crecimiento en longitud, el crecimiento secundario se da en la mayoría de las dicotiledóneas y gimnospermas, mientras que las monocotiledóneas no tienen crecimiento secundario y si lo tienen defieren del patrón típico de las dicotiledóneas (Gadow *et al.* 2008)

En muchas plantas vasculares, el crecimiento secundario es el resultado de la actividad de los meristemos laterales, el felógeno y el cambium vascular, a partir de los meristemos laterales el crecimiento secundario incrementa el diámetro de la planta en la raíz o el tallo más que en su longitud, siempre que los meristemos laterales produzcan nuevas células el tallo o la raíz continuara creciendo en diámetro, en plantas leñosas esto conduce a la formación en madera (Gadow *et al.* 2008).

### **Crecimiento de los brotes**

Es el resultado del desarrollo de primordios, que por lo común permanecen en un estado de latencia durante un cierto periodo en el interior de las yemas, las diferencias existen en el momento del inicio y de la elongación de estos primordios dan por resultado básicamente 3 tipos de desarrollo de los brotes: crecimiento libre, crecimiento fijo y crecimiento libre-fijo (Costa y Plumed 2016).

### **Crecimiento libre**

Está representado por el desarrollo de, los epicotilos de plántulas de coníferas y latifoliadas durante su primer año de vida y por el tipo de crecimiento de algunos géneros como *Juníperos*, *Thuja* y *Chacnecypares*, se caracteriza por que no produce yemas en reposo (klepac 1976).

### **Crecimiento fijo**

En este tipo de crecimiento, el comienzo del desarrollo tiene un proceso que dura 2 años y presenta la formación de una yema durante el primer año, su hibernación y crecimiento en un brote en el siguiente año (Young 1991).

### **Crecimiento libre – fijo**

Es la combinación del crecimiento libre y fijo

### 2.3.2. Incremento de un árbol

A medida que un árbol crece, sus dimensiones aumentan (diámetro, altura y volumen). Este crecimiento del árbol en un periodo de tiempo determinado se llama incremento en las cuales interviene muchos factores; tiempo, genética de la especie, calidad de sitio, sanidad vegetal y manejo forestal, los incrementos de interés en un árbol son: incremento del árbol en diámetro, incremento del árbol en altura, incremento del árbol en volumen y por analogía se habla del incremento de una masa o bosque (Navar y Domínguez 2013).

Dentro de la epidimetría, se considera la definición de incremento, como la cantidad de la cual un parámetro o característica dasométrica crece en un periodo determinado la evaluación del incremento se expresa en función del tiempo y el objetivo del evaluador (Ocampo 1994).

El periodo de tiempo puede ser expresado en días, meses, años o décadas, este incremento puede ser obtenido para las variables dendrometrías diámetro, altura, volumen y área basal (Imaña y Encinas 2008). Teniendo así las evaluaciones que más representan el incremento:

**Incremento corriente anual (ICA):** Expresa el crecimiento ocurrido entre el inicio y el final de la estación de crecimiento, en un periodo de 12 meses, este crecimiento también es conocido como crecimiento acumulado, incremento corriente anual o simplemente como incremento anual (IA) correspondiendo a lo que el árbol creció en el periodo de un año. Es la diferencia entre las medidas tomadas al fin y al principio de un año en especial (Imaña y Encinas 2008).

$$ICA=Y_{(t+1)}-Y_{(t)}$$

Donde:

ICA= incremento corriente anual

Y= dimensión de la variable considerada

t=tiempo

**Incremento periódico (IP):** Es el crecimiento de un árbol o una masa en un tiempo determinado.

$$IP = Y_{(T+n)} - Y_{t0}$$

Donde:

IP=Incremento periódico

Y=Dimensión considerada

t= edad

n=periodo de tiempo

cuando n=1, entonces IP=ICA

**Incremento total (IT):** Es el crecimiento de un árbol o una masa durante toda su vida

$$IT = Y_0 + Y_t$$

Donde:

IT=incremento total

Y=Dimensión de la variable considerada

t= tiempo

**Incremento periódico anual (IPA):** Es el promedio anual del incremento periódico.

$$IPA = \frac{IT}{T}$$

IPA=incremento periódico anual

IP= promedio del incremento periódico

**Incremento medio anual (IMA):** El valor del incremento medio anual expresa la medida del crecimiento total a cierta edad del árbol, expresa por tanto la media anual del crecimiento para cualquier edad, es el promedio anual para una edad determinada, se encuentra dividiendo el tamaño total acumulado por la edad (keplac 1976).

$$IMA = \frac{Y}{T_0}$$

Donde:

IMA=incremento medio anual

$T_0$ =edad a partir del tiempo cero

Y= dimensión de la variable considerada

### **2.3.3. Mediciones más utilizadas en el crecimiento e incremento**

#### **Altura**

El crecimiento y tasas de incremento en altura está asociado con las actividades fisiológicas del meristemo apical y la extensión del entrenudo, el incremento se consigue gracias a una elongación de los brotes de primavera (crecimiento fijo), en este tipo de crecimiento, el desarrollo de los brotes tiene un proceso que dura dos años y presenta la formación de una yema durante el primero, su hibernación y crecimiento en el año siguiente, seguido por el surgimiento de uno o varios brotes de verano (crecimiento libre), el cual está representado por el desarrollo de los epicotilos de plántula de coníferas, cada brote de verano inicia su actividad antes que el brote anterior complete su desarrollo; esto produce un patrón de crecimiento de traslapes rítmicos a lo largo de la temporada de crecimiento sin que haya un punto máximo definido del mismo (Cancino 2015).

Normalmente el crecimiento en altura de algunas latifoliadas queda reducido a un solo periodo de crecimiento al principio de la estación, por el contrario, la especie de *Pinus radiata*, el crecimiento es recurrente con dos o más épocas de crecimiento en longitud, separadas por periodos de inactividad, es importante mencionar que el incremento en altura es menor en los años de producción de frutos, ya que se emplea una parte de las reservas en la producción de conos y semillas (Klepac 1976)

A partir de una altura alcanzada por los árboles, en un punto determinado del tiempo, se obtiene una curva de crecimiento la capacidad que tiene un bosque para favorecer el crecimiento de los árboles se determina por la calidad de sitio (Gonzales 2007).

## **Diámetro**

El incremento en diámetro es el resultado del crecimiento y desarrollo de la masa celular alrededor del meristemo lateral (cambium) el cual produce cada año, las células del xilema hacia el interior del fuste y las células del floema hacia el exterior, las capas del xilema nuevo se añaden en el exterior de los anillos del año anterior, mientras que las capas de las nuevas células se ubican en el interior, cada año se deposita más madera que corteza; finalmente la corteza vieja cae y muere, si se destruye el cambium alrededor del árbol moriría (FAO 2008)

El incremento anual en diámetro, depende de la cantidad de reservas materiales acumulada por el árbol durante todo el año, el cual es influenciado altamente por el ambiente, el incremento en diámetro es mayor cuando hay más espacio y mayor intensidad de luz, el incremento en diámetro se puede regular mediante intervenciones silvícolas mediante la aplicación de raleos intensivos. El valor comercial de un árbol está determinado eventualmente en gran parte por el diámetro que alcanza (FAO 2010).

## **Métodos para medir el diámetro**

Desde el punto de vista geométrico podemos considerar a un diámetro como: el segmento de recta que pasa por el centro de un círculo y une ambos extremos de su circunferencia, pero la sección de fuste y ramas no es exactamente circular, por eso definimos al diámetro de cualquier sección transversal de fuste y ramas como: el diámetro de un círculo, cuya área es igual al área de la sección involucrada; a este diámetro lo llamamos diámetro verdadero, el diámetro de una sección puede incluir o no a la corteza, dando lugar a diámetros con y sin corteza, si no se hace aclaración alguna, se asume que nos referimos a un diámetro con corteza (FAO 2011).

## **Diámetro a la altura del pecho**

Si desde un costado observamos el fuste de un árbol, vemos que su eje es casi recto, que su sección es casi circular y que el diámetro de su sección disminuye hacia arriba, si queremos un diámetro de referencia como medida del grosor del fuste del árbol, debemos definir cuál de todos esos diámetros es el que vamos a medir inicialmente, el diámetro de referencia se situó a la altura del pecho del observador y se llamó diámetro a la altura del pecho indicado con las siglas DAP o simplemente con la letra D, se notó que esa posición variaba con la altura de la persona que medía, por lo que se normalizó en 1,30 metros de alto y pasó a llamarse diámetro normal a 1.30 m aunque por tradición se lo sigue llamando diámetro a la altura del pecho (Prodan *et al.*1997)

Existen varios instrumentos de medición forestal las cuales aplican al tipo de medición, los más usados en Perú son la cinta diamétrica y la forcípula común o calibre forestal, debido a su fácil manipulación en campo y precisión que se obtiene (Gonzales 1975).

## **Área basal**

El área basal es la superficie de la sección transversal de un árbol a la altura del pecho, esta es empleada con mayor frecuencia para caracterizar el estado de desarrollo de un árbol ; por su forma irregular no se puede medir de forma directa, esta medición se deriva de la medición del diámetro a la altura del pecho y se calcula considerando el fuste como una sección circular, el área basal de un rodal es igual a la suma de las áreas basales de todos los árboles del rodal, este valor es un indicador para la densidad del rodal (FAO 2004).

Por medio del incremento en diámetro se puede calcular el incremento del área basal, la característica de este incremento rehace en el hecho de que es más consistente que el incremento en diámetro, si el incremento en diámetro del fuste permanece en el mismo nivel, el área basal no obstante no aumenta (Hernández *et al.*2016)

Para el cálculo del área basal se utiliza la siguiente ecuación:

$$AB = \frac{\pi}{4} * D^2 = 0.7854 * D^2$$

### **Volumen**

El incremento total en volumen del árbol no solo consiste en la parte leñosa, está incluido también el follaje, frutos, sistema radicular, etc. El volumen de una especie forestal aumenta paralelamente con la altura y el diámetro desde su nacimiento hasta su muerte, la curva de incremento en volumen siempre culmina después del incremento en altura, diámetro y área basal, de tal manera que al disminuir el incremento en diámetro, no necesariamente disminuye el incremento en volumen, en el desarrollo del árbol una porción del incremento se pierde a causa de la transpiración, el volumen de más interés comercial es el que desarrolla el fuste debido a que se produce madera para las diferentes industrias, especialmente en la fabricación de muebles en el que es más utilizado (Quiñones *et al.*2012) .

### **Determinación del volumen de árboles en pie**

La cubicación de árboles en pie es mucho más delicada de realizar que la de los árboles apeados, pues supone el conocimiento previo o la estimación con los instrumentos de medición adecuados como por ejemplo para medir la altura se utiliza el clinómetro suunto y otros instrumentos de forma directa e indirecta, lo que se busca que el volumen de un árbol se asemeje al volumen de un cilindro, en las especies coníferas debido al crecimiento del fuste del árbol en forma cónica, se utiliza un coeficiente mórfico que mediante el análisis estadístico de varios estudios concluyen que este coeficiente es igual 0.5, proponiendo la siguiente ecuación para determinar el volumen (FAO 2010).

cada especie forestal tiene un factor de forma que también varía durante el tiempo de crecimiento

$$V=AB*H*F$$

Donde:

V= volumen del fuste

AB=Área basal

F= Factor de forma = 0.5

#### 2.3.4. Factores que influyen en el crecimiento

El crecimiento es influenciado por las aptitudes genéticas de una especie interactuando con el medio ambiente, las influencias medioambientales incluyen factores climáticos (temperatura del aire, precipitaciones, viento e intensidad de luz), altitud, latitud, factores del suelo (características físicas y químicas, humedad y microorganismos), características topográficas (inclinación, elevación y micro relieve) y la competencia (influencia de otros árboles, vegetación menor e influencia de animales), la suma de estos factores representa el concepto de calidad de sitio (Prodan *et al.* 1997).

El sitio se concreta con las actividades del medio ambiente suelo y atmosfera y que actúan como estímulo del crecimiento de los árboles, así tenemos:

**a. Factores climáticos:** Temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, cantidad, distribución estacional, vientos (dirección, efectos, fuerza), humedad atmosférica.

**b. Los factores edáficos:** Composición mineralógica del suelo (permeabilidad del suelo y del subsuelo), propiedades físicas de los distintos horizontes, composición química, cubierta muerta (humus, su naturaleza), vida animal (bacterias, hongos) (Mackay 1984).

Otros factores que influyen en el crecimiento son la competencia, el cual es un factor importante y el más controlable a través del manejo

silvicultural y el temperamento considerado como en la reacción individual que tiene frente a las radiaciones solares, en su pleno desarrollo las especies forestales necesitan luz plena, las que piden insolación directa (heliófilas), y otras necesitadas de protección (esciófilas). La causa radica principalmente en la mayor o menor necesidad de luz para el desarrollo de brotes (Bonilla 2015).

Además, se considera como un factor importante la influencia de la densidad del rodal donde se encuentra la relación entre la espesura y el crecimiento en diámetro es negativa, esto significa que entre más denso el vuelo presenta menor crecimiento en diámetro (Suatuns 2007).

