

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**



**“ESTUDIO DE LA CALIDAD DE SITIO PARA *Pinus radiata*  
D. Don. EN LAS PLANTACIONES DE GRANJA PORCÓN,  
CAJAMARCA”**

## **T E S I S**

**Para Optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO FORESTAL**

**Presentado por el Bachiller:**

**DAVID HUARIPATA CHILÓN**

**ASESORES:**

**ING. CARLOS ESPINO DÍAZ**

**ING. M.SC. WILFREDO POMA ROJAS**

**Cajamarca – Perú**

**2013**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**  
**Cajamarca – Perú - Telef. 044-365846**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

En Cajamarca, a los veinte siete días del mes de septiembre del Año dos mil trece, se reunieron en el ambiente de: 2C-201 del a Facultad de Ciencias Agrarias, los integrantes del Jurado designado por el Consejo de Facultad de ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 052-2012-FCA-UNC, Fecha 16/05/2012, con el objeto de Evaluar la sustentación de la tesis titulada: “ESTUDIO DE LA CALIDAD DE SITIO PARA *Pinus radita* D. Dom. EN LAS PLANTACIONES DE GRANJA PORCON”, la misma que fue sustentada por el Bachiller en Ciencias Forestales: Sr. **DAVID HUARIPATA CHILÓN**, que opta el título profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

A las doce horas y veinte minutos y de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio pro iniciado el acto. Después de la exposición del trabajo, formulación de preguntas y de la deliberación del Jurado, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad con el calificativo de diesei seis (16).

Por lo tanto, el graduado queda expedido para que se le expida el **Título Profesional** correspondiente.

A las trece horas y cincuenta minutos, el presidente del Jurado dio por concluido l acto.

Cajamarca 27 de septiembre del 2013

.....  
Ing° M.Sc. Atilio Cadenillas Martínez  
**PRESIDENTE**

.....  
Ing° M.Sc. Walter Roncal Briones  
**SECRETARIO**

.....  
Ing° Luis Dávila Estela  
**VOCAL**

.....  
Ing° Carlos Espino Díaz  
**ASESOR**

.....  
Ing° M.Sc. Wilfredo Poma Rojas  
**ASESOR**

A mis padres,  
por enseñarme con sus actos el significado de las palabras  
compromiso y sacrificio

## **AGRADECIMIENTO**

Todo se lo debo a Dios mi Padre Celestial, el autor de mi destino, quien ilumina mis pasos y ha permitido llegar hasta donde estoy ahora. Gracias buen Dios por darme una linda familia, unos buenos y sinceros amigos, y por permitirme tener los mejores maestros a quienes los llevo en mi corazón, gracias Padre, porque sé que nunca me dejarás solo.

Un agradecimiento de forma muy especial a mis asesores, al Ingeniero Carlos Espino Díaz y al Ingeniero Wilfredo Poma Rojas, quienes supieron orientarme de forma muy particular, para la culminación del presente estudio.

## ÍNDICE:

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I:</b>	<b>12</b>
<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>12</b>
<b>1.1. DESCRIPCIÓN DENDROLÓGICA Y SILVICULTURAL</b>	<b>12</b>
1.1.1. Taxonomía y descripción morfológica de la especie	12
1.1.2. Procedencia	14
<b>1.2. LA CALIDAD DEL SITIO: DEFINICIONES E IMPORTANCIA</b>	<b>15</b>
1.2.1. El sitio como concepto general	15
1.2.2. Conceptos de calidad de sitio	15
1.2.3. Importancia de la calidad de sitio	17
1.2.4. Evaluación de la calidad de sitio	18
1.2.5. Métodos para evaluar la calidad de sitio	20
1.2.6. Estimación de la calidad de sitio basado en datos de altura del rodal	21
<b>1.3. Factores ambientales asociados con la productividad de los pinos</b>	<b>22</b>
1.3.1. Factores climáticos	22
1.3.2. Factor altitud (msnm) y latitud	24
1.3.3. Factores topográficos	25
1.3.4. Factores edáficos	27
<b>CAPITULO II</b>	<b>33</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>33</b>
<b>2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>33</b>
2.1.1. Ubicación	33
2.1.2. Clima	34
2.1.3. Hidrografía	35
2.1.4. Geología	35
2.1.5. Geomorfología	35
2.1.6. Fisiografía	36
2.1.7. Suelos	36
<b>2.2. MATERIALES Y EQUIPOS</b>	<b>37</b>
<b>2.3. METODOLOGÍA</b>	<b>38</b>
2.3.1. Evaluación del crecimiento	38
2.3.1.1. Levantamiento topográfico	38
2.3.2. Fase de gabinete	42
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>48</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>	<b>48</b>
<b>3.1. PARCELACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>48</b>
<b>3.2. DETERMINACIÓN DEL CRECIMIENTO DE <i>Pinus radiata</i></b>	<b>51</b>
<b>3.3. EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS FACTORES EDÁFICOS EN EL <i>Pinus radiata</i></b>	<b>54</b>

<b>3.4. EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE INFLUENCIA DE LOS FACTORES TOPOGRÁFICO</b>	<b>59</b>
<b>3.5. DE LA DETERMINACIÓN DE LAS CALIDADES DE SITIO</b>	<b>63</b>
<b>3.6. DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS CALIDADES DE SITIO</b>	<b>69</b>
<b>3.7. DEL MODELAMIENTO DE LA ESTIMACIÓN DEL SITIO Y CRECIMIENTO</b>	<b>70</b>
3.5.1 Análisis de correlación lineal múltiple	70
<b><i>CAPÍTULO V:</i></b>	<b>78</b>
<b><i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i></b>	<b>78</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES</b>	<b>78</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES</b>	<b>81</b>
<b><i>BIBLIOGRAFÍA</i></b>	<b>82</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### Tablas

1.	Clasificación de variables	46
2.	Ubicación geográfica de las parcelas experimentales	51
3.	Distribución de parámetros dasométricos y estadísticos descriptivos	52
4.	Resultado del Análisis de suelos por calidad de sitio	53
5.	Representación del tipo pendiente por parcelas	59
6.	Descriptivos estadísticos de la altura dominante por parcelas	62
7.	ANOVA para la altura dominante	63
8.	Prueba de significancia (método de SCHEFFE)	64
9.	Matriz de correlación línea múltiple de PERSON en función a los valores F (valores de significancia)	68
10.	Matriz de correlación lineal múltiple de PEARSON, en función a los valores R (coeficiente de correlación)	69
11.	Coefficiente de Correlación de Pearson	70
12.	Resumen del modelo de regresión lineal múltiple	72
13.	ANOVA DEL MODELO DE REGRESIÓN	73
14.	Coefficientes del modelo de regresión lineal múltiple	74

### Mapas

1.	Ubicación y vías de acceso del área de estudio	37
2.	distribución de parcelas de forma aleatoria	49
3.	Perimétrico del área de estudio y distribución espacial de parcelas	50
4.	Alturas clasificadas	58
5.	Pendientes clasificadas	59
6.	Orientación o aspectos	61
7.	Calidades de sitio	65

### Figuras

1.	Diagrama de dispersión de correlación de PEARSON, entre la altura dominante y la pendiente	60
2.	Distribución de las medias de las alturas por grupos	63
3.	Distribución lineal de parámetros dasométricos de las calidades de sitio	66

## RESUMEN

The principal aim of this investigation was to determine the quality of site of the plantations of *Pinusradiata* D. Don, and the influence of the ecological factors in the modelamiento of his growth of the height; the above mentioned plantations are located in the CAT Atahualpa - Jerusalem to 3,350 msnm in the province and Cajamarca's department. The methodological applied process was the estimation of the " Index of site ". For this the behavior of the variables was analyzed dendrológicas and ecological (such as the slope, the exhibition and the characteristics edáficas) of each of 14 plots established in the area of study.

For the estimation of the Quality of Site and of the Model of Growth of the *Pinusradiata* there were applied the technologies of regression and correlation between the dependent variable (height) and the independent variables (ecological variables). All these mentioned analyses and others more allowed us to determine three Qualities of Site (CS-I, CS-II and CS-III) and the Model of Growth (formula) of the *Pinusradiata*. The latter will allow us to determine qualities of site and to estimate the growth in height that the *Pinusradiata* might have to the age of 20 years in other zones across the technologies of extrapolation. The certain model expresses of the following way:

$$Y = 27,162 - 5,01(\text{pH}) + 0,31(\text{MO}) - 1,572(\text{N}) + 0,059(\text{PE}) + 0,255(\text{CC})$$

Dónde: pH = Potencial de hidrogeno; MO = Materia Orgánica; N = Nitrógeno; PT = Profundidad Total; CC = Capacidad de Campo y 27,169 = Constante.

**Palabras claves:** *Pinus radiata*, plantación de pino, calidad de sitio, índice de sitio, factores ambientales, Granja Porcón.



## ABSTRACT

The knowledge of the qualities of site, it is a valuable tool for the development of works silvícolas and for the capture of decisions in relation to the forest and to the forest plantations CAT Atahualpa – Jerusalén to 3.350 msnm in cities departamento Cajamarca. It must be one of the first aspects to take in consideration in any program or project of forest managing. The applied methodology was the estimation of the "Index of site". For this, there established themselves in field a total of 14 circular plots of 500 m<sup>2</sup> each one with a radius of 12.6 m. In each of the plots 6 dominant trees were evaluated with his respective DAP (diameter at a height of the chest), also they were done calicatas to take samples of soil of the horizon "A", and decided his respective physical and chemical analyses; in addition the effective depth of the soil was evaluated, there measured up the percentage and the exhibition of the slope.

In the estimation of the Quality of Site and the Model of Growth of the *Pinusradiata* they were realized of analysis of linear multiple correlation, linear simple correlation and linear multiple regression, using all the independent variables and the dependent variable. All these previous and different analyses more, they allowed to determine three Qualities of Site (CS-I, CS-II and CS-II) and the Model of Growth (formulates) of the *Pinusradiata*, the latter allows to determine qualities of site and to estimate the growth in height that the *Pinusradiata* might have to the age of 20 years. The certain model expresses of the following way:

$$Y = 27,162 - 5,01(\text{pH}) + 0,31(\text{MO}) - 1,572(\text{N}) + 0,059(\text{PE}) + 0,255(\text{CC})$$

Where: pH = Potential of hydrogen; MO = Organic Matter; N = Nitrogen; PE = Effective Depth; CC = Field capacity and 27,169 = Constant.

Keywords: *Pinusradiata*, plantation of pine, quality of site, index of site, Farm Porcón.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente existe consenso a nivel mundial, sobre la necesidad de aplicar en los sistemas forestales de todo el planeta lo que se ha definido como una gestión forestal sostenible, es decir, aquella ambientalmente responsable, socialmente beneficiosa y económicamente viable (Diéguez *et al.* 2009). La ciencia forestal, después de más de doscientos años de experiencias, ha creado métodos muy diferentes para la consecución del objetivo de sostenibilidad, en consonancia con la enorme diversidad de sistemas forestales existentes en todo el mundo (Gadow 2001).

Los sistemas actuales de gestión forestal sostenible aplican modernas herramientas silvícolas, tales como modelos de crecimiento (curvas de calidad de estación, tablas de producción, diagramas de manejo de la densidad, modelos de árbol individual, etc.) y otras herramientas silvícolas (tarifas de cubicación con clasificación de productos, ecuaciones de biomasa, etc.) de apoyo para la gestión forestal. Estas y otras tecnologías innovadoras nos permitirán cumplir con los objetivos mundiales de gestión forestal sostenible (Diéguez *et al.* 2009).

Es así que desde el inicio de la ciencia forestal a finales del siglo XVIII, uno de los principales deseos de los gestores e investigadores forestales ha sido poder estimar la producción de los montes y, lo que es más complejo, predecirla con suficiente antelación. El crecimiento y la producción de los rodales forestales de una determinada especie o mezcla de especies están en gran parte determinados por cuatro factores (Clutter *et al.* 1983):

1. La edad del rodal o, en el caso de rodales irregulares, la distribución de edades.
2. La capacidad de producción innata del área que soporta la masa.
3. El grado de utilización de esa capacidad productiva en el pasado y en el momento actual.
4. Los tratamientos culturales aplicados (clareos, claras, fertilización, control de la vegetación competidora, etc.).

El segundo factor mencionado, la capacidad de producción innata de un área determinada, se denomina generalmente calidad de estación. El tercer factor, la ocupación de la estación, es en gran medida sinónimo del concepto de densidad de la masa.

En este marco, conscientes de la necesidad de herramientas básicas para la gestión forestal sostenible y aprovechando las plantaciones de CAT Atahualpa – Jerusalén, se proporciona una oportunidad para conocer la calidad de sitio para la especie forestal *Pinus radiata*, la cual se considera como una herramienta básica para tomar decisiones y programar las actividades silvícolas, ya que nos servirá para: (i) comparar diferentes calidades de sitio entre sí, (ii) comprobar posibles limitaciones en el crecimiento o producción de la masa forestal, (iii) prever y comparar las producciones futuras de la masa forestal en diferentes zonas, (iv) determinar el valor potencial del bosque, (v) por comparación establecer las mejores zonas de plantación que garanticen una producción y productividad óptima.

Por todo lo antes mencionado, el estudio es de vital importancia, cuyos objetivos planteados para el desarrollo de la presente tesis es:

### **Objetivo general**

- Evaluar el efecto de los factores edáficos y topográficos en la determinación de la calidad del sitio de la plantación forestal de *Pinus radiata*, en la cooperativa Granja Porcón - Cajamarca.

### **Objetivos específicos**

- Estimar la productividad del *Pinus radiata*, en función al crecimiento en altura, a la edad de 20 años.
- Ajustar un modelo matemático a las variables altura - edad de *Pinus radiata*, derivado del análisis fustal de los árboles muestreados, generando un modelo para estimar el índice de sitio de dicha especie.
- Caracterizar la variación edáfica y topográfica en el área de estudio.

### **Hipótesis**

Con base a los objetivos de este estudio, se plantea las siguientes hipótesis:

#### **Hipótesis nula**

- La variación ambiental (topográfica y edáfica) está asociada con la productividad de los rodales de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. en la zona de estudio y es posible predecir su productividad a partir de algunas variables ambientales.

#### **Hipótesis alterna**

- La variación ambiental (topográfica y edáfica) no está asociada con la productividad de los rodales de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. en la zona de estudio y no es posible predecir su productividad a partir de algunas variables ambientales.

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 1.1. DESCRIPCIÓN DENDROLÓGICA Y SILVICULTURAL

##### 1.1.1. Taxonomía y descripción morfológica de la especie

La especie forestal en estudio taxonómicamente se clasifica de la siguiente manera (Trópicos, 2013):

Reino	: Vegetal
Grupo	: Gymnospermae
Clase	: Equisetopsida C. Agardh
Subclase	: Pinidae Cronquist, Takht. & W. Zimm.
Orden	: Pinales Gorozh.
Familia	: Pinaceae Spreng. ex Rudolphi
Género	: Pinus L.
Especie	: <i>P. radiata</i> D. Don

El *Pinus radiata* es un árbol de 30 a 50 m de altura, su tronco puede medir más de 100 cm de diámetro, ramas verticiladas, corteza gris verdosa cuando jóvenes afirmado por Basset, H. (1936). Con 3 acículas por fascículo, conos ovoides asimétricos en su base.

Es de crecimiento rápido en sitios de buena calidad. En la localidad de Camani - Puno, a los 13 años los pinos tienen un altura promedio de 12 m; López, R. y González, M. (1980); estos mismos autores, en Tahuaco - Perú, obtuvo volúmenes de

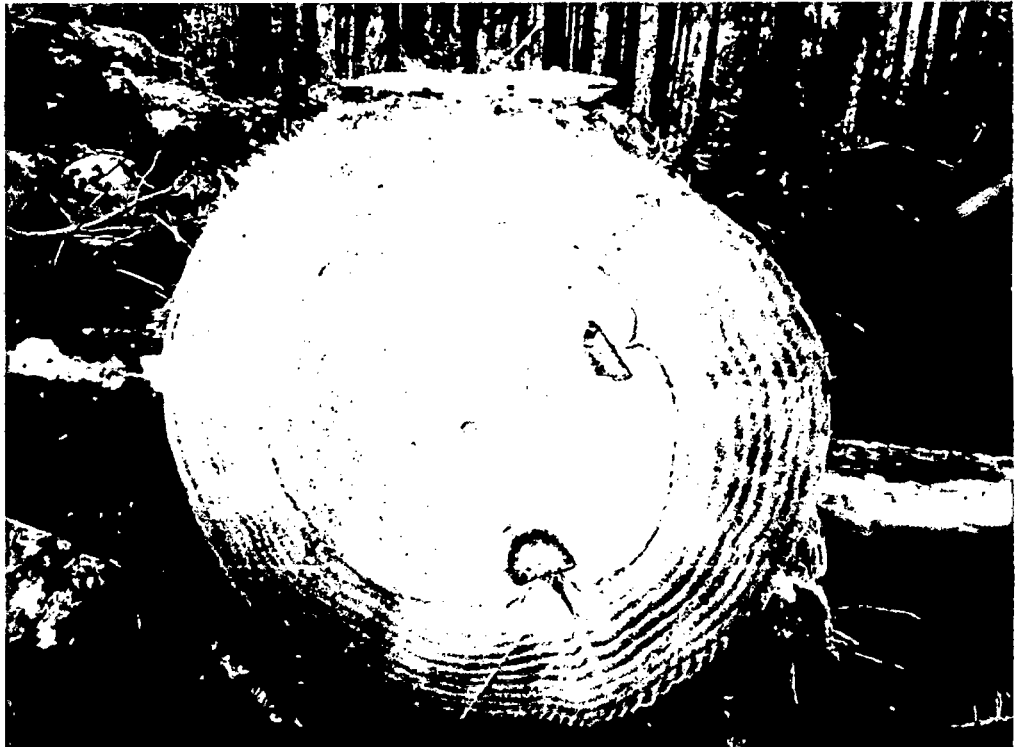
16 y 21 m<sup>3</sup>/ha en parcelas de 0.1 ha; a una edad de 9 años, no indica las características del sitio.

