

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIAS
MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS

**INFLUENCIA DE LA CALIDAD DE SITIO EN LA PRODUCCIÓN
MADERABLE DEL *Pinus radiata* D. Don, EN EL PARQUE
FORESTAL CUMBE MAYO – CAJAMARCA**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presentada por:

Bachiller SERGIO RONALD SOTO SÁNCHEZ

Asesor:

Ing. M.Sc. WALTER RICARDO RONCAL BRIONES

Cajamarca, Perú

2019

COPYRIGHT © 2019 by
SERGIO RONALD SOTO SÁNCHEZ
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS APROBADA

INFLUENCIA DE LA CALIDAD DE SITIO EN LA PRODUCCIÓN MADERABLE DEL *Pinus radiata* D. Don, EN EL PARQUE FORESTAL CUMBE MAYO – CAJAMARCA

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presentada por:

Bachiller **SERGIO RONALD SOTO SÁNCHEZ**

Jurado Evaluador

M.Sc. Wilfredo Poma Rojas
Miembro del jurado evaluador

M.Sc. Andrés Castro Abanto
Miembro del jurado evaluador

M.Cs. Attilio Cadenillas Martínez
Miembro del jurado evaluador

M.Sc. Walter Roncal Briones
Asesor

Cajamarca, Perú

2019



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD

Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



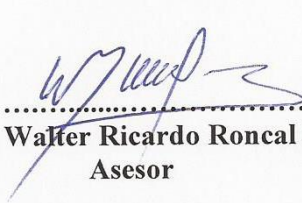
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las *11:15* horas del día 26 de julio de dos mil diecinueve, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **M.Sc. WILFREDO POMA ROJAS** y, **M.Cs. ATTILIO ISRAEL CADENILLAS MARTÍNEZ**, **M.Sc. ANDRÉS EUCLIDES CASTRO ABANTO**, y en calidad de Asesor el **M.Sc. WALTER RICARDO RONCAL BRIONES**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada: **INFLUENCIA DE LA CALIDAD DE SITIO E LA PRODUCCIÓN MADERABLE DEL *Pinus radiata* D. Don, EN EL PARQUE FORESTAL CUMBE MAYO – CAJAMARCA**; presentada por el **Bach. en Ciencias Forestales SERGIO RONALD SOTO SÁNCHEZ**.

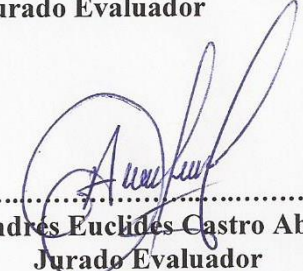
Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó *por unanimidad* con la calificación de *Dieciséis (16)* la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Bach. Ciencias Forestales SERGIO RONALD SOTO SÁNCHEZ**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrícolas, con Mención en **GESTIÓN AMBIENTAL**.

Siendo las *12:40* horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
M.Sc. Walter Ricardo Roncal Briones
Asesor


.....
M.Sc. Wilfredo Poma Rojas
Jurado Evaluador


.....
M.Cs. Attilio Israel Cadenillas Martínez
Jurado Evaluador


.....
M.Sc. Andrés Euclides Castro Abanto
Jurado Evaluador

A:

El forjador de mi camino, al padre celestial, el que me acompaña y siempre
me levanta de mi continuo tropiezo, al creador de mis padres,
Francisco Manuel y Nimia Tomasa Q.D.D.G y E.P.D

A mi familia que son las personas que más amo,
mi esposa Liliana, mis hijos Josselyn, Diego y Matías,
así como a mis hermanas Sofía, Soledad y Susana.

AGRADECIMIENTO

A la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, por haberme abierto las puertas para realizar mis estudios de Maestría.

Un agradecimiento pleno y sincero a mi asesor el M.Sc. Ing. Walter Roncal Briones, en quién encontré a una excelente persona y guía, lo que me ha permitido tener una visión diferente del conocimiento y de todo lo que ello implica, agradezco su valiosa y desinteresada colaboración para la elaboración del presente trabajo de tesis.

A mi colega, amigo y compadre espiritual el M.Cs. Ing. Jim Jairo Villena Velásquez por su desinteresada colaboración y aportes en la ejecución y culminación de la presente tesis.

A Humberto Valdéz, Oscar Requelme, Rodrigo Villanueva, Cristian Fachin y Luiz Amaringo que gracias a sus aportes se pudo concluir con éxito el presente trabajo.

ÁRBOL, amigo mío, crece para ti,
crece para mí, crece para todos los hombres.

Porque tenemos necesidad de ti,
para respirar y calentarnos,
para resguardarnos y amueblarnos
para amarnos y para dormir,
para vivir y morir.

- M. Quoiat

CONTENIDO

| | Pag. |
|---|-------------|
| DEDICATORIA | v |
| AGRADECIMIENTO | vi |
| EPIGRAFE | vii |
| TABLA DE CONTENIDOS | viii |
| LISTA DE TABLAS | xi |
| LISTA DE FIGURAS | xii |
| LISTA DE ABREVIATURAS | xiv |
| RESUMEN | xvi |
| ABSTRACT | xvii |
| | |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN | 18 |
| | |
| CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA | 21 |
| 2.1. Antecedentes de la investigación | 21 |
| 2.2. Características de la especie <i>Pinus radiata</i> D. Don | 22 |
| 2.2.1. Perspectiva histórica | 22 |
| 2.2.2. Procedencia | 23 |
| 2.2.3. Descripción dendrológica y silvicultural del <i>P. radiata</i> | 24 |
| 2.2.3.1. Taxonomía y descripción morfológica de la especie | 24 |
| 2.2.3.2. Requisitos del sitio | 26 |
| 2.2.3.3. Características de las trozas | 27 |
| 2.2.3.4. Rendimientos maderables en plantaciones | 27 |
| 2.3. Calidad de sitio | 28 |
| 2.4. Importancia de la calidad de sitio | 29 |
| 2.5. Evaluación de la calidad de sitio | 30 |
| 2.6. Métodos para la evaluación de la calidad de sitio | 31 |
| 2.6.1. Métodos directos | 31 |
| 2.6.2. Métodos indirectos | 32 |
| 2.6.2.1. Índice de sitio | 33 |
| 2.6.2.2. Especies indicadoras | 33 |

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 66 |
| 4.1. Ubicación y distribución de parcelas del área de estudio | 66 |
| 4.2. Evaluación de los árboles | 68 |
| 4.3. Descripción de los perfiles de suelo según su capacidad de uso mayor | 69 |
| 4.4. Evaluación de las variables edáficas | 72 |
| 4.5. Determinación de la calidad de sitio | 77 |
| 4.6. Calidad de sitio y su relación con las variables climáticas | 82 |
| 4.7. Representación y producción del bosque por calidad de sitio | 85 |
| 4.8. Caracterización de las calidades de sitio | 87 |
| 4.9. Evaluación de la calidad de la madera | 92 |
| 3.1.5. Propiedades físicas | 92 |
| 3.1.5. Propiedades mecánicas | 93 |
| | |
| CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 97 |
| | |
| CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 100 |
| | |
| CAPÍTULO VII. ANEXOS | 114 |

LISTA DE TABLAS

| | Pag. |
|---|-------------|
| Tabla 1. Ubicación geográfica de parcelas experimentales | 66 |
| Tabla 2. Parámetros dasométricos de evaluación en parcelas de <i>P. radiata</i> | 68 |
| Tabla 3. Características edáficas de cada parcela evaluada | 70 |
| Tabla 4. Clasificación de suelos según su capacidad de uso mayor | 71 |
| Tabla 5. Análisis físico químico de los suelos del Parque Forestal Cumbe Mayo | 72 |
| Tabla 6. Análisis de varianza (ANOVA) para la altura dominante por parcela | 79 |
| Tabla 7. Prueba de significación de Tukey al 5 % de probabilidad | 79 |
| Tabla 8. Distribución de alturas según calidad de sitio | 81 |
| Tabla 9. Medidas dasométricas por calidad de sitio | 85 |
| Tabla 10. Matriz de correlación del análisis de las características del suelo | 90 |
| Tabla 11. Matriz de correlación del análisis de las características del subsuelo | 91 |
| Tabla 12. Resumen de las propiedades físicas y mecánicas del <i>P. radiata</i> | 94 |
| Tabla 13. Distribución de frecuencias de la circunferencia de un muestreo al azar de 15 árboles de <i>P. radiata</i> D. Don en el Parque Forestal Cumbe Mayo – Cajamarca | 115 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pag. |
|--|-------------|
| Figura 1. Individuo adulto de <i>P. radiata</i> , hojas, flor y frutos | 25 |
| Figura 2. Ubicación del área de estudio | 54 |
| Figura 3. Gráfico de precipitación media anual de los últimos 48 años | 56 |
| Figura 4. Gráfico de temperaturas media anual de los últimos 48 años | 56 |
| Figura 5. Mapa de distribución de las parcelas de evaluación de <i>P. radiata</i> | 67 |
| Figura 6. Distribución de alturas por índice de sitio | 80 |
| Figura 7. Curvas de calidades de sitio para la plantación de <i>P. radiata</i> | 81 |
| Figura 8. Correlación de la precipitación y la altura en la calidad de sitio I | 83 |
| Figura 9. Correlación de la precipitación y la altura en la calidad de sitio II | 83 |
| Figura 10. Correlación de la temperatura y la altura en la calidad de sitio I | 84 |
| Figura 11. Correlación de la temperatura y la altura en la calidad de sitio II | 85 |
| Figura 12. Propiedades físicas de la madera del Parque Forestal Cumbe Mayo vs madera de Chile | 95 |
| Figura 13. Propiedades mecánicas de la madera del Parque Forestal Cumbe Mayo vs madera de Chile | 96 |
| Figura 14. Vista de calicata N° 01 | 122 |
| Figura 15. Vista de calicata N° 02 | 124 |
| Figura 16. Vista de calicata N° 03 | 126 |
| Figura 17. Medición de parcelas de muestreo | 149 |
| Figura 18. Señalización de parcelas de muestreo | 149 |
| Figura 19. Medición de Circunferencia a la altura del pecho | 150 |

| | | |
|-------------------|---|-----|
| Figura 20. | Medición de alturas con hipsómetro de suunto | 150 |
| Figura 21. | Toma de datos dasométricos | 151 |
| Figura 22. | Selección de árboles para pruebas físico-mecánicas | 151 |
| Figura 23. | Apertura de calicatas | 152 |
| Figura 24. | Medición de profundidad efectiva de suelo | 152 |
| Figura 25. | Codificación y acondicionamiento de muestras de suelo | 153 |
| Figura 26. | Ingreso de muestras a laboratorio de suelos | 153 |
| Figura 27. | Apeado de árboles | 154 |
| Figura 28. | Trozado y selección de trozas | 154 |
| Figura 29. | Aserrado de la madera | 155 |
| Figura 30. | Probetas para ensayos físico-mecánicos de la madera | 155 |