El desarrollo del rodal es una función de la edad de la densidad boscosa, pero su carácter depende además de la especie, de la calidad de sitio. A medida que mejora la calidad de sitio, un rodal de una especie determinada alcanza un estadio particular de desarrollo en una edad más corta (Daniel *et al.* 1982).

### **2.3.5. Patrón del crecimiento diamétrico**

Como todas las curvas de incremento en el tiempo del diámetro de la mayoría de especies arbóreas tienen la forma sigmoidea, aunque las fases de incremento no son muy marcadas como en el incremento en altura (López 2003).

La primera fase es muy corta a excepción de especies con un marcado crecimiento juvenil o en individuos bajo largo periodo de suspensión, la tenencia natural es tener un pequeño incremento diamétrico anual al inicio, el cual se incrementa hasta el máximo del sitio, este máximo es logrado en la segunda fase y comúnmente se mantiene por muchos años con pequeñas variaciones, esta segunda fase se puede expresar como una línea recta, que cuando llega a la madurez se da una lenta disminución en los incrementos, aparentemente porque el mismo monto de biomasa está siendo añadido sobre una cada vez mayor circunferencia (Riofrío 2016).

Otro patrón es el que representan las especies esciófilas que se regeneran bajo un dosel cerrado. En una primera fase tienen muy lento crecimiento, en la fase medio el crecimiento es más rápido, pero está aun severamente afectado por los árboles más grandes de su entorno. Finalmente, el crecimiento se acelera cuando el árbol es dominante y presenta una copa grande y bien desarrollada (Morey 1977).

El valor comercial de un árbol está determinado eventualmente en gran parte por el diámetro que alcanza, si el incremento anual del área basal por árbol permaneciera constante, el grosor de los anillos de crecimiento disminuiría inevitablemente (Corvalán y Hernández 2006).

### **2.3.6. Evaluación del crecimiento e incremento**

La evaluación del crecimiento, corresponde al campo de la mensura forestal, en que se subdivide a su vez en estudio del bosque y sus árboles, como por ejemplo la dendrometría que estudia al bosque como ente estático a través de la medición de sus diferentes parámetros ( diámetro, altura y volumen) y por otro lado la epidimetría que estudia las variaciones o cambios en las masas forestales (incremento, mortandad) además existen otras como la fotointerpretación y la topografía que complementan en gran medida el estudio del crecimiento de los bosques (Ocampo 1994).

### **2.3.7. Métodos para el cálculo del crecimiento e incremento.**

Existen dos métodos básicos para el cálculo del crecimiento entre, los cuales se encuentra el método directo e indirecto (FAO 2011.).

#### **Método indirecto**

Son aquellos que se basan en la medición de ciertos indicadores de la variación del crecimiento de los árboles, para este caso de árboles individuales, se efectúa por medio de los anillos anuales de crecimiento en el diámetro a la altura del pecho o también por medio de mediciones sucesivas en arboles (FAO 2011).

Respecto a los resultados de la medición sucesiva en árboles tipos o experimentales, este mismo autor señala que, debe tomarse con cierta precaución, pues se estaría extrapolando los resultados de un individuo al del total de los que componen el rodal, la evaluación en varias unidades muestrales permitiría el uso de métodos estadísticos para calcular los errores probables en la estimación del crecimiento de una masa (FAO 2011).

### **Métodos directos**

La evaluación más eficiente del crecimiento se obtiene a través de los métodos directos, estos comprenden desde una comparación de inventarios forestales sucesivos o continuos y la evaluación en muestras dinámicas hasta el cálculo del crecimiento en base a tablas de rendimiento (Mackay 1984).

El método de comparación de inventarios sucesivos, proporciona eficiente información, sin embargo, la limitante que la hace poco aplicable en la mayoría de los casos es la disponibilidad de recursos técnicos y económicos para efectuarla (Aldana 2008).

El cálculo de crecimiento a base de tablas de rendimiento, se usa generalmente en Europa y Norteamérica, lugares donde se cuentan con bosques regulares ordenados. Bajo las condiciones de nuestro medio, las disponibilidades de ellas para trabajar con confiabilidad son reducidas o casi nulas, el método de muestras dinámicas, cuya base conceptual es idéntica al de los inventarios forestales continuos, es la que se aplica con gran eficiencia en la mayoría de bosques ordenados. Ella se basa en la evaluación del crecimiento en parcelas pequeñas (una hectárea o menos) representativas del rodal, este método se denomina Parcelas de Crecimiento (Gadow *et al.* 2008).

### **2.3.8. Importancia del crecimiento y la estructura para el manejo forestal**

La estimación del crecimiento es una etapa esencial del manejo forestal, este concepto básico se deriva de la propiedad de crecimiento y cualquier planificación como forma de predicción (López 2003).

En las plantaciones forestales, es un importante fenómeno pues determina la cantidad de madera que se puede cortar razonablemente y el intervalo de tiempo requerido para que los árboles en un cuartel de corta lleguen a tamaños de mercado. Es el crecimiento el que asegura que, bajo un adecuado manejo, los recursos maderables puedan ser continuamente cosechados e incluso se tenga un mayor monto de madera para un mismo sitio, el crecimiento es la base para un rendimiento sostenido en el manejo forestal, por ello es esencial para el manejo forestal, es necesario conocer los índices de crecimiento tanto en los bosques cultivados y en los naturales para guiar el manejo de los bosques (Philip 1994).

### **2.3.9. Predicción del crecimiento e incremento**

El crecimiento del árbol puede ser predecido, como un incremento de diámetro o de área basal los cuales a fin de cuentas están relacionados matemáticamente, el incremento del diámetro puede ser expresado como una función de rendimiento que pueda estimar el diámetro futuro o como una función de crecimiento que estime el incremento sobre un determinado periodo (Vanclay 1994).

Para la predicción del crecimiento se pueden mencionar dos métodos básicos:

#### **Métodos estáticos**

Son aquellos en los cuales el rendimiento se predice directamente como una función de la edad, clase de sitio e historia de la densidad del rodal, los métodos son estáticos en el sentido que las funciones resultantes del rendimiento no permiten variación alguna en la historia de los

tratamientos del rodal, excepto dentro de las amplias clases de tratamientos alternativos de raleos, que ya están presentes en los datos (Álder 1980).

### **Métodos dinámicos**

Este tipo de métodos contemplan tasas de cambio, esto significa que la predicción básica es el incremento del diámetro, área basal o volumen, tienen la ventaja de ser más representativo de la verdadera dependencia causa y efecto entre la densidad del rodal y su rendimiento que los métodos estadísticos (Álder 1980).

#### **2.4. Modelo de crecimiento**

Los modelos de crecimiento son vitales para la planificación del manejo forestal. Proyectar el incremento y rendimiento de rodales individuales es un prerrequisito para planear el manejo de las plantaciones a cualquier nivel (García 2017).

Los modelos de crecimiento describen el desarrollo de los árboles a medida que estos aumentan sus incrementos, el diseño de un modelo de crecimiento para su uso en una situación particular depende de los recursos disponibles, los usos que se les dará y la estructura de los árboles, ya sea de una sola especie o de un conjunto de especies (Philip 1994).

#### **2.5. Modelos matemáticos de incremento**

El modelamiento es un tema envolvente y representa el incremento, para las variables dendrometrías en función a una serie de variables posibles de ser cuantificadas en la población forestal por medio de análisis de regresión (Dacunha 2009).

La información básica empleada para el desarrollo de los modelos consiste en el siguiente pare de datos: Incremento del diámetro normal en relación a la edad ( $t$ ) (Cruz 2013).

Del mismo modo Dacunha (2009), señala que los modelos de crecimiento son, sobre todo, sistemas de ecuaciones matemáticas que permiten la predicción del crecimiento e incremento de una población, mediante

condiciones que deben presentar dos características importantes: Precisión, ya que las predicciones deber ser los más precisas posibles y flexibilidad. Según Moscovich (2004), la forma más confiable, de predecir el crecimiento e incremento es mediante los métodos directos, usualmente se utiliza las predicciones cuando no hay datos concretos y se ajusta a una ecuación lineal para predecirlo.

## **2.6. Sitio**

El sitio se refiere a los factores ambientales que influyen en el crecimiento del vuelo forestal, indica además la productividad relativa de una localidad para una especie forestal, por lo general se describe por medio de un índice de sitio para una especie en particular, el índice de sitio se define como la altura del árbol dominante promedio que solo es posible determinar de forma directa con las plantaciones ya establecidas e indirecta estimando el incremento, el índice de sitio es la altura promedio de los árboles dominantes alcanzada a una determinada edad base (García *et al.* 2017)

La productividad de los terrenos forestales se define en gran parte por la calidad de sitio, que se estima mediante la máxima cosecha de madera que el bosque produzca en un tiempo determinado, la calidad de sitio es la suma de muchos factores ambientales: profundidad del suelo, textura, características de sus perfiles, composición mineral, pronunciamiento de las pendientes, exposición, microclima, las especies que viven sobre él, precipitación temperatura, altitud, estos factores a su vez son función de la historia geológica, de la fisiografía, el microclima y el desarrollo de la sucesión vegetal (Daniel *et al.*1982).

### **2.6.1. Evaluación de la calidad de sitio**

Para una plantación la calidad de sitio, se define como la capacidad productiva innata que tiene algunos lugares donde los árboles se desarrollan mejor, concepto que se debe diferenciarse de la densidad el cual se refiere a cuantos arboles están utilizando esa capacidad innata de producción (Clutter *et al.* 1983).

El término “Sitio” se utiliza para designar la influencia del ambiente sobre la producción de un bien o servicio del bosque ya sea madera, forraje o frutos, es la capacidad propia o intrínseca de un lugar dado y usualmente hace alusión al volumen de madera producido por una masa forestal cuando llega a la edad de turno, la condición de sitio tiene una influencia primordial en la productividad de un bosque, así como en la composición de especies vegetales, existen dos formas para medir la calidad de sitio, los métodos indirectos y los métodos directos (Torres 2001).

## **2.7. Plantaciones forestales**

Las plantaciones tienen varios objetivos, producción de madera o productos forestales diferentes a la madera, también estas plantaciones forestales pueden ser utilizadas como protección (cabecera cuenca, defensa de ribera y márgenes de los ríos), restauración (ecoturismo), provisión de servicios ambientales (captura de carbono) o cualquier otra combinación de los anteriores (Foman 2007).

Una plantación previamente requiere un proceso de planificación que ha de considerar los siguientes factores: elección de la especie, sitio de la plantación (clima, suelo, precipitación, topografía), la calidad de los plantones y las técnicas a utilizar. Este proceso se inicia con la preparación de almácigos de semillas de buena calidad, producción de plantones en vivero y la plantación definitiva luego de la cual se debe prever su protección y labores silviculturales que esta requiera como elementos fundamentales del manejo forestal (FAO 2000).

## **2.8. Objetivos de las plantaciones forestales**

Al planificar una plantación forestal se debe tener claro cuál es el objetivo que el productor se plantea para establecer un recurso como este, los objetivos que usualmente se propone es para producción de leña, soportes estructurales, maderas comerciales, uso industrial, captura de carbono, en las cuales se da un manejo diferente de acuerdo al objetivo planteado, la definición de cada una de ellas exige la ubicación dentro del predio, sus

posibilidades dentro del mercado y las actividades a realizar sean las más apropiadas (García *et al.* 2000)

### 2.8.1. Producto y beneficios de las plantaciones forestales

Las plantaciones permiten obtener productos y beneficios de los árboles en forma rápida, en cantidades adecuadas, de calidades aceptables en el mercado y de dimensiones uniformes, entre los principales productos que se pueden obtener de las plantaciones forestales tenemos : madera para aserrío, postes, pulpa para papel, leña y carbón, extractivos, (resinas, taninos, hule, aceites, colorantes, etc), medicamentos, alimentos, producción de semillas forestales, madera para construcción (Cabrera 2003).

Dentro de los principales beneficios que pueden brindar las plantaciones forestales son: recuperación, estabilización y protección de suelos, control de ruido, embellecimiento del paisaje, mejoramiento de la calidad del agua, control del viento (cortinas rompe viento), protección y alimento de la fauna, controlador del régimen hidrológico y fijación de carbono (FAO 2010).

## 2.9. Descripción de la especie

### 2.9.1. Aspectos generales de la especie: según (Dans del Valle *et al.* 2004)

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b>Familia</b>           | : PINACEAE                                   |
| <b>Nombre Científico</b> | : <i>Pinus radiata</i> D. Don.               |
| <b>Nombres Comunes</b>   | : Pino radiata, Pino monterrey, Pino insigne |
| <b>Sinonimia</b>         | : <i>Pinus insignis</i> Douglas.             |

Sierra *et al.* (1994), describen a la especie como un árbol que alcanza de 15 a 50 m de altura, con un diámetro de 30 a 90 cm. El fenotipo es muy variable, en el mundo se han observado desde individuos vigorosos con fuste recto, copa densa, redondeada e irregular, hasta poblaciones de árboles bifurcados, encorvados, con madera nudosa y otros defectos.

La corteza externa es de color café agrietada y la corteza interna es crema-rosácea, segrega una resina transparente, su copa es alargada y cónica, sus hojas tienen forma de agujas en fascículos de tres, Las flores masculinas tienen estambres peltados y las femeninas se encuentran en conos o estróbilos, su fruto es un cono o estróbilo leñoso grande, que contiene semillas aladas (Dans del Valle *et al.* 2004).