Gonzales, M. (1975), en base a la edad y volumen calculado en 5 parcelas de 100 m<sup>2</sup> en promedio, elaboró una función matemática que permite estimar la producción de *Pinus radiata* en Cajamarca. Así a una edad de 7 años se estima una producción de 44.4 m<sup>3</sup>/ha.

Picard, L. (1978), en Cajamarca en la localidad de Sunchubamba, ubico 9 parcelas en árboles de 12 años de edad con una altura dominante entre 15.8 y 16.6 m.

En el ábaco de Lewis para dos clases de fertilidad (Nueva Zelanda y Chile), determinó que pertenecen a las clases de fertilidad II de Nueva Zelanda y III de Chile con un IMA de 24 m<sup>3</sup> a la edad de 20 años y 31 m<sup>3</sup> a los 24 años respectivamente.

**Características externas de la madera,**Albura de color blanco, con transición gradual a duramen de color amarillo pálido, aumentando su intensidad a marrón muy pálido. Olor característico a madera resinosa, fragante cuando está fresca. Sabor ausente o no distintivo. Brillo mediano. Grano recto. Textura fina. Veteado suaves con líneas longitudinales oscurasBasset, H. (1936).



Fotografía 1. Corte transversal de tronco en el cual se aprecian los anillos de crecimiento

### **1.1.2. Procedencia**

Es originario de la región costanera del estado de California EEUU, crece óptimamente en regiones con precipitaciones mayores de 300 mm, con presencia de neblina según Basset(1936).

Crece sin dificultades en suelos con profundidades superiores a un metro, no crece adecuadamente en suelos muy arcillosos, no tolera suelos con mal drenaje según Basset (1936).

## **1.2.LA CALIDAD DEL SITIO: DEFINICIONES E IMPORTANCIA**

### **1.2.1. El sitio como concepto general**

El sitio es un lugar definido sobre la superficie de la tierra, sobre el cual influyen diferentes factores: suelo, clima, vegetación, topografía, y actividades antropogénicas.

El término “sitio”, tal y como se define para terrenos forestales, implícitamente incluye todo el complejo de condiciones ambientales (De las Salas 1974).

Como el estudio corresponde a las ciencias forestales, tomaremos el concepto de sitio forestal según Diéguez *et al.* 2009, quien define a la estación forestal como una unidad geográfica más o menos uniforme en lo que respecta a los factores del medio (clima, suelo y topografía, fundamentalmente) y, por tanto, con una respuesta uniforme por parte de la biocenosis. Cuanto más restrictiva sea la interpretación de la uniformidad interna de la estación menor será, por lo general, su superficie. Por tanto, la estación engloba multitud de factores ambientales interactuando y que afectan al desarrollo de la vegetación.

### **1.2.2. Conceptos de calidad de sitio**

En el contexto del manejo forestal, la calidad de sitio puede ser definida como la capacidad potencial de un sitio de sostener una producción de madera de una especie o tipo de bosque en particular, producto de una interrelación de factores topográficos, edáficos, bióticos y climáticos (De Las Salas 1974, Clustter *et al.* 1983; Stif *et al.* 1991).



En términos generales cuando se evalúa la calidad de sitio, se está evaluando la productividad de ese sitio en función de su capacidad para producir madera en un tiempo determinado (Daniel 1982).

La calidad de sitio es algo dinámico y puede ser modificada por la silvicultura o actividades que ejercen su influencia sobre los factores de sitio (Heigberg y White 1976).

Diferentes tratamientos aplicados al suelo y/o al bosque pueden jugar un papel importante en cuanto a mejorar, mantener o empeorar la calidad de sitio. Así por ejemplo, la ejecución de prácticas de conservación de suelos, tales como obras de conservación, estructuras de drenaje, uso de abonos verdes, etc. pueden contribuir a mejorar la capacidad potencial de producción de madera de un sitio; mientras que actividades de extracción como la compactación y/o exposición del suelo a la erosión, pueden degradar la calidad de sitio (Heigberg y White 1976).

La calidad de estación se puede definir como la capacidad productiva de un lugar concreto para el crecimiento de los árboles de una determinada especie como respuesta a la totalidad de las condiciones ambientales existentes. Es decir, la calidad de una estación forestal es su “poder productivo”, o su “virtualidad productiva”, por lo que se puede considerar, entonces, como una propiedad inherente del terreno, haya o no árboles creciendo en un momento determinado (Davis et al., 2001). Sin embargo, determinadas intervenciones humanas pueden modificar esa capacidad productiva inherente de un terreno, como por ejemplo fertilizaciones, laboreos, drenajes, etc. (Diéguez *et al.* 2009).

### **1.2.3. Importancia de la calidad de sitio**

Cada sitio tiene características propias de clima, fisiografía, suelo y vegetación, que le permiten proveer determinados factores de crecimiento al árbol. Por otra parte, cada especie se desempeña mejor que otras en un sector determinado dentro de los gradientes ambientales. En la medida que las condiciones de un sitio se alejan de los gradientes óptimos requeridos por una especie, la calidad de ese sitio para esa especie normalmente disminuye (Finegan 1994).

La productividad forestal varía considerablemente en función de la calidad de sitio. Por tal razón es muy importante conocer y evaluar las variables que más influyen en la calidad de un sitio para una especie determinada. El conocimiento de la calidad del sitio, es una valiosa herramienta para planificar trabajos silvícolas y para tomar decisiones económicas en programas de ordenación forestal y de reforestación (Castaños 1962).

Clutter *et al.* (1983) señalan que, una Total evaluación de la calidad de sitio tiene aplicación práctica debido a que los productos generados por un bosque dependen de la calidad del sitio y la densidad del rodal. Inversiones justificables en buenos sitios, pueden constituir una mala inversión en otros sitios menos productivos. Por otra parte, la respuesta a diferentes tratamientos silviculturales difiere marcadamente entre áreas con distintas calidades de sitio.

Las siguientes razones justifican la importancia que tiene en la gestión forestal estimar correctamente la calidad de estación (Diéguez *et al.* 2009).:

- Las estimaciones de la calidad de estación se pueden utilizar para identificar terrenos que sean más (o menos) apropiados para el crecimiento de diferentes especies arbóreas (por ejemplo, a la hora de implantar una especie mediante repoblación).
- El tamaño de los productos maderables y sus valores a diferentes edades están, en gran parte, controlados por la calidad de estación (y por la densidad de la masa).
- La respuesta a determinados tratamientos culturales a menudo difiere drásticamente entre áreas de distinta calidad de estación. Por ello, ciertas inversiones que para una determinada especie están plenamente justificadas en estaciones de buena calidad constituyen desastres económicos en las estaciones menos productivas.

La estación forestal es, en sentido estricto, independiente de la especie, la calidad de estación tiene significado únicamente con respecto a la especie o especies que se pueden considerar en la gestión de una localización particular (Clutteret *al.* 1983).

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

La evaluación de la calidad de sitio tiene por objeto determinar el potencial de sitio para producir árboles; cuando la evaluación se realiza por métodos cuantitativos, se facilita la designación del uso de las áreas forestales en base a su capacidad productiva y la selección de las especies más apropiadas para obtener los productos y bienes que de ellos se desea. A demás, permite distribuir las inversiones de acuerdo con el potencial productivo de cada sitio.

La evaluación de la calidad de sitio toma en cuenta tanto el crecimiento de los árboles, como los factores ambientales que lo determinan; desafortunadamente, como establece Marden (1970), ni el crecimiento, ni el ambiente pueden ser medidos con precisión. Es por esto que el mejoramiento de los métodos de evaluación proporciona elementos para una mejor evaluación del sitio, la cual a su vez, ayuda a la comprensión de los patrones de crecimiento y facilita la selección de los factores ambientales a ser tomados en cuenta en las mediciones. De allí la importancia de los estudios de evaluación de la calidad de sitio dentro del campo forestal, como el elemento integrador. Además como lo demuestra Ralston (1964), las aplicaciones de evaluación de la calidad de sitio, se hacen más importantes cuando se trata de manejo forestal intensivo. Los campos de aplicación se extienden desde la valoración de terrenos, análisis económico de las operaciones silviculturales, estimación del crecimiento y rendimiento, ordenación y asignación de cortas, distribución de carreteras, hasta la ubicación de centros de acopio de trozas. Thornton (1959), da ejemplos de la aplicación de la evaluación de la calidad de sitio a un bosque industrial extenso.

Los métodos de estudio y evaluación de la calidad de sitio se desarrollaron en las regiones templadas, donde vienen siendo aplicadas para la determinación de la productividad de los terrenos para diversos usos. En América Latina son pocos los países en donde se han realizado estudios de calidad de sitio. (De Las Salas 1974), informa que Brasil y Chile poseen ya estudios de calidad de sitio, para sus extensas plantaciones de Eucalipto y Pino.

### **1.2.5.Métodos para evaluar la calidad de sitio**

Diversos métodos han sido desarrollados para cuantificar la calidad del sitio. Algunos investigadores (Carmean 1975; Clutter *et al.* 1983), clasifican estos métodos en directos o indirectos, dependiendo de la presencia o ausencia de las especies de interés en los sitios a evaluar, y de las variables a considerar; de acuerdo con esos autores, los métodos se pueden clasificar de la siguiente manera:

#### **a) métodos directos (factores intrínsecos):**

- Estimación por medio de registros históricos del rendimiento en parcelas permanentes de muestreo;
- Estimación con base en datos del volumen del rodal;
- Estimación con base en datos de la altura del rodal (índice de sitio).

#### **b) métodos indirectos (factores extrínsecos)según Ortega y Montero 1988**

- Estimación por factores de la biocenosis (especies o asociaciones indicadoras);
- Estimación a partir de factores de biotopo (edáficos topográficos y climáticos)

La mayor dificultad para evaluar la calidad de la estación es encontrar factores que sean buenos indicadores de la productividad potencial. La estimación por factores intrínsecos del rodal (evolución con la edad de alguna variable dasométrica) requiere que hayan existido o existan en la actualidad la especie o las especies de interés en la localización concreta para la que se desea evaluar la calidad de estación (lógicamente, la existencia pasada es útil sólo si las mediciones se hicieron en su tiempo y se guardaron hasta el presente). Esta metodología permite expresar de forma global la incidencia de los factores ecológicos, pero no puede aplicarse si no existe la masa o

ésta se presenta muy alterada. En tal caso debe recurrirse al empleo de factores extrínsecos (clima, suelo, vegetación, etc.).

De las características intrínsecas, el volumen por unidad de superficie es la variable dasométrica que refleja más directamente la capacidad productiva de la estación. Sin embargo, tiene como inconvenientes el estar influenciado por la densidad del rodal, la dificultad de su medición en pie con precisión y la necesidad de conocer el volumen extraído en claras y el perdido por causas naturales (mortalidad natural). Por tal motivo, la calidad de la estación forestal se evalúa generalmente en función del ritmo de crecimiento en altura de los árboles que crecen en condiciones de poca competencia (Diéguez *et al.* 2009).

Según el fundamento teórico antes mencionado en el presente documento se describen únicamente el método basado en la altura del rodal, específicamente el concepto de índice de sitio, y la construcción de modelos de índice de sitio a partir de variables topográficas y edáficas, por ser la metodología utilizada en la presente investigación.

#### **1.2.6. Estimación de la calidad de sitio basado en datos de altura del rodal**

La utilización del crecimiento en altura de los árboles que viven en condiciones de poca competencia como indicador de la calidad de estación de un rodal forestal se justifica debido a que, para muchas especies, áreas de buena calidad de estación son también áreas de buenos crecimientos en altura. En otras palabras, para la mayoría de las especies la producción potencial en volumen y el crecimiento en altura están positivamente correlacionados.

La utilidad práctica de dicha correlación proviene de la evidencia empírica que indica que el patrón de crecimiento en altura de los árboles de mayores dimensiones en masas regulares (correspondientes a las clases sociológicas dominante y codominante, y por tanto con poca competencia de los restantes árboles) está poco afectado por la densidad del rodal y por las cortas intermedias efectuadas (excepto cuando se trata de claras por lo alto, por otra parte poco frecuentes), dentro de unos límites moderadamente amplios de espaciamiento que dependen de la especie (Clutter *et al.* 1983). Por ello, las técnicas más habituales para estimar la calidad de estación de un rodal se basan en el análisis de la evolución con la edad de la altura media de los árboles dominantes, que se denomina altura dominante

La forma más habitual de referenciar la calidad de estación utilizando la relación altura dominante-edad en rodales regulares es utilizar el denominado índice de sitio, que se define como el valor de su altura dominante a una determinada edad base o de referencia. Aunque la verdadera productividad de la estación no puede representarse completamente por el índice de sitio, este concepto es el más ampliamente aceptado, y quizás el más sencillo, para estimarla (Diéguez *et al.* 2009).

### **1.3. Factores ambientales asociados con la productividad de los pinos**

#### **1.3.1. Factores climáticos**

Según Donoso (1981), la precipitación y la temperatura son los factores del clima que tienen mayor influencia sobre la distribución y el crecimiento de los bosques, y puede usarse como índice de productividad forestal a nivel regional.

Este autor señala que, aunque se han establecido correlación entre precipitación y el crecimiento, éste factor está fuertemente afectado por las características del suelo y de la topografía, e interactúan con la temperatura de tal modo que por sí solo es un factor de poco valor como indicador de la productividad del sitio.

Fourt y Cols. (1971) citado por Pritchett. (1991) informaron que los factores climáticos que influían de manera más significativa en la producción de *Pinus nigra* del sur de Inglaterra, fueron temperatura media de invierno y la luz solar durante la estación de crecimiento.

Stiffet *al.* (1991), encontraron que la productividad de *P. oocarpa* en Honduras, aumentaba positivamente con la precipitación; sin embargo, señalan que su efecto se debe principalmente a la forma en que se distribuyen las lluvias durante el año.

La distribución de las lluvias juega un papel importante en la productividad de los pinos. Al respecto Wolffsohn (1982) encontró que *P. caribaea* puede comportarse bien en cualquier clima húmedo tropical, pero hay una tendencia a formar “cola de zorro” (característica no deseable según este autor) en lugares sin época seca bien diferenciada. Otras especies de pino como *P. durangensis*, *P. cooperi* y *P. arizonica*, crecen en clima frío o templado – frío, pero solamente donde hay una estación seca bien definida (Verduzco *et al.* 1962).

Por lo general, el efecto de las variables climáticas sobre la calidad de sitio, se puede notar solo en regiones relativamente amplias; sin embargo la topografía puede causar cambios en variables climáticas en áreas relativamente pequeñas (Barros 1981).



### 1.3.2. Factor altitud (msnm) y latitud

La altitud o altura sobre el nivel del mar, es un importante factor que influye en la variación geográfica de la temperatura. En general, la temperatura del aire disminuye con el aumento de altitud debido a que la atmosfera se hace menos densa y más seca, siendo, por lo tanto, menos capaz de absorber calor (Donoso 1981).

Cada especie tiene un rango altitudinal donde se desarrollan mejor. Para el caso del *Pinus radiata* se ha determinado que aunque tiene un amplio rango de distribución, esta se desarrolla mejor entre los 800 y 1700 msnm. en su zona natural (Perez *et al.* 1990). Es de esperarse que dentro de este rango altitudinal la especie exprese mejor su potencial productivo bajo diferentes factores del sitio

Según (Castaños 1962), después de la profundidad total del suelo, la latitud es el factor que más explica la variación del índice de sitio para *P. patula* en la región norte de Oaxaca, México; por su relación con la temperatura y la precipitación fluvial.

La latitud es la medida expresada en grados del mayor a menor distanciamiento de una zona de la línea ecuatorial. Determina la temperatura media, los ciclos térmicos a lo largo del año, así como los rangos de variación de la temperatura. Condiciona también la existencia de masas de aire frío a calientes provenientes del polo o del ecuador y la frecuencia de heladas, el número de horas luz y la radiación total incidente.

Estos fenómenos sin embargo no dependen exclusivamente de la latitud, guardan también estrecha relación con la altitud. Cuando se asciende desde el nivel del mar hasta las cumbres mas elevadas, la temperatura media desciende progresivamente las montañas en fajas o pisos altitudinales delimitadas por bio-temperatura media anual, coincidentes con determinadas alturas, validas por localidades. Es por ello que es posible afirmar que la altitud y latitud combinadas dan las características climáticas principales, temperatura, precipitación y evapotranspiración; que condicionan indirectamente a través del clima las propiedades del suelo, dando lugar a grandes grupos climáticos zonales según Wilde (1958).

### **1.3.3. Factores topográficos**

Hannah citado por Jadan (1972); en la estimación de índice de sitio en base a las características topográficas encontró que la ecuación basada en la edad del árbol y las características topográficas son responsables del cincuenta y cinco por ciento de la variación de la altura de los árboles.

La topografía se relaciona con el microclima, y a través de sus tres elementos: exposición y posición modifican el contenido de humedad del suelo y el régimen de nutrición. Así, tiene una marcada influencia sobre la calidad de sitio (Auten 1945; Barros 1981); mientras que Donoso (1981), menciona que, la exposición y pendiente tienen un notable efecto sobre la distribución de la vegetación en las regiones montañosas.

La exposición noreste es la más fría y húmeda según Warming y Wagner citado por (Aguirre 1977); la exposición sureste es la más caliente y recibe la mayor cantidad de luz; mientras el contenido de humedad de diferentes exposiciones varía con la dirección de la lluvia o vientos secos; las laderas noreste y noroeste retienen mayor cantidad de humedad a causa de temperaturas más bajas y evaporación moderada.

No hay un criterio unificado en cuanto a cuál es la exposición óptima para el desarrollo de los pinos, pero si diversos autores reconocen la importancia del factor exposición en relación al microclima.

En el norte de Oaxaca, México, rodales de *P. pátula* con exposiciones oeste tienen índice de sitios hasta 2.5 veces mayor que aquellos con exposición este, cuando el resto de variables permanecen aproximadamente iguales (Castaños 1962).

Estas diferencias, las atribuye el autor al hecho que la exposición tiene influencia sobre la insolación, la temperatura, los vientos y la humedad del suelo y del aire. Los pinos por ser especies heliófitas, es de esperar que tengan un mejor desarrollo en aquellos sitios donde la exposición de la pendiente permita una mayor insolación.