LISTA DE ABREVIACIONES

| | |
|----------------|---|
| %StB | Porcentaje de saturación de bases |
| A | Arena |
| AB | Área basal |
| ANOVA | Análisis de varianza |
| Ar | Arcilla |
| ASTM | American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) |
| CAP | Circunferencia a la altura del pecho |
| CE | Conductividad eléctrica |
| CIC | Capacidad de intercambio catiónico |
| CORMA | Corporación Chilena de la Madera |
| CT | Calcáreo total |
| CUM | Capacidad de uso mayor |
| ELPF | Esfuerzo de fibras al límite proporcional |
| FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación |
| Fr | Franco |
| Hd | Altura |
| HT | Altura total |
| IMA | Incremento medio anual |
| INACAL | Instituto Nacional de Calidad |
| INFOR | Instituto Forestal |
| INTAGRI | Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura |

| | |
|----------------|---|
| MAS | Muestreo aleatorio simple |
| MO | Materia orgánica |
| MOE | Módulo de elasticidad |
| MOR | Módulo de ruptura |
| NTP | Norma Técnica Peruana |
| PE | Profundidad efectiva |
| Pen | Pendiente |
| pH | Potencial de hidrogeno |
| PMA | Precipitación medio anual |
| SB | Saturación de bases |
| SCC | Suma de cationes cambiabes |
| SENAMHI | Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología |
| TMM | Temperatura media mensual |
| USDA | United States Department of Agriculture (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) |
| UTM | Universal Transverse Mercator (Marcador transversal universal) |
| V | Volumen |
| WGS | World Geodetic System (Sistema Geodésico Mundial) |

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la plantación forestal de *P. radiata* ubicada en el Parque Forestal Cumbe Mayo de 46 años de edad, propiedad de la Universidad Nacional de Cajamarca, con el objetivo de determinar la calidad de sitio en la que se encuentra establecida dicha plantación y cuál es su influencia en la producción maderable; para ello se desarrolló un trabajo de campo que consistió en la evaluación dasométrica de los árboles dominantes, evaluación y caracterización de los suelos, así como los parámetros climático. El análisis estadístico nos llevó a determinar para el área de estudio dos calidades de sitio; teniendo para la calidad de sitio I una altura dominante promedio de 39.5 m, un incremento en altura de 0.86 m/año, volumen maderable de 937.07 m³/ha y para la calidad de sitio II, una altura dominante promedio de 32.2 m, un incremento en altura de 0.68 m/año, volumen maderable de 865.68 m³/h. Entre las variables edáficas que mostraron una relación muy alta con la altura de los árboles se tuvo a la profundidad efectiva, porcentaje de arena, porcentaje de arcilla, fosforo disponible, capacidad de intercambio catiónico, suma de cationes y las variables edáficas del sub suelo fueron, profundidad efectiva, conductividad eléctrica, porcentaje de arena, porcentaje de arcilla, nitrógeno disponible, suma de cationes y suma de bases. En cuanto al aporte de las variables climáticas con la altura de los árboles se pudo determinar que para la variable de precipitación existe una correlación positiva moderada, mientras que para la variable de temperatura una correlación positiva alta. Las pruebas realizadas para determinar la calidad de la madera de *P. radiata* en su estado verde, nos muestran para sus propiedades físicas una madera estable mientras que para las propiedades mecánicas dentro del rango de calidad bajo a medio, muy flexible.

Palabras clave: Calidad de sitio, Cumbe Mayo, *P. radiata*, variables dasométricas, variables edáficas, variables climáticas, calidad de la madera.

ABSTRACT

This research work was carried out in the *P. radiata* forest plantation located in the 46 year old Cumbe Mayo Forest Park, owned by the National University of Cajamarca, with the objective of determining the quality of the site where This plantation is established and what is its influence on timber production; For this purpose, a field work was developed that consisted of the dasometric evaluation of the dominant trees, evaluation and characterization of the soils, as well as the climatic parameters. The statistical analysis led us to determine for the study area two site qualities; having for the site quality I an average dominant height of 39.5 m, an increase in height of 0.86 m/year, timber volume of 937.07 m³/ha and for the quality of site II, an average dominant height of 32.2 m, an increase in height of 0.68 m/year, timber volume of 865.68 m³/ha. Among the edaphic variables that showed a very high relationship with the height of the trees were the effective depth, percentage of sand, percentage of clay, available phosphorus, cation exchange capacity, sum of cations and edaphic variables of the sub soil were , effective depth, electrical conductivity, percentage of sand, percentage of clay, available nitrogen, sum of cations and sum of bases. Regarding the contribution of the climatic variables with the height of the trees, it was possible to determine that for the precipitation variable there is a moderate positive correlation, while for the temperature variable a high positive correlation. The tests performed to determine the quality of the wood of *P. radiata* in its green state, show us for its physical properties a stable wood while for the mechanical properties within the low to medium quality range, very flexible.

Key words: Site quality, Cumbe Mayo, *P. radiata*, dasometric variables, edaphic variables, climatic variables, wood quality.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más importantes que enfrentan los productores forestales es la selección de sitios y especies adecuadas para programas de reforestación, así de como clasificar las especies en términos de crecimiento y calidad de sitio (Vásquez y Ugalde, 1995).

En el área de silvicultura y manejo, el concepto de sitio, entendido como la interacción entre las distintas especies forestales y las condiciones edafoclimáticas que las rodean, ha permitido el desarrollo de técnicas orientadas a la estimación de la productividad forestal. Existen numerosos esfuerzos destinados a cuantificar el potencial productivo de especies y su relación con las zonas geográficas en que se desarrollan (Ojeda, 2011).

La calidad de sitio es una expresión de la capacidad productiva de un área, para una especie determinada. Es la máxima productividad potencial de una especie forestal. Su conocimiento es fundamental para predecir o modelar la producción, pero también para elegir los mejores sitios y así plantar la especie apropiada en el lugar adecuado (Amico et al., 2010).

El Parque Forestal Cumbe Mayo propiedad de la Universidad Nacional de Cajamarca, se creó a inicios de la década de 1970 con el fin de establecer un modelo de comunidad Silvo Agropecuaria en un lugar representativo dentro de Cajamarca. El predio cuenta con una extensión de 38.75 ha, dentro del cual existen rodales establecidos de *Eucalyptus globulus*, *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa*, los cuales han llegado a su turno de aprovechamiento. El trabajo de investigación se ha enfocado principalmente en la especie de *P. radiata* por ser una conífera de gran demanda en el mercado. Actualmente se observan árboles caídos y otros inclinados, afectados principalmente por el viento, pero también se pueden apreciar árboles de muy buena postura, a pesar de ello no se cuenta con información respecto a las características

del sitio en las que se ha desarrollado la plantación, ni los volúmenes maderables a la actualidad, así como de las condiciones de la calidad de la madera, motivo por el cual es necesario investigar sobre estas interrogantes y también averiguar el grado de influencia de la calidad de sitio en la producción maderable de estas plantaciones.

Las preguntas básicas que se propuso responder a través de la investigación fueron:

¿Cuáles son las características de sitio en el área de plantación de *P. radiata* en el Parque Forestal Cumbe Mayo?

¿Cómo influye la calidad de sitio en la producción maderable del *P. radiata*, en el Parque Forestal Cumbe Mayo?

Las interrogantes antes mencionadas nos llevaron a formular la siguiente hipótesis de trabajo: Las características de calidad de sitio del Parque Forestal Cumbe Mayo, influyen directamente en la producción forestal maderable de la especie *P. radiata* allí establecida.

Los objetivos planteados fueron: *Objetivo general*. Evaluar la influencia de la calidad de sitio en la producción maderable del *P. radiata* en el Parque Forestal Cumbe Mayo, mientras que los específicos. i) Evaluar las características de sitio del área donde se encuentra la plantación de *P. radiata*, en el Parque Forestal Cumbe Mayo. ii) Evaluar la influencia de la calidad de sitio en el volumen maderable del *P. radiata* al momento de la tala final. iii) Evaluar la influencia de la calidad de sitio en las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *P. radiata*, al momento de la tala final.

La investigación realizada en la plantación de *P. radiata* en el Parque Forestal Cumbe Mayo nos permite tener información detallada sobre el grado de influencia de la calidad de sitio en una plantación forestal, tanto en su rendimiento en volumen maderable como en las propiedades físico – mecánicas de la madera, los resultados obtenidos servirán para que se pueda inferir en lugares semejantes el rendimiento esperado en volumen maderable y los usos probables de su madera.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

Pantoja y Vallejos (2013) desarrollaron un trabajo de identificación de la calidad de sitio en una plantación de *P. radiata* D. Don, en el cantón Ibarra, parroquia Angochagua, sector hacienda la Merced en Ecuador de 15 años de edad, identificando cuatro calidades de sitio para esta zona, con un promedio en altura para la calidad de sitio I de 26.80 m, equivalentes a un crecimiento de 1.79 m/año, para la calidad de sitio II una altura de 22.20 m, equivalentes a un crecimiento de 1.48 m/año, para la calidad de sitio III de 18.60 m, equivalentes a 1.24 m/año y finalmente para la calidad de sitio IV de 13.90 m equivalentes a 0.93 m/año, uno de los factores determinantes para el buen desarrollo de los árboles fue la exposición a los rayos solares.

Aldana (2012) realizó un trabajo de investigación en Inkawasi, Lambayeque, sobre el análisis de crecimiento en plantaciones de *P. radiata* a diferentes edades, diferenciando tres calidades de sitio, distribuidas en un 6,19 % para la calidad de sitio I, el 74,23 % en la calidad de sitio II y 19,58 % en la calidad de sitio III.

Huaripata (2012) realizó un estudio de calidad de sitio para *P. radiata* en las plantaciones de Granja Porcón en Cajamarca, determinando tres calidades de sitio para esta especie de 20 años de edad, con una producción maderable promedio para la calidad de sitio I de 1117.49 m³/ha, para la calidad II de 517.22 m³/ha y para la calidad de sitio III de 300.91 m³/ha; con sus respectivos incrementos en altura de 1.3 m/año, 1.1 m/año y 0.75 m/año. La textura media (FrArA) del suelo fue una variable determinante en la calidad de sitio, esta tuvo una correlación directa con respecto a su crecimiento, también indica que la profundidad efectiva del suelo tiene una decisiva importancia en el crecimiento de la especie, caso contrario ocurre con la pendiente, a mayor pendiente existe una menor productividad.