### **2.9.2. Fenología**

Los registros de floración que se tienen son en el mes de abril y junio y los registros de fructificación entre agosto y octubre, la dispersión de semillas de octubre a noviembre. Los conos son serótinicos y persistentes, la mayor producción de semillas se da en árboles de 15 a 20 años de edad (Sierra *et al.* 1994).

### **Silvicultura**

Es una planta heliófila, por lo que requiere abundante luz solar, necesita suelos franco arenosos, bien drenados, con pH neutro a ligeramente ácido, con profundidades al menos de 25 cm para establecerse, y superiores a 1 m para alcanzar su altura normal, es una especie exigente en Fósforo, Boro y Zinc (Dans del Valle *et al.* 2004).

Sus condiciones climáticas óptimas son: Temperatura de 11 a 17 ° C; precipitación: 800 a 1300 mm; rango altitudinal: 1800 a 3500 msnm (Chagas y García 2002).

### **Tolerancia a la temperatura**

La especie de *P. radiata* sólo soporta heladas leves durante el periodo reposo y no crece en regiones con periodos secos marcadamente cálidos, ocupa preferentemente suelos profundos bien drenados, en suelos con suficiente contenido de cal la descomposición de la hojarasca ocurre sin dificultades, *Pinus radiata* tolera los vientos salobres de las costas (Lamprecht 1990).

### **2.9.3. Anatomía de la madera**

La madera tiene anillos de crecimiento diferenciados con canales resiníferos fisiológicos de células epiteliales delgadas, con un diámetro medio de 100 a 125  $\mu\text{m}$ , presenta traqueidas de sección cuadrada, en número de 1900 por  $\text{mm}^2$ , y un diámetro medio de 20 a 40  $\mu\text{m}$ , su parénquima longitudinal es ausente o escaso (Vignote y Martínez 2006.)

Sus radios leñosos son uniseriados, biseriados y pluriseriados debido a la presencia de los canales resiníferos transversales, de 1 a 10 células de altura los uniseriados. Su número por  $\text{mm}^2$  se encuentra en torno a los 35 (Sierra *et al.* 1994).

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1. Zona de estudio**

##### **3.1.1. Ubicación política y geográfica**

El estudio se realizó en el Centro Poblado Cobro Negro, comprensión del Distrito de San Silvestre de Cochán, Provincia de San Miguel y Departamento de Cajamarca, ubicado en las zonas alto andinas de Cajamarca; se ubica en las coordenadas UTM; 17M: 756624 E, 9239427 N, con referencia al km 27 de la carretera Cajamarca - Bambamarca, con una altitud de 3583 msnm (ver figura1).

##### **3.1.2. Descripción de la plantación en estudio**

###### **Plantación**

Las plantaciones en estudio fueron realizadas en diferentes años 1996, 2006 y 2010 respectivamente, presentan buen estado fitosanitario (sin ataque de plagas ni enfermedades), el sistema de plantación utilizada es el sistema tresbolillo con un distanciamiento de 3 metros entre planta y planta.

###### **Prácticas silvícolas**

Estas plantaciones presentan escasas labores silviculturales, solo se han intervenido con podas dejando las otras actividades silvícolas de lado.

###### **Pendiente**

La pendiente en estas plantaciones es ligeramente inclinada en un rango de (4 - 8 %), se encuentran en la región jalca, del Departamento de Cajamarca.

Todas las plantaciones en estudio están expuestas a las mismas variables edáficas y climáticas propias de la zona de jalca, por lo que estas variables no influyen en la diferenciación del crecimiento e incremento, interviniendo así solo la diferencia de edad.

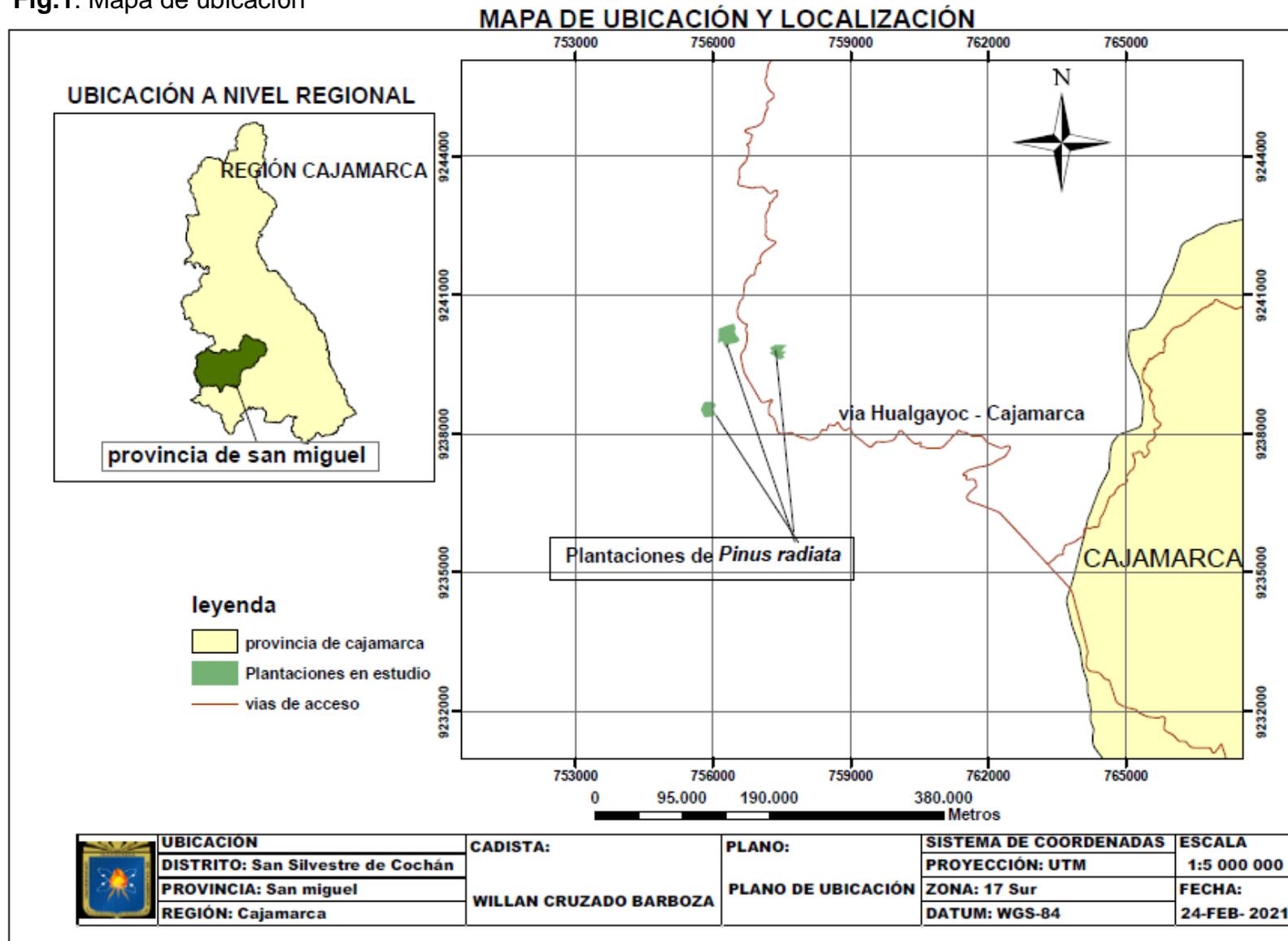
### **3.1.3. Acceso**

Para llegar al centro poblado Cobro Negro se accede por la carretera Cajamarca - Bambamarca, a 27 km de distancia desde Cajamarca, las plantaciones en estudio están ubicadas a 0.5 km de la vía principal antes mencionada.

### **3.1.4. Clima**

El Centro Poblado Cobro Negro se encuentra en la zona alto andina de la región Cajamarca, que corresponde a la zona de vida bosque muy húmedo - Montano Bajo Tropical (bmh-MBT), que presenta una temperatura promedio de 7°C - 17°C y una precipitación anual variable entre 1200 y 1500 mm (GOREC 2011).

Fig.1. Mapa de ubicación



### **3.1.5. Suelos**

Los suelos de la zona de estudio corresponden a páramo andosoles, se encuentran en una superficie empinada, tienen un drenaje bajo, fertilidad media, son ligeramente pedregosos, pH fuertemente ácido, permeabilidad moderada y profundidad efectiva superficial (GORE 2011).

### **3.1.6. Geología**

Según el Mapa Geológico y Minero de la Sierra Norte (ONERN 1977), la zona de estudio se deriva de formaciones geológicas del terciario inferior (de la actividad del volcán San Pablo), conformada principalmente por andesitas porfídicas, depósitos piroclásticos de dácitico - riolítica de variados colores, así como formaciones que derivan del cuaternario con depósitos aluviales y fluvioglaciares.

### **3.1.7. Geomorfología**

Montoya y Figuero (1990), al examinar las rocas sobre el terreno y estudiar la geomorfología ha caracterizado a la región alto andina perteneciente a San Silvestre de Cochán como una zona importante de anticlinales sinclinales fuertemente erodados, confiriendo al paisaje una topografía ondulada, o abrupta muy compleja.

### **3.1.8. Fisiografía**

El paisaje muestra una topografía compleja diferenciándose dos zonas, la primera corresponde a una zona baja, presentando un relieve ondulado recortada por el río Rejo, quebradas y cárcavas poco profundas con derrumbes y áreas de mal drenaje, la segunda por una zona que va de moderada a fuertemente accidentada conformada por lomadas, cerros y algunos afloramientos rocosos, presenta además planicies altas (Montoya y Figuero 1990).

## **3.2. Materiales y Equipos**

### **3.2.1. Material experimental**

- Plantaciones de *Pinus radiata* del Centro Poblado Cobro Negro

### **3.2.2. Equipos, materiales e instrumentos de campo**

#### **Equipos**

- Hipsómetro Suunto
- GPS Garmin 60s

#### **Materiales**

##### **a). De Campo**

- Machete
- Chaleco porta objetos
- Cinta métrica
- Wincha de 30 metros
- Esmalte
- Rafia
- Forcípula
- Libreta de campo
- Lápiz
- Estacas de madera
- Fichas para tomar datos en campo

##### **b). De gabinete**

- Equipo de computo

### **3.2.3. Metodología**

La investigación es no experimental de tipo cuantitativo y se dividió en dos fases: campo y gabinete.

## Determinación del tamaño de muestra

Para determinar el tamaño de la muestra en el estudio se consideró el método de FAO (2008), en el cual para plantaciones forestales recomienda hacer parcelas de muestreo de 20m x 25m en sentido de la pendiente.

**Tabla 1.** Superficie de las plantaciones (ha), evaluadas hasta el 2019.

| <b>Nombres de propietarios</b> | <b>Año de la<br/>plantación</b> | <b>Edad<br/>(Años)</b> | <b>Superficie<br/>(ha)</b> |
|--------------------------------|---------------------------------|------------------------|----------------------------|
| Asunción Peralta Hoyos         | 1996                            | <b>22</b>              | <b>4.40</b>                |
| Segundo Chilón Alva            | 2006                            | <b>12</b>              | <b>5.15</b>                |
| Jesús Chávez Díaz              | 2010                            | <b>8</b>               | <b>4.24</b>                |
| Total                          |                                 |                        | <b>13.79</b>               |

### 3.2.4. Distribución y ubicación de las parcelas a ser evaluadas

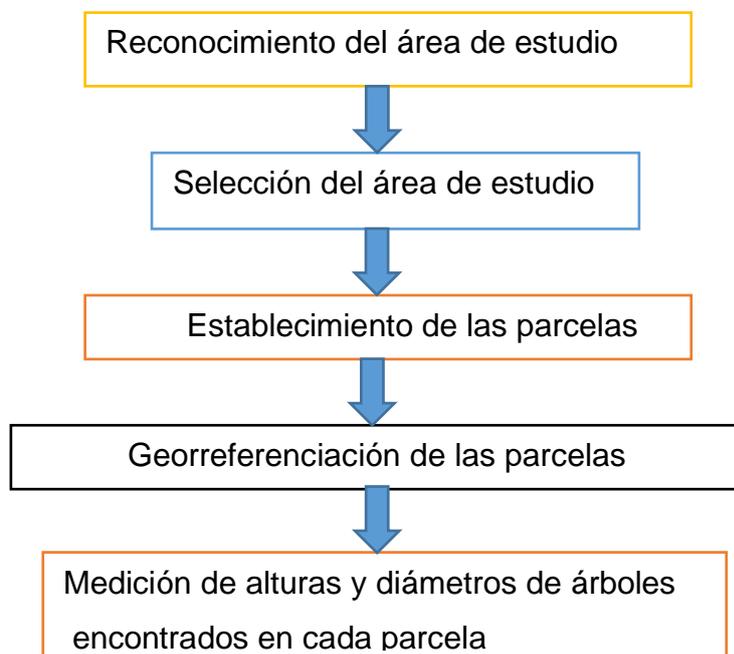
La distribución de las parcelas se hizo en función de las edades de las plantaciones, para lo cual se tomó en cuenta la superficie total de las mismas, siendo dos parcelas de 20 m x 25 m, en cada una de las áreas de las plantaciones.