Vásquez (1987) observó que, en plantaciones de *P. caribaeavar. hondurensis*, la posición topográfica y el drenaje interno tenían una relación aparente directa con la calidad de sitio.

Arteaga (1988), encontró que *P. patula* en la región de Chignahuapan – Zacatlan, Puebla, México, logra su óptimo desarrollo en la exposición noreste y menor

desarrollo en la exposición sur. Este autor también encontró que pendientes hasta de 25%, tienen un efecto positivo sobre el crecimiento en altura de esa especie, a partir de ahí empieza a tener efecto curvilíneo negativo.

Stiffet *al.* (1991) encontraron que a medida que aumenta la pendiente, menor es la productividad de *P. oocarpa* en las tierras altas del centro de Honduras. Esto posiblemente se deba a que normalmente a mayor pendiente la calidad y cantidad de suelo disponible para el crecimiento es menor.

Einspahr y Mc Com citado por Jadan (1972) estudiando índices de sitio del roble en relación con las características topográficas en NE de Iowa encontraron relación entre el índice de sitio y la pendiente, la prueba de “t” resulto ser altamente significativa

#### **1.3.4. Factores edáficos**

Diversos estudios relacionados con la calidad de sitio de bosques pinares, coinciden en señalar que los factores asociados con el drenaje del suelo, son los que más influyen en el crecimiento y desarrollo de los pinos.

Para Pritchett (1991), el crecimiento lento de los árboles en suelo altamente intemperizados, en arenas cuarzosas y en algunos suelos alcalinos, a menudo se debe a factores estrictamente químicos. Las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos tienen profundos efectos sobre la tasa de crecimiento de las raíces en su desarrollo y, hasta un grado considerable, sobre el tipo y extensión de los sistemas

radicales de los árboles establecidos; además sostiene que la mayoría de los pinos tienen la facultad inherente de producir sistemas radicales extensos especialmente sobre suelos arenosos profundos. Por lo general, los pinos tienen una masa radical menor en los suelos de textura fina que en los arenosos y las raíces en los primeros suelos tienden a ser más gruesas, más cortas y menos ramificadas, finalmente acota que la compactación del suelo puede afectar tanto el tamaño como la distribución de los sistemas radicales de los árboles plantados, independientemente de la textura del suelo.

Wolffshon (1982) señala que, raramente se encuentran pinos naturales creciendo bien, en suelos con capa impermeables dentro de los primeros cien centímetros de profundidad y los pinos plantados en tales sitios crecen lentamente y son más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades. Este autor señala además que, la profundidad hasta un horizonte moteado o a un horizonte impermeable son probablemente los factores más críticos en la productividad de *P. caribaea*.

Ortega (1986) encontró que las diferencias entre las mejores o peores clases de sitio en rodales jóvenes de *P. caribaea* var. *Hondurensis* en Turrialba, Costa Rica, podrían atribuirse a diferencias en las condiciones de drenaje. Esta conclusión también fue señalada por Isolan (1972).

Stiffet *al.* (1991) señalan que, las áreas planas y ligeramente cóncavas pobremente drenadas no son adecuadas para el crecimiento de *P. oocarpa*, en las tierras altas del centro de Honduras.

Chávez y Gómez (1985) en el cerro de la cruz, Michoacan, encontraron que existía una relación clara y directa del buen desarrollo de la masa con el aumento del tamaño de la partícula del suelo, posiblemente debido a la necesidad de aireación y el tamaño del poro para el crecimiento de las raíces.

Francke (1988) encontró que la basicidad del pH del suelo y las texturas arcillosas influyen negativamente sobre el índice de sitio de *Pinus radiata*.

Linnarz, citado por Tobar (1976) en Luisiana (EE.UU.) encontró que el índice de sitio de *P.taeda*, *P. pallustris* y *P.elliottii* decrece a medida que el contenido de arena y el pH del suelo aumente.

Además de los factores asociados al drenaje, otra característica edáfica importante que influye sobre la productividad de los pinos, es la profundidad del suelo. Wolffshon (1982) indica que para el caso de los pinos, la profundidad de suelo disponible a las raíces, es más importante que la fertilidad y estos pueden crecer bien en suelos con limitaciones de nitrógeno y fosforo.

Gonzales (1987) estudiando la calidad de sitio para *Pinus radiata* en Chilacat – Cajamarca, determinó que la profundidad total influye en forma directa en el crecimiento de esta especie; además, encontró una correlación positiva entre el porcentaje de arcilla del horizonte A y la altura dominante promedio de esta especie.

Coile, citado por Jadan (1972) concluye que la calidad de sitio para *Pimusechinata* puede ser estimada con bastante aproximación determinando la profundidad promedio del suelo y el porcentaje de limo y arcilla en el subsuelo

(Castaños 1982) comprobó que el índice de sitio para el *Pinuspatula* aumenta con el incremento de la profundidad total del suelo; correlacionándose entonces positivamente al igual que la suma de bases intercambiables con los rendimientos de la *Tectonagrandis* encontrado por Jadan (1972)

Storie y Wieslander citado por Jadan (1972) encontraron que los suelos con textura mediana y más de cuatro pies de profundidad, son los requeridos para clases de sitios altos y suelos de textura mediana con dos pies de profundidad para clases de sitio mediano esto para *P. taeda* y *P.echinata*.

Zamudio y Fierros (1994), señalan que en varios estudios donde relacionan variables edáficas y la calidad de sitio para *P. caribaea*, se han encontrado relaciones negativas entre el contenido de nitrógeno u otros nutrientes y la calidad de sitios, lo cual posiblemente se deba a las relaciones complejas que se dan entre las propiedades químicas del suelo. Para el caso específico del nitrógeno, estos autores atribuyen esa relación, al hecho que la mayoría del nitrógeno total está fijado como nitrógeno orgánico en el humus, por lo que la relación entre el nitrógeno y el crecimiento de los árboles podría estar enmascarada.

Harold y Hocker (1984) manifiestan que la cantidad de potasio que satisface las necesidades de las especies forestales es de 150 ppm, así tenemos que los pinos

satisfacen esta necesidad con pequeñas cantidades de potasio (25 ppm), pero especies de maderas duras como eucaliptos, exigen cantidades superiores.

Con respecto a la humedad de suelo, el agua juega un papel muy importante en los procesos fisiológicos de las plantas y los seres vivos en general.

Las Variaciones en la precipitación tienen en general una influencia directa a la humedad del suelo y consecuentemente en el crecimiento. La humedad del suelo además de influir en el crecimiento, influye sobre otros componentes vitales para el crecimiento vegetal, tales como el aire, la temperatura, microorganismos y nutrientes del suelo.

Coile, citado por Jadan (1972) informa sobre la correlación negativa entre el índice de sitio de *Pinusserotina* y la interrelación de la profundidad del horizonte A, con la materia orgánica, puede reflejar un pobre drenaje y como consecuencia una baja productividad. Justifica que porcentajes mayores de 15 % de materia orgánica, puede reflejar un pobre drenaje en suelos de pendiente nula y como consecuencia una causa directa en la baja productividad; asimismo Alager y Schutz, citado por Tobar (1976) al investigar con *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en Surinam, encontraron correlación directa entre el índice de sitio y la materia orgánica.

Coile y Schumacher citado por tobar (1976) al realizar investigaciones con *P. taeda* y *P. echinata* en el pie de monte de carolina del norte (EEUU) encontraron que la tasa de absorción de agua por el subsuelo está altamente correlacionado con el crecimiento.



En estudios recientes De las salas (1974), dice que la disponibilidad de agua en el suelo y en el ritmo de humedad durante las épocas secas probaron ser factores determinantes del desarrollo de la vegetación en bosque de bajura.

Slager y Schulz citado por Tobar (1976) al estudiar las calidades de sitio de *Pinus caribaea var. hondurensis*, encontraron una correlación directa entre el índice de sitio y el contenido de humedad del suelo.

## **CAPÍTULO II**

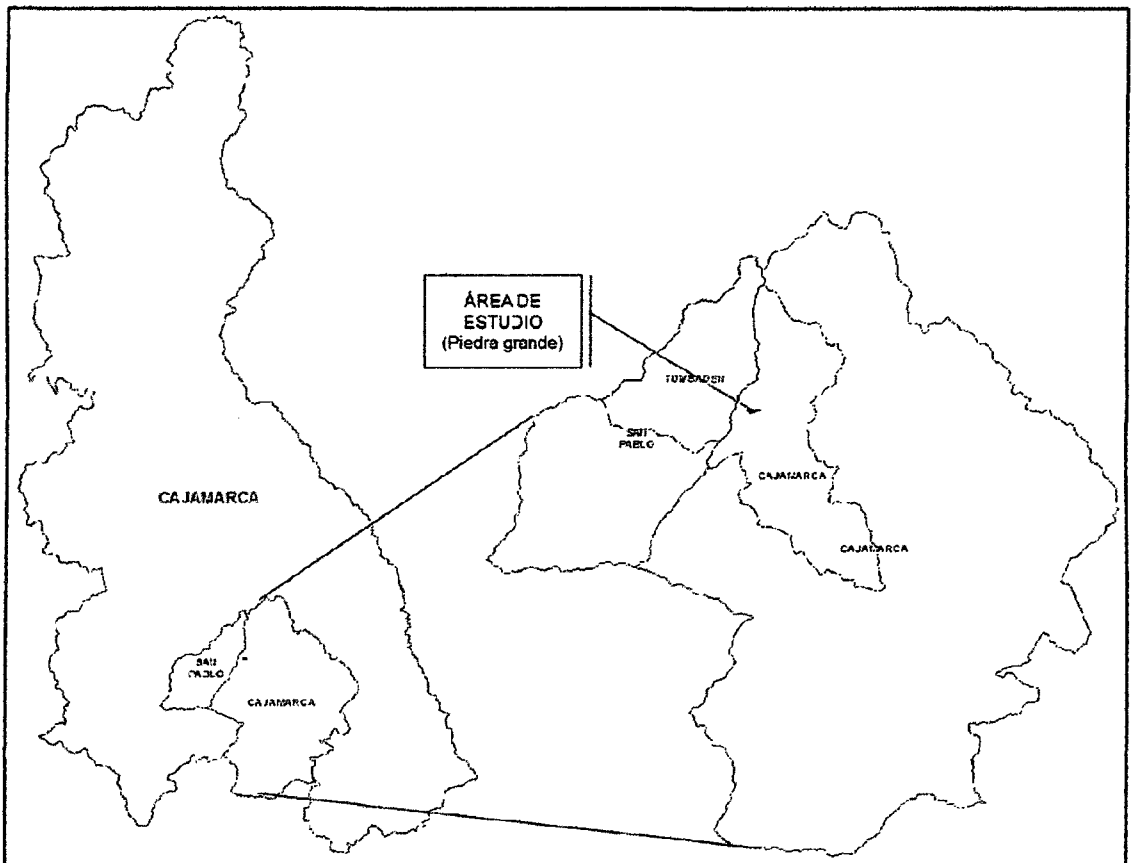
### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO**

##### **2.1.1. Ubicación**

El presente proyecto de tesis se realizó en las plantaciones forestales de la Cooperativa Agraria de Trabajadores Atahualpa – Jerusalén, ubicado geográficamente entre los paralelos de 06° 56' y 07° 05' de latitud sur y los meridianos 78° 32' y 78° 43' de Longitud Oeste. Políticamente pertenece a la provincia de San Pablo en el distrito de Tumbadén, y a la provincia de Cajamarca distrito de Cajamarca ambas provincias pertenecen al departamento de Cajamarca. La plantación en estudio se encuentra a una altura entre los 2900 a 3800 msnm. Con una extensión territorial de 41.75 hectáreas. y se ubica específicamente en el cuartel Piedra Grande.

*Acceso:* A Granja Porcón se accede desde Cajamarca por la carretera hacia Hualgayoc-Bambamarca (carretera de tercer nivel). En los parajes del km 20, se encuentra el desvío al caserío de Porcón Alto y luego a Granja Porcón transitando sobre una trocha carrozable de 13 km. El tiempo aproximado a la parcela es aproximadamente 50 minutos. A partir del Km 20.



Mapa 01: Ubicación del área de estudio

### 2.1.2. Clima

En el Plan General de Manejo Forestal para las Plantaciones de Granja Porcón, elaborado por ADEFOR (2003), cita la estación meteorológica del Rejo, afirmando que Porcón tiene una temperatura que va entre los rangos de 8.1 a 14.3 °C. En el caso de la precipitación el rango es de 1121 a 1133 mm/año. Los meses de heladas y de sequía son de Junio a Septiembre. La humedad relativa es de 30 – 40 % en meses secos y de 60 – 90 % en los meses de lluvia.

### **2.1.3. Hidrografía**

Los recursos hídricos en la CAT Atahualpa – Jerusalén provienen principalmente del Río Rejo y de las quebradas " La tranca" , " Piedra Grande" o " Pululo", " Lazareto", "Balconcillo" y "Tambillo" que discurren en el Río Rejo formando un sistema natural de drenaje. El río Rejo se forma en la parte alta, con la unión de los ríos "Cocán" y "Shoccla", ésta última drena la cuenca formada por la "Pampa de cerro negro" y las laderas de los cerros "Shoglia" y "Negritos". El río Rejo atraviesa y drena el predio de CAT Atahualpa – Jerusalén y confluye con otros hacia el río San Miguel, principal tributario del Jequetepeque, que alimenta al embalse de Gallito Ciego.

### **2.1.4. 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 porfíricas, derrames de construcción dacítica y riolítica de variados colores; así como formaciones que derivan del cuaternario, con depósitos aluviales y fluvioglaciares.

### **2.1.5. Geomorfología**

**Bullón (1978)** al examinar las rocas sobre el terreno y estudiar la geomorfología, ha caracterizado a la región de porcón como una zona importante de anticlinales sinclinales

fuertemente erodados, confiriendo al paisaje una topografía ondulada, o abrupta muy compleja.

#### **2.1.6. 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.

#### **2.1.7. Suelos**

Los suelos en el área de estudio según la leyenda del mapa mundial de suelos de la FAO, se clasifican de la siguiente manera: En las cumbres montañosas se clasifican como Leptosols, los cuales se caracterizan por tener un horizonte "A" espeso, de color oscuro, ácido y con alto contenido de materia orgánica. En las cumbres a lo largo de las laderas montañosas y en áreas de valles y praderas se clasifican generalmente como Cambisols; estos se caracterizan por tener un horizonte "A" oscuro, ácido, espeso y rico en materia orgánica, el cual descansa sobre u horizonte "B" Cambicoácido y con menor cantidad de materia orgánica; eventualmente se encuentra un horizonte "A" de más de 25 cm de espesor que descansa sobre un horizonte "C" pedregoso y grueso derivado de materiales volcánicos, normalmente la roca volcánica se encuentra a mayor profundidad. El alto contenido de materia orgánica de los suelos del área de estudio produce condiciones acidas con un pH aproximado de 3,5 a 5,4. Además, estos suelos se caracterizan por un alto contenido de nitrógeno total.

## 2.2. MATERIALES Y EQUIPOS

Dentro de los diferentes materiales y equipos utilizados tenemos:

- a) **Materiales de estudio:** Los materiales en estudio fueron los árboles de *Pinus radiata*, las características topográficas y las muestras de suelos tomadas en las diferentes parcelas de evaluación.
- b) **Material cartográfico:** La base de datos utilizados como material para los análisis han sido tomados de los trabajos de Zonificación Ecológica Económica - Ordenamiento Territorial de la región Cajamarca y de la base de datos geográficos de ADEFOR. La escala cartográfica de la base de datos es 1:100 000.
- c) **Equipo, materiales e instrumentos de gabinete y campo**
  - **Equipos:** Hipsómetro Suunto, altímetro, cámara fotográfica digital, binoculares, GPS (Garmin 12 XL).
  - **Materiales de campo:** Wincha de 50 m, libreta de campo, esmalte, cinta métrica, rafia, fichas para la toma de muestras de suelos, bolsas para la recolección de muestras de suelo y estacas.
  - **Materiales y equipo de gabinete:** Regla graduada, papel bond de 80 g, lapiceros de dibujo y de tinta indeleble, PC Pentium IV de 4Gb de memoria RAM, impresora láser, software (SPSS/IBM, ArcGIS, Google Earth, MS-Office, etc).
  - **Herramientas:** Machete, brochas de 1 ½", palana derecha, pico y barreta.

## **2.3. METODOLOGÍA**

La metodología empleada para este proyecto de la determinación de la calidad de sitio, se basó en el método indirecto, específicamente el método de índice de sitio. A continuación se describe las fases del estudio:

### **2.3.1. Evaluación del crecimiento**

#### **2.3.1.1. Levantamiento topográfico**

Para realizar este estudio se empezó con la recolección de información satelital y cartográfica tales como: Imágenes Satelitales “QuickBird”, Mapas Temáticos a escala 1:200 000 y el Mapa Físico Político del Departamento de Cajamarca a escala 1:100 000; luego se realizó la ubicación y delimitación perimetral del área de estudio y se elaboró un mapa de ubicación; una vez obtenidas las coordenadas exactas utilizando GPS Garmin 12 XL, se hizo la corrección del mapa y se calculó el área exacta del estudio, que fue de 41.75 ha. Este procesamiento se realizó utilizando el software de análisis espacial ArcGIS v. 9.3.

#### **2.3.1.2. Determinación del tamaño de la muestra y número de parcelas**

La especie forestal *Pinus radiata* se encuentra en el cuartel “Piedra Grande”, el cual posee una edad de 20 años, dicha edad se obtuvo del Plan General de Manejo Forestal para las Plantaciones de Granja Porcón, elaborado por ADEFOR (2003), en base a esta edad se hizo el estudio de la plantación.

Para determinar el tamaño de la muestra y número de parcelas, se ha utilizado la metodología desarrollada por Charaguarama citada en la Revista Venezolana Forestal N° 07, indica que se debe de evaluar 60 árboles, los cuales deben de estar distribuidos en parcelas; por lo tanto en el estudio se evaluó 5 árboles por parcela, dando un total de 14 parcelas a instalar; para desarrollar esta metodología fuimos a la plantación y se instaló las 14 parcelas, en cada una de ellas se midió la altura total y el DAP (diámetro a la altura del pecho) de los cinco árboles dominantes o codominantes.