Gonzales (1987) realizó un estudio de calidad de sitio para *P. radiata* en el caserío de Chilacat, Distrito de Namora Departamento de Cajamarca, el análisis estadístico permitió establecer tres calidades de sitio en toda la plantación, afirmando que el incremento en altura para la calidad de sitio I fue de 1.2 m/año, para la calidad II de 0.9 m/año y para la calidad III de 0.6 m/año, y las variables edáficas que influyeron positivamente fueron la profundidad efectiva, porcentaje de arcilla, porcentaje de materia orgánica, grado de pendiente, número de bacterias por gramo y capacidad de almacenamiento de agua de los suelos.

Mendoza (1980) hizo la determinación de índices de sitio de *P. radiata* aplicando el método práctico de campo en bosquetes del Altiplano. Encontró cinco índices de sitio, sin embargo, recomendó continuar con las evaluaciones de índices de sitio de *P. radiata* para determinar curvas de índices de sitio reales en diferentes calidades de sitio ya encontradas.

CICAFOR (1978) estudió la relación que existe entre la calidad del suelo y el crecimiento de plantaciones forestales en Cajamarca. Se verificó que los mejores crecimientos se anotan por los bosques situados en suelos semejantes a los que la especie prefiere, sobre todo si son profundos, bien drenados y abastecidos de nutrientes; la presencia de humedad es el factor más importante.

2.2. Características de la especie *Pinus radiata* D. Don

2.2.1. Perspectiva histórica

P. radiata, sin duda el más conocido de las coníferas de América del Norte, es la madera de coníferas exótica más extensamente plantada en el mundo. El nombre específico, radiata, proviene de sus escamas de cono radiante. En la literatura temprana, la especie a menudo se llamaba *P. insignis* Dougl., ya que Douglas la describió un poco más tarde. El nombre común

casi universal para la especie y la madera es pino radiata en español, pero todavía se lo conoce como Pino Monterey en los Estados Unidos de América y algunos otros países de habla inglesa, o como Pino insigne o Pino de Monterrey en algunas áreas de habla hispana. Insignis (o insigne en español) se puede traducir como "notable", un término que la especie cumple. El *P. radiata* fue descrito formalmente por David Don, profesor de Botánica en Kings College, Londres, a la Linnean Society el 2 de junio de 1835, a partir de muestras recogidas en 1829 o 1830 por el Dr. Coulter (Mead, 2013).

Diversas razones han servido que el *P. radiata* se haya convertido en la conífera exótica más plantada en el mundo. (Scott, 1961; Lavery, 1986). Se empezó a cultivar en Inglaterra en 1833 a partir de especímenes recogidos por el explorador Escocés David Douglas en Monterrey. A España, Sudáfrica, Australia y Nueva Zelanda llega a mediados del siglo XIX, iniciándose los primeros programas de repoblación de la especie a finales de dicho siglo, cuando se introduce en Sudamérica, donde su masiva propagación no comienza hasta el primer tercio del siglo XX (Sánchez y Rodríguez, 2008).

2.2.2. Procedencia

Sánchez y Rodríguez (2008) manifiestan que el área natural del *P. radiata* se reduce a unos pocos miles de hectáreas en tres puntos costeros de la California central, Año Nuevo, Monterrey y Cambria, nominadas de norte a sur, y en algunas zonas de las islas mexicanas de Guadalupe y Los Cedros.

2.2.3. Descripción dendrológica y silvicultural del *P. radiata*

2.2.1.1. Taxonomía y descripción morfológica de la especie

Farjon (2018) taxonómicamente la especie en estudio se clasifica de la siguiente manera:

| | |
|---------|-----------------------------|
| Reino | Plantae |
| Filo | Tracheophyta |
| Clase | Pinopsida |
| Orden | Pinales |
| Familia | Pinaceae |
| Género | <i>Pinus</i> |
| Especie | <i>Pinus radiata</i> D. Don |

Sierra et al. (1994) lo describen como árbol con 15 a 50 m de altura, raramente 60 m, con un diámetro de 30 a 90 cm. El fenotipo es muy variable, en el mundo se han observado individuos vigorosos con fuste recto, copa densa, redondeada e irregular, hasta poblaciones de árboles bifurcados, encorvados, con madera nudosa y otros defectos. Sus hojas son persistentes, aciculares reunidas en fascículos de 3 a 5 hojas que nacen de un corto eje de tallo llamado braquioplasto, cubierto por escamas membranosas triangulares. Presenta inflorescencias masculinas y femeninas, conos verticilados, sésiles asimétricos, ovoides, castaños. En la base de cada hoja carpelar, posee dos óvulos, estróbilos masculinos amentiformes constituidos de numerosas hojas polínicas, cada una de las cuales lleva dos sacos polínicos. Las semillas pueden ser de 5 a 7 mm de largo por 3 a 5 mm de ancho con ala estrecha y larga, 8 cotiledones, pudiendo variar de 5 a 12. Fructifica a los 10 años, puede contener entre 20,000 a 35,000 semillas/kg, con poder germinativo de 60 a 80 % (4 años de almacenamiento), todas las

semillas de pino son aladas la que debe ser retirada antes de ser plantada. Presenta un sistema radicular bastante extenso, profundo cuando el suelo lo permite, es robusto, bien distribuido y se desarrolla en forma general en los primeros 50 cm de profundidad.



Figura 01. Individuo adulto de *P. radiata*, hojas, flor y frutos.

2.2.1.2. Requisitos del sitio

Mead (2013) menciona que el *P. radiata* ha demostrado ser una especie muy adaptable en sus principales países de adopción. A menudo se planta en una amplia gama de sitios con aparentemente poco respeto por su nicho ecológico. Sin embargo, su historial de éxitos y fracasos muestra que hay lugares donde no se debe plantar y otros sitios donde es ideal. Los factores abióticos que afectan el crecimiento de los árboles incluyen variables como el clima, la topografía y el suelo.

Schlatter (1977, cit. por Doncón, 2015) confirma que el crecimiento óptimo del *P. radiata* se presenta principalmente en suelos de una textura franco arenosa a franco limosa de una profundidad de 1.0 - 1.3 m o más. Se ve significativamente restringido, en aquellos suelos con menos de 60 - 70 cm de profundidad, sea por causa de material compacto subyacente o por presencia de napa freática. Junto a esto el pino tendrá un mal crecimiento en suelos muy pedregosos, o de mal drenaje, y/o muy arcillosos sin adecuada aireación. En este último caso se estima que más de 50 % de arcilla en el suelo superior, con más de 70 % en horizontes inferiores, o aún porcentajes menores de esta fracción, puede causar pérdidas significativas en suelos que presentan estructura y densidad desfavorable. Igualmente, aquellos pantanosos o continuamente inundables no son sitios apropiados para esta especie.

En la actualidad es necesario contar con información confiable sobre la calidad de las áreas forestales donde se establecen plantaciones con fines comerciales, en especial con especies de rápido crecimiento como el *Pinus*, debido a que existe una fuerte relación de las variables ambientales con los rendimientos. Por lo tanto, se requiere evaluar alguna característica del árbol para visualizar la influencia de todos los actores que determinan la productividad de un área; por lo regular se evalúa la altura dominante (Arteaga-Martínez, 2000).

2.2.1.3. Características de las trozas

Villamor (2013) señala que las trozas poseen una buena configuración general, son derechas y medianamente cilíndricas, La sección transversal es muy regular y circular con el corazón bastante centrado, con respecto a la corteza es pardo rojizo gruesa, prematuramente agrietada rugosa, al final presenta un color pardo oscuro, el porcentaje de corteza en volumen 15 % aproximadamente, la madera de albura tiene un color blanco amarillento que se oscurece relativamente rápido con la luz. El duramen, de poco a mediano diferenciado tiene color pardo amarillento a pardo marrón, la durabilidad de las trozas es bastante pequeña, afectándolas rápidamente los hongos cromógenos causantes del azulado primero en sus caras más externas para después en corto espacio de tiempo extenderse al resto de la troza.

2.2.1.4. Rendimientos maderables en plantaciones

INFOR (2010) menciona que, en el año 2009, el volumen total cosechado en Chile fue de 35 millones de m³, de los cuales el 56 % se utilizó como trozas de aserrío, el 35 % se utilizó para pulpa y el 8 % se utilizó para productos de panel.

Mead (2013) indica que la producción anual derivada de árboles de *P. radiata* en España es de 1.5 millones de m³ de trozas aserradas, lo que equivale al 20 % del corte de coníferas, En Australia el suministro anual de madera blanda es de 10,3 millones de m³.

El mismo autor nos menciona que el volumen total cosechado en Nueva Zelanda se duplicó en los últimos 20 años, a 25 millones de m³ en el 2011. Una gran proporción (aproximadamente 48 %) de esta cosecha se exporta en forma de trozas o chips o como productos procesados, principalmente a Asia. Alrededor del 45 % de los productos de *P. radiata* se utilizan en Nueva Zelanda. En el 2010, la industria forestal produjo 3,6 millones de m³ de madera aserrada,

1,5 millones de m³ de productos de paneles (43 % como tableros de fibra) y 1,5 millones de toneladas de pulpa seca.

Sánchez et al. (2003) señalan que el turno de máxima renta del *P. radiata* en Galicia España, varía entre 28 y 44 años, y el crecimiento medio de la masa principal a los 30 años entre 8,1 y 19,8 m³/ha/año. Se estima la producción maderable según el volumen a diferentes valores estándar del diámetro final con corteza y se comparan las alternativas desde un punto de vista productivo.

González (2008) comenta que el único material de construcción de origen orgánico y una de las especies más comunes, el pino insigne o radiata (*P. radiata*) llega a tener un rendimiento de producción en el Perú de hasta 1315 m³/ha en un periodo de 20 años.

2.3. Calidad de sitio

En las ciencias forestales el término “sitio” se utiliza para designar la influencia del ambiente sobre la producción de un bien o servicio del bosque; ya sea madera, forraje o frutos. La calidad de sitio es la capacidad intrínseca que tiene para la producción de un bien y se expresa en términos de la producción de dicho bien (Torres y Magaña, 2001).