Siguiendo la metodología de Bruce *et al.* (1965), se ubicó las parcelas de muestreo de manera aleatoria simple, por ser bosques coetáneos, además recomienda que las parcelas de muestreo deben ser representativas a la población en estudio, deben de estar bien distribuidas, se conservó una distribución razonablemente satisfactoria, con el fin de que las parcelas representen a la plantación.

Para distribuir las parcelas de muestreo, se determinó la superficie del área de estudio, se encontró áreas desde 4.24 ha, 5.15 y 4.40 ha mientras la edad se obtuvo del registro del plan de manejo forestal propuesto por ADEFOR y la consulta directa a los propietarios, estas plantaciones fueron instaladas en los años 1996, 2006 y 2010, por lo tanto, las edades correspondientes son 22, 12 y 8 años respectivamente.

### 3.3. Fase de campo

En la fase de campo se hizo una planificación para la toma de datos según el orden que se muestra en la figura 2.



**Fig. 2.** Diagrama de flujo del trabajo de campo

#### 3.3.1. Reconocimiento del área de estudio

Para la selección del área de estudio fue necesario realizar un reconocimiento de cada una del área de las plantaciones de diferentes edades, así mismo, la coordinación con los dueños de dichas plantaciones del Centro Poblado Cobro Negro, con la finalidad de ver el estado en que se encuentra y así poder establecer las parcelas de muestreo, considerando que sean representativas a cada plantación, evaluando a su vez, las condiciones del terreno para la accesibilidad durante la ejecución de la toma de datos. Se seleccionó plantaciones de *P. radiata* de 22 años edad con una superficie de 4.40 hectáreas, otra plantación de 12 años de edad con un área de 5.15 hectáreas y una plantación de 8 años de edad con una superficie de 4.24 hectáreas.

### **3.3.2. Selección del área en estudio**

La selección del área de estudio se consideró utilizando la metodología de García *et al.* (2017), el cual nos indica que la calidad de sitio es muy importante en las plantaciones forestales, se consideró que las plantaciones evaluadas estén expuestas a las mismas condiciones edáficas y climáticas.

Las plantaciones de *P. radiata* en estudio, tiene una extensión total de 13.79 hectáreas, entre las tres edades; que corresponden a tres propietarios diferentes.

### **3.3.3. Georreferenciación de la plantación**

En el presente estudio se delimito las plantaciones y las parcelas de muestreo con navegador GPS Garmin 60S para la ubicación exacta, mediante el programa ARGIS 10.5 se calculó el área ocupada por las plantaciones de *Pinus radiata*.D. Don en estudio, el lugar más cercano de referencial es la Provincia de Cajamarca, (ver anexo 3).

### **3.3.4. Establecimiento de parcelas**

Siguiendo la metodología de FAO (2008), se estableció parcelas de muestreo de 20 m x 25m (500 m<sup>2</sup>) cada una en dirección a la pendiente, utilizando un cordel y una wincha de 50 m, siendo dos parcelas por cada edad.

### **3.3.5. Medición de parámetros dasométricos**

Según FAO (2010), los datos dasométricos de interés comercial en plantaciones forestales con fines maderables es la altura total, altura comercial y DAP, son los que sirven de base para observar el crecimiento e incremento de estas plantaciones, la medición de estos parámetros se hace a todos los árboles encontrados en cada parcela demarcada apoyándose de instrumentos de medición para mayor precisión de los estudios.

### **Altura total (Ht)**

La altura total es muy importante, representa el incremento total en altura en un periodo de tiempo determinado. Utilizando la metodología de FAO (2010), se procedió a medir la altura total con la ayuda de un instrumento de medición (hipsómetro sunnto), la altura total se midió desde la base del fuste hasta el ápice del árbol.

### **Altura comercial (Hc)**

La altura comercial es la medición que se hace a un árbol desde la base del fuste hasta el punto donde el tronco se cortaría para el extremo superior de la última troza en una cosecha convencional, se considera 2" de diámetro en la parte superior, debido a que es la medida mínima comercial que se acepta en el mercado (FAO 2010).

### **Diámetro a la altura de pecho (DAP)**

Para la medición de la DAP se utilizó la metodología propuesta por (Prodan *et al.*1997), en el cual sugiere que la medición del DAP se hace a la altura de 1.30m desde la base del árbol, se midió el DAP con una forcípula a todos los árboles encontrados dentro de las parcelas de muestreo cuyo dato fue fundamental para determinar el incremento en diámetro y área basal de las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don.

## **3.4. Fase de gabinete**

Los datos tomados en campo fueron procesados con ayuda del programa Microsoft Excel 2016, donde se determinó los resultados de cada parámetro medido.

### **3.4.1. Cálculo de área basal**

Con los datos obtenidos en campo del DAP se calculó el área basal de los árboles de cada parcela evaluada. La ecuación utilizada fue la del área basal propuesta por Moscovich (2004), proponiendo la medición en campo del DAP a 1.30 m desde la base del árbol:

$$AB = \pi \frac{DAP^2}{4}$$

Donde:

AB= Área basal (cm<sup>2</sup>)

$\pi$ = Número pi (3,141516)

DAP=diámetro a la altura de pecho

### 3.4.2. Cálculo del volumen total (Vt)

Para determinar el volumen total, se empleó la ecuación propuesta por FAO (2010), el cual propone calcular el volumen del fuste en la forma de un cilindro, pero las especies forestales de coníferas tienen su fuste en forma de cono por lo que se aplica un factor de forma para corregir el valor proponiendo así la siguiente ecuación.

$$Vt = AB * Ht * f$$

Donde:

Vt= volumen total

Ht= altura total

AB= área basal

f= factor de forma

En factor de forma para este cálculo se consideró el 0.50, por ser el más adecuado para calcular volúmenes en plantaciones de coníferas según (FAO 2010).

### 3.5. Cálculo del incremento medio anual (IMA)

Siguiendo la metodología indicada por Prodan *et al.* (1997), se calculó el incremento medio anual para el área basal en m<sup>2</sup>/ha/año, el incremento de volumen total y comercial m<sup>3</sup>/ha/año para cada una de las edades de las plantaciones en estudio, utilizando la siguiente ecuación.

$$IMA = \frac{\sum \text{parametro}}{\text{edad}}$$

**Donde:**

**IM** = Incremento Medio, expresado en cm/año ó m/año.

**Parámetro** = sumatoria DAP o altura, área basal, etc.

### 3.5.1. Cálculo del incremento total (IT).

El incremento total se determinó con los datos obtenidos en campo; altura total, altura comercial, diámetro a la altura del pecho y el factor edad de cada plantación en estudio, siguiendo la metodología de Prodan *et al.* (1997), este autor expresa la producción de la masa en los árboles en función de la edad o el tiempo, en el cual propone la siguiente ecuación.

$$IT=Y_0+Y_t$$

**Donde:**

IT =incremento total

Y<sub>0</sub>=inicio de plantación

Y<sub>t</sub>= edad de la plantación

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Crecimiento e incremento de las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don.

Siguiendo la metodología Imaña y Encinas (2008), se procedió a determinar el crecimiento e incremento de las plantaciones instaladas, de acuerdo a este autor las tasas de incremento dependen del desarrollo de las plantaciones, en el cual influyen muchos factores como es la calidad de sitio, la genética y las intervenciones oportunas del manejo forestal según el objetivo planteado para plantaciones.

#### 4.1.1. Crecimiento de las plantaciones

##### Cálculo del DAP promedio e IMA en diámetro

Para el cálculo del DAP promedio e IMA en diámetro se utilizó la metodología propuesta por Imaña y Encinas (2008), se hizo mediciones del DAP (1.30m de altura desde la base del árbol) de cada uno de los árboles encontrados dentro de las parcelas de muestreo, luego se procedió a calcular el promedio por grupo de edades, los resultados se muestran a continuación, (ver tabla 2).

**Tabla 2.** Resultados del DAP promedio e IMA del diámetro

| Parcela | Edad (años) | N° Árboles/ parcela | Diámetro promedio (cm) | DAP Promedio. del rodal (cm) | IMA del Diámetro (cm/año) |
|---------|-------------|---------------------|------------------------|------------------------------|---------------------------|
| 1       | 22          | 52                  | 21.7                   | 21.1                         | 0.96                      |
| 2       |             | 54                  | 20.5                   |                              |                           |
| 1       | 12          | 52                  | 16.8                   | 16.7                         | 1.39                      |
| 2       |             | 55                  | 16.6                   |                              |                           |
| 1       | 8           | 54                  | 11.2                   | 11.4                         | 1.43                      |
| 2       |             | 53                  | 11.5                   |                              |                           |

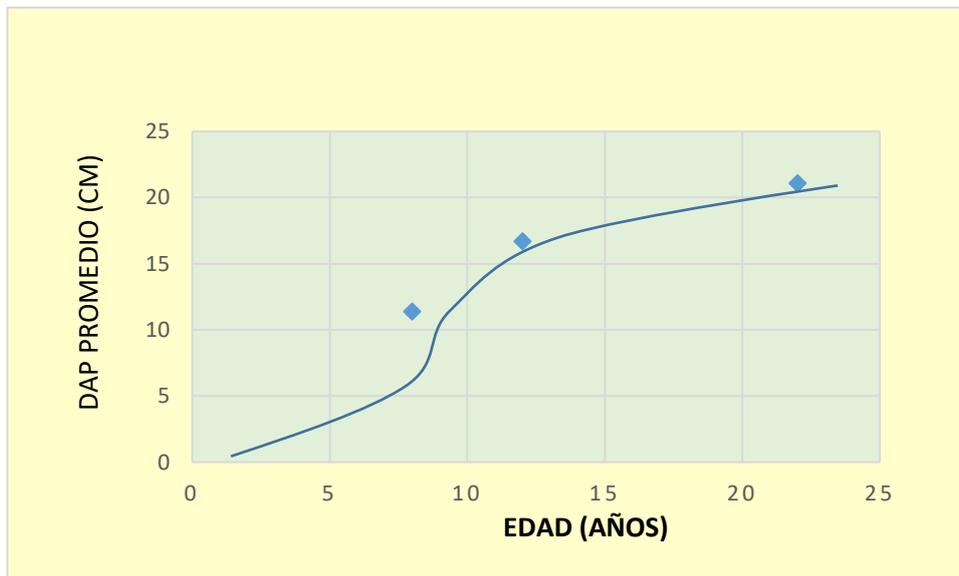
En la tabla 2, se observa que en las parcelas de 8 años de edad se tiene un diámetro promedio del rodal 11.4 cm, a la edad de 12 años 16.7 cm y a los 22 años 21.1 cm, el diámetro promedio obtenido en las diferentes edades aumenta proporcionalmente a su edad siguiendo la tendencia natural de crecimiento, lo que significa que las plantaciones tienen incremento total en diámetro proporcional al tiempo (ver figura 3).

Los resultados del incremento medio anual (IMA) en diámetro muestran que, a medida que avanza la edad la tasa de IMA disminuye, observando que a la edad de 8 años es 1.43 cm/año, a la edad de 12 años 1.39 cm/año y a la edad de 22 años 0.96 cm/año.

Al respecto, Daniel *et al.* (1982) dice que el IMA en diámetro está influenciado por la calidad de sitio, la genética y el manejo que se le aplique a las plantaciones forestales, además menciona que la mayor tasa de incremento anual en diámetro se da en la etapa de desarrollo (juvenil), ya que en la primera etapa tiene la tendencia de ganar la mayor altura posible, esta tasa se mantiene con cambios ligeros durante varios años hasta llegar a su madurez fisiológica, donde las tasas de IMA van a disminuir, esto se refleja en los resultados obtenidos en la presente investigación para 8,12 y 22 años de edad.

Sáenz *et al.* (2011) en su estudio en México, menciona que la especie de *Pinus radiata* bajo condiciones de manejo obtiene resultados de IMA en diámetro 1.06 cm/año a los 15 años, observando que esta tendencia de la disminución de la tasa de incremento medio anual IMA, se da de forma natural.

Domínguez (2016), indica en su estudio realizado en Granja Porcón (Cajamarca), resultados de IMA en diámetro; 0.88 cm/árbol/año, similar al resultado que presenta la plantación en el Centro Poblado Cobro Negro de 22 años de edad, siguiendo la tendencia de disminución de la tasa de IMA conforme avanza la edad de las plantaciones. En la figura 3, se muestra resultados del DAP promedio por edades.



**Fig. 3.** Relación entre DAP promedio del rodal (cm) y edad (años).

En la figura 3, se observa que hay una relación directa entre la edad y el diámetro promedio, a mayor edad mayor diámetro, en las plantaciones este incremento total acumulado llega a estabilizarse en la etapa de senectud, permaneciendo sin cambios durante el tiempo, es decir, deteniéndose el crecimiento e incremento.