Luego de tomar los datos en campo se procedió a hacer el análisis en gabinete y consistió en distribuir el DAP en rangos, cuyo intervalo de frecuencia es de cada 5 cm; seguidamente se calculó la variancia, desviación estándar, promedio aritmético, coeficiente de variabilidad, límite de confianza, tamaño de la muestra, intensidad de muestreo, número de parcelas, puntos y muestreo y longitud de puntos de muestreo.

Como resultado tenemos un coeficiente de variabilidad de 8.43 % debido a la poca variabilidad de los árboles, el tamaño de muestra que se obtuvo que es de 7 ha, esta fue dividida en 14 parcelas distribuidas sistemáticamente a una distancia de 174.51 m. aproximadamente.

Para mejor comprensión de la metodología ver anexo A: Determinación del Tamaño de la Muestra y Número de Parcelas.



### **2.3.1.3. Distribución y ubicación de las parcelas**

La ubicación de las 14 parcelas, se distribuyó en función al área total de *Pinus radiata*, para efectos de trabajo se imprimió un mapa en el cual se ubicaron todas las parcelas distribuidas a lo largo del área de estudio, además se utilizó un mapa con una grilla indicada con una cruz (+) que representa una distancia de 100 m. en campo. Para localizar cada parcela se elaboró un cuadro, allí se consignó el número de parcela y sus respectivas coordenadas UTM que posteriormente fueron rastreadas para su ubicación en campo. En ésta área de la plantación, se muestreó en total 14 parcelas tomadas aleatoriamente, cuyas plantaciones tienen una edad base de 20 años. Cada una de las parcelas tuvieron 500 m<sup>2</sup> de área, las parcelas fueron de forma circular a las que les corresponde un radio de 12,6 m. En cuanto a la forma de las parcelas de muestreo se prefirió las circulares por presentar ventajas con respecto a otras formas, la simetría radial del círculo hace que no tenga direcciones privilegiadas y por lo tanto es una forma muy objetiva como indica Madrigal (1979). Además, esta forma de parcelas fue elegida por ser las más convenientes en forma y tamaño para las evaluaciones de masas forestales de mediana edad, tal como indica Charaguarama en la Revista Venezolana Forestal N° 07.

La distribución de cada parcela se hizo utilizando cinta métrica (50 m) y GPS navegador Garmin 12 XL, se georeferenció y procedió con la evaluación de los árboles existentes en cada una de ellas.

### **2.3.1.4. Evaluación del crecimiento**

Una vez ubicadas y establecidas las parcelas circulares a evaluar, donde se hizo el inventario de todos los árboles de cada parcela. De los árboles existentes para cada parcela se tomaron

los datos siguientes: altura total, para lo cual se empleó el hipsómetro Sunnto; el diámetro a la altura del pecho - DAP (1.30 m), también se midió el diámetro a media altura para determinar el factor de forma y finalmente se midió la circunferencia basal, empleando para dicha medición una cinta métrica de plástico. Calculándose así el área basal y volumen por hectárea. Del total de árboles de cada parcela evaluada, se tomaron a los 6 árboles dominantes y/o codominantes que equivale a 100 árboles por ha; que es lo recomendable para evaluar calidades de sitio, como indica Madrigal (1979).

#### **2.3.1.5. Evaluación de los factores edáficos**

Para realizar la evaluación de los factores edáficos se hizo dos fases; la primera es la de campo, que consistió en ubicar perfiles representativos y se hicieron 14 calicatas (de 0.8 m x 1.5m x 1.2 m), en total; exponiéndose así el horizonte "A" (el cual fue evaluado). La distribución de las calicatas fue una por parcela, de tal manera que cada una de ellas sea lo más representativo posible de las características físicas y químicas del suelo.

La evaluación se completó con la lectura de cada una de las calicatas, cuyos horizontes fueron examinados cuidadosamente; las muestras de suelo (1 kg por calicata), se colocaron en bolsas de polietileno de 10 x 15 cm y llevaban una ficha adjunta con la cual fueron identificadas, luego se analizaron en el laboratorio de suelos del Instituto Nacional de Investigación Agraria - INIA.

La otra fase, es la de laboratorio y los métodos seguidos en el análisis físico y químico de las muestras de suelos, fueron los siguientes:

- Análisis mecánico (Textura): Método de la pipeta.
- pH: Método del potenciómetro, relación suelo – agua 1:2,5.
- Calcáreo total: Método de neutralización ácida con ácido clorhídrico.
- Materia orgánica: Método Walkey y Black,  $\% \text{ M.O.} = \% \text{ C} \times 1.724$
- Nitrógeno total: Método del Micro Kjeldahl.
- Cationes cambiabiles: determinaciones en el acetato de amonio.
  - K: Método del fotómetro de llama.
  - Al: Extracto cloruro de potasio.
- Elementos disponibles
  - P: Método Olsen.
  - K: Método del fotómetro de llama.
- Capacidad de almacenamiento de agua de los suelos: Método de la curva pF.

El resultado detallado del Análisis Físico - Químico de los Suelos, se muestra en el anexo B.

### **2.3.2. Fase de gabinete**

Para el análisis y procesamiento de datos, se emplearon software ofimáticos, entre ellos: Microsoft Word, Microsoft Excel y Microsoft Power Point, SPSS; otros software para realizar el análisis de la cartografía entre ellos tenemos: ArcGIS 9.3, Erdas Imagine 9.1, y material cartográfico y bibliográfico.

#### **2.3.2.1. Determinación del crecimiento de los árboles**

La evaluación del crecimiento se detalla en el ítem 2.3.1.4

### **2.3.2.2. Determinación de la influencia de los factores físicos y químicos del suelo en el crecimiento**

#### **a) Modelo estadístico**

Para determinar el grado de influencia de los factores físicos y químicos del suelo del horizonte "A", considerados como significativos en el crecimiento forestal, se utilizó los modelos estadísticos de correlación y regresión lineal múltiple, utilizando las siguientes fórmulas:

$$Y = a + \sum_{j=1}^n b_j x_j$$

Dónde:

n : Número de observaciones

R<sup>2</sup> : SCR / SCT - Coeficiente de explicación

$$SCR = \sum_{j=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

$$SCT = \sum_{j=1}^n \left( Y_i - \bar{Y}_i \right)^2$$

#### **b) Análisis estadístico**

Para determinar las diferentes tipos de calidad de sitio, se determinó de la evaluación de los árboles y de los factores edáficos, los cuales permitieron seleccionar variables que fueron utilizadas en el análisis de caracterización del sitio, estas fueron:

Tabla 01: Clasificación de variables del estudio

Variables		
<b>Variable a predecir o dependiente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Y: Altura promedio de los árboles dominantes</li> </ul>	
<b>Variables predictorias o independientes (variables evaluadas en el horizonte "A")</b>	<p><b>Variables físicas del suelo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• X1: Profundidad total (cm).</li> <li>• X2: Arena (%).</li> <li>• X3: Limo (%).</li> <li>• X4: Arcilla (%).</li> <li>• X5: Clase Textural</li> <li>• X6: Capacidad Campo (%)</li> <li>• X7: Punto de Marchitez Permanente (%)</li> <li>• X8: Agua Disponible (%).</li> </ul>	<p><b>Variables químicas del suelo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• X9: Reacción o pH (valor Log natural).</li> <li>• X18: Materia orgánica (%).</li> <li>• X12: Nitrógeno total (%).</li> <li>• X12: Fósforo (ppm).</li> <li>• X13: Potasio (ppm).</li> <li>• X14: Aluminio (meq/100g).</li> </ul>
	<p><b>Variable Topográfica</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• X15: Pendiente (%).</li> </ul>	

Cabe mencionar que para el caso de las especies forestales mientras más favorables sean los factores climáticos menos importancia tiene el suelo, sin embargo dado que el espacio geográfico en estudio es pequeño y no encontrar variación entre estos, solo se evaluó las variables indicadas líneas arriba. Para el análisis estadístico se siguieron los siguientes pasos:

## **Análisis de regresión y correlación múltiple**

Para determinar el conjunto de variables edáficas (X) que pudieran predecir en mejor forma el crecimiento de *Pinus radiata* materia de estudio, se utilizó el software de Análisis Estadístico SPSS v. 19, que exige cálculos de regresiones y correlaciones simples y múltiple, siguiendo el modelo estadístico.

Modelo estadístico: Se realizó un modelo de regresión y correlación lineal múltiple. El análisis de regresión lineal múltiple nos permite establecer la relación que se produce entre una variable dependiente “Y” y un conjunto de variables independientes (X1, X2, ... Xn). La anotación matemática del modelo o ecuación de regresión lineal múltiple es la que sigue:

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n + e$$

En donde:

- Y es la variable a predecir (var. dependiente);
- X1, X2, ... Xn, son las variable predictorias (var. independiente )
- a, b1, b2... bn, constantes numéricos;
- e, es el error que cometemos en la predicción del modelo

Aplicando la fórmula anterior se siguieron los siguientes pasos:

- Se calculó las correlaciones múltiples entre todas las variables independientes y la variable dependiente.

- Se seleccionó de las variables independientes más relacionadas con la variación de la variable dependiente.
- Se analizó las correlaciones entre las variables independientes y seleccionó las más significativas para así disminuir el número de las mismas a elegir.
- Se calculó nuevamente las correlaciones múltiples entre las variables elegidas.
- Finalmente se hizo la comparación de los resultados eligiendo definitivamente las regresiones que: a) tengan la suma de cuadrados de residuos (SCR) más pequeña, b) tenga el valor de F de Fisher lo más elevada posible y c) tenga un pequeño número de variables independientes que expliquen significativamente la variación de la variable dependiente.

#### **2.3.2.3. Determinación de las calidades de sitio**

Con la altura total (m) de los cinco árboles dominantes de cada parcela (resultado del inventario), se hizo un análisis de varianza (ANVA) y la prueba de SCHEFFE, con la finalidad de establecer el nivel de significancia para el crecimiento en altura del *Pinusradiata* en las diferentes parcelas, a fin de determinar las diferentes calidades de sitio.

#### **2.3.2.4. Caracterización de las calidades de sitio**

El análisis de regresión y correlación múltiple de las trece variables independientes con respecto a la altura promedio de los árboles (variable dependiente), nos permitió seleccionar a las variables que caracterizan a cada calidad de sitio, determinadas en la plantación de *Pinusradiata* en Granja Porcón.

La selección se hizo de acuerdo al coeficiente de correlación encontrado entre las variables independientes y la variable dependiente; se exigió un coeficiente de correlación ( $r$ ) mayor a 0.6 ya que de acuerdo a los grados de libertad y el número de observaciones (calicatas) a un 95 % de probabilidades así lo exige, buscando además la mayor independencia entre cada variable seleccionada (correlación más baja posible entre ellas).



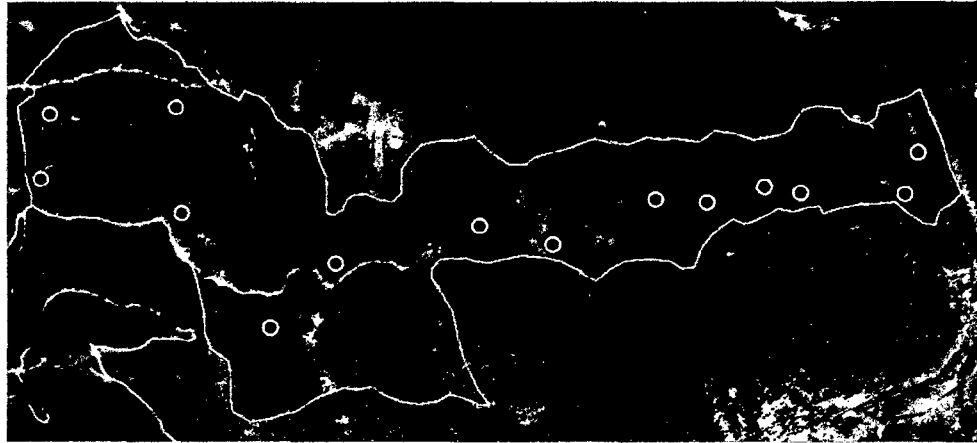
## **CAPÍTULO III**

### **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

La Cooperativa Agraria de Trabajadores Atahualpa – Jerusalén posee muchas áreas y especies forestales exóticas de importancia económica, tales como pinos y eucaliptos, éstas están establecidas en diferentes formas geográficas y tipos de suelos. Estas cualidades nos brindan la oportunidad para hacer múltiples estudios de investigación, de esta manera fortalecer el desarrollo forestal de nuestra región, muestra de éstas iniciativas presentamos los resultados del estudio de calidad de sitio para *Pino radiata*.

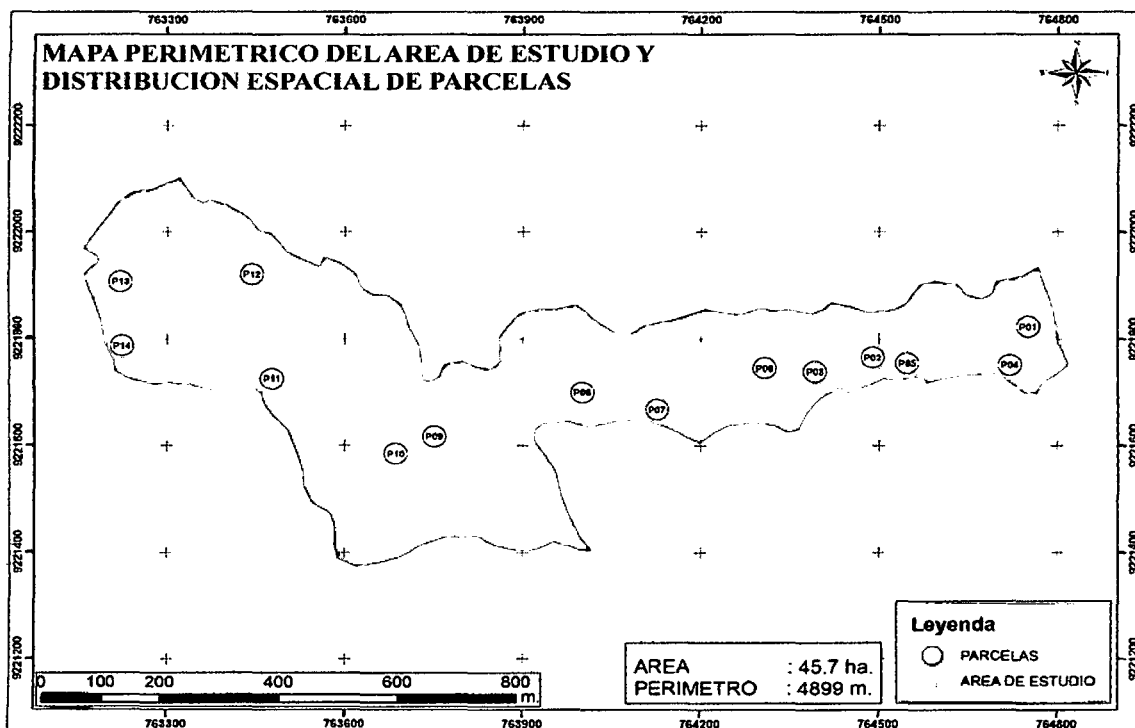
#### **3.1. PARCELACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

La distribución de parcelas se realizó de forma aleatoria, ya que la distribución sistemática no funcionó, esto se debe a que la plantación de *Pinus radiata* presentó densidades relativamente bajas en la distribución de su biomasa, como se aprecia en la imagen, el área experimental muestra muchos claros y caminos peatonales, en comparación a otras especies de pinos que sí se distribuyen de forma muy homogénea tal es el caso del *Pinus patula*.



*Mapa 02: distribución de parcelas de forma aleatoria*

Al rastrear los puntos (coordenadas) de muestreo para el establecimiento de las parcela, en muchas ocasiones nos damos con la sorpresa que en dichas coordenadas no existían árboles, por tal razón teníamos que correr la ubicación de la parcela a un área de representatividad homogénea. La ubicación geográfica de las catorce parcelas experimentales se muestra en el Mapa N° 03, además sus respectivas coordenadas de cada una:



*Mapa 03: Perímetro del área de estudio y distribución espacial de parcelas*

*Tabla 02: Ubicación geográfica de las parcelas experimentales*

PARCELA	COORD. ESTE (X)	COORD. NORTE (Y)
P01	764752	9221822
P02	764490	9221764
P03	764393	9221738
P04	764721	9221750
P05	764548	9221754
P06	764308	9221744
P07	764127	9221666
P08	764001	9221699
P09	763751	9221616
P10	763686	9221584
P11	763477	9221724
P12	763444	9221920
P13	763222	9221906
P14	763224	9221786

### **3.2. DETERMINACIÓN DEL CRECIMIENTO DE *Pinus radiata***

En la Tabla N°03 mostramos los parámetros dasométricos recolectados en campo y posteriormente evaluados y analizados en gabinete. Se observa que el número de árboles por hectárea (N° ARB/ha) varía significativamente ( $p < 31.09\%$ ) en todas las parcelas con un mínimo de 313 árboles y un máximo de 534 árboles por hectárea, esto muestra la heterogeneidad de la dispersión de la densidad, existiendo varios claros ocasionados por la no producción de algunos plantones, así como por el derribo de árboles a causa del viento, ya que el área de estudio se encuentra en ladera con fuertes pendientes.

Con respecto a la altura dominante de los árboles, estos muestran un buen promedio que alcanza a 21.2 m; las parcelas tres y cuatro tienen los árboles más bajos (15.67, 16.67 m respectivamente), mientras que el resto de parcelas (12 parcelas) muestran buen crecimiento en su altura dominante llegando hasta 27 m en la parcela uno.

Con respecto al DAP, podemos observar que se tiene un mínimo de 24 cm y un máximo de 41 cm, no existiendo variabilidad significativa ( $p > 0.02$ ) en su dispersión.