Escobedo (1995) define a la calidad de sitio como el carácter o cualidades distintivas que indican, en forma un tanto relativa, el grado de productividad de un lugar bajo las condiciones imperantes en el momento en que se efectúa la estimación de ésta; considerando que tal productividad es la resultante de la suma de todos los efectos de los factores de sitio que interactúan en ese lugar, que está determinado por el producto entre la capacidad y eficiencia de producción del sitio y que se entiende, en la generalidad de los casos, como la aptitud o

susceptibilidad de ese sitio para sostener o soportar el crecimiento de cierta cantidad y tipo de biomasa.

Kimmins (2004) afirma que la calidad del sitio es la capacidad que tiene un área determinada para el crecimiento de árboles. Es la respuesta en el desarrollo de una determinada especie arbórea a la totalidad de las condiciones ambientales (edáficas, climáticas) existentes en un determinado lugar.

Vásquez y Ugalde (1995) expresan que la capacidad productiva de un determinado lugar se conoce como calidad de sitio, donde “sitio” está definido por un complejo de factores bióticos y abióticos, y su “calidad” es el resultado de la interacción de los factores ambientales (suelo, clima, etc.) y la vegetación existente.

2.4. Importancia de la calidad de sitio

La calidad de estación o calidad de sitio, indica que tan bueno es el suelo para garantizar los beneficios de la actividad forestal y asegura en forma continuada la masa forestal. La calidad de sitio relaciona los aspectos económicos y ecológicos con la productividad, el mismo que sirve para una planificación del manejo silvicultural que se realizará en las plantaciones (Instituto Nacional de Bosques, 2014).

Su conocimiento resulta fundamental en la ingeniería forestal, para elegir los mejores sitios, para plantar la especie apropiada en el lugar adecuado y para cambiar sus características. Antes se estaba sólo supeditado a cambios en el manejo, especialmente en la densidad del rodal; sin embargo, actualmente puede modificarse sus características físicas y químicas, a través de la fertilización, irrigación, preparación del suelo (Flores, 2016).

La clasificación de los sitios es vital dentro del manejo forestal, permitiendo la estimación del rendimiento de las masas forestales, la planificación de trabajos de investigación, la programación de trabajos de mantenimiento (limpías, raleos, podas, etc.) y la extrapolación o extensión de la clasificación de la calidad de sitio a áreas aun sin plantar (Vincent, 1980).

Vásquez y Ugalde (1995) afirman que el rendimiento de una plantación depende en gran parte, de la capacidad productiva del sitio seleccionado, de la preparación y del manejo que se le dé al mismo. En algunos sitios los árboles crecen rápidamente, alcanzando grandes volúmenes en poco tiempo, mientras que en otros el crecimiento será menor o muy pobre, por eso se hace indispensable conocer la calidad de sitio en el área de trabajo.

2.5. Evaluación de la calidad de sitio

Se entiende como método para evaluar la calidad de sitio, a aquel proceso mediante el cual es posible estimar, en forma un tanto aproximada, el grado de productividad del sitio. El conocimiento de la interrelación existente entre las propiedades de los suelos y la capacidad de rendimiento de los terrenos forestales, es todavía insuficiente para estimar la calidad de sitio, por lo que se han utilizado ciertas características del crecimiento de los árboles que reflejan la respuesta de las plantas a nivel de productividad del sitio en cuestión (Riveiro y Zepeda, 1990).

Corvalán y Hernández (2006) manifiestan que la calidad de un sitio puede ser medida por los factores que definen el crecimiento de un rodal o a través de su respuesta. La forma de evaluar el sitio es midiendo uno o más factores considerados asociados con el crecimiento de los árboles. De esta manera, se intenta evaluar el sitio en términos de los factores causales en sí mismos y midiendo alguna característica de los árboles.

Schlatter y Gerdin (2014) mencionan que la escuela ecológica tiende a incorporar como indicador de calidad, la riqueza y la exuberancia de la vegetación que se presenta; pero, también recurre a menudo a variables como la altura de los árboles del estrato superior o la dimensión individual de éstos (tamaño de la copa, diámetro, volumen del tronco). En cambio, la escuela productivista se concentra en la medición de los individuos de aquellas especies que le interesa como representativas del sitio y que son de utilidad para el hombre, concentrándose en la dimensión que alcanzan los productos que de esos árboles interesa (volumen de madera).

2.6. Métodos para la evaluación de la calidad de sitio

Daniel et al. (1982) indican que la evaluación de la calidad de sitio se hace por dos métodos:

- a) Método Directo**, evaluando el desarrollo de un bosque de una especie determinada sobre un sitio señalado y durante un periodo dado.
- b) Método indirecto**, *índice de sitio* en base a la altura de los árboles de un rodal a una edad determinada, *vegetación de la tierra*, en base a las especies y grupos de especies indicadoras y *ambiental*, en base a factores del ambiente físico (clima, suelo, topografía).

2.6.1. Métodos directos

Vallejos (1996) considera que el método directo es el que presenta un mayor costo, se basa en la medición de la masa existente y en el desarrollo de tablas de rendimiento normal, para rodales con un monitoreo continuo de su desarrollo y crecimiento. Este método ha sido aplicado en países con una larga trayectoria forestal, donde la información requerida ha sido recabada en múltiples rotaciones.

Los métodos directos utilizan los datos históricos de productividad en parcelas permanentes, o los datos de volumen o alturas de parcelas temporales (MacFarlene et al., 2000).

Ortega y Montero (1988) mencionan que la capacidad productiva de un sitio poblado por una especie maderable dada y tratada a un turno conocido podría ser determinada directamente a través de mediciones repetidas a lo largo de todo el ciclo productivo fijado, contabilizando el volumen existente y los extraídos en las intervenciones silvícolas, así como la mortalidad natural que se produzca. Es evidente que el procedimiento anterior es lento y costoso por lo que en la práctica no es utilizado.

2.6.2. Métodos indirectos

Los modelos generados por el método indirecto, tienen una utilidad práctica, en la medida que las variables que lo definan sean pocas y fáciles de medir en el campo (Vásquez y Ugalde, 1995).

Los métodos indirectos emplean las relaciones entre las especies del dosel, las características de la vegetación del sotobosque, los factores topográficos, climáticos y edáficos, y la composición química del follaje (Chen et al., 1998; Wang, 1998). También incluyen la altura del rodal (Clutter et al., 1983; Fontes et al., 2003), en el cual se asume que el crecimiento en altura de la especie tiene una relación positiva con la producción inherente al volumen de madera del sitio.

Monserud et al. (1990, cit. por Vallejo, 1996) consideran que los métodos indirectos son aplicables a países con un avanzado desarrollo forestal, ya que son menos onerosos al no estimar directamente el volumen, sino una variable de más fácil medición y estrechamente correlacionada con él; dicha variable es la altura dominante que sería capaz de predecir la cantidad de madera a producir en un sitio particular, con mayor exactitud que cualquier otra

variable a ser considerada, ya que la altura dominante es menos influenciada por la densidad del rodal que cualquier otro parámetro.

2.6.2.1. Índice de sitio

Martínez et al. (2015) mencionan que el índice de sitio es una representación gráfica de la capacidad productiva de un área forestal, que describe la relación entre la altura dominante y la edad de un rodal (bosquete de características homogéneas), o árbol individual de una especie determinada.

Alder (1980) manifiesta que la altura dominante puede definirse de varias maneras, pero la definición más ampliamente aceptada, es la de la altura promedio de los 100 árboles más gruesos por hectárea. La edad base es el número de años que se eligen para determinar un índice de sitio. También se le conoce como edad de referencia o edad índice.

Zepeda y Rivero (1984) señalan que el índice de sitio es el proceso mediante el cual es posible estimar la calidad de sitio de masas coetáneas, preferiblemente puras, con base en relaciones altura dominante - edad. Además, señalan que el índice de sitio es, en este caso, la altura dominante alcanzada por un rodal coetáneo, puro por lo general, a una edad determinada, a la que se denomina edad base o índice.

Vásquez y Ugalde (1995) opinan que el índice de sitio es la altura dominante que puede alcanzar un rodal, a una edad determinada, que se toma como edad base. Es decir, el índice de sitio es la expresión de la calidad de sitio, basada en la altura dominante (Vallejos, 1996).

2.6.2.2. Especies indicadoras

Corvalán y Hernández (2006) explican que ciertas especies llamadas “plantas indicadoras” reflejan la calidad del sitio para una determinada especie o tipo forestal, lo cual es razonable

ya que la composición de especies refleja la fertilidad del suelo y es a menudo un buen indicador de disponibilidad de humedad del suelo en los horizontes superiores.

Pritchett (1991) menciona que la presencia, abundancia y el tamaño relativo de las diversas especies en el bosque, reflejan la naturaleza del ecosistema forestal del cual forman parte y a partir de esto sirven como indicadores de la calidad de localización, entre los métodos indicadores de clasificación de los campos forestales, probablemente los más conocidos sean los sistemas que hacen uso de los tipos de vegetación terrestre.

2.6.2.3. Características del ambiente físico

Corvalán y Hernández (2006) mencionan que, de los numerosos factores ambientales que afectan el crecimiento de los árboles, aparentemente el más importante es el suelo. Sin embargo, las características significativas en el crecimiento de los árboles no siempre son las mismas. La humedad, textura, profundidad, cantidad de arcilla en el horizonte A y B, nivel de nutrientes y temperatura tienen diferentes efectos proporcionales, dependiendo de la clase de suelo y especie.

Olate (2007) manifiesta que la calidad de un sitio forestal está relacionada con la capacidad de producción de un bosque, como resultado de la interacción de los factores edáficos, climáticos y bióticos. Esta calidad, se puede derivar a partir de parámetros del rodal. El volumen y la altura son los más empleados, sin embargo, el volumen es afectado por una serie de factores, como la densidad, lo cual influye en su estimación.

Vásquez (1987) dice que, en conclusión, al incrementarse la pendiente, decrece el índice de sitio, es decir que, en pendientes inferiores o pie de colinas, la calidad de los sitios es muy buena.

A. Factores climáticos

Donoso (1981, cit. por Montero, 1999) indica que los factores precipitación y temperatura son los que tienen mayor influencia en la distribución y el crecimiento de los bosques y que pueden ser usados a nivel regional, como índices de productividad forestal; pero que, aunque se han encontrado relaciones entre la precipitación y el crecimiento es un factor que por sí solo es de poco valor como indicador de la productividad del sitio, debido a que éste es afectado por las características del suelo y la topografía, e interactúa con la temperatura.