Riofrío (2016), describe en su estudio que para llegar a la madurez fisiológica y senectud, el árbol tiene una tendencia natural, teniendo un pequeño incremento diamétrico anual al inicio debido a que en esta etapa trata de alcanzar la mayor altura posible que generalmente es hasta los 5 a 7 años, el cual se incrementa al máximo en el estado juvenil, este máximo es logrado en la segunda fase y comúnmente se mantiene por muchos años con pequeñas variaciones, cuando llega a la madurez fisiológica se da una lenta disminución en los incrementos, llegando en un punto que ya no tiene incrementos a lo largo del tiempo esta etapa se llama senectud.

Corvalán y Hernández (2006), mencionan la importancia de lograr el mayor incremento total en diámetro en las plantaciones forestales, de esto depende mucho el valor comercial y la productividad, a los 22 años de edad con una densidad de 1060 árboles por hectárea en plantaciones instaladas en el Centro Poblado el Cobro Negro presentan un diámetro promedio de 21.1 cm.

Cortez y Fernández (2009), manifiestan que el manejo forestal es muy importante para lograr el mayor incremento en diámetro. Los resultados obtenidos en este estudio a la edad de 22 años dependen mucho del manejo que se le ha aplicado, de todas las actividades solo se ha practicado podas, lo que ha influenciado en el resultado, de aplicarse las otras técnicas de manejo forestal posiblemente se podría obtener mayor IT en diámetro, de esta forma obtener mayor productividad y aumentar su valor comercial actual.

#### 4.2. Incremento total (IT) e IMA en altura total (Ht).

Aplicando la metodología de Imaña y Encinas (2008), se hizo el cálculo del incremento total e incremento medio anual en altura utilizando los datos obtenidos en campo, y agrupándolos por edades, los resultados se pueden ver en la siguiente tabla. Ver tabla 3.

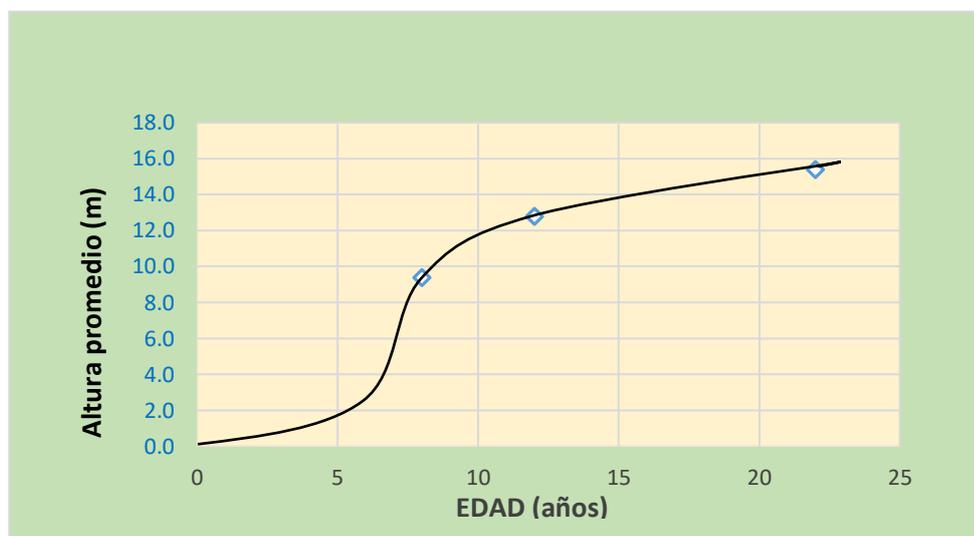
**Tabla 3.** Resultados de IT e IMA en altura total.

| Parcela | Edad (años) | N° Árboles por parcela | Altura total promedio (m) | IT de Ht Prom. del rodal (m) | IMA de Ht (m/año) |
|---------|-------------|------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------|
| 1       | 22          | 52                     | 15.3                      | 15.4                         | 0.7               |
| 2       |             | 54                     | 15.6                      |                              |                   |
| 1       | 12          | 52                     | 12.7                      | 12.8                         | 1.06              |
| 2       |             | 55                     | 13                        |                              |                   |
| 1       | 8           | 54                     | 9.4                       | 9.4                          | 1.17              |
| 2       |             | 53                     | 9.3                       |                              |                   |

En la Tabla 3, se puede observar el incremento total en altura promedio del rodal por grupos de edades; existiendo una relación directa entre la edad y altura total, a mayor edad mayor altura. En el estudio se obtuvo 9.4 m a la edad de 8 años, 12.8 m a los 12 años y 15.4 m en las parcelas de 22 años, en altura total en promedio, la altura de las especies arbóreas también está influenciado por la densidad de la plantación, esto ocurre porque los árboles están en competencia por espacio y luz principalmente, de ahí radica la importancia de la densidad de la plantación, y el manejo que le puede aplicar durante sus etapas de crecimiento (ver figura 4).

Al respecto Cancino (2015), menciona en sus estudios que los árboles tienen la tendencia de ganar la altura máxima en su primera etapa de su vida con el objetivo de ganar mayor luz solar hasta llegar a su etapa media, en la cual su incremento tiende a ser mayor en diámetro, esta tendencia se mantiene con ligeros cambios durante muchos años hasta llegar al climax total de los árboles, en este último punto de su vida se detiene su crecimiento e incremento. Esta tendencia se refleja en los resultados obtenidos en el incremento medio anual en altura; donde a los 8 años de edad el IMA es de 1.17 m/año, edad de 12 años 1.06 m/año y 0.7 m/año a la edad de 22 años siguiendo la tendencia a disminuir sus tasas de incremento a medida que llega a la senectud.

En la figura 6 se observa la relación entre la edad (años) y el IT promedio en altura total (m). Las plantaciones muestran una relación directa, es decir, a mayor edad mayor altura.



**Fig.4.** Relación entre la altura promedio y la edad de las plantaciones

En la figura que antecede nos muestra la relación de altura total del rodal y la edad en la cual al unir los puntos de intersección nos demuestra que esta línea tiene una tendencia sigmoidea. En la plantación del centro poblado Cobro Negro (Fig.4), presenta una tendencia creciente (de 8 a 22 años), observándose que en la etapa inicial el IT es menor hasta los 5 años de edad aproximadamente, en la etapa madurez o media aumenta la tasa de IT, luego esta tasa de crecimiento en altura disminuye en la etapa de senectud.

Gonzales (2007) y Cancino (2015), en sus estudios realizados resaltan que al graficar en un plano la altura y su edad estas describen una figura sigmoidea esto se debe a la tendencia natural que estas especies presentan a lo largo de su vida, lo que coincide con los resultados del presente estudio.

Cancino (2015), en su estudio demuestra que, en las plantaciones, las primeras etapas de desarrollo presentan bajos incrementos en altura, esto ocurre generalmente hasta la edad de 5 a 7 años a partir de esta edad comienza la etapa (juvenil o desarrollo medio), presentan las tasas más altas de incremento, estas van variando ligeramente hasta llegar a su madurez fisiológica y declive, cabe resaltar que en el crecimiento en altura es donde más se diferencia estas etapas (inicial, media, madurez fisiológica y declive).

Prodan *et al.* (1997), en sus estudios mencionan que el incremento en altura está influenciado por la competencia entre las especies por espacio y luz principalmente y que su incremento en altura al no tener un manejo adecuado, sus incrementos en la etapa juvenil presentarían tasas bajas de incremento en altura, aumentando su masa en la ramificación, afectando la productividad en las plantaciones, el estudio demuestra que no han tenido intervenciones de manejo forestal adecuado y oportuno, no se garantiza la productividad y la calidad del producto a obtener.

Domínguez (2016), en su estudio, crecimiento de *Pinus patula* y *Pinus radiata* en plantaciones de Granja Porcón (Cajamarca), menciona que la variable con mayor influencia en el incremento en altura en las plantaciones de este género es la precipitación, que para el caso de *Pinus radiata* D. Don, la precipitación que presenta en el centro poblado el Cobro Negro es óptima ya que se tiene 1200 mm a 1500 mm.

#### **4.3. Incremento total (IT) e IMA del área basal**

Utilizando la metodología de Hernández *et al.* (2016), se procedió a calcular el área basal de cada uno de los árboles encontrados en las parcelas de muestreo, mientras el incremento medio anual se determinó con la metodología propuesta por FAO (2008)

Con los datos medidos en campo, diámetro a la altura del pecho, se calculó el área basal promedio, para luego inferir a la hectárea, los resultados se muestran a continuación, ver tabla 4.

**Tabla 4.** Resultados de IT e IMA del área basal

| Parcela | Edad (años) | N° Árboles | AB Promedio/árbol (cm <sup>2</sup> ) | AB (m <sup>2</sup> /ha) | IT de AB del rodal (m <sup>2</sup> /ha) | IMA ( m <sup>2</sup> /ha-año ) |
|---------|-------------|------------|--------------------------------------|-------------------------|---|--------------------------------|
| 1       | 22          | 52         | 0.038                                | 39.52                   | 38.12                                   | 1.73                           |
| 2       |             | 54         | 0.034                                | 36.72                   |   |                                |
| 1       | 12          | 52         | 0.022                                | 22.88                   | 23.54                                   | 1.96                           |
| 2       |             | 55         | 0.022                                | 24.2                    |   |                                |
| 1       | 8           | 54         | 0.011                                | 11.88                   | 11.77                                   | 1.17                           |
| 2       |             | 53         | 0.011                                | 11.66                   |   |                                |

En la tabla 4, observamos que el mayor IMA en área basal se presenta en la edad de 12 años con 1.96 m<sup>2</sup>/ha/año, el menor incremento lo presenta en los primeros años de desarrollo obteniendo como resultado 1.17 m<sup>2</sup>/ha/año a la edad de 8 años.

Imaña y Encinas (2008), en sus estudios da a conocer, que los árboles, los primeros años tienden a tener el crecimiento en altura, y en la juvenil o media empiezan a incrementar en diámetro, esta tendencia disminuye lentamente conforme los árboles llegan a su madurez fisiológica, este concepto coincide con Cancino (2015), quien dice que, el área basal depende directamente del diámetro obtenido y se manifiesta con mayor intensidad en la etapa media.

Hernández *et al.* (2016), en su estudio nos demuestra que el incremento en área basal es más consistente que el incremento en diámetro, la mínima variación que presenta en el diámetro se refleja en el incremento del área basal. Las plantaciones en el Centro Poblado Cobro Negro tienen el incremento total en área basal bien diferenciado en sus tres edades

evaluadas, obteniendo resultados de 11.77 m<sup>2</sup>/ha a la edad de 8 años, 23.54 m<sup>2</sup> /ha a la edad de 12 años y 38.12 m<sup>2</sup>/ha a los 22 años de edad.

#### 4.4. Incremento total (IT) e IMA en volumen total

Con la metodología propuesta por FAO (2010), se procedió hacer las mediciones en campo del diámetro y la altura total, se utilizó la siguiente ecuación ( $V = AB * HT * f$ ) para los cálculos. Se determinó el volumen total en las tres edades 8,12 y 22 años, y el factor de forma usado fue 0.5, debido a la conicidad del fuste que presentan las especies coníferas, los resultados se indican a continuación, ver tabla 5.

**Tabla 5.** Resultado de IT e IMA del volumen total

| parcela | Edad (años) | VT/Parc. (m <sup>3</sup> ) | VT (m <sup>3</sup> /ha) | IMA (m <sup>3</sup> /ha/año) |
|---------|-------------|----------------------------|-------------------------|------------------------------|
| 1       | 22          | 14.57                      | 291.4                   | 13.25                        |
| 2       |             |                            |                         |                              |
| 1       | 12          | 7.57                       | 151.4                   | 12.62                        |
| 2       |             |                            |                         |                              |
| 1       | 8           | 2.66                       | 53.2                    | 6.65                         |
| 2       |             |                            |                         |                              |

Según los resultados de la tabla 5, se puede ver un IMA de 6.65 m<sup>3</sup>/ha/año a los 8 años de edad seguido de 12.62 m<sup>3</sup>/ha/año para la edad de 12 años y 13.25 m<sup>3</sup>/ha/año a la edad de 22 años. La mayor tasa de incremento medio anual se presenta a los 22 años, debido a que el volumen depende principalmente de los incrementos del DAP y la altura alcanzada en el tiempo.

Los resultados encontrados en las parcelas de 22 años de edad es 13.25 m<sup>3</sup> /ha/año son similares a los resultados encontrados en estudios por Gonzales (1975), donde muestra que en el lugar de origen (california) esta especie, *Pinus radiata* oscila entre 15 m<sup>3</sup> /ha/año a la edad de 25 años, sin embargo, en España alcanza 17 m<sup>3</sup> /ha/año, Chile hasta 28 m<sup>3</sup>/ha/año

al turno de 25 años, donde influye la importancia de la calidad de sitio y el manejo que se le aplica a estas plantaciones forestales; mientras Romero (2002), indica que en Granja Porcón, Cajamarca – Perú al turno de 25 años de edad alcanzan un incremento medio anual hasta 16 m<sup>3</sup>/ha siendo similar al estudio realizado en el Centro Poblado Cobro Negro que se obtuvo un IMA de 13.25 m<sup>3</sup>/ha/año a los 22 años de edad, la diferencia radica que en Granja Porcón se ha aplicado manejo forestal con mayor intensidad, garantizando así la productividad.