Tabla 03: Distribución de parámetros dasométricos y estadísticos descriptivos

GRUPO O PARCELA	N° ARB/ha	ALTURA (m)	DAP (m.)	AB (m2)	VOL (m3)	VOL (m3/ha)	IMA (m3/ha/año)
Parcela 01	534.00	27.00	0.41	0.13	2.50	1332.48	66.62
Parcela 02	313.00	20.83	0.32	0.08	1.17	367.05	18.35
Parcela 03	375.00	16.67	0.31	0.08	0.88	330.20	16.51
Parcela 04	359.00	15.67	0.34	0.09	1.00	357.44	17.87
Parcela 05	394.00	12.67	0.28	0.06	0.55	215.10	10.76
Parcela 06	405.00	22.83	0.35	0.10	1.54	622.79	31.14
Parcela 07	423.00	21.83	0.32	0.08	1.23	519.93	26.00
Parcela 08	395.00	22.17	0.34	0.09	1.41	556.48	27.82
Parcela 09	397.00	22.50	0.24	0.05	0.71	282.87	14.14
Parcela 10	398.00	21.17	0.35	0.10	1.43	567.37	28.37
Parcela 11	405.00	22.33	0.34	0.09	1.42	574.84	28.74
Parcela 12	409.00	23.17	0.33	0.09	1.39	567.30	28.37
Parcela 13	414.00	22.67	0.34	0.09	1.44	596.41	29.82
Parcela 14	500.00	25.33	0.36	0.10	1.81	902.51	45.13
<b>Media</b>	408.64	21.20	0.33	0.09	1.32	556.63	27.83
<b>Error típico</b>	14.40	1.02	0.01	0.01	0.13	75.88	3.79
<b>Mediana</b>	401.50	22.25	0.34	0.09	1.40	561.89	28.09
<b>Moda</b>	405.00	N/A	0.34	0.09	N/A	N/A	N/A
<b>Desviación estándar</b>	53.86	3.80	0.04	0.02	0.48	283.92	14.20
<b>Varianza de la muestra</b>	2901.17	14.44	0.00	0.00	0.23	80609.63	201.52
<b>Mínimo</b>	313.00	12.67	0.24	0.05	0.55	215.10	10.76
<b>Máximo</b>	534.00	27.00	0.41	0.13	2.50	1332.48	66.62
<b>Suma</b>	5721.00	296.84	4.63	1.22	18.46	7792.76	389.64
<b>Niv. de confianza 95.0%</b>	31.09	2.19	0.02	0.01	0.27	163.92	8.19

NUMERICOS DASOMETRICOS

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS

*Fuente: Elaboración propia.*

La productividad de *Pinus radiata* en el área de estudio asciende a 556.63 m<sup>3</sup>/ha, con un IMA (incremento medio anual) promedio igual a 27.83 m<sup>3</sup>/ha/año. Esto es realmente rentable, estos valores de productividad incentivan a la inversión en plantaciones industriales, solamente se tiene que tener en cuenta la selección del sitio adecuado.

### 3.3. EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS FACTORES EDÁFICOS EN EL *Pinus radiata*

Tabla 04 : Resultado del Análisis de suelos por calidad de sitio

Calidad de sitio	N.º de parcelas	Horizonte	Profundidad (cm)	ANÁLISIS QUÍMICO				CATIONES DISPONIBLES		pH	MO (%)	N (%)	CATIONES DISPONIBLES	ANÁLISIS FÍSICO		
				No (%)	P (%)	K (%)	Clase Descrip.	P (mg)	K (mg)					U (mg)	CC (%)	PMF (%)
I	P01	A	35	49	20	31	FrArA	10.90	150	3.5	8.90	0.27	10.07	21.96	12.18	9.78
		B	> 150													
II	P02	A	47	37	24	39	FrAr	9.06	180	4.1	9.46	0.28	4.62	26.17	14.83	11.3
		B	72													
		C	> 72													
III	P03	A	10	43	26	31	FrAr	13.83	165	3.8	5.43	0.19	6.60	22.79	12.70	10.0
		B	20													
		C	27													
III	P04	A	5	40	17	43	Ar	3.34	210	4.7	2.91	0.13	8.60	27.00	15.35	11.6
		B	40													
		C	60													
III	P05	A	11	44	28	28	FrAr	4.29	190	5.3	3.30	0.15	9.66	21.43	11.84	9.55
		B	31													
		C	80													
II	P06	A	40	60	12	28	FrArA	8.11	170	3.9	4.26	0.18	8.52	19.20	10.45	8.75
		B	80													
		C	93													
II	P07	A	45	62	22	16	FrArA	4.77	150	3.5	3.86	0.15	9.36	19.68	10.75	8.93
		B	70													
		C	90													
II	P08	A	7	48	20	32	FrArA	4.77	155	3.6	3.22	0.15	8.96	22.27	12.37	9.90
		B	32													
		C	150													
II	P09	A	58	45	22	33	FrAr	6.68	180	4.1	4.59	0.18	10.88	23.15	12.93	10.2
		B	70													
		C	150													
II	P10	A	45	60	16	24	FrArA	18.13	190	4.3	15.54	0.43	7.72	18.11	9.76	8.35
		B	76													
		C	110													
II	P11	A	47	32	34	34	FrAr	13.36	180	4.1	16.75	0.48	5.54	25.18	14.20	10.9
		B	65													
		C	120													
II	P12	A	25	36	34	30	FrAr	1.91	145	3.4	5.46	0.19	5.28	23.30	13.02	10.2
		B	68													
		C	> 150													
II	P13	A	37	50	18	32	FArA	4.37	150	3.5	4.51	0.18	6.00	22.05	12.24	9.81
		B	59													
		C	105													
I	P14	A	99	45	20	35	FrArA	6.68	175	4.0	4.90	0.20	5.30	25.61	14.48	11.1
		B	> 150													

Fuente: Análisis realizado por el laboratorio de suelos del INIA (Instituto Nacional de Investigación Agraria) estación experimental Baños del Inca.

En la tabla N° 04 de la parte superior, podemos observar los resultados de las catorce variables edáficas que se emplearon en el análisis estadístico, dichos valores fueron tomados del análisis de suelos (anexo B) de las catorce calicatas de la zona de estudio.

Con respecto a la textura, podemos observar que para la calidad de sitio uno (CS-I), se presenta suelos francos de textura media (FrArA), propia de suelos que favorecen la retención de la humedad, poseen buena permeabilidad y aireación, estos suelos son muy favorables para el desarrollo de la especie en estudio. Caso similar ocurre con la calidad de sitio dos (CS-II), ésta posee suelos de textura media en su mayor parte y suelos de textura ligeramente pesada (FrArA, FrAr). Mientras que los suelos de la calidad de sitio tres (CS-III), son suelos de textura ligeramente pesada a muy pesada respectivamente (FrAr y Ar), estos suelos permiten una buena retención de los nutrientes del suelo, pero tiene débil permeabilidad. Según el análisis de textura del suelo podemos concluir que las condiciones de drenaje y textura de la calidad de sitio uno (CS-I), en la que obtuvimos los mayores rendimientos, coinciden con los requerimientos de *Pinus radiata* mencionados por (BASSET 1963), quien afirma que esta especie requiere suelos de textura media y con un buen drenaje interno.

Con respecto a la profundidad total (PT), La calidad de sitio uno (CS-I) tiene los suelos muy profundos (> 150 cm.) con una pendiente de 18 y 36%; la calidad de sitio dos (CS-II) tiene suelos moderadamente profundos a profundos (50-100 y 100-150 cm. respectivamente) con una pendiente de 10 a 48%, mientras que la calidad de sitio tres (CS-III) tiene suelos superficiales, con una pendiente de 31 y 38%. Estos datos indican que la profundidad total influye significativamente en el crecimiento de la especie en estudio, caso contrario ocurre con la pendiente, a mayor pendiente tenemos



menor productividad, esto concuerda lo manifestado por GONZALES (1985), quien encontró que la profundidad total influye directamente en el crecimiento del *Pinus radiata*.

Con respecto al pH, la reacción del pH en las tres calidades de sitio, no difieren significativamente, éste oscila desde muy fuertemente acida a extremadamente acida (5.3 – 3.4 pH); esto nos indica que el *Pinus radiata* soporta suelos con pH extremadamente acida, no siendo este un factor limitante para obtener buena productividad, como lo indica Fassbender(1975) la vegetación forestal tiene un amplio rango límite de pH, salvo en casos extremos la influencia suda limitando la disponibilidad de los nutrientes en el suelo.

Con respecto al porcentaje de materia orgánica (MO), la calidad de sitio uno (CS-I) y la calidad de sitio dos (CS-II), poseen suelos con niveles altos en materia orgánica (4.9 - 8.93 y 3.22 - 16.75 % respectivamente). Mientras que la calidad de sitio tres (CS-III) posee suelos con niveles medios a altos de materia orgánica (2.91 – 5.43%). Según Cadenillas A. (2006), en su guía de clase de suelos forestales dice que los suelos con bosques establecidos deberían tener mayor a 10 % de materia orgánica, por lo tanto en nuestra zona de estudio en algunas calicatas se muestra un deficiente porcentaje de materia orgánica, esto se debe a que nuestra área de estudio se ubica en laderas con fuertes pendientes.

Con respecto al nivel de Nitrógeno (N), la calidad de sitio uno (CS-I) posee suelos con alto nivel de nitrógeno (0.2 – 0.27%). La calidad de sitio dos (CS-II) posee suelos con nivel medio a alto de nitrógeno (0,15 – 0,4). La calidad de sitio tres (CS-III) posee suelos con medio nivel de nitrógeno (0,13 – 0.19%). Como se observa el nivel

de nitrógeno influye directamente en la productividad del *Pinus radiata* Fassbender(1975) afirma que el 0,2 % de nitrógeno, es la cantidad adecuada para el buen desarrollo de la mayoría de especies forestales.

Con respecto al nivel de fósforo (P), en el área en estudio se tiene que en las tres calidades de sitio no es significativa la diferencia de su disponibilidad de este, ya que tenemos un nivel bajo, medio y alto que oscila entre 1.91 y 18.13 ppm. Por lo cual esta variable no se puede analizar de forma independiente. Pero en nuestro suelo existe deficiencias de fósforo ya que Fassbender(1975) afirma que 50 ppm de fósforo es ideal para el buen crecimiento de algunas especies forestales.

Con respecto al nivel de potasio (K), se tiene que las tres calidades de sitio tienen niveles altos de potasio, los valores de éste varían de 145 – 210 ppm y no es significativa la diferencia de su disponibilidad en el área de estudio. Caso similar que el análisis de fósforo, por lo tanto esta variable tampoco la podemos analizar de forma independiente. Según Harol, W. y Hocker, J. (1984) manifiestan que la cantidad de potasio que satisface las especies forestales es de 150 ppm, como es el caso específico de *Pinus radiata* satisface esta necesidad con 25 ppm.

La Capacidad de Campo (CC) en el área de estudio llegó hasta 27%, se considera un valor bajo, esto se debe a la pérdida de agua por interceptación (baja densidad del dosel) y a las agrestes pendientes. La capacidad de campo posee una relación directa con la profundidad total y textura del suelo y una relación inversa con la pendiente del terreno.

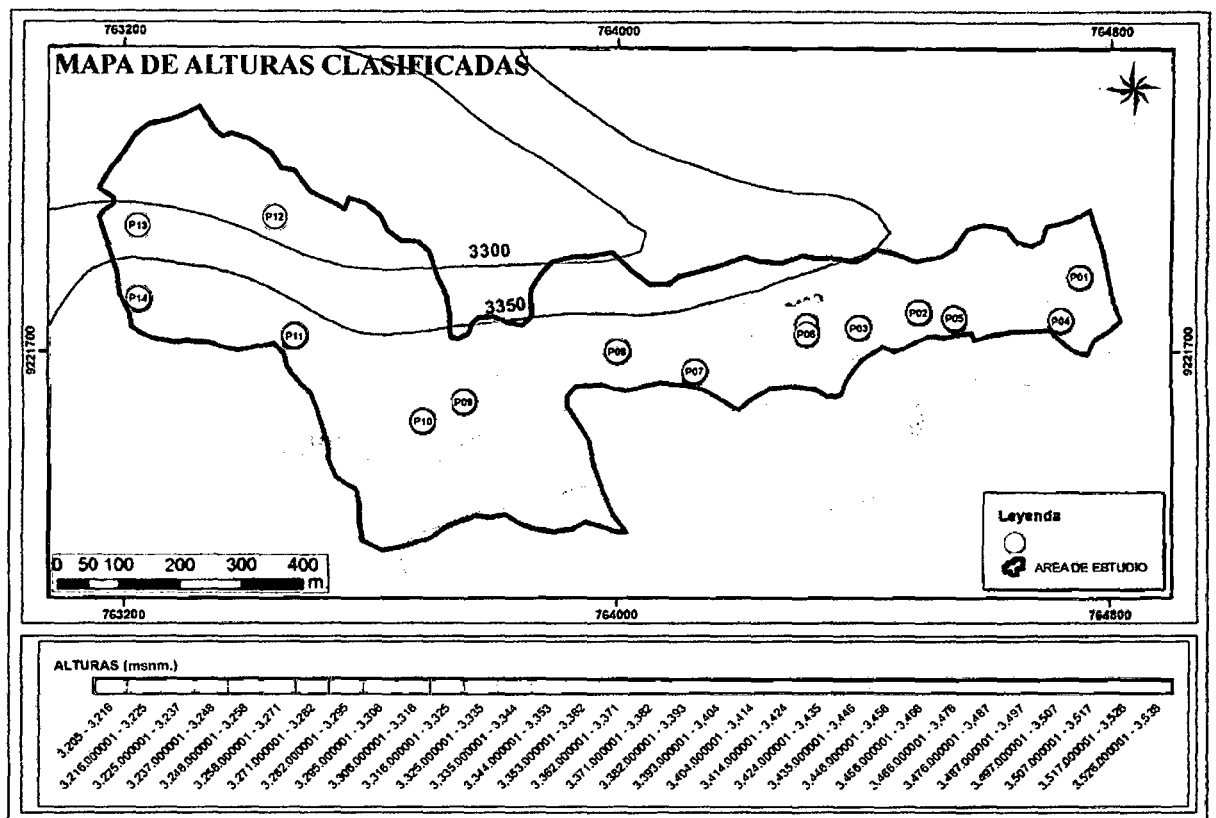
La importancia que tiene el agua para el crecimiento de las especies forestales en general y de *Pinusradiata* en particular; esto se ve sustentado por Pritchett (1991), quien afirma que el crecimiento del árbol se reduce por la carencia del agua de manera indirecta, a través de la interferencia con los procesos fisiológicos como son la fotosíntesis, el metabolismo del nitrógeno, la absorción de sales, y la translocación, y directamente por efectos de reducción en la turgencia sobre el crecimiento celular y otros procesos que intervienen más directamente en el crecimiento de la planta; además acota que el desarrollo micorrizal se da mucho mejor en el suelo que se mantiene a un nivel más próximo a la capacidad de campo.

La humedad del suelo influye sobre otros componentes vitales del crecimiento vegetal tales como: la temperatura del mismo, microorganismos y nutrientes (Daniel 1982); asimismo De las Salas (1974), afirma que la disponibilidad del agua del suelo y el ritmo de humedad durante épocas secas probaron ser factores determinantes del desarrollo de la vegetación en bosques de suelos superficiales.

Estos resultados indican que la mayoría de factores que influyen en el crecimiento de esta especie no tienen relación directa de forma independiente, mientras que la interacción y combinación de estos sí influyen significativamente con la productividad del *Pinus radiata*.

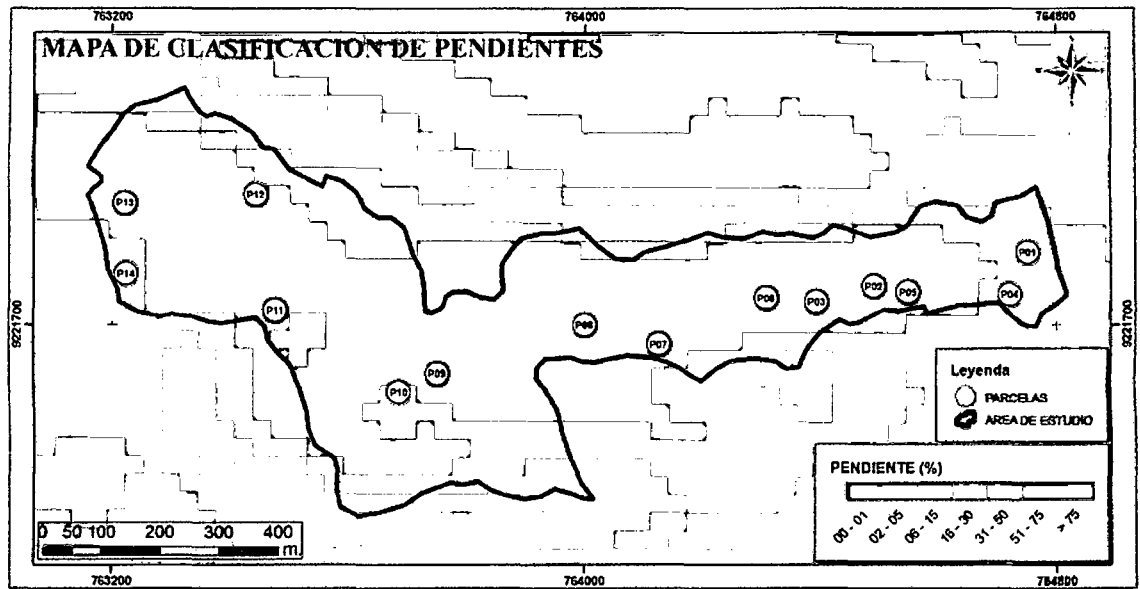
### 3.4. EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE INFLUENCIA DE LOS FACTORES TOPOGRÁFICO

**La altitud.**-la altitudes un factor determinante de sitio para el *Pinus radiata*, en la plantación en estudio la altura promedio es de 3377 msnm; teniendo una altitud mínima 3220 msnm y una altitud máxima de 3510.



Mapa 04: Alturas clasificadas

**La pendiente.**- La pendiente influye significativamente en la calidad de sitio ya que esta tiene correlación directa muy fuerte con la profundidad total del suelo, y con la caída de los árboles a causa de fuertes vientos.