Del Valle Arango (1993) menciona que la correlación sitio-clima puede ser apropiada para aplicaciones a gran escala, en especial cuando son de tipo cualitativo. En estos casos, se emplean las homologías climáticas para tratar de predecir, en una primera aproximación, el comportamiento de una especie en un sitio donde se va a introducir, o donde ya se introdujo, pero hay poca información sobre su crecimiento. Cuando se pueden establecer correlaciones cuantitativas con las plantaciones, tienen una mayor utilidad para estudios, aún muy generales, sobre las posibilidades de las especies y para la planificación del uso de la tierra. Algunos de estos métodos se han orientado hacia la predicción de la productividad primaria neta o el crecimiento leñoso de las comunidades naturales de grandes biomas del mundo.

Reyes (2013) considera que las plantas requieren de mayor temperatura durante el día para llevar a cabo su proceso de fotosíntesis y requieren de menor temperatura durante la noche para favorecer los procesos fisiológicos que promueven la germinación de semillas, el alargamiento de tallos, la floración y fructificación.

Stiff et 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.

Barros (1981, cit. por Huaripata, 2012) menciona que el efecto de las variables climáticas sobre la calidad de sitio, se puede notar solo en regiones amplias; sin embargo, la topografía puede causar cambios en variables climáticas en áreas relativamente pequeñas.

B. Factores edáficos

1) Material parental

Pritchett (1991) expresa que el material parental o de origen es uno de los principales contribuyentes al proceso del desarrollo del suelo y como tal, tiene un efecto indirecto sobre el crecimiento del árbol; la relación entre el material parental del suelo y el crecimiento de los árboles es sobre todo obvia en las regiones donde el lecho rocoso está suficientemente próximo a la superficie para ejercer una influencia continua sobre las propiedades del suelo (suelos residuales), pero el efecto del material parental sobre el crecimiento de los árboles también se aprecia en los suelos derivados de materiales transportados como son las arenas marinas y los depósitos glaciares. El material parental influye en la productividad por medio de su efecto sobre las propiedades químicas, físicas y microbiológicas del suelo, pero el grado en que se ejerce esta influencia puede ser modificado por el clima. El material de origen puede tener un efecto nocivo predominante sobre el crecimiento de algunas especies; por ejemplo, sobre el crecimiento de pinos sobre suelos yesosos ricos en bases de las praderas negras de Alabama o en Mississippi y en algunos suelos aluviales altamente calcáreos al Este de Texas.

El mismo autor señala que el material parental puede ser benéfico para el crecimiento de los árboles según se notó en algunos suelos ácidos de Florida y de Carolina del Sur con las capas inferiores derivadas de rocas calizas fosfatadas. La influencia del material de origen sobre la productividad de campo se advirtió en Suecia, donde las rocas parentales se agrupan según su contenido de calcio. Los suelos derivados de las rocas deficientes en calcio sustentaron un

bosque deficiente de pino y para mezclas de coníferas; en tanto que las rocas ígneas básicas y las calizas sedimentarias dieron como resultado suelos productivos con bosques de abeto noruego y árboles de madera duras en el Sur de Suecia.

2) Profundidad del suelo

Schlatter et al. (2003) mencionan que, en suelos profundos y bien aireados, las raíces pueden llegar a varios metros de profundidad. Generalmente el mayor volumen de raíces se concentra entre los 0,6 y 1,5 m. Cuando el suelo presenta un número de poros adecuado y de un diámetro tal que las raíces penetren sin mayor esfuerzo, éstas crecen activas y vigorosas. (Kramer, 1983) comenta que un suelo bien estructurado y espaciado presenta en general una distribución bastante homogénea en sentido horizontal y una disminución gradual en sentido vertical. En suelos con algunas limitaciones estructurales o de profundidad la distribución radicular puede ser heterogénea y/o presentar concentraciones en determinados horizontes, generalmente superficiales.

Vásquez y Ugalde (1995) expresan que, para el pino caribe, las variables que mostraron mejor correlación con el índice de sitio fueron la profundidad de suelo, la precipitación media anual y el viento. Los mejores sitios son aquellos donde la precipitación media anual y la profundidad del suelo es mayor.

Pritchett (1991) manifiesta que los árboles que crecen sobre suelos poco profundos generalmente están menos dotados de agua y nutrientes que los árboles que se hallan sobre suelos profundos. Cuando la profundidad del suelo es tal que define el volumen de espacio en crecimiento para las raíces de los árboles por encima de una capa restrictiva, como sería un pan arcilloso o silíceo, un lecho rocoso u otro horizonte de escasa permeabilidad, pueden tomarse mediciones de profundidad con cierta precisión para predecir modelos de crecimientos sobre

suelos bien drenados. Por lo general, el crecimiento sigue una tendencia que puede expresarse como una función recíproca de la profundidad del suelo con una máxima disminución en el crecimiento que se halla sobre suelos con menos de 25 cm de profundidad efectiva.

3) Textura

La textura del suelo se refiere a la proporción relativa de las diversas partículas minerales como arena, limo y arcilla en el suelo (Bockheim, 1991).

La textura de los suelos, originan estructuras diferentes en cuanto a porosidad y agregación, que dan lugar a posibles problemas de: endurecimiento, aireación, capacidad de retención hídrica, permeabilidad; en igualdad de condiciones ambientales se debe prever que, en los suelos de texturas más gruesas, al disponer de mayor aireación, el proceso de degradación será mayor (Lacasta et al., 2006). En texturas medias, con contenidos adecuados de materia orgánica y baja acidez, se encuentran en el ámbito adecuado para el crecimiento de las especies (Vallejos, 1996).

Pritchett (1991) demostró que la textura de un suelo forestal influye en su productividad, pero esta influencia puede ser de carácter más bien indirecto; así tenemos que en suelos arenosos profundos y gruesos a menudo sostiene cultivos deficientes de pinos, cedros, robles arbustivos y otras especies con bajos requerimientos de humedad y nutrientes. En consecuencia, la productividad de los suelos arenosos aumenta a medida que las proporciones de material menor a 0.05 mm (partículas de arena y arcilla) aumenta a un nivel óptimo, debido a esta relación, los suelos margosos y arcillosos a menudo sostienen árboles que demandan un alto grado de humedad y de nutrientes. La textura en sí, tiene poco efecto sobre el crecimiento de los árboles en tanto que la humedad, los nutrientes y la aireación sean los correctos.

4) Materia orgánica

Donoso (2001) manifiesta que la cantidad de materia orgánica en el suelo influye directamente sobre la estructura de éste aumentando su porosidad. Además, la materia orgánica es muy porosa alcanzando valores de 80 – 90 % de porosidad total en ella.

Schlatter (1993) señala que la materia orgánica en los suelos forma una mezcla compleja de compuestos y es un constituyente sustancial de sus características y propiedades físicas, químicas y biológicas. Actúa como una fuente de energía y un medio de crecimiento, en parte, determina la estructura del suelo, la agregación y porosidad y afecta a la infiltración y aireación del suelo.

Thiers et al. (2014) consideran que, una definición más común de los desechos orgánicos, especialmente en el contexto forestal, es la relación del material vegetal sobre el suelo y que forma la base del horizonte orgánico en la parte superior del perfil del suelo (horizonte O). A veces, esta definición puede ser ampliada para incluir dos categorías: Restos de material orgánico sobre el suelo y dentro del suelo. La primera se refiere al material caído (hojarasca o residuos leñosos) sobre el suelo de la cubierta forestal, en tanto que la segunda categoría se refiere al material orgánico derivado de las raíces muertas.

Waring (1998) estima que la materia orgánica del sub suelo constituye una parte importante de la productividad total de los bosques, a veces hasta en un 60 %. Esto pone a la presencia de la materia orgánica bajo el suelo a la altura de su equivalente en superficie: sistemas de raíces de las plantas y su rotación contribuyen de manera significativa y constante a la cantidad total de materia orgánica en los suelos forestales.

C. Factores fisiográficos

La utilización de los factores fisiográficos, con la finalidad de predecir la calidad de sitio, es debido a que la topografía es un factor que influye en la formación del suelo, por lo que se debe considerar como una fuente de variabilidad importante (Hairston y Grigal, 1991).

Vallejo (1996) manifiesta que los factores fisiográficos han sido utilizados, para predecir la calidad de sitio, esto se debe a que la topografía es uno de los factores que influyen en la formación del suelo; por lo tanto, es una fuente de variabilidad importante a ser considerada. El mismo autor manifiesta que la ventaja de utilizar información topográfica facilita calificar un tipo de sitio.

Stiff et al. (1991) encontraron que a medida que aumenta la pendiente, menor es la productividad del *P. oocarpa* en las tierras altas del centro de Honduras. Esto posiblemente se debe a que normalmente a mayor pendiente, la calidad y cantidad de suelo disponible para el crecimiento es menor. Estudios ecológicos muestran que se han encontrado relaciones entre el crecimiento de coníferas y la profundidad de suelo, altitud, pendiente y exposición (Griffiths et al., 2009).

FAO (2015) menciona que, debido a las pendientes muy pronunciadas y los suelos finos, los ecosistemas de montaña son muy vulnerables a la erosión. A menudo, estos suelos están degradados y normalmente no aportan suficientes nutrientes para el buen crecimiento de las plantas.

2.6.2.4. Características químicas del suelo

Además de las propiedades físicas, la composición química del suelo también influye en el desarrollo de los árboles. Esta composición depende de la roca madre, el clima, de la actividad biológica, del tiempo y de la topografía (FAO, 1982).

Roca (2018) admite que las plantas superiores pueden contener hasta 60 elementos, de los cuales 16 de ellos (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, B, Mo, Cu, Zn y Cl) son considerados esenciales para su normal desarrollo mientras que otros 4 (Na, Si, Co y V) son considerados solo esenciales para algunas de ellas. Todos estos elementos desempeñan funciones muy importantes en las plantas, y cuando están presentes en cantidades insuficientes, pueden producirse graves alteraciones y reducirse notablemente el crecimiento de las mismas. De los 16 elementos esenciales, los 3 primeros son suministrados mayoritariamente por el aire y el agua, mientras que los 13 restantes son aportados por el suelo. Estos elementos nutritivos suministrados por el suelo se pueden clasificar en macro y micro elementos, dependiendo de si las plantas necesitan absorber cantidades relativamente grandes o pequeñas de ellos. Como macroelementos cabe destacar el N, P, K, Ca, Mg, S y como microelementos, elementos traza u oligoelementos esenciales para las plantas se encuentran el Fe, Mn, B, Mo, Cu, Zn, y Cl.