Según FAO (2010), el incremento en volumen es uno de los parámetros de mayor importancia en una plantación forestal, de él depende la producción de madera y los valores comerciales que estos pueden alcanzar a lo largo del tiempo. La producción de madera con la especie de *Pinus radiata* D.Don, a los 22 años en el Centro Poblado Cobro Negro nos muestra resultados de incremento total de 291.4 m<sup>3</sup>/ha, esta producción se da bajo esas condiciones de manejo y calidad de sitio mencionadas en este estudio.

Cortez y Fernández (2009), mencionan que la productividad de una plantación depende del manejo forestal, el cual consiste en hacer intervenciones silvícolas para obtener la mayor cantidad de volumen en madera posible en el menor tiempo, con diámetros mayores, a mayor incremento del diámetro mayor versatilidad en la transformación de la madera.

#### **4.5. Cálculo del IT e IMA del volumen comercial**

Utilizando la metodología de FAO (2010), se procedió a tomar las medidas de las alturas comerciales en campo. Para calcular el volumen comercial se consideró el diámetro como mínimo aprovechable o comercial (DMC 5cm), para lo cual se utilizó la siguiente ecuación (**VC = AB \* Hc \* Ff**).

**Tabla 6.** Resultados del IT e IMA del volumen comercial

| Parcela | Edad (años) | Vc prom. de la Parc (m <sup>3</sup> ) | IT de Vc (m <sup>3</sup> /ha) | IMA del Vc ( m <sup>3</sup> /ha/año) |
|---------|-------------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| 1       | 22          | 13.14                                 | 262.8                         | 11.95                                |
| 2       |             |                                       |                               |                                      |
| 1       | 12          | 6.7                                   | 134                           | 11.17                                |
| 2       |             |                                       |                               |                                      |
| 1       | 8           | 2.28                                  | 45.6                          | 5.7                                  |
| 2       |             |                                       |                               |                                      |

En las plantaciones forestales en estudio se observa que el incremento total en volumen comercial a la edad de 8 años se obtiene 45.6 m<sup>3</sup>/ha, a la edad de 12 años 134 m<sup>3</sup>/ha y a los 22 años se obtiene 262.8 m<sup>3</sup>/ha de madera, estos resultados muestran que la especie se ha adaptado bien al sitio y se demuestra que hay una relación directa entre el volumen y la edad, es decir, a mayor edad mayor incremento total de volumen comercial, al igual que el volumen total esto se debe a los incrementos en altura y diámetro, que tienen la tendencia a aumentar hasta llegar al punto de senectud.

Observamos que el menor incremento medio anual de volumen comercial se presenta a los 8 años con 5.7 m<sup>3</sup>/ha/año, seguido del rodal de 12 años con 11.17 m<sup>3</sup>/ha/año y a los 22 años 11.95 m<sup>3</sup>/ha/año, que es lo esperado debido a que es la tendencia natural de crecimiento.

Romero (2002), en su estudio demuestra que el incremento total en volumen comercial en plantaciones manejadas de Granja Porcón da como resultado 318 m<sup>3</sup>/ha, las condiciones climáticas del Centro Poblado Cobro Negro son similares, la tasa baja de incremento se da por la baja intervención en el manejo forestal, en Puno-Perú produce 332 m<sup>3</sup>/ha con esta especie forestal, resaltando así la importancia que influye el manejo forestal en las plantaciones. El incremento total en volumen comercial,

encontrados en las plantaciones del centro poblado el Cobro Negro son 262.8 m<sup>3</sup>/ha a la edad de 22 años, garantizando así la producción de madera, pero no la productividad deseada, debido a que tiene escaso manejo y clima.

Cortez y Fernández (2009), afirma que la producción en volumen comercial depende mucho de la densidad de la plantación, la calidad de sitio y las técnicas de manejo que se hacen, esto influye directamente en el valor comercial que se obtiene al final del turno.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Las plantaciones forestales de *Pinus radiata* D. Don instaladas en el Centro Poblado El Cobro Negro, presenta incremento total en altura: 9.4 m, 12.8 m y 15.4 m; DAP promedio: 11.4 cm, 16,7 cm, 21.1 cm; volumen total: 53 m<sup>3</sup>/ha, 151 m<sup>3</sup>/ha y 291 m<sup>3</sup>/ha; a los 8 años, 12 años y 22 años respectivamente.

El incremento medio anual en diámetro es: 1.43cm/árbol/año, 1.39cm/árbol/año y 0.96cm/árbol/año; en altura: 1.17 m/árbol/año, 1.06 m/árbol/año y 0.7 m/árbol/año; en área basal: 1.47 m<sup>2</sup>/ha/año, 1.96 m<sup>2</sup>/ha/año y 1.73 m<sup>2</sup>/ha/año; en volumen total: 6.65 m<sup>3</sup> /ha/año, 13.25 m<sup>3</sup> /ha/año, 12.62 m<sup>3</sup>/ha/año; éstos resultados se obtuvieron a los 8 años, 12 años y 22 años respectivamente.

### Recomendaciones

Implementar y seguir un plan de manejo forestal en las plantaciones instaladas de *Pinus radiata* del Centro Poblado Cobro Negro.

Hacer un estudio post-manejo de las plantaciones en el Centro Poblado Cobro Negro con el fin de comparar tasas de incremento.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aldana, C. 2008. Medición forestal: estudio de crecimiento. Cuba, Pinar del rio. 340 p.
- Álder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento: predicción del rendimiento. Roma, Italia, FAO. 312 p.
- Bonilla, J A. 2015. La influencia del suelo y el clima en el crecimiento de los árboles en las regiones templadas: factores relacionados al crecimiento, Montevideo, Uruguay, Ed. Montevideo.150 p.
- Bruce, D y Schumacher, F. 1965. Medición forestal: calidad de sitio en plantaciones México, México, forestales Editorial Herrero. 474 p.
- Cabrera, C. 2003. Plantaciones forestales: oportunidades para el desarrollo sostenible. Universidad Rafael Landívar, Guatemala. 120 p.
- Campo, F. 2008. Modelo de crecimiento de árbol individual para *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Tesis de grado, Galicia, España, Universidad de Santiago de Compostela. 140 p.
- Cancino, J. 2015. Dendrometría básica: Medición de diámetros y altura en árboles en pie. Mexico, Editorial Herrero.171 p.
- Chagas, C.J y García, L.H. 2002. Mensuração florestal: Preguntas e respuestas. Vicososa. Brasil, Editora UFV. 407 p.
- Chave, J. 2006. Medición de densidad de madera en árboles tropicales: Medición de campo. Colombia, PAFC .77 p.
- Clutter, R; Fortow, J; Piennar, L; Brister, G.; Bailey, R. 1983. Timber management: A quantitative approach. USA, John Wiley & Sons. 333 p.
- Corvalán, P y Hernández, J. 2006. Cátedra de Dasometría. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales.Chile.130 p.
- Cortez, C y Fernández, E. 2009. Guía para el buen manejo forestal: manejo forestal, México, México, Editorial S.A. de C.V. 180 p.
- Costa, M y Plumed, J. 2016. La arboleda monumental: Interpretación del crecimiento y desarrollo. España, Romeu Imprenta. 228 p.

- Cruz, AI. 2013. Crecimiento en diámetro de *Liquidambar styraciflua* L. en el bosque de transición de Yetzelag, Villa Alta, Oaxaca. Tesis Ing. For. Oaxaca, MX, Universidad de la Sierra Juárez. 61 p.
- Dacunha, TA. 2009. Modelagem do incremento de árvores individuais de *Cedrela odorata* L. na floresta amazônica. Tesis Mag. Sc. Santa María, BR, Universidad Federal de Santa María. 87 p.
- Daniel, T; Helms, J; Baker, F. 1982. Principios de Silvicultura. Mc Graw Hill Company Inc, México. 492 p.
- Dans Del Valle, F; Fernández, F; García R. A. 2004. Manual de silvicultura del *Pino radiata* en Galicia. Proyecto Columella. Universidad de Santiago de Compostel. 80 p.
- Domínguez, JC. 2016. Evaluación de la influencia de la precipitación y temperatura en el crecimiento de *Pinus patula* y *Pinus muricata* en plantaciones de granja Porcón (Perú) a través de técnicas dendrocronológicas. Tesis de título. Lima, Perú, UNALM. 89 p.
- Esaú, k. 2005. Anatomía vegetal. Barcelona, España, Ediciones Omega. 779 p.
- Espinoza, UM. 2006. Evaluación de crecimiento de tres especies de árboles de navidad y análisis de sus costos de producción. Tesis Ing. For. Hidalgo, MX, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 130 p.
- FAO (organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación). 2008. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Roma, Italia, Commonwealth forstry institute. 209 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2000. El estado actual de las plantaciones forestales en América latina y el caribe y examen de las actividades relacionadas con el mejoramiento genético. Roma, Italia. 130 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales Informe principal. Roma, Italia. 381 p. serie (ISBN 978-92-5-306654-4). Informe técnico N° 169.

- FAO (organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación). 2011. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento: estimación del volumen. Roma, Italia. 210 p.
- FAO (organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación). 2004. Inventario nacional forestal: manual de campo modelo. Guatemala. Dan Altrell. 89 p.
- FAO (organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación). 2017. Monitoreo forestal nacional: El papel general del monitoreo forestal, Roma, Italia. 90 p.
- Foman, FN. 2007. Guía práctica para la instalación y manejo de plantaciones y su valor maderable. Guatemala. 220 p.
- Gadow, K; Rojo, A; Álvarez, JA; Rodríguez, R. 2008. Ensayos de crecimiento parcelas permanentes temporales y de intervalo: investigación forestal. Lugo, España, Universidad de Santiago de Compostela. 310 p.
- García, A; Velasco, A; Rodríguez, G; Raymundo, J. 2017. Influencia de la calidad de sitio sobre el crecimiento de una plantación de *Pinus patula* Schlttdl. et Cham: Efecto de la calidad de sitio. México, México. 213 p.
- García, E.; Silva, S.; Sotomayor, A.; Valdebenito, G. 2000. Establecimiento de plantaciones forestales: El recurso de plantaciones forestales – estimaciones y confiabilidad. Roma Italia. 32 p.
- Gonzales, T. 1975. Crecimiento de *Pinus radiata* en nueva Zelanda. Tesis Ing. For. Hidalgo, MX, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 130 p.
- Gonzales, IH. 2007. Calidad de sitio: crecimiento e incremento de la regeneración de *Pinus rudis* Endl de la región de San José de la Joya. Tesis de título, Coahuila, Mexico, UAAN. 121 p.
- Guariguata, M.R; Arce, J; Ammour, T y Capella JL. 2017. Las plantaciones forestales en Perú: Reflexiones, estatus actual y perspectivas a futuro. Bogor, Indonesia, CIFOR. 169 p.

- GOREC. (Gobierno regional de Cajamarca). 2011. Estudio de suelos y capacidad de uso mayor del departamento de Cajamarca: zonificación ecológica económica ZEE del departamento de Cajamarca. Consultado 14 abril 2019. Disponible:  
línea:zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/INFSUELOSZEE091.pdf
- Hernández, J; García; Muñoz, J; Sáenz, T. 2016. Guía para manejo de bosques: mediciones forestales. Hidalgo, México, ed. AM editores. 206 p.
- Imaña, J y Encinas O. 2008. Epidimetría forestal: crecimiento de árboles. Brasilia, Brasil, edikapas. 66 p.
- Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales: crecimiento e incremento del árbol. México, México. Universidad Autónoma de Chapingo.297p.
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. República Federal de Alemania. 335 p.
- López, M. 2003. Análisis del crecimiento diamétrico de cinco especies forestales en los bosques de colinas bajas de la unidad de Dantas. Tesis (Ing. Forestal). Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 94 p.
- Louman, B.; Quirós, D.; Nilsson, M. 2001. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Turrialba, C. R. Catie. 264 p.
- Mackay, E. 1984. Dasometría. Teoría y técnica de las mediciones forestales. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid, España.86 p
- MINAGRI- DGIP. Ministerio de Agricultura y Riego - Dirección General de inversión Pública del Ministerio de economía y Finanzas. 2013. Perú Forestal en números 2013.
- Morey, PR. 1977. Epidometria: Patrones de crecimiento en altura de los árboles forestales. Barcelona, España, Ediciones Omega. 65 p.
- Montoya, E; Figueroa, G. 1990. Geografía de Cajamarca. Cajamarca, Perú, Edit.CONCYTEC, vol. I y II. 265 p.