Mapa 05: Pendientes clasificadas

Tabla 05: Representación del tipo pendiente por parcelas

Parcela	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14
Pendiente (%)	39	90	75	40	78	76	63	82	54	42	61	64	59	32

P. Empinada (F)

P. Muy empinada (G)

P. Extremadamente empinada (H)

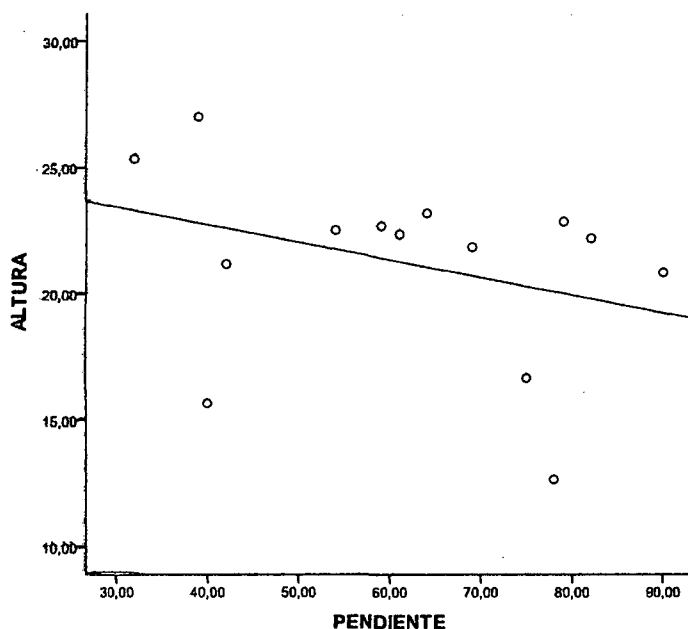


Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla anterior la pendiente mínima es 39% que corresponde a la parcelas uno (P01), coincidiendo con la parcela que presenta el máximo crecimiento de la altura dominante, mientras que la pendiente máxima es 90% correspondiente a la parcela dos (P02). Parcela que muestra un crecimiento medio. Haciendo una clasificación de parcelas en función a la pendiente podemos identificar

3 clases: Pendientes con parcelas empinadas, muy empinadas y extremadamente empinadas.

*Gráfico 01: Diagrama de dispersión de correlación de PEARSON, entre la altura dominante y la pendiente*



Del gráfico observamos que existe una relación significativa inversa débil ó negativa débil, donde el coeficiente de correlación (r) es igual a - 0.334. Esto quiere decir que a mayor pendiente tendremos un menor crecimiento.

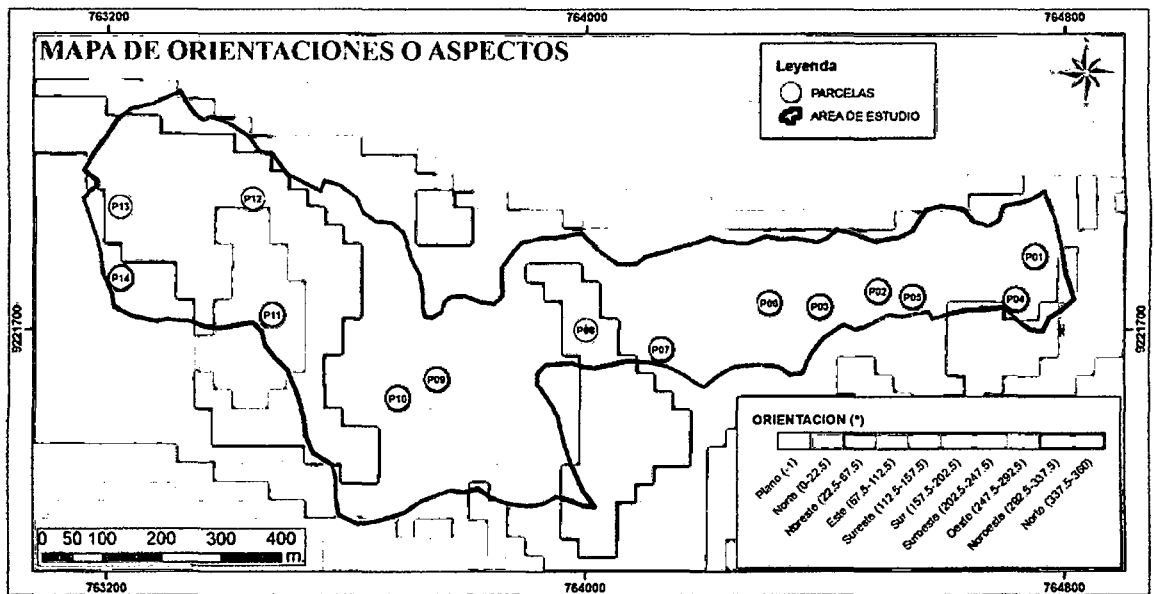
La influencia del crecimiento de los árboles por la variable pendiente se expresa en el siguiente modelo:

$$Y = 25.49 - 0.69 (\text{PENDIENTE})$$

Dónde: Y es la altura dominante promedio

**Orientación o aspecto.**- en el mapa de aspectos podemos observar que trece parcelas tienen una orientación al norte y con una única excepción la parcela P11 se ubica al

noreste. Por tratarse de un área pequeña no podemos hacer conclusiones con respecto a esta variable topográfica.



Mapa 06: Orientación o aspectos

### **3.5. DE LA DETERMINACIÓN DE LAS CALIDADES DE SITIO**

Las variaciones en el crecimiento de *Pinus radiata* según la calidad de sitio se le atribuye a las variables físicas del suelo tales como la Profundidad Total, la Textura y la Capacidad de Almacenamiento de Agua.

Mientras que las variables topográficas tales como la latitud, altitud y orientación conjuntamente con las variables climáticas no se han podido determinar su influencia en el crecimiento ya que el área de estudio es relativamente pequeña. Por lo tanto se deduce que estas variables influyen directamente en el crecimiento a nivel regional.

A continuación mostramos la tabla de los descriptivos estadísticos necesarios para el análisis de la calidad de sitio tales como: La altura media, la desviación típica, el error típico, el valor mínimo, el valor máximo, por cada una de las parcelas experimentales parcelas.



*Tabla 06: Descriptivos estadísticos de la altura dominante por parcelas*

<b>GRUPO (parcela)</b>	<b>Nº de Repeticiones</b>	<b>Altura (media)</b>	<b>Desviación típica</b>	<b>Error típico</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>
<b>P01</b>	6	27,00	3,521	1,438	27	35
<b>P02</b>	6	20,83	3,189	1,302	21	28
<b>P03</b>	6	16,67	1,366	,558	17	21
<b>P04</b>	6	15,67	4,179	1,706	12	23
<b>P05</b>	6	12,67	1,862	,760	13	17
<b>P06</b>	6	22,83	2,137	,872	22	28
<b>P07</b>	6	21,83	3,312	1,352	20	28
<b>P08</b>	6	22,17	1,472	,601	23	27
<b>P09</b>	6	22,50	4,593	1,875	20	32
<b>P10</b>	6	21,17	2,714	1,108	20	26
<b>P11</b>	6	22,33	3,386	1,382	21	29
<b>P12</b>	6	23,17	2,317	,946	24	29
<b>P13</b>	6	22,67	4,412	1,801	20	31
<b>P14</b>	6	25,33	1,862	,760	25	30

El método para determinar la calidad de sitio (altura dominante en función de la edad), tiene como herramientas principales al ANOVA (análisis de varianza) y la prueba de significancia de SCHEFFE (tabla N° 8). Esta metodología resulto la más practica por su fácil aplicación y precisión de los resultados, que se reflejan en la capacidad de producción de las diferentes calidades de sitio. Lo que coincide con Ker (1976), quien luego de establecer varios métodos de estimación de índice de sitio en base a diferentes parámetros dasométricos, determinó que la altura dominante promedio es el mejor indicador de la calidad de sitio.

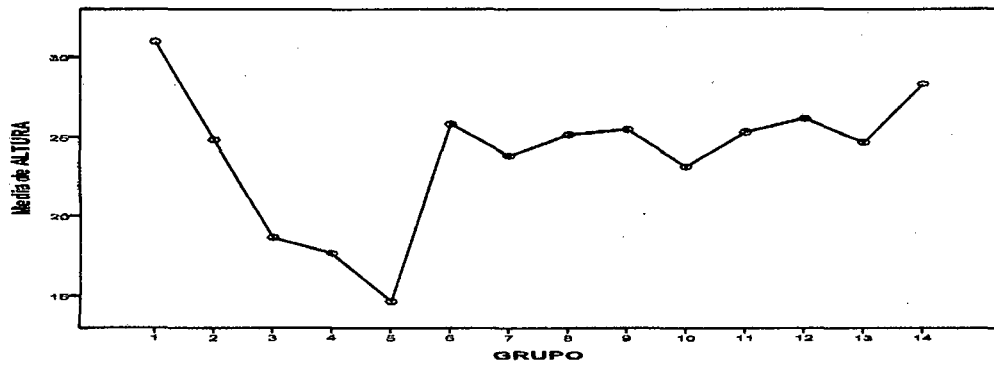
Antes de aplicar esta metodología necesitamos cumplir ciertas condiciones.

*Condiciones para aplicar el ANOVA:* Para aplicar la técnica del ANOVA se debe cumplir con dos condiciones de forma obligatoria: a) Análisis de normalidad: aseguremos que las alturas provengan de una distribución normal; b) Análisis de homogeneidad: las varianzas de los grupos deberán ser homogéneas.. La conclusión del análisis de estas condiciones nos demuestra que las alturas dominantes (H) se distribuyen de forma normal y las varianzas de los grupos son homogéneas. Por lo tanto podemos aplicar la técnica del ANOVA haciendo unos del software SPSS.

*Tabla 07: ANOVA para la altura dominante*

Fuente de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F - Valor	Pr > F
Entre Tratamientos	13	1479.059524	113.773810	11.55**	< .0001
Dentro de Tratamientos	70	689.833333	9.854762		
Total	83	2168.892857			

Como se observa, “p” es muy pequeño (< .0001), éste es menor que el nivel de significancia (0.05), esto indica que existe variabilidad diferenciada en las alturas dominantes (H) formando diferentes grupos de alturas homogéneas.



*Grafico 02 : Distribución de las medias de las alturas por grupos*

En el gráfico de arriba observamos las medias de las alturas dominantes y podemos decir que la media más baja pertenece al grupo P05 ( 12.67 m. ) y la media más alta pertenece al grupo P01 (27.00 m.). Entonces para saber entre que parejas de grupos las diferencias son significativas aplicaremos una prueba post-tes, denominada prueba de significancia según el método de SCHEFFE. Ésta prueba nos muestra el siguiente la siguiente tabla.

Tabla 08 : Prueba de significancia (método de SCHEFFE)

GRUPO	N	ALTURA			
		Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	
P05	6	12,67			c
P04	6	15,67	15,67		c
P03	6	16,67	16,67		c
P10	6	21,17	21,17	21,17	bc
P07	6		21,83	21,83	b
P13	6		22,67	22,67	b
P02	6		20,83	20,83	b
P08	6		22,17	22,17	b
P11	6		22,33	22,33	b
P09	6		22,50	22,50	b
P06	6		22,83	22,83	b
P12	6		23,17	23,17	b
P14	6			25,33	ab
P01	6			27,00	a
Sig.		,064	,064	,136	

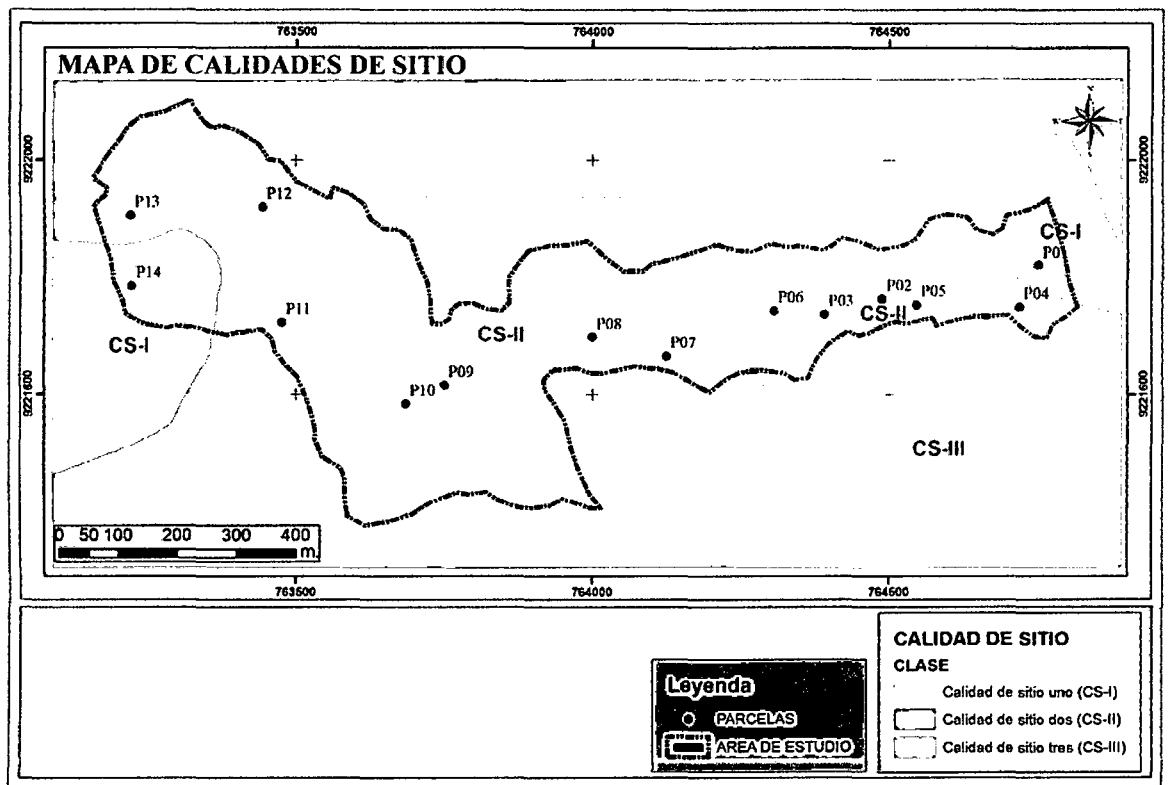
En esta tabla se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos con sus respectivos niveles de significancia.

Según el análisis de varianza de la tabla N° 03, podemos afirmar que existen diferencias altamente significativas (\*\*) para el nivel significancia del 95% (11.55\*\*), mientras que en la tabla N° 04 se muestra la prueba de significancia por el método de SCHEFFE para los 14 grupos de parcelas. Estas técnicas estadísticas nos permitieron determinar tres calidades de sitio de acuerdo al nivel de significancia; las calidades de sitio resultantes fueron:

- Calidad de sitio I : P01 y P14

- Calidad de sitio II : P12, P06, P09, P11, P08, P02, P13, P07, P10
- Calidad de sitio III: P03, P04, P05

Para determinar las calidades de sitio geográficamente, realizamos un análisis de interpolación, teniendo como variable a interpolar las alturas dominantes. El método de interpolación utilizado fue el método de interpolación IDW (gravitacional o inverso de la distancia), método óptimo para este análisis (da un peso a cada variable). Para mencionado análisis utilizamos software de análisis espacial ArcGIS; el resultado de este análisis es plasmado en el siguiente mapa.



Mapa 07: Calidades de sitio

### 3.6. DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS CALIDADES DE SITIO

En el gráfico N° 03 podemos observar que los parámetros dasométricos y los parámetros de productividad del *Pinus radiata*, tienen una marcada diferencia según la calidad de sitio correspondiente, parámetros estimados a una edad de 20 años.

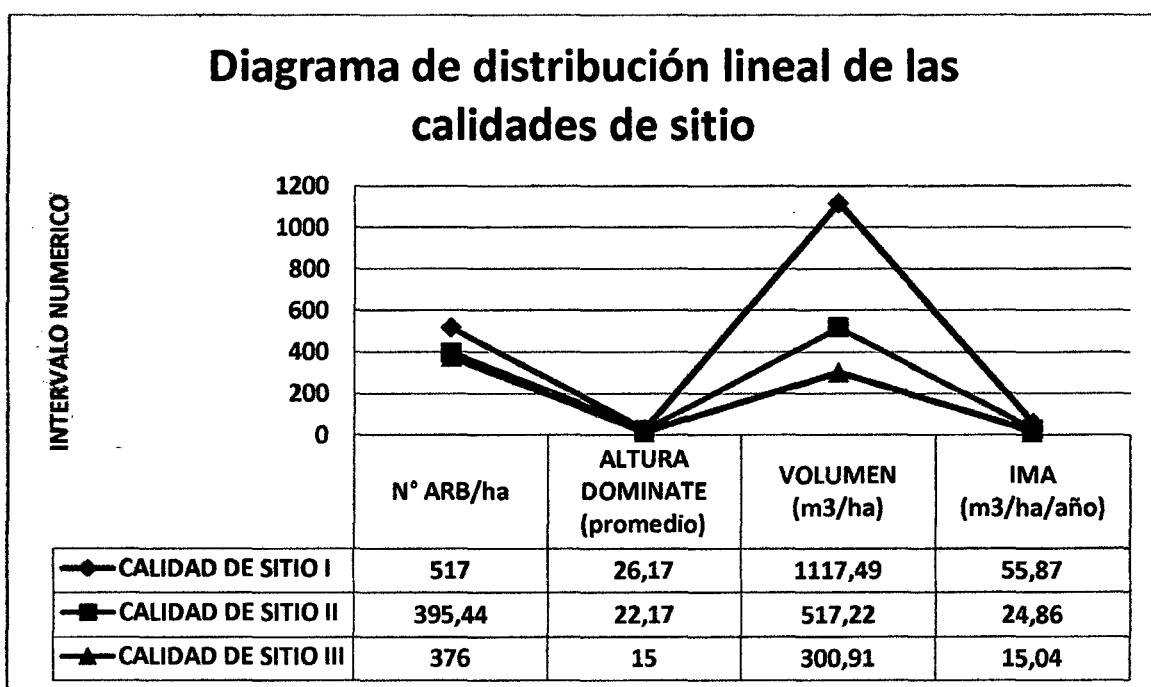


Gráfico 03: Distribución lineal de parámetros dasométricos de las calidades de sitio

Los incrementos de crecimiento en altura varían desde el más alto que es 96.86 m3/ha/año. Como promedio para la Calidad de Sitio I, hasta 30.14 m3/ha/año en promedio correspondiente a la Calidad de Sitio III y por último un incremento intermedio 68.70 m3/ha/año para la Calidad de Sitio II. Estos datos revelan un buen incremento para estos tres tipos de calidades de sitio si se comparan con lo estimado por Romero (30) en Puno, donde el *Pinus radiata* tenía una altura promedio de 12 m.

con un incremento de 0,9 m/año a una edad de 13 años, de esto se deduce que Granja Porcón es el mejor sitio para la producción de *Pinus radiata*.