Welch (1995) señala que los elementos esenciales para las plantas son 17 incluyendo O, H y C provenientes de H₂O, CO₂ y aire, los demás corresponden a los nutrientes minerales, los cuales, según la cantidad absorbida por la planta, se clasifican en macronutrientes y micronutrientes. Los macronutrientes son N, P, K, Ca, Mg y S, los cuales se encuentran en el tejido de las plantas en concentraciones superiores a 0,1 %, con base en la masa seca. Los micronutrientes son requeridos en los tejidos de las plantas en concentraciones menores a 100 µg/g de masa seca. Con estos elementos y la luz del sol, las plantas son capaces de sintetizar todos los compuestos que necesitan. Sin embargo, otros elementos minerales, son considerados beneficiosos porque son esenciales para algunas especies de plantas bajo ciertas condiciones.

a) Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

EL intercambio catiónico es la capacidad que tiene el suelo de retener e intercambiar formas positivamente cargadas, de sustancias nutritivas de las plantas (Bockheim, 1991).

Las plantas absorben los nutrientes del suelo y éste debe de tener la capacidad de intercambiar cationes entre la solución del suelo y la fase sólida, a este proceso se le conoce como la capacidad de intercambio catiónico. Así, los cationes que son retenidos y protegidos contra los procesos que intentan evaluarlos del suelo como la lixiviación y que son necesarios para la adecuada nutrición de los árboles como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ y NH_4^+ , son retenidos superficialmente obedeciendo a diferencias de carga electrostática y pueden ser intercambiados por otros de la solución del suelo (Jaramillo, 2002).

b) Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica (CE) de una suspensión suelo-agua indica la cantidad de sales presentes en el suelo. Todos los suelos contienen algo de sales, las cuales son esenciales para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, un exceso de sales inhibe el crecimiento de las plantas al afectar el equilibrio suelo-agua. Define la actividad vegetal y microbiana, estima la salinización de los suelos y el grado de erosión. (USDA, 1999) Los iones generalmente asociados con salinidad son los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ y H^+ . Entre los aniones están los iones NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- y OH^- (Porta et al., 2003).

c) Reacción del suelo (pH)

El pH es sumamente importante en los suelos forestales, porque influyen en la población microbiana del suelo, la disponibilidad de fósforo, calcio, magnesio y elementos residuales, así como en la tasa de nitrificación, o sea, la oxidación biológica de amonio a nitrato. A menudo, los suelos forestales son más ácidos que los agrícolas. Esto se debe a que la hojarasca de los árboles en general es ácida y libera los iones de hidrógeno cuando estos se descomponen (Bockheim, 1991).

Sadzawka et al. (1995) indican que el pH de los suelos forestales puede variar ampliamente, dependiendo de la composición química del material de origen y el tipo de vegetación dominante.

Kemmitt et al. (2006) consideran que la disponibilidad de los nutrientes para la planta está condicionada por el pH del suelo, debido a que en los suelos con pH mayores de 5,5 se aumenta la disponibilidad de nutrientes como Ca, Mg, P, K, Fe, entre otros.

Printchett (1991) afirma que la mayor parte de las especies arbóreas pueden cultivarse en suelos dentro de la escala entre pH 4.5 y 6.5, pero si han de plantarse tanto coníferas como árboles de madera dura, los suelos con valores inferiores al pH 5.0 deberán reservarse para las especies más tolerantes a la acidez, lo cual incluye a la mayor parte de las coníferas; asimismo dice que la acidez y las deficiencias en nutrientes, o los desequilibrios en los mismos, son las condiciones químicas del suelo que tienen mayor probabilidad de limitar el incremento y el desarrollo de las raíces de las plantas en las regiones húmedas. La disponibilidad de los micronutrientes, salvo el molibdeno, se reduce a medida que disminuye la acidez del suelo.

d) Nitrógeno (N)

El nitrógeno más que cualquier otro elemento, facilita el crecimiento rápido y el color verde oscuro. Las plantas necesitan mucha cantidad de nitrógeno, porque forma parte de muchos compuestos importantes como las proteínas y la clorofila. (Plaster, 2000).

El nitrógeno es absorbido por las raíces de las plantas, preferentemente, en forma de nitrato (NO_3^-) o de amonio (NH_4^+) (White, 1987 y Marschner, 1998). Los factores que influyen en la absorción de este elemento por parte de la planta son: la especie y el tipo de planta (Marschner, 1998). La intensidad lumínica, la presencia de nitrógeno en el medio y la cantidad de nitrógeno almacenado en las vacuolas (Maldonado, 1996).

Tisdale y Nelson (1991) reportan que un adecuado suministro de nitrógeno está asociado con vigorosos crecimientos vegetativos y un intenso color verde. Cantidades excesivas de nitrógeno pueden prolongar el periodo de crecimiento y retrasar la madurez.

Pritchett (1991) afirma que además de su función en la formación de proteínas, el nitrógeno es una parte integral de la molécula de clorofila. Un abastecimiento adecuado del elemento por lo general está asociado con un aumento en el vigor de la vegetación y un color verde oscuro. Se supone que una cantidad adicional de nitrógeno retrasa la madurez de las plantas, aumenta en los árboles el porcentaje de la primera madera en relación con la madera que se forma posteriormente y también aumenta la susceptibilidad de ciertas enfermedades y propicia el ataque de los insectos. Sin embargo, no es probable que el nitrógeno afecte de manera adversa las propiedades de los árboles en presencia de cantidades adecuadas de otros nutrientes esenciales.

e) Fósforo (P)

Harold y Hocker (1984) sostienen que el contenido de P_2O_5 soluble, varía en los suelos forestales de 10 - 200 ppm y un contenido de 100 ppm de fósforo es suficiente para la mayor parte de los árboles forestales, en cambio para (Daniel et al., 1982) solamente 50 ppm de fósforo disponible es suficiente para la mayoría de las especies forestales, en suelos vírgenes de Estados Unidos.

Soria y Viteri (1999) mencionan que el P desempeña funciones claves en la fotosíntesis, en el metabolismo de los azúcares, en el almacenamiento y transferencia de la información genética, además promueve la formación inicial y el desarrollo de la raíz, el crecimiento de la planta y la formación de la semillas, ya que acumula la mayor parte de P como reserva nutritiva que contribuye durante la germinación de las mismas, a la formación del primer tallo y de la

raíz primaria hasta que la nueva planta comienza a realizar las funciones de asimilación, contribuyendo a aumentar la resistencia de la planta a las enfermedades.

Montero (1999) menciona que los resultados encontrados para el elemento fósforo indican que los árboles jóvenes demandan más cantidad de este elemento para realizar sus necesidades en la etapa juvenil que en la madurez.

El mismo autor menciona en un estudio de factores de sitio en Costa Rica que, al relacionar el índice de sitio con el fósforo en el suelo y follaje para teca, muestra que hay una tendencia a disminuir el IS a medida que aumente el fósforo en el suelo, por lo que se estaría corroborando la eficiencia de la especie.

f) Potasio (K)

Sela (2018) menciona que el potasio es un nutriente esencial para las plantas y es requerido en grandes cantidades para su crecimiento y reproducción. Se considera segundo luego del nitrógeno, cuando se trata de nutrientes que necesitan las plantas y es generalmente considerado como el "nutriente de calidad". El potasio afecta la forma, tamaño, color y sabor de la planta y a otras medidas atribuidas a la calidad del producto.

Plaster (2000) recalca que el potasio es un nutriente clave para las plantas, ya que consumen más potasio que cualquier otro nutriente, excepto el nitrógeno. Activa las necesidades de enzimas en la formación de proteínas, celulosa y lignina. Regula la apertura y el cierre de los estomas de la hoja. Contribuye al movimiento de los azúcares producidos por la fotosíntesis dentro de la planta.

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.

g) Calcio (Ca)

Bertsch (1995) considera que su principal papel del calcio es estructural, ya que conforma elementos cementantes de la pared celular. Participa en el desarrollo de membranas celulares y de estructuras lipídicas. Actúa como activador de enzimas y se relaciona con la nodulación y la fijación de Nitrógeno.

Donahue et al. (1981) manifiestan que el calcio es importante en el desarrollo de las raíces y de los pelos radiculares, ayuda a la absorción de agua y nutrientes, favorece la permeabilidad de las paredes celulares. Pero una deficiencia de este, ocasiona atrofiamiento del crecimiento y clorosis de las raíces y como efecto indirecto permite la acumulación de otras sustancias en el tejido, mientras que un buen suministro ayuda a neutralizar los efectos de un desbalance en la distribución de los nutrientes en el suelo.

Vallejos (1996) señala que el Calcio a la primera profundidad del suelo, tiene una relación directa con el índice de sitio. A medida que el contenido de calcio del suelo aumente también el índice de sitio lo hace.

h) Magnesio (Mg)

Pritchett (1991) refiere que el magnesio es el único contribuyente mineral de la molécula clorofila y es un elemento esencial para la fotosíntesis; es un elemento móvil que se transporta de las partes antiguas a las de formación reciente en caso de deficiencia. Por lo tanto, los síntomas de deficiencia de magnesio, como de potasio, a menudo aparecen primero en las hojas más antiguas. La mayor parte de los suelos forestales contienen elevadas cantidades de

magnesio que aseguran un buen desarrollo de los árboles, y cuando hay deficiencias se corrigen sin dificultad.

Harold y Hocker (1984) señalan que el contenido de Magnesio disponible regularmente es de, la tercera a la quinta parte de la del calcio, aunque en cultivos controlados la relación de Ca/Mg fue de 30 para un adecuado crecimiento de los árboles.

i) Micronutrientes

Pritchett (1991) afirma que se han identificado otros varios elementos que son parte esencial para el crecimiento de las plantas, pero los árboles los necesitan en muy pequeñas cantidades y es raro que existan deficiencias en los suelos forestales. Sin embargo, existen varios informes en el sentido de que hay casos aislados de deficiencias de uno o más de estos elementos. La disponibilidad de los micronutrientes, salvo el Molibdeno, se reduce a medida que disminuye la acidez del suelo. Consecuentemente, cualquier práctica que reduzca de manera sustancial la acidez del suelo puede causar deficiencia en Fe, Mg, Cu, B o Z en los suelos que tienen bajas reservas de estos elementos. El Hierro es el elemento cuya deficiencia se ha comunicado con mayor frecuencia, sobre todo en los viveros. El Cobre a menudo es deficiente en los suelos orgánicos y se ha observado que el Boro es deficiente en Nueva Zelanda y en Australia. Se han reportado deficiencias de zinc en coníferas exóticas de Australia.

2.7. Propiedades físicas y mecánicas de la madera

Peniche (1990) considera que es de gran importancia, contar con un sistema de clasificación estructural de las especies de interés económico y en base a análisis de laboratorio, asignarle a cada especie sus valores de resistencia más confiables, con el objetivo de brindar un mejor uso y desempeño.