- Moscovich, F. 2004. Modelos de crecimiento y producción forestal. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Buenos Aires, Argentina. 56 p.
- Murillo, O y Camacho, C. 2016. Metodología para la evaluación de la calidad de plantaciones forestales recién establecidas. Costa Rica, Agronomía costarricense. 205 p.
- Navar, J y Domínguez, P. 2013. Modelo de incremento y rendimiento: Ejemplos y aplicaciones para bosques templados mexicanos. tesis de título, México, México. Universidad del Estado de Durango. 157 p.
- Ocampo, M A. 1994. Evaluación de algunas características dasométricas y de calidad de sitio para la predicción de rendimiento. Tesis Ing. Forestal. Lima, Perú, UNALM. 219 p.
- ONERN (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales). 1977. Evaluación, ordenación y plan de manejo ambiental para el desarrollo integral de los Pantanos : geológico, geomorfológico, hidrológico e hidrogeológico .Lima, Perú, MDAR.560 p
- Philip, M. 1994. Measuring Trees and Forests: tree growth. Cambridge. United Kingdom. 310 p.
- Poma, W y Alcántara, G. 2011. Estudio de suelos y capacidad de uso mayor del departamento de Cajamarca. Cajamarca, Perú, GOREC.83 p.
- Prodan, M; Peters, R; Cox, F; Real, P. 1997. Mensura Forestal: incremento de la madera. San José. Costa Rica. 561 p.
- Quiñonez, G; Cruz, F; Vargas, B; Hernández, J. Estimación del diámetro, altura y volumen a partir del tocón. Guatemala, ed. montecillos.204 p.
- Riofrío, JG. 2016. Análisis de los patrones de crecimiento radial de masas de *Pinus pinaster* Ait. en respuesta a la variabilidad climática: El incremento de la variabilidad de crecimiento. tesis de maestría, Valladolid, España, Universidad de Valladolid. 126 p.
- Romero, A. 2002. Crecimiento de las especies del genero *Pinus* en el norte del Perú. tesis ing. for. UNALM. 99 p.

- Sáenz, D; Hernández, J; Pérez, M. 2011. Valoración económica- ambiental de recursos naturales la Habana- Cuba. Cuba. 223 p.
- Sánchez, E; Freitas, L; Linares, C; Baluarte, J. 2000. Crecimiento y tablas de producción de *Pinus radiata* D.Don. Galicia, España, Universidad de Valladolid. 119 p.
- SERFOR (Servicio nacional forestal y de fauna silvestre). 2015. Negocios sostenibles: plantaciones forestales registradas en Cajamarca (en línea sitio web). Consultado 10 mar.2019. Disponible en: <https://www.serfor.gob.pe/noticias/negocios-sostenibles/cajamarca-cuenta-con-mas-de-400-registros-de-plantaciones-forestales>
- Sierra, A; Vázquez-Soto, J; Rodríguez; D. 1994. La Auto ecología del *Pinus radiata* en la Cuenca de México. Serie publicación especial. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Chapingo. México. 99 p.
- Suatuns, P. 2007. Efecto de la densidad en plantaciones forestales: modelo integral de crecimiento. Santo domingo, Ecuador, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. 96 p.
- Torres, JM. 2001. Evaluación de plantaciones forestales: bosques y silvicultura. México, México, Limusa. 472 p.
- Ugalde, L. 2000. Guía para el establecimiento y medición de parcelas para el monitoreo y evaluación del crecimiento de árboles en investigación y en programas de reforestación con la metodología del sistema Mirasilv. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 160 p
- Vanclay, J. 2000. Growth modeling and yield prediction for sustainable forest: The Malaysiam Forester Journal. Lima, Perú, UNALM. 127 p.
- Vanclay, JK. 1994. Modelización del crecimiento y rendimiento forestal: Aplicaciones a los bosques tropicales. Wallingford, EEUU, CAB Internacional. 312 p.
- Vargas, G. 2019. Biomecánica de los árboles: crecimiento anatomía y morfología. Estados Unidos de Norteamérica, Engineering. San Angelo, EEUU. 117p.

Vignote, S y Martínez, I. 2006. Tecnología de la Madera. 3ra ed. Madrid. Ediciones Mundi- Prensa. España. 687 p.

Young, A.R. 1991. Introducción a las ciencias forestales. México, ed.Limusa. 523 p.



**Anexo 2.** Tablas de datos recolectados en campo

**Tabla 7.** Parcela N° 1 *P. radiata* de 22 años de edad

| N° de árboles   | Altura total (m) | Altura comercial (m) | DAP (cm) |
|-----------------|------------------|----------------------|----------|
| 1               | 17.2             | 15.7                 | 29,5     |
| 2               | 14.3             | 12.8                 | 28,3     |
| 3               | 15.8             | 14.3                 | 28,3     |
| 4               | 13.2             | 11.7                 | 17,8     |
| 5               | 15.6             | 14.1                 | 21,5     |
| 6               | 16.5             | 15.0                 | 24,2     |
| 7               | 14.1             | 12.6                 | 24,1     |
| 8               | 16.0             | 14.5                 | 19       |
| 9               | 15.5             | 14.0                 | 22,7     |
| 10              | 16.4             | 14.9                 | 25,4     |
| 11              | 13.2             | 11.7                 | 23,3     |
| 12              | 14.3             | 12.8                 | 24,2     |
| 13              | 14.9             | 13.4                 | 19,2     |
| 14              | 15.5             | 13.0                 | 25       |
| 15              | 15.2             | 13.7                 | 19,7     |
| 16              | 12.3             | 10.8                 | 19       |
| 17              | 16.4             | 14.9                 | 24,4     |
| 18              | 16.8             | 15.3                 | 20,7     |
| 19              | 12.5             | 11.0                 | 22       |
| 20              | 16.5             | 15.0                 | 21,4     |
| 21              | 14.0             | 12.5                 | 22,1     |
| 22              | 14.8             | 13.3                 | 20,8     |
| 23              | 14.5             | 13.0                 | 16,6     |
| 24              | 15.8             | 14.3                 | 16,8     |
| 25              | 13.2             | 11.7                 | 19,3     |
| 26              | 15.7             | 14.2                 | 20,3     |
| 27              | 16.3             | 14.8                 | 20       |
| 28              | 17.0             | 15.2                 | 28,2     |
| 29              | 15.1             | 13.5                 | 27       |
| 30              | 16.3             | 14.6                 | 24,1     |
| 31              | 18.2             | 17.0                 | 25,3     |
| 32              | 15.6             | 14.1                 | 22       |
| 33              | 16.5             | 15.0                 | 19,7     |
| 34              | 14.1             | 12.6                 | 21       |
| 35              | 16.0             | 14.5                 | 19,7     |
| 36              | 12.3             | 10.8                 | 18,4     |
| 37              | 14.8             | 13.3                 | 17,2     |
| 38              | 13.2             | 11.7                 | 17,8     |
| 39              | 15.5             | 13.0                 | 20,1     |
| 40              | 14.9             | 13.4                 | 23,1     |
| 41              | 15.5             | 13.0                 | 20,1     |
| 42              | 13.2             | 11.7                 | 19,3     |
| 43              | 15.7             | 14.2                 | 20,3     |
| 44              | 16.3             | 14.8                 | 20       |
| 45              | 17.0             | 15.2                 | 20,2     |
| 46              | 15.1             | 13.5                 | 20       |
| 47              | 16.3             | 14.6                 | 24,1     |
| 48              | 15.7             | 14.2                 | 20,3     |
| 49              | 16.3             | 14.8                 | 16       |
| 50              | 17.0             | 15.2                 | 24,2     |
| 51              | 15.1             | 13.5                 | 18       |
| 52              | 16.3             | 14.6                 | 24,1     |
| <b>Total</b>    |                  |                      | 1097,5   |
| <b>Promedio</b> |                  |                      | 21,1     |

**Tabla 8.** Parcela N° 2 *P. radiata* de 22 años de edad

| N° de árbol     | Altura total (m) | Altura comercial(m) | DAP (cm) |
|-----------------|------------------|---------------------|----------|
| 1               | 17.2             | 15.7                | 26,60    |
| 2               | 14.3             | 12.8                | 13,50    |
| 3               | 15.8             | 14.3                | 19,50    |
| 4               | 13.2             | 11.7                | 15,20    |
| 5               | 15.6             | 14.1                | 19,80    |
| 6               | 16.5             | 15.0                | 26,30    |
| 7               | 14.1             | 12.6                | 16,40    |
| 8               | 16.0             | 14.5                | 22,00    |
| 9               | 15.5             | 14.0                | 23,80    |
| 10              | 16.4             | 14.9                | 24,50    |
| 11              | 13.2             | 11.7                | 15,90    |
| 12              | 14.3             | 12.8                | 16,70    |
| 13              | 14.9             | 13.4                | 18,90    |
| 14              | 14.5             | 13.0                | 17,60    |
| 15              | 15.2             | 13.7                | 22,00    |
| 16              | 12.3             | 10.8                | 20,00    |
| 17              | 16.4             | 14.9                | 21,50    |
| 18              | 16.8             | 15.3                | 20,10    |
| 19              | 12.5             | 11.0                | 20,80    |
| 20              | 13.5             | 11.9                | 26,80    |
| 21              | 14.0             | 12.5                | 19,90    |
| 22              | 14.8             | 13.3                | 19,50    |
| 23              | 14.5             | 13.0                | 19,80    |
| 24              | 15.8             | 14.3                | 24,40    |
| 25              | 13.2             | 11.7                | 19,20    |
| 26              | 15.7             | 14.2                | 23,00    |
| 27              | 16.3             | 14.8                | 22,80    |
| 28              | 17.6             | 16.0                | 28,20    |
| 29              | 15.0             | 13.2                | 27,00    |
| 30              | 16.2             | 14.7                | 24,10    |
| 31              | 15.4             | 12.8                | 16,40    |
| 32              | 15.6             | 14.1                | 22,00    |
| 33              | 16.7             | 15.1                | 19,70    |
| 34              | 14.1             | 12.6                | 21,00    |
| 35              | 14.5             | 17.5                | 19,70    |
| 36              | 15.2             | 13.8                | 19,00    |
| 37              | 16.4             | 14.9                | 17,20    |
| 38              | 16.5             | 15.0                | 18,60    |
| 39              | 14.0             | 12.5                | 24,50    |
| 40              | 16.4             | 14.9                | 21,50    |
| 41              | 16.8             | 15.3                | 20,10    |
| 42              | 12.5             | 11.0                | 20,80    |
| 43              | 13.5             | 11.9                | 26,80    |
| 44              | 14.0             | 12.5                | 19,90    |
| 45              | 14.8             | 13.3                | 19,50    |
| 46              | 14.5             | 13.0                | 19,80    |
| 47              | 15.8             | 14.3                | 17,00    |
| 48              | 15.0             | 13.2                | 24,00    |
| 49              | 16.2             | 14.7                | 24,10    |
| 50              | 15.4             | 12.8                | 16,40    |
| 51              | 15.6             | 14.1                | 22,00    |
| 52              | 16.7             | 15.1                | 23,30    |
| 53              | 14.1             | 12.6                | 19,00    |
| 54              | 14.5             | 17.5                | 19,70    |
| <b>Total</b>    |                  |                     | 1127,80  |
| <b>Promedio</b> |                  |                     | 20.9     |

**Tabla 9.** Parcela N °1 P. radiata 12 años de edad

| N° de árbol     | Altura total (m) | Altura comercial(m) | DAP (cm) |
|-----------------|------------------|---------------------|----------|
| 1               | 14,2             | 13.0                | 18,1     |
| 2               | 13,8             | 12.5                | 18,3     |
| 3               | 14,2             | 13.0                | 20,4     |
| 4               | 13               | 11.5                | 15,2     |
| 5               | 14,2             | 13.0                | 15,8     |
| 6               | 11,5             | 10.0                | 20,1     |
| 7               | 14,8             | 13.2                | 17       |
| 8               | 10,8             | 8.3                 | 13,4     |
| 9               | 13               | 11.5                | 19,4     |
| 10              | 11,5             | 10.0                | 20,2     |
| 11              | 11,2             | 9.8                 | 13,5     |
| 12              | 10,8             | 9.3                 | 15,6     |
| 13              | 9,6              | 8.0                 | 16,9     |
| 14              | 12,8             | 11.3                | 11,6     |
| 15              | 12,3             | 10.9                | 18,3     |
| 16              | 11,2             | 9.8                 | 15,8     |
| 17              | 14,6             | 13.1                | 20,7     |
| 18              | 11,8             | 10.0                | 14,2     |
| 19              | 14,6             | 13.0                | 15,3     |
| 20              | 11,8             | 10.0                | 16,3     |
| 21              | 12,6             | 11.0                | 18,1     |
| 22              | 13,3             | 12.0                | 19,9     |
| 23              | 14,5             | 13.0                | 17,3     |
| 24              | 12,4             | 11.0                | 18,1     |
| 25              | 11,5             | 10.0                | 14,2     |
| 26              | 9,5              | 8.0                 | 16,4     |
| 27              | 12,2             | 11.0                | 13,9     |
| 28              | 16,3             | 14.1                | 19,8     |
| 29              | 14,9             | 13.0                | 18       |
| 30              | 16,2             | 14.1                | 21,4     |
| 31              | 15,4             | 13.9                | 18,8     |
| 32              | 13,8             | 12.1                | 16,9     |
| 33              | 15,2             | 13.0                | 21       |
| 34              | 14,1             | 13.2                | 15,3     |
| 35              | 10,8             | 8.3                 | 13,6     |
| 36              | 13               | 11.5                | 18,4     |
| 37              | 11,5             | 10.0                | 16,2     |
| 38              | 11,2             | 9.8                 | 11,6     |
| 39              | 10,8             | 9.3                 | 17,3     |
| 40              | 9,9              | 8.3                 | 16       |
| 41              | 12,5             | 11.4                | 13,1     |
| 42              | 13               | 11.9                | 18       |
| 43              | 14,8             | 13.2                | 17       |
| 44              | 10,8             | 8.3                 | 13,4     |
| 45              | 13               | 11.5                | 19,4     |
| 46              | 11,5             | 10.0                | 20,2     |
| 47              | 11,2             | 9.8                 | 13,5     |
| 48              | 10,8             | 9.3                 | 15,6     |
| 49              | 9,6              | 8.0                 | 16,9     |
| 50              | 12,8             | 11.3                | 11,6     |
| 51              | 12,3             | 10.9                | 18,3     |
| 52              | 11,2             | 9.8                 | 15,8     |
| <b>Total</b>    |                  |                     | 871,1    |
| <b>Promedio</b> |                  |                     | 16.9     |