Estos datos de incremento de masa forestal constituyen un buen motivo para emprender plantaciones forestales con fines industriales en esta zona, de preferencia estas plantaciones se deberán de realizar lugares donde tengan las misma características de suelos que en la Calidad de Sitio I, ya que estas condiciones de suelos son las mejores para el dicho producción. Esta aseveración lo confirma López y Gonzales (1980), al haber obtenido en Puno, volúmenes de 16 a 21 m<sup>3</sup>/ha a una edad de nueve años.

### **3.7. DEL MODELAMIENTO DE LA ESTIMACIÓN DEL SITIO Y CRECIMIENTO**

#### **3.5.1 Análisis de correlación lineal múltiple**

Este análisis nos permitirá determinar la existencia y el grado de correlación de cada una de las variables independientes con la variable dependiente. Este análisis nos da como producto la matriz de correlación de PEARSON en función a los valores de F (que mide el nivel de significancia) y la matriz de correlación de PEARSON en función a los valores de R (que miden el nivel de correlación). A continuación se presenta las matrices antes mencionadas.

Tabla 09: Matriz de correlación línea múltiple de PERSON en función a los valores F (valores de significancia)

	Hdo	P	K	pH	MO	N	Al	Ao	Li	Ar	TEX	PE	CC	PMP	AD
Hdo		,365	,020	,020	,191	,178	,314	,399	,342	,488	,047	,001	,470	,471	,468
P			,242	,242	,000	,000	,340	,311	,411	,318	,228	,280	,187	,187	,187
K				,000	,268	,260	,386	,234	,301	,057	,009	,092	,131	,131	,131
pH					,268	,260	,386	,234	,301	,057	,009	,092	,131	,131	,131
MO						,000	,120	,322	,198	,438	,351	,360	,441	,441	,442
N							,114	,310	,202	,461	,347	,321	,450	,449	,451
Al								,033	,102	,103	,222	,348	,059	,059	,060
Ao									,003	,002	,001	,444	,000	,000	,000
Li										,476	,081	,409	,110	,111	,109
Ar											,004	,491	,000	,000	,000
TEX												,144	,000	,000	,000
PE													,444	,444	,444
CC														,000	,000
PMP															,000
AD															

Nota: Definiremos como significativa una relación con un valor-p menor a 0,05, que es una convención muy frecuente.



Tabla 10 : Matriz de correlación lineal múltiple de PEARSON, en función a los valores R (coeficiente de correlación)

	P	K	pH	MO	N	Al	Ao	Li	Ar	TEX	PE	CC	PMP	AD	PEN	H
P	1	0,204	0,204	0,796**	0,788**	-0,121	0,145	-0,066	-0,139	-0,217	-0,171	-0,257	-0,258	-0,257	-0,415	0,101
K		1	1,000**	0,181	0,188	0,086	-0,212	-0,153	0,442	0,624*	-0,378	0,322	0,322	0,322	0,354	-0,554*
pH			1	0,181	0,188	0,086	-0,212	-0,153	0,442	0,624*	-0,378	0,322	0,322	0,322	0,354	-0,554*
MO				1	0,996**	-0,337	-0,136	0,246	-0,046	-0,112	0,105	-0,044	-0,044	-0,043	-0,241	0,253
N					1	-0,344	-0,146	0,242	-0,029	-0,116	0,136	-0,037	-0,038	-0,037	-0,226	0,267
Al						1	0,506	-0,362	-0,360	-0,223	0,115	-0,436	-0,437	-0,436	0,151	-0,142
Ao							1	-0,699**	-0,728**	-0,755**	-0,042	-0,867**	-0,866**	-0,869**	-0,139	0,076
Li								1	0,018	0,395	0,068	0,349	0,348	0,352	0,199	-0,120
Ar									1	0,677**	-0,007	0,877**	0,877**	0,877**	0,004	0,009
TEX										1	-0,305	0,793**	0,793**	0,794**	-0,154	-0,465
PE											1	-0,041	-0,041	-0,041	0,100	0,739**
CC												1	1,000**	1,000**	0,131	-0,022
PMP													1	1,000**	0,131	-0,021
AD														1	0,132	-0,024
PEN															1	0,082
H																1

\*\* Correlación significativa al nivel 0,01 (bilateral).

\* Correlación significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Tabla que muestra el resultado de la correlación múltiple aplicada a las 15 variables independientes y a la variable dependiente (altura dominante). Esta tabla nos muestra el coeficiente de correlación, cuyo índice nos indica el grado de correlación entre variables.

Para mejor explicación de los análisis de correlación nos agenciamos de la tabla N°10 la cual muestra la calificación de la correlación denominado Coeficiente de Correlación de Pearson.

Tabla 11: Coeficiente de Correlación de Pearson

a)		b)	
r =	Correlación	r =	Correlación
-1	Negativa perfecta	1	Perfecta
-0.9	Negativa muy fuerte	0.9	Muy fuerte
-0.75	Negativa considerable	0.75	Considerable
-0.5	Negativa media	0.5	Media
-0.1	Negativa débil	0.1	Débil
0.0	Inexistente	0.0	Inexistente

Correlacionando la altura (H) con la materia orgánica (MO) y el nitrógeno (N) obtenemos un coeficiente de correlación (r) promedio igual a +0.3, esto nos indica que estas variables tienen una influencia media con el crecimiento del *Pinus radiata*.

Por otra parte cuando correlacionamos la altura (H) con la profundidad total (PT), obtenemos un coeficiente de correlación (r) de +0.7, esto nos indica que la profundidad total tiene una influencia considerable con el crecimiento de la especie en estudio.

En la correlación entre la altura (H) con el pH obtenemos un coeficiente de correlación de (r) igual a -0.55, esto nos muestra un caso contrario al análisis anterior y se interpreta que mientras el pH es más negativo al promedio, vamos a tener un menor crecimiento de *Pinus radiata*.

Con respecto a la textura (TEX) correlacionada con la altura (H) también obtenemos un coeficiente de correlación negativo ( $r = -0,46$ ) mientras los suelos sean más pesados (arcillosos) menor será el crecimiento del *Pinus radiata*.

Con respecto a las correlaciones indirectas, vale decir las correlaciones entre variables independientes, tenemos que:

El Potasio (K) con el pH, la Materia Orgánica (MO) con el Nitrógeno (N), la Capacidad de Campo (CC) con el punto de marchitez permanente (PMP) y el agua disponible (AD), tienen una correlación perfecta ( $r = 1$ ), además de la correlación entre otras variables independientes que no tiene caso analizarlas de forma independiente.

Después de realizar los análisis de correlación lineal simple descartamos las variables menos significativas, ósea las variables que tiene una significancia mayor a 0,05 ( $p > 0,05$ ), esto quiere decir que solamente nos quedamos con las variables independientes que realmente sean significativas en el crecimiento del *Pinus radiata*

#### **4.5.2 Análisis de regresión lineal múltiple**

Ajustamos el modelo según el coeficiente de significancia, y el coeficiente de correlación, de esta manera solo seleccionamos las variables significativas y con regular coeficiente de correlación, de estas tenemos: el pH, la Materia Orgánica, Nitrógeno, la Profundidad Total y la Capacidad de Campo; Con estas pocas variables seleccionadas, aplicamos el análisis de correlación del cual obtenemos las siguientes tablas:

Tabla 12 : Resumen del modelo de regresión lineal múltiple

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl 1	gl 2	Sig. Cambio en F
1	0,84	0,721	0,597	2,7186	0,721	5,823	4	9	0,014
	9 <sup>a</sup>			7					

a. Variables productoras: (Constante), CAP. CAMPO, NITRÓGENO, PROF. TOTAL, pH, MAT. ORGÁNICA

Tabla 13: ANOVA DEL MODELO DE REGRESIÓN

ANOVA <sup>b</sup>						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	172,151	4	43,038	5,823	,014 <sup>a</sup>
	Residual	66,521	9	7,391		
	Total	238,672	13			

a. Variables predictoras: (Constante), CAP. CAMPO, NITRÓGENO, PROF. TOTAL, pH, MAT. ORGÁNICA.

b. Variable dependiente: ALTURA

Tabla 14 : Coeficientes del modelo de regresión lineal múltiple

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	<u>B</u>	<u>Error típ.</u>	<u>Beta</u>		
1	(Constante)	27,108	9,338	2,903	0,018
	pH	-5,021	2,333	-0,450	0,660
	MO	0,273	0,176	0,284	0,157
	PE	0,059	0,021	0,546	0,021
	CC	0,255	0,305	0,157	0,424

La correlación múltiple de las variables independientes (Mo, N, Pe, Ph, CC) altamente significativas y la variable dependiente (H), nos indica que tenemos un nivel de significancia menor que 0,05.

Por lo tanto, solo interpretamos la correlación lineal múltiple si  $p$  es menor que 0,05 nivel de significancia ( $p$  mientras más se aproxime a cero es más significativo). Esto se traduce que mientras  $p$  se aproxime a cero la asociación entre variables se hace más fuerte.

Para el estudio se obtuvo un alto nivel de significancia ( $0,014 < 0,05$ ), por lo tanto se puede aceptar el análisis de regresión múltiple entre las variables independientes y la variable dependiente (H); esto nos dio como resultado el modelo tendencial de crecimiento para el *Pinus radiata* en Granja Porcón, éste nos permitirá caracterizar y estimar el crecimiento en las diferentes calidades de sitio.

Con respecto a la hipótesis, si el  $p$ -valor asociado al estadístico  $F$  es menor que el nivel de significación (normalmente 0.05), aceptamos la hipótesis nula planteada.

El coeficiente de determinación  $r^2$  es 0.72, lo que indica que las 5 variables seleccionadas en el análisis de correlación múltiple son responsables del 72% de la variación del crecimiento de *Pinus radiata* en Granja Porcón.

Todos estos análisis permitieron establecer el modelo (fórmula) que permite determinar calidades de sitio y estimar el crecimiento en altura que podría tener el *Pinus radiata* a la edad de 20 años.

El modelo determinado se expresa de la siguiente manera:

$$Y = 27,162 - 5,01(\text{pH}) + 0,31(\text{MO}) - 1,572(\text{N}) + 0,059(\text{PT}) + 0,255(\text{CC})$$

Dónde:

pH =Potencial de hidrogeno  
MO = Materia Orgánica  
N = Nitrógeno  
PE = Profundidad Total y  
CC = Capacidad de Campo  
Constante = 27,169

La fórmula solamente estima un 72 % del crecimiento del *Pinus radiata* para una edad de 20 años, y en las condiciones climáticas y topográficas en las que está establecida la plantación.

Ejemplo: para la plantación ubicada en Granja Porcón en el cuartel Piedrulo, las características ambientales (edafológicas y topográficas) son las siguientes: pH igual a 4.7, porcentaje de materia orgánica iguala 2.91%, porcentaje de nitrógeno igual a 0.13, profundidad total igual a 60 cm., y una capacidad de campo de 27%. La pregunta es la siguiente: Hallar la altura del *Pinusradiata* y determinar a que calidad de sitio corresponde, en dicha zona.

$$Y = 27.162 - 5.01(\text{pH}) + 0.31(\text{MO}) - 1.572(\text{N}) + 0.059(\text{PT}) + 0.255(\text{CC})$$

$$Y = 27.162 - 5.01(4.7) + 0.31(2.91) - 1.571(0.13) + 0.059(60) + 0.255(27)$$

$$Y = 15.67$$

Por lo tanto la altura del árbol será 15.67 m. y pertenece a una calidad de sitio tres (CS-III)

## **CAPÍTULO V:**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

- 1) Según el modelo determinado, la productividad del *Pinus radiata*, es posible explicarla en un 67% según el nivel del pH, porcentaje de Materia Orgánica (MO), porcentaje de nitrógeno total (N), la Profundidad Total (PT) y el porcentaje de la Capacidad de Campo (CC). Estas variables a su vez se encuentran muy relacionadas con otras características del sitio tales como la pendiente, la textura y otros.
- 2) El Incremento Medio Anual - IMA del *Pinus radiata* en el área en estudio, es uno de los mejores, ya que se ha determinado un IMA igual a 27.83 m<sup>3</sup>/ha/año.
- 3) Los análisis estadísticos de las variables evaluadas indican que la productividad (556.63 m<sup>3</sup>/ha) del *Pinus radiata* (expresado en índice de

sitio) en Granja Porcón, es afectada por la variación ambiental, por lo cual aceptamos la hipótesis nula planteada en la presente investigación.

- 4) Se determinó 3 Calidades de Sitio (CS-I, CS-II, CS-III) para *Pinus radiata*, a la edad de 20 años, en las plantaciones ubicadas en el cuartel Piedrulo ubicado en la Cooperativa Granja Porcón.
- 5) Según los análisis de las variables físicas del suelo se concluye que, la Textura Media (FrArA) del suelo, es una variable determinante en la calidad de sitio del *Pinus radiata*, ya que tiene una correlación directa con respecto a su crecimiento, además esta clase textural favorece la humedad del suelo.
- 6) La Profundidad Total del suelo tiene decisiva importancia en la silvicultura del *Pinus radiata*, ya que los suelos profundos (> a 150 cm.) influyen significativamente en el crecimiento de la especie en estudio, caso contrario ocurre con la pendiente, a mayor pendiente tenemos menor productividad.
- 7) El pH extremadamente ácido no es un factor limitante para el crecimiento del *Pinus radiata*.
- 8) Los suelos estudiados son suelos con deficiente Fosforo - P (1.91 y 18.13), y en las tres Calidades de Sitio existe proporciones homogéneas de este elemento; por lo tanto no podemos evaluar su influencia en el crecimiento



del *Pinus radiata*. Lo mismo ocurre con el Potasio – K (145 - 210), solo que según otros estudios afirman que el *Pinus radiata* solamente necesita 25 ppm de este elemento, por lo tanto estos suelos tiene cantidades excesivas de este elemento.

- 9) La Capacidad de Campo oscila sus valores entre 27% y 18.11%, estos bajos niveles se debe a la baja densidad del dosel y a las pronunciadas pendientes del terreno; esta variable tiene una correlación directamente significativa con la Textura y la Profundidad Total del suelo y estos a su vez con el agua aprovechable por *Pinus radiata*.
  
- 10) El Coeficiente de correlación ( $r$ ) de la pendiente (empinada a extremadamente empinada) es igual a -0.334 (significativa inversa), de este coeficiente se deduce que a mayor pendiente menor crecimiento y viceversa. La pendiente también tiene correlación significativa inversa con la profundidad total.
  
- 11) El modelo ajustado conlleva la incertidumbre de las siguientes fuentes de variación en un 33%: variación genética de la especie, variación ambiental no evaluada, principales factores climáticos, variación en la época de medición de las variables del sitio y los errores de medición.

## 5.2. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar el tamaño de parcela del estudio para la estimación del Índice de Sitio en aquellos rodales con baja densidad, nos da una buena oportunidad en la selección de los árboles dominantes. Por lo tanto se recomienda utilizar parcelas circulares de  $500\text{m}^2$  y 12.6 m de radio.
2. Desarrollar metodologías o perfeccionar las existentes con respecto a la estimación de la Calidad de Sitio, ya que en base a la predicción de la productividad a partir de los factores edáficos topográficos y climáticos podemos estimar la rentabilidad futura. Estas metodologías se convierten en herramientas de planificación de las inversiones a largo plazo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, PE. 1977. Estudio del comportamiento y zonificación para diferentes especies de *Eucalyptus*. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima- Perú. 186 pp.
- Basset, JR. 1963. la influencia de las propiedades de la tierra en el índice de sitio de pino. LousianaAss. Of. Arg. Proc. Vol. 3 Pag. 30-37.
- Castaños, ML. 1962. Evaluación de la calidad de estación de *Pinuspatula* en el norte de Oaxaca. Boletín Técnico N° 2 Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México. 32 pp.
- Daniel, P. 1982. Principios de Silvicultura. Traducido del inglés por Ramón Elisondo Mota. México MC Graw Hill. 231 p.
- De las Salas, G. 1974. Factores edáficos y climáticos en la clasificación de sitios forestales. Bosques de Colombia.
- Devlin, R. 1975. Fisiología vegetal. Editorial Omega. Segunda edición. Barcelona – España. 468 pp.
- Diéguez U, Rojo A, CastedoF. 2009. Herramientas Selvícolas Para la Gestión Forestal Sostenible en Galicia. Xunta de Galicia. Universidad de Santiago de Compostela, Es.
- Duvigneaud, P. La síntesis ecológica. Universidad libre de Bruselas. Bélgica. 306 pp.
- Fassbernder, H. 1975. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. IICA. Turrialva – Costa Rica. 398 pp.
- Gadow, K.v., Rojo, A., Álvarez González, J.G., Rodríguez Soalleiro, R. 1999. Ensayos de crecimiento. Parcelas permanentes, temporales y de intervalo. Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Fuera de Serie n° 1, 299-310.
- Graves, R. Biological growth funtionsdescrie published site index curves for lake state timber soecies. North Central Forest Experiment Station. Research paper. Canada. 9 p
- Gonzales, C. 1987. “Calidad de Sitio para *Pinus radiata* en la plantación de Chílacat- Cajamarca”, tesis.
- Harold, W. y Hocker, J. 1984.Introducción a la biología forestal. Editorial AGT S.A. Primera edición. México. 446 pp.