ASTM (1992) manifiesta que en la mayoría de países desarrollados, es un requisito indispensable clasificar a las maderas de acuerdo a sus propiedades físicas y mecánicas para brindarles una óptima utilización. (Robles y Echenique, 1983) la clasificación estructural, se deriva de las pruebas mecánicas, a las que son sometidas una serie de probetas de diferente confección y dimensión, cuyo comportamiento a la aplicación de fuerzas mediante la utilización de aparatos y aditamentos específicos, a la vez que proporcionan la carga requerida, registran la magnitud de la misma.

2.7.1. Propiedades físicas de la madera

Winandy (1994) señala que las propiedades físicas son las características cuantitativas de la madera y su comportamiento a las influencias externas con fuerzas aplicadas. Los ensayos que contemplan la determinación de las propiedades físicas son: densidad, contenido de humedad, peso específico, contracciones volumétricas.

El mismo autor considera que la familiaridad con las propiedades físicas es importante porque ellas pueden influir significativamente en el desempeño y solidez de la madera usada en aplicaciones estructurales.

2.7.1.1. Densidad

Gutiérrez (2017) menciona que mientras más leñoso sea el tejido de una madera y compactas sus fibras, tendrá menos espacio libre dentro de sus fibras, por lo que pesará más que un trozo de igual tamaño de una madera con vasos y fibras grandes. La densidad de la madera varía con la humedad (12 % es la humedad normal al abrigo y climatizada). Las maderas se clasifican

según su densidad aparente, en pesadas, ligeras y muy ligeras. Las maderas duras son más densas. La densidad es la relación entre la masa y el volumen.

Ugalde (2017) considera que, la densidad es útil no sólo para darnos una idea de qué tan compacta es una madera, sino que, también a través de unos cálculos sencillos nos permite conocer el peso de una carga de madera.

2.7.1.2. Contenido de humedad

Salvo y Pérez (2013) refieren que la madera es un material higroscópico, absorbe o entrega agua según sean las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente. Esta propiedad hace que el contenido de humedad de la madera sea variable dependiendo del ambiente en que se encuentre. Debido a que el árbol en pie contiene savia. La madera recién extraída de la forestación generalmente posee un alto contenido de humedad entre 200 y 400%. El contenido de humedad es la masa de agua contenida en una pieza de madera expresada como un porcentaje de la masa de la pieza anhidra.

$$h = (P_h - P_0) \times 100/P_0$$

Dónde: P_h = peso húmedo de la probeta. P_0 = peso anhidro de la probeta, obtenido por desecación en estufa a una temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$. En la formula se observa que el numerador representa la masa de agua que tiene la madera.

2.7.1.3. Contracción de la madera

La norma NTP (2015) la define como la reducción de las dimensiones de una pieza de madera causada por la disminución del contenido de la humedad a partir de la saturación de las fibras. Se expresa por porcentaje de la dimensión verde de la madera y puede ser lineal (radial, tangencial o longitudinal) y volumétrica. (Pérez, 1983) comenta que es una de las

características más indeseables de la madera y es la responsable en gran medida, de los inconvenientes y dificultades que se encuentran con ella en la construcción.

2.7.2. Propiedades mecánicas de la madera

Las propiedades mecánicas son las características de un material en respuesta a las fuerzas aplicadas externamente; son aquellas que definen la aptitud y capacidad para resistir cargas externas, excluyendo los esfuerzos debidos a las tensiones internas producto de los cambios de humedad (Spavento et al., 2008).

Winandy (1994) manifiesta que los valores de las propiedades mecánicas son dados en términos de esfuerzos (fuerza por unidad de área) y deformación (deformación que es el resultado del esfuerzo aplicado). Los valores de las propiedades mecánicas de la madera se obtienen de las pruebas de laboratorio hechas con madera limpia (sin defectos naturales que reducirían la fuerza, como los nudos, las grietas, las rajaduras, etc).

CORMA (2003) indica que, conforme a la amplia gama de esfuerzos a los cuales puede estar expuesto un material durante su uso, se han definido diversas propiedades mecánicas:

- a) **Flexión estática:** El ensayo de flexión estática mide la resistencia que opone una viga a una carga puntual aplicada en el centro de la luz o distancia entre apoyos, aplicada en la cara tangencial más cercana a la médula de la probeta.
- b) **Compresión paralela:** Es la resistencia que opone una viga a una carga aplicada en el mismo sentido de la dirección de la fibra.
- c) **Cizalle paralelo a la dirección de las fibras:** Es la capacidad que tiene la madera para resistir fuerzas que tienden a causar el deslizamiento de una sección sobre otra adyacente

a la anterior, puede presentarse tanto en sentido paralelo como perpendicular a las fibras. Sin embargo, debido a la alta resistencia de la madera a este último esfuerzo, no se considera el cizalle perpendicular en el estudio de las propiedades mecánicas. De todas formas, dicha alta resistencia le otorga una seguridad total ante cualquier condición de uso.

- d) Clivaje:** Es la resistencia que ofrece la madera a una sollicitación que intenta rajarla en la dirección paralela a las fibras. Este ensayo entrega antecedentes acerca de la capacidad de unión entre las células que conforman la madera.
- e) Dureza:** La dureza determina la resistencia que ofrece la madera a la penetración de cuerpos de mayor solidez y consistencia que ella.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales y Equipos

En el presente trabajo de investigación, se manipularon materiales y equipos que facilitaron la georeferenciación del área, así como la toma de datos para el inventario forestal, toma de muestras de suelo y elaboración de probetas para los análisis respectivos en los laboratorios correspondientes, siendo estos los siguientes:

3.1.1. Materiales y herramientas

- Libreta de campo.
- Cinta métrica.
- Wincha de 50 m.
- Pintura en spray color amarillo.
- Bolsas plásticas para muestras de suelo.
- Resultados de muestras de suelo.
- Registros meteorológicos.
- Resultados de análisis físico mecánico de la madera.
- Barretas.
- Palas.
- Picos.

3.1.2. Equipos

De campo:

- Aserrado de madera (Cierra principal o de carro, cierra de cinta, cortadora de mesa, cierra radial de corte).

- Binoculares.
- Cámara fotográfica digital.
- Camioneta.
- GPS (Sistema de Posicionamiento Global).
- Hipsómetro de Sunnto.
- Motosierra (Husqvarna 372 XP).

De gabinete:

- Computadora personal (Lap top HP Pavilion g4-1364la).
- Impresora multifuncional.
- Software Word, Excel, Arc Gis. Google Earth Pro.

3.2. Metodología

3.2.1. Ubicación del área de estudio

El Parque Forestal Cumbe Mayo pertenece políticamente al Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca y específicamente al sector denominado Cumbe Mayo. Geográficamente está ubicado en la cuenca del río Cajamarquino micro cuenca del Urubamba a un rango de altitud que va de 3380 a 3580 msnm. Referencialmente se sitúa en las coordenadas UTM DATUM WGS Norte 9204319, 9204393 y Este 771419, 771530, el parque cuenta con una extensión total de 38.75 ha y la plantación de la especie *P. radiata* de 3.12 ha.

Para poder llegar hacia la zona de estudio se tiene que recorrer aproximadamente 14 km desde la ciudad de Cajamarca, tomando la carretera hacia el Distrito de Chetilla (unos 45 minutos en vehículo).

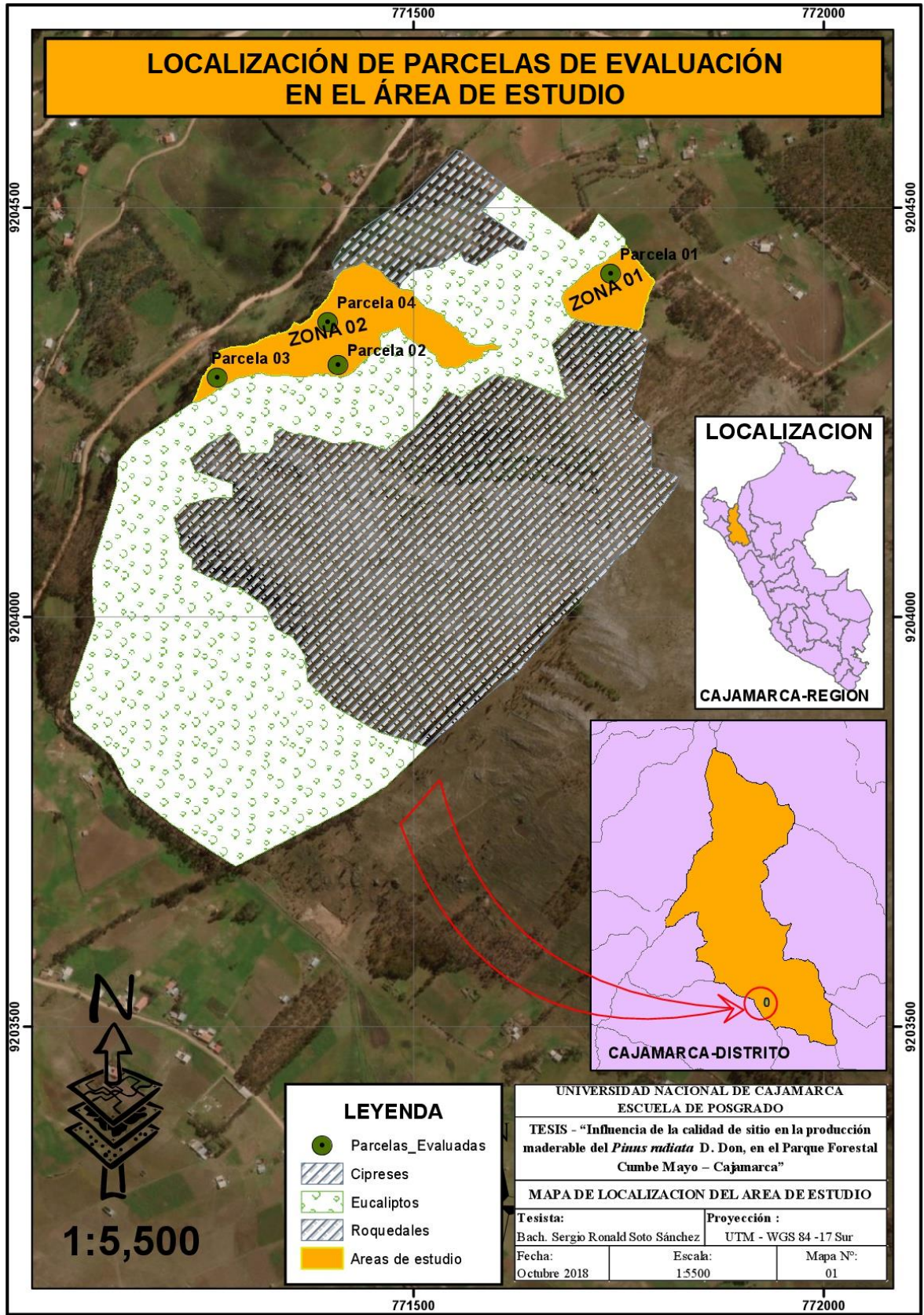


Figura 02. Ubicación del área de estudio

3.2.2. Características del área de estudio

3.2.2.1. Zona de vida

La zona de estudio según Javier Pulgar Vidal se encuentra en la zona quechua y según el sistema de zonas de vida Holdridge pertenece a bosque húmedo montano sub tropical (bh-MS). El clima es seco y templado, con cambios bruscos de temperatura entre el día y la noche, y con lluvias copiosas de diciembre hasta marzo.