**Tabla 10.** Parcela N°2 *P. radiata* 12 años de edad

| N° árbol        | Altura total (m) | Altura comercial(m) | DAP (cm) |
|-----------------|------------------|---------------------|----------|
| 1               | 10.0             | 8.8                 | 12,7     |
| 2               | 12.9             | 11.4                | 19,1     |
| 3               | 10.2             | 9.0                 | 13,4     |
| 4               | 12.5             | 11.0                | 18,1     |
| 5               | 13.2             | 11.8                | 20,7     |
| 6               | 10.9             | 10.0                | 17,6     |
| 7               | 12.8             | 11.3                | 19       |
| 8               | 11.1             | 10.0                | 15,3     |
| 9               | 10.8             | 9.3                 | 15       |
| 10              | 13.5             | 12.0                | 18,8     |
| 11              | 14.6             | 13.0                | 19,1     |
| 12              | 13.2             | 11.8                | 17,2     |
| 13              | 15.4             | 14.0                | 17,5     |
| 14              | 13.9             | 12.0                | 15,9     |
| 15              | 11.8             | 10.0                | 15       |
| 16              | 11.3             | 9.8                 | 13,1     |
| 17              | 12.0             | 10.5                | 14,6     |
| 18              | 12.8             | 11.0                | 14       |
| 19              | 10.8             | 9.3                 | 20,1     |
| 20              | 13.6             | 12.0                | 16,2     |
| 21              | 14.8             | 13.0                | 18,5     |
| 22              | 13.3             | 12.0                | 15       |
| 23              | 13.9             | 12.5                | 22       |
| 24              | 10.5             | 9.0                 | 14,3     |
| 25              | 10.9             | 9.4                 | 14,6     |
| 26              | 11.7             | 10.0                | 15,3     |
| 27              | 13.8             | 12.0                | 19       |
| 28              | 11.2             | 10.5                | 14,3     |
| 29              | 13.1             | 11.4                | 17,1     |
| 30              | 10.3             | 12.2                | 12,7     |
| 31              | 12.2             | 11.0                | 18,4     |
| 32              | 13.0             | 11.8                | 20,2     |
| 33              | 11.4             | 9.8                 | 15,1     |
| 34              | 13.4             | 11.3                | 20,3     |
| 35              | 11.3             | 10.0                | 16,6     |
| 36              | 10.0             | 9.3                 | 14,8     |
| 37              | 12.8             | 11.4                | 18       |
| 38              | 13.1             | 12.1                | 17,9     |
| 39              | 11.5             | 10.0                | 15,1     |
| 40              | 12.7             | 11.2                | 17       |
| 41              | 10.2             | 9.0                 | 13,4     |
| 42              | 12.5             | 11.0                | 18,1     |
| 43              | 13.2             | 11.8                | 20,7     |
| 44              | 10.9             | 10.0                | 17,6     |
| 45              | 12.8             | 11.3                | 19       |
| 46              | 11.1             | 10.0                | 15,3     |
| 47              | 10.8             | 9.3                 | 15       |
| 48              | 13.5             | 12.0                | 18,8     |
| 49              | 14.6             | 13.0                | 19,1     |
| 50              | 13.2             | 11.8                | 17,2     |
| 51              | 15.4             | 14.0                | 17,5     |
| 52              | 13.9             | 12.0                | 15,9     |
| 53              | 10.8             | 9.3                 | 20,1     |
| 54              | 13.6             | 12.0                | 16,2     |
| 55              | 14.8             | 13.0                | 18,5     |
| <b>Total</b>    |                  |                     | 931      |
| <b>Promedio</b> |                  |                     | 16.7     |

**Tabla 11.** Parcela N° 1: *P. radiata* de 8 años de edad

| N° árbol        | Altura total (m) | Altura comercial(m) | DAP (cm) |
|-----------------|------------------|---------------------|----------|
| 1               | 10.2             | 9.0                 | 12,5     |
| 2               | 7.8              | 6.2                 | 7,6      |
| 3               | 10.0             | 8.8                 | 11,2     |
| 4               | 8.2              | 6.8                 | 11,5     |
| 5               | 10.3             | 9.0                 | 11       |
| 6               | 9.1              | 7.9                 | 9,2      |
| 7               | 9.4              | 8.0                 | 9,3      |
| 8               | 8.3              | 7.1                 | 16,2     |
| 9               | 10.0             | 8.9                 | 9        |
| 10              | 8.8              | 7.1                 | 11,1     |
| 11              | 11.0             | 9.9                 | 14,6     |
| 12              | 9.1              | 7.9                 | 9,3      |
| 13              | 7.9              | 6.4                 | 9,5      |
| 14              | 10.2             | 9.0                 | 9,5      |
| 15              | 8.6              | 7.2                 | 8,3      |
| 16              | 9.0              | 7.9                 | 9,2      |
| 17              | 9.5              | 8.0                 | 10,3     |
| 18              | 10.2             | 8.9                 | 10       |
| 19              | 9.8              | 8.1                 | 9,9      |
| 20              | 10.0             | 8.8                 | 10,1     |
| 21              | 9.9              | 10.9                | 9,3      |
| 22              | 8.9              | 7.2                 | 8,3      |
| 23              | 10.4             | 9.4                 | 11,2     |
| 24              | 8.3              | 7.0                 | 8,7      |
| 25              | 9.2              | 7.9                 | 9,3      |
| 26              | 8.2              | 6.8                 | 9        |
| 27              | 10.0             | 8.9                 | 10,2     |
| 28              | 9.2              | 7.8                 | 12,2     |
| 29              | 8.8              | 7.1                 | 9,2      |
| 30              | 9.7              | 8.3                 | 10       |
| 31              | 10.2             | 9.0                 | 10,8     |
| 32              | 9.3              | 8.0                 | 9        |
| 33              | 10.1             | 8.9                 | 12,5     |
| 34              | 9.3              | 8.8                 | 9,9      |
| 35              | 9.1              | 7.9                 | 10,2     |
| 36              | 10.1             | 8.9                 | 9        |
| 37              | 9.8              | 8.3                 | 10,8     |
| 38              | 10.3             | 9.3                 | 12       |
| 39              | 9.4              | 8.0                 | 9,9      |
| 40              | 10.7             | 9.1                 | 10,4     |
| 41              | 9.7              | 8.2                 | 21,1     |
| 42              | 8.6              | 7.4                 | 17,3     |
| 43              | 10.0             | 8.9                 | 15       |
| 44              | 8.8              | 7.1                 | 11,1     |
| 45              | 11.0             | 9.9                 | 14,6     |
| 46              | 9.1              | 7.9                 | 10,3     |
| 47              | 7.9              | 6.4                 | 10,5     |
| 48              | 10.2             | 9.0                 | 10,5     |
| 49              | 8.6              | 7.2                 | 9,3      |
| 50              | 9.0              | 7.9                 | 9,2      |
| 51              | 9.5              | 8.0                 | 10,3     |
| 52              | 10.2             | 8.9                 | 10       |
| 53              | 9.8              | 8.1                 | 9,9      |
| 54              | 10.0             | 8.8                 | 10,1     |
| <b>Total</b>    |                  |                     | 570,5    |
| <b>Promedio</b> |                  |                     | 10,6     |

**Tabla 12.** Parcela N° 2: P. radiata de 8 años de edad

| N° árbol        | Altura total (m) | Altura comercial(m) | DAP (cm) |
|-----------------|------------------|---------------------|----------|
| 1               | 9.3              | 8.0                 | 9,2      |
| 2               | 11.1             | 9.9                 | 11,4     |
| 3               | 10.4             | 9.2                 | 11,4     |
| 4               | 8.2              | 7.2                 | 14,6     |
| 5               | 7.3              | 6.1                 | 11,4     |
| 6               | 10.0             | 8.9                 | 12,3     |
| 7               | 9.6              | 8.2                 | 11,4     |
| 8               | 8.7              | 7.3                 | 12,1     |
| 9               | 8.9              | 7.4                 | 14,6     |
| 10              | 9.9              | 8.2                 | 12,2     |
| 11              | 8.4              | 7.1                 | 8,4      |
| 12              | 10.1             | 8.9                 | 9,8      |
| 13              | 9.7              | 8.2                 | 10,3     |
| 14              | 10.2             | 9.0                 | 11,3     |
| 15              | 8.9              | 7.4                 | 9,4      |
| 16              | 8.5              | 7.1                 | 10       |
| 17              | 10.0             | 8.8                 | 11,2     |
| 18              | 9.3              | 8.0                 | 10,6     |
| 19              | 11.0             | 9.8                 | 9,9      |
| 20              | 8.8              | 7.3                 | 10,4     |
| 21              | 9.3              | 8.0                 | 11,1     |
| 22              | 10.1             | 9.0                 | 12,9     |
| 23              | 11.3             | 10.1                | 11,4     |
| 24              | 9.9              | 8.3                 | 11,2     |
| 25              | 8.5              | 7.1                 | 12,3     |
| 26              | 11.7             | 10.6                | 12,8     |
| 27              | 11.0             | 9.7                 | 10       |
| 28              | 9.6              | 8.3                 | 11,5     |
| 29              | 8.4              | 7.0                 | 11,4     |
| 30              | 7.4              | 6.1                 | 8,3      |
| 31              | 10.3             | 9.0                 | 10,2     |
| 32              | 9.8              | 8.4                 | 11,5     |
| 33              | 8.2              | 7.0                 | 10,6     |
| 34              | 7.5              | 6.2                 | 11       |
| 35              | 10.1             | 8.9                 | 12,3     |
| 36              | 7.9              | 6.3                 | 10       |
| 37              | 9.4              | 8.0                 | 9,7      |
| 38              | 10.0             | 8.9                 | 9,4      |
| 39              | 9.2              | 7.8                 | 11,2     |
| 40              | 10.1             | 8.9                 | 9,8      |
| 41              | 9.7              | 8.2                 | 10,3     |
| 42              | 10.2             | 9.0                 | 11,3     |
| 43              | 8.9              | 7.4                 | 10,4     |
| 44              | 8.5              | 7.1                 | 12       |
| 45              | 10.0             | 8.8                 | 11,2     |
| 46              | 9.3              | 8.0                 | 10,6     |
| 47              | 11.0             | 9.8                 | 8,9      |
| 48              | 8.8              | 7.3                 | 12,4     |
| 49              | 9.3              | 8.0                 | 11,1     |
| 50              | 10.1             | 9.0                 | 9,9      |
| 51              | 8.3              | 7.1                 | 11,4     |
| 52              | 9.9              | 8.3                 | 11,2     |
| 53              | 8.5              | 7.1                 | 12,3     |
| <b>Total</b>    |                  |                     | 572,1    |
| <b>Promedio</b> |                  |                     | 10,8     |

**Anexo 3.** Coordenadas de las parcelas de muestreo

**tabla 13.** Coordenadas UTM

| CORDENADAS UTM |         |         |         |        |
|----------------|---------|---------|---------|--------|
| EDAD(años)     | parcela | vertice | N       | E      |
| 8              | 1       | 1       | 9240389 | 756077 |
|                |         | 2       | 9240369 | 756094 |
|                |         | 3       | 9240375 | 756112 |
|                |         | 4       | 9240384 | 756100 |
|                | 2       | 1       | 9240416 | 756198 |
|                |         | 2       | 9240401 | 756208 |
|                |         | 3       | 9240409 | 756240 |
|                |         | 4       | 9240419 | 756233 |
| 12             | 1       | 1       | 9240211 | 756269 |
|                |         | 2       | 9240225 | 756297 |
|                |         | 3       | 9240236 | 756317 |
|                |         | 4       | 9240205 | 756332 |
|                | 2       | 1       | 9240073 | 756317 |
|                |         | 2       | 9240084 | 756347 |
|                |         | 3       | 9240068 | 756355 |
|                |         | 4       | 9240063 | 756332 |
| 22             | 1       | 1       | 9238262 | 756999 |
|                |         | 2       | 9238270 | 757019 |
|                |         | 3       | 9238243 | 757036 |
|                |         | 4       | 9238223 | 757006 |
|                | 2       | 1       | 9237992 | 756076 |
|                |         | 2       | 9238000 | 756996 |
|                |         | 3       | 923798  | 757013 |
|                |         | 4       | 9237964 | 756983 |

**Anexo 4. Panel fotográfico.**



**Foto 1.** Vista de la zona de estudio



**Foto 2.** Delimitación de las parcelas de muestreo



**Foto.3** Medición de los árboles dentro de la parcela