- Hopkins, F. 1976. Aspectos económicos relacionados con la forestación. N° 6 – Ministerio de Agricultura y Misión de las Universidades de IOWA. Lima Perú. 180 pp.
- Jadan, S. 1972. Sistema de clasificación de índice de sitio para *Eucalyptus deglupta* B.L. En Turrialva. Costa rica. IICA. 99 pp.
- John, W. 1985. Geología de los Cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo y Chepén. Lima. Perú. Editado e impreso por INGEMMET. Escala 1:100 000. Hojas 13d, 13e, 13f, 14d, 14e, 14f, 14g, 15d y 15e. (Boletín N° 38. Serie A: Carta Geológica Nacional).
- Den A, JY. 1195. Zonificación y plantaciones forestales en la sierra peruana, Cajamarca – Perú. 108 pp.
- Ker, JW. An evaluation of several methods of estimating site index of immature stands. *Forestry Chronicle*. 63 - 74 pp
- Miller, A. 1966. Climatología. Editorial Omega. Primera edición. Barcelona-España. 380 pp.
- Marden, DL. Volume growth measurement – and analysis of function and characteristics in site evaluation. *Jour for*. 61 : 193 – 198
- López C, R. y Gonzales, R. Marino. Crecimiento de *Pinus radiata* en puno. *Revista Forestal del Perú* Vol. X N° 1. 165 – 171 pp.
- PRONAMACHCS (Programa Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos. Pe). 1998. Manual de Plantaciones Forestales para la Sierra Peruana. Proyecto: Forestería en Microcuencas Altoandinas – FAO. Primera edición. Perú. 161 p.
- PRONAMACHCS – FEMAP. 1998. Manejo de Plantaciones Forestales. Proyecto: Forestería en Microcuencas Altoandinas – FAO. Primera edición. Perú. 109 p.
- Pulido, H. 1971. Métodos de Evaluación y Principales Factores del Medio Ambiente que Afectan la Calidad del Sitio (investigación bibliográfica) Mérida. Universidad de los Andes. Centro de Estudios Forestales de Post – Grado.
- Ralston, ChW. 1964. Evaluation of forest site productivity. *Intern Rev. of forest Res*. 1: 171-201
- Spurr, S. 1980. Ecología Forestal. 3ª edición. New York. 687 pp

- Straud, L. 1970. Numerical constructions of site index curves. Forest science. Pag 410- 414.
- Thorton, ES. 1959. Application of site evaluation to a large industrial forest. Souther Forest soil Bth Ann. Symp. La St. Univ. Press, Baton Rouge, La.
- Tobar, VA. 1976. Evaluación de la calidad de sitio de las plantaciones de *Pinus caribaea* Var. Hondurencis. En relación a los factores edáficos en Capicho. EDO. Monagas, Venezuela. Univ. De los Andes. Centro de estudios de Post – Grado. Mérida – Venezuela.
- Venezuela. 1967. Manual de levantamiento de suelos. Traducido del libro “Soilsurvey” USA por J.B. Castillo. Ministerios de agricultura y Cría. Caracas, 646 pp.
- Vincent, L. 1975. Manejo de plantaciones forestales con fines de producción. Mérida. Universidad de los Andes. Centro de estudios forestales de Post- Grado.
- Wilde, S. 1958. Las tierras del bosque, sus propiedades y relación con la silvicultura. New York. Ronald Press. 537 pp.
- Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 11 Sep 2013. Disponible en [www.tropicos.org](http://www.tropicos.org)

## ANEXOS

### ANEXO 1: DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA Y NUMERO DE PARCELAS

#### A. MUESTREO AL AZAR

El muestreo de las parcelas se realizó al azar a lo largo de las 41,75 ha de bosque de *Pinus radiata*, ubicado en el bloque Piedra Grande; se muestreo 14 parcelas de forma circular de 500 m<sup>2</sup> de área y 12,62 m de radio.

Para determinar la cantidad de parcelas a inventariar se tomó los datos de la CAP (circunferencia a la Altura del Pecho), los cuales se representan en la siguiente tabla de frecuencias:

#### B. DISTRIBUCIÓN DE LOS DATOS (CAP)

Los datos tomados en campo son agrupados en intervalos de clase de 5 cm cada uno, en función a los resultados obtenidos en campo de los árboles dominantes tomados de las 14 parcelas.

**Tabla N° 8:** Distribución de frecuencias de la Circunferencia a la Altura del Pecho

CLASE					
DESDE	HASTA	Fi	Xi	Fi.Xi	Fi.Xi2
107,00	111,90	9	109,5	985,1	107813,723
112,00	116,90	8	114,5	915,6	104790,42
117,00	121,90	9	119,5	1.075,1	128414,723
122,00	126,90	11	124,5	1.369,0	170365,828
127,00	131,90	11	129,5	1.424,0	184330,328
132,00	136,90	2	134,5	268,9	36153,605
137,00	141,90	6	139,5	836,7	116677,815
142,00	146,90	4	144,45	577,80	83.463,21
TOTAL		60	1015,6	7452	932009,65

Fi = Número de árboles encontrados en la misma clase diamétrica.

Xi = Promedio entre la clase diamétrica mayor y menor.

FiXi = Resultado del producto de Fi y Xi.

FiXi2 = Resultado del producto de Xi y FiXi.

### C. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

c) **Determinación de la Variancia**, mediante la fórmula:

$S^2 = \frac{F_i X_i^2 - \frac{F_i X_i^2}{n}}{n-1}$	Dónde:
	S <sup>2</sup> : Variancia.
	F <sub>i</sub> : Frecuencia de clase.
	X <sub>i</sub> : Marca de clase.
	N : Total de árboles muestreados.

$$S^2 = \left\{ \frac{932009.65 - \left[ \frac{(7452.00)^2}{60} \right]}{(60 - 1)} \right\}$$

$$S^2 = 109.68$$

d) **Determinación de Desviación estándar**, mediante la fórmula:

$S = \sqrt{S^2}$	Dónde:
	S : Desviación estándar.
	S <sup>2</sup> : Variancia.

$$S = \sqrt{109.68}$$

$$S = 10.47$$

e) **Obtención del Promedio Aritmético**, mediante la fórmula:

$\bar{X} = \frac{F_i X_i}{F_i}$	Dónde:
	$\bar{X}$ : Promedio aritmético.
	F <sub>i</sub> : Frecuencia de clase.
	X <sub>i</sub> : Marca de clase.

$$\bar{X} = \frac{7452.00}{60}$$

$$\bar{X} = 124.20$$

f) **Obtención del coeficiente de variabilidad, mediante la fórmula:**

$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100$	Dónde:
	CV : Coeficiente de variabilidad.
	S : Desviación estándar.
	$\bar{X}$ : Promedio aritmético.

$$CV = \frac{10.47 \times 100}{124.20}$$

$$124.20$$

$$CV = 8.43 \%$$

g) **Obtención de la Desviación Estándar de la Media, mediante la fórmula:**

$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$	Dónde:
	$S_{\bar{x}}$ : Desviación estándar de la media.
	S : Desviación estándar.
	n : Total de árboles muestreados.

$$S_{\bar{x}} = \frac{10.47}{\sqrt{60}}$$

$$S_{\bar{x}} = 1.35$$

h) **Determinación del Límite de Confianza, mediante la fórmula:**

$M \pm S_{\bar{x}} \cdot t$	Dónde:
	M : Promedio aritmético.
	$S_{\bar{x}}$ : Desviación estándar de la media.
	t : Valor de $t$ de student al 0.05 de error y con 60 grados de libertad

$$M \pm S_{\bar{x}} \cdot t = 1.98$$

i) **Determinación del Tamaño de Muestra (para un error asumido de 20%), mediante la fórmula:**



$n = \frac{(CV)^2(t)^2}{(E\%)^2 + \frac{(CV)^2(t)^2}{N}}$	Donde:
	N :Tamaño de la muestra (en hectáreas).
	CV :Coeficiente de variabilidad.
	t :Valor de t de student al 0.05 de error y con 60 grados de libertad = 1.98.
	E% :Error asumido de la muestra = 20%.
N :Área total muestreada = 41.75 ha.	

$$n = \frac{(8.43)^2 * (1.98)^2}{(20)^2 + \frac{(8.43)^2 * (1.98)^2}{41.75}}$$

$$n = 0.69 \text{ ha}$$

**j) Determinación de la Intensidad de muestreo, mediante la fórmula:**

$I = \frac{n}{N}$	Dónde:
	I :Intensidad de muestreo.
	N :Tamaño de la muestra (en hectáreas).
	N :Área total muestreada = 41.75 ha.

$$I = \frac{0.69}{41.75} * 100$$

$$I = 1.64 \%$$

**k) Superficie de la parcela a muestrear:**

$s_p$  = Superficie de Parcela Circular de 500 m<sup>2</sup> de área (0.05 ha), y 12.62 m de radio.

**l) Determinación del Número de Parcelas a muestrear, mediante la fórmula:**

$N_p = \frac{n}{S_p}$	Dónde:
	$N_p$ : Número de parcelas.
	n :Tamaño de la muestra (en hectáreas).
	$S_p$ : Superficie de la parcela (en hectáreas).

$$N_p = \frac{0.69}{0.05}$$

$$N_p = 13.71 \text{ parcelas.}$$

**m) Determinación de Puntos de Muestreo, mediante la fórmula:**

$P_m = \frac{N}{N_p}$	Dónde:
	$P_m$ :Puntos de muestro (en hectáreas).
	$N$ : Área total muestreada (41.75).
	$N_p$ :Número de parcelas.

$$P_m = \frac{41.75 * 10000}{13.71}$$

$$P_m = 30455 \text{ ha.}$$

**n) Determinación de Longitud de Puntos de Muestreo, mediante la fórmula:**

$L = \sqrt{P_m}$	Dónde:
	$L$ :Longitud de puntos de muestreo.
	$P_m$ :Puntos de muestro (en m2).

$$L = \sqrt{30455}$$

$$L = 174.51 \text{ m.}$$



MINISTERIO DE AGRICULTURA



Instituto Nacional de Investigación Agraria

ESTACIÓN EXPERIMENTAL BAÑOS DEL INCA  
LABORATORIO DE SUELOS

**LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS, AGUAS, ABONOS Y PASTOS**

NOMBRE **PROYECTO FORESTALES**

PROCEDECENCIA **Porcón - Cajamarca**

FECHA: **22 - 01 - 2007**

**RESULTADO DE ANALISIS DE SUELOS:**

Nombre de la Parcela	Código de Laboratorio	P ppm	K ppm	pH	MO %	N %	Al meq	CIC meq	Ao %	Li %	Ar %	Clase Textural	CC %	PMP %	AD %
							100 g	100 g							
MP3-LC	SU1410-EEBI-06	2,86	215,0	4,3	4,90	0,200	1,20		66	18	16	F. Arenoso	14,73	7,64	7,09
MP4-C	SU1411-EEBI-06	4,77	185,0	3,7	4,98	0,200	6,75		49	32	19	Franco	18,14	9,78	8,36
MP6-C	SU1412-EEBI-06	3,34	215,0	4,3	5,04	0,200	2,54		48	24	28	F. arcillo arenoso	20,87	11,49	9,38
MP7-C	SU1413-EEBI-06	6,68	210,0	4,2	4,98	0,190	2,20		57	30	13	Franco arenoso	15,12	7,88	7,24
MP8-C	SU1414-EEBI-06	5,24	220,0	4,4	5,04	0,210	1,85		54	26	20	Franco arenoso	17,67	9,49	8,18
MP9-PI	SU1415-EEBI-06	4,29	185,0	3,7	4,48	0,180	6,03		41	30	29	Franco arcilloso	22,43	12,48	9,95
MP10-PI	SU1416-EEBI-06	1,43	190,0	3,8	5,04	0,200	4,08		48	24	28	F. arcillo arenoso	21,05	11,61	9,44
MP11-PI	SU1417-EEBI-06	2,39	205,0	4,1	3,64	0,160	2,60		35	34	31	Franco arcilloso	23,90	13,40	10,50
MS <sup>o</sup> 01	SU1420-EEBI-06	3,34	210,0	4,2	2,91	0,130	8,60		40	17	43	Ardilloso	27,00	15,35	11,65
MS <sup>o</sup> 02 Calicata 01	SU1421-EEBI-06	4,29	190,0	3,8	3,30	0,150	9,66		44	28	28	Franco arcilloso	21,43	11,84	9,59
MS <sup>o</sup> 03	SU1422-EEBI-06	2,86	185,0	3,7	3,78	0,150	6,54		48	12	40	Arcillo arenoso	24,74	13,93	10,81
MS <sup>o</sup> 04	SU1423-EEBI-06	8,11	170,0	3,4	4,26	0,180	8,52		60	12	28	F. arcillo arenoso	19,20	10,45	8,75
MS <sup>o</sup> 05 Calicata 03	SU1424-EEBI-06	4,77	150,0	3,0	3,86	0,150	9,36		62	22	16	F. arcillo arenoso	19,68	10,75	8,93
MS <sup>o</sup> 06	SU1425-EEBI-06	4,77	155,0	3,1	3,22	0,150	8,96		48	20	32	F. arcillo arenoso	22,27	12,37	9,90
MS <sup>o</sup> 07 Calicata 04	SU1426-EEBI-06	7,63	145,0	2,9	4,68	0,200	6,73		60	12	28	F. arcillo arenoso	19,38	10,56	8,82
MS <sup>o</sup> 09	SU1427-EEBI-06	2,39	145,0	2,9	4,93	0,200	5,3		50	20	30	F. arcillo arenoso	21,23	11,72	9,51

Observaciones : Ao= Arena; Li=Limo; Ar=Arcilla; CC=Capacidad de campo; PMP=Punto de marchitez Permanente; AD=Agua disponible

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGRARIA  
Estación Experimental Baños del Inca

Ing. Tullio A. [Signature] Camacho  
Jefe Laboratorio de Suelos

Jr. Wiracocha S/N Baños del Inca Telefex 076-348386 - 076-348648 - Celular 076-9869034 - RPM 284564

E-mail: bincad@fenix.inia.gob.pe CAJAMARCA - PERU

ANEXO 2: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE SUELOS



MINISTERIO DE AGRICULTURA



Instituto Nacional de Investigación Agraria

ESTACIÓN EXPERIMENTAL BAÑOS DEL INCA  
LABORATORIO DE SUELOS

LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS, AGUAS, ABONOS Y PASTOS

NOMBRE PROYECTO FORESTALES

PROCEDENCIA Porcón - Cajamarca

FECHA: 22 - 01 - 2007

RESULTADO DE ANALISIS DE SUELOS:

Nombre de la Parcela	Código de Laboratorio	P ppm	K ppm	pH	MO %	N %	Al meq 100 g	CIC meq 100 g	Ao %	Li %	Ar %	Clase Textural	CC %	PMP %	AD %
MS9 09 calcata 05	SU1428-EEBI-06	1,91	145,0	2,9	5,46	0,190	5,28		36	34	30	Franco arcilloso	23,3	13,02	10,28
C 2	SU1429-EEBI-06	12,40	150,0	3,0	8,68	0,260	9,44		66	14	20	Arcillo arenoso	15,82	8,32	7,5
S/nombre	SU1430-EEBI-06	4,37	150,0	3,0	4,51	0,180	6,00		50	18	32	F. arcillo arenoso	22,05	12,24	9,81
- M1 C1	SU1431-EEBI-06	4,77	200,0	4,0	6,89	0,210	5,12		60	18	22	F. arcillo arenoso	17,29	9,25	8,04
- M2/C1yC2	SU1432-EEBI-06	7,63	185,0	3,7	5,77	0,200	5,98		54	18	28	F. arcillo arenoso	20,22	11,09	9,13
- M3 C2	SU1433-EEBI-06	7,16	210,0	4,2	4,70	0,190	1,08		60	16	24	F. arcillo arenoso	18,11	9,76	8,35
- M4/C2yC3	SU1434-EEBI-06	6,68	160,0	3,2	4,87	0,190	5,68		54	16	30	F. arcillo arenoso	20,91	11,52	9,39
- M5 C3	SU1435-EEBI-06	10,48	160,0	3,2	9,52	0,280	4,90		60	22	18	Franco arenoso	16,15	8,53	7,62
- M6 C4	SU1436-EEBI-06	8,59	150,0	3,0	4,62	0,180	6,16		56	18	26	F. arcillo arenoso	19,30	10,51	8,79
- M7/C4yC5	SU1437-EEBI-06	6,68	160,0	3,2	6,89	0,210	5,57		60	16	24	F. arcillo arenoso	18,06	9,73	8,33
- M8 C5	SU1438-EEBI-06	5,72	160,0	3,2	8,74	0,260	2,82		64	14	22	F. arcillo arenoso	16,92	9,01	7,91
- M9/ C5yC6	SU1439-EEBI-06	4,29	160,0	3,2	4,79	0,190	3,80		52	24	24	F. arcillo arenoso	19,17	10,43	8,74
- M10 C7	SU1440-EEBI-06	8,59	160,0	3,6	10,25	0,300	1,30		52	28	20	Franco arenoso	17,90	9,63	8,27
- M11 C7	SU1441-EEBI-06	7,63	150,0	3,0	6,05	0,210	6,20		56	14	30	F. arcillo arenoso	20,58	11,31	9,27
- M12/C7yC8	SU1442-EEBI-06	5,72	205,0	4,1	5,15	0,180	3,20		56	18	26	F. arcillo arenoso	19,30	10,51	8,79
- M13 C8	SU1443-EEBI-06	4,77	190,0	3,8	4,68	0,190	6,00		52	16	32	F. arcillo arenoso	21,71	12,03	9,68

Observaciones : Ao= Arena; Li=Limo; Ar=Arcilla; CC=Capacidad de campo; PMP=Punto de marchitez Permanente; AD=Agua disponible

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGRARIA  
Estación Experimental Baños del Inca

Ing. Yulfo A. Bascuñán Camacho  
Jefe Laboratorio de Suelos

Jr. Wiracocha S/N Baños del Inca Telefax 076-348386 - 076-348648 - Celular 076-9869034 - RPM 284564

E-mail: bincad@fenix.inia.gob.pe CAJAMARCA - PERU

### ANEXO 3: PANEL FOTOGRÁFICO



Midiendo radio de longitud de 12.6 m



Delimitando parcela de forma circular



Ubicado en la parte superior del árbol para medir el DAP



Midiendo la altura de los aboles dominante de los arboles



Analizando el perfil del suelo



Calicata de una parcela



Determinación de la pendiente - 1



Determinación de la pendiente - 2





Densidad y cobertura vegetal del sotobosque(zona de boques ralos)