3.2.2.2. Ecología

La vegetación del parque forestal está conformada específicamente por especies exóticas como el *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus*, *Cupressus macrocarpa* y algunas especies nativas como *Polylepis racemosa*, *Buddleia sp*, *Sambucus peruviana*. (Sánchez, 2011) manifiesta que esta zona es adecuada para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), trigo (*Triticum sp*), maíz (*Zea mays*), olluco (*Ullucus tuberosus*), cebada (*Hordeum vulgare*) y arvejas (*Pisum sativum*); y para el desarrollo natural de aves, como el zorzal (*Turdus fuscater*), indio pishgo (*Zonotrichia capensis*), colibrí (*Colibrí coruscans*), carpintero andino (*Colaptes rupicola*) chinalinda (*Phalcoboenus megalopterus*).

3.2.2.3. Fisiografía

El área de estudio presenta un paisaje sumamente accidentado, cuyos relieves van desde los ondulados hasta los empinados, con pendientes que oscilan entre 15 - 40 %, su topografía es un tanto compleja. Una buena parte del área se caracteriza por la presencia de afloramientos rocosos que le brinda cierta peculiaridad al paisaje, incluyéndose también un sector de pendiente extrema, casi abismal ubicado al Sur Este del mismo (Ramos, 1999).

3.2.2.4. Clima

El comportamiento climático en la zona está determinado por dos periodos bien marcados según SENAMHI, que indican que existe una temporada lluviosa de aproximadamente seis meses de duración (noviembre - abril) y una temporada de estiaje de otros seis meses de duración (mayo – octubre). Es una zona con presencia de heladas y fuertes vientos. De acuerdo a los registros de la estación meteorológica Augusto Weberbauer ubicada geográficamente en 7° 10' 03" de latitud Sur, 78° 29' 35" de longitud Oeste y 2536 msnm de altitud. Se registró una temperatura media anual de 14.42° C y una precipitación anual de 653.01 mm (datos promedio de los últimos 48 años).

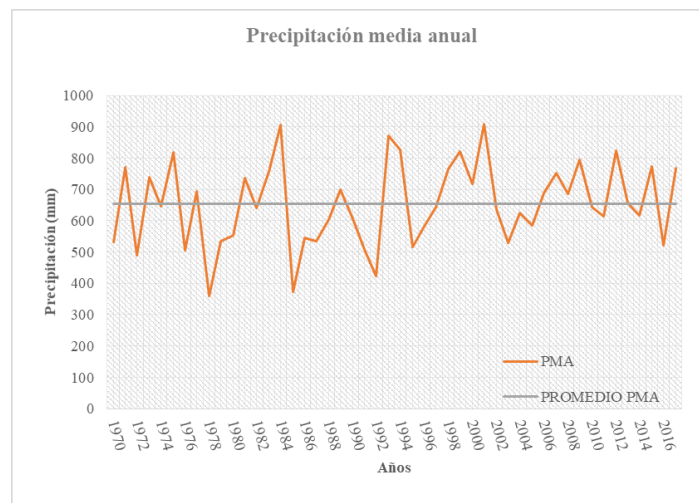


Figura 03. Gráfico de la precipitación media anual de los últimos 48 años

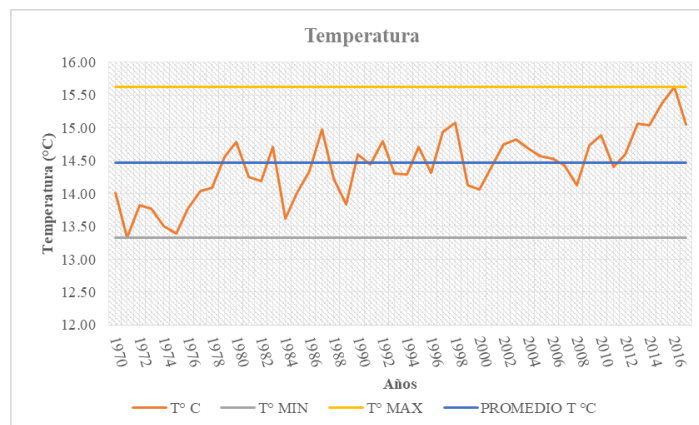


Figura 04. Gráfico de temperaturas media anual de los últimos 48 años

3.2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.2.3.1. Evaluación de las variables dasométricas

Una vez estratificado el área en función a las características del terreno, se ubicaron y establecieron cuatro (04) parcelas de evaluación (ver calculo en Anexo 7.1), instaladas aleatoriamente en toda la plantación, la técnica utilizada fue mediante un muestreo aleatorio simple (MAS).

En cuanto a la forma de las parcelas 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. Se adoptaron parcelas de 500 m² (radio =12.62 m), por ser el tamaño más utilizado en inventarios de masas forestales, del total de árboles de cada parcela evaluada, se tomaron a los 5 árboles dominantes que equivale a 100 árboles por ha ($5/0.05=100$); que es lo recomendable para evaluar calidades de sitio, como menciona Madrigal (1979, cit. por Crisólogo, 2010), de los cuales se obtuvieron los siguientes datos: altura total, para lo cual se empleó el hipsómetro, la circunferencia a la altura del pecho (CAP) a 1.30 m, empleando cintas métricas, vale recalcar que se obtuvieron entre 25 a 36 árboles por parcela.

3.2.3.2. Evaluación de las variables edáficas

Esta fase consistió en ubicar perfiles representativos, donde se construyeron tres calicatas (0.8 m x 1.5 m x 1.2 m), la distribución de éstas fue de una por cada perfil modal encontrado (ver anexo 7.3), de esta forma la descripción de los perfiles de suelo fueron lo más representativas posibles y se obtuvo la clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor

(CUM), para lo cual se utilizó el reglamento de clasificación de tierras por uso mayor, actualizado y aprobado por el D.S. N° 017-2009-AG.

Las muestras de suelo se tomaron considerando el suelo (horizonte A) y el subsuelo (horizonte B), los cuales fueron acondicionados cuidadosamente en bolsas plásticas herméticas, para luego ser trasladadas al laboratorio de suelos.

El análisis de caracterización de las muestras de suelo se lo realizó en el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina, en el cual se siguieron los siguientes métodos:

Análisis de Caracterización:

- Análisis granulométrico : Método del Hidrómetro de Bouyoucos.
- Conductividad eléctrica : Lectura del extracto acuoso en la relación suelo - agua 1:1
- pH : Medida en el potenciómetro de la suspensión suelo - agua 1:1
- Calcáreo total : Método gaso - volumétrico utilizando un calcímetro
- Materia orgánica : Método de Walkley y Black
- Fosforo disponible : Método de Olsen Modificado, extractor NaHCO_3 0.5M, pH 8.5
- Potasio disponible : Saturación con Acetato de Amonio 1N pH 7.0. Lectura en espectrofotómetro
- Capacidad de inter. Catiónico : Método del Acetato de Amonio 1N, pH 7.0

- Cationes cambiabales : Determinaciones en el extracto de Amonio
 - Ca : Absorción atómica
 - Mg : Absorción atómica
 - K : Absorción atómica
 - Na : Absorción atómica
- Aluminio cambiabile : Método de Yuan. Extracción con cloruro de potasio
1N

Otros análisis:

- Nitrógeno total : Método del Micro Kjeldahl.

Los resultados de los análisis de suelos se detallan en el anexo 7.2.

3.2.3.3. Evaluación de las variables climáticas

Para evaluar las variables climáticas se solicitaron datos de la estación meteorológica más cercana al predio (Augusto Weberbauer), considerando la siguiente información:

- Temperatura media anual.
- Precipitación media anual.

3.2.3.4. Selección de árboles para obtener las propiedades físicas y mecánicas

El procedimiento de selección y colección de muestras en árboles, se basó en el sistema de selección al azar, de modo que en cada una de las unidades componentes (zona, árbol, troza vigueta y probeta), tenga la misma probabilidad de ser elegida de acuerdo con el volumen

existente en la zona. Para estudios tecnológicos que permitan obtener un valor promedio de las propiedades físicas y mecánicas principalmente, debe tomarse una muestra por población para especies conocidas, de éstos se obtendrán trozas, para luego aserrarlas y sacar probetas, las que serán analizadas cuidadosamente en el laboratorio correspondiente (INACAL, 2016).

3.2.4. Fase de gabinete

En esta fase del trabajo se realizó el procesamiento y análisis de datos obtenidos en campo, para lo cual se empleó el software Microsoft Excel y el paquete estadístico Infostat. Para realizar el análisis de la cartografía se utilizó Arc GIS 10.2, Auto CAD 2010 y también material cartográfico.

3.2.4.1. Determinación del crecimiento de los árboles

Para la evaluación del crecimiento de los árboles se realizó un inventario forestal del cual se obtuvieron los datos de altura total, circunferencia a la altura del pecho (CAP - 1.30 m), la circunferencia a media altura, y la circunferencia basal. Del total de árboles de cada parcela, se tomaron a los 5 árboles dominantes que equivalen a evaluar 100 árboles por ha. Calculándose así el área basal, volumen maderable, incremento medio anual e incremento anual en altura.

Los datos que se utilizaron para el análisis del modelo de crecimiento del *P. radiata*, corresponden a los 5 árboles dominantes de las cuatro parcelas instaladas en la plantación, realizado en los años 2014 y 2018 con el fin de obtener la mayor cantidad de registros de mediciones posibles y así obtener mejor la variación natural. De estas unidades se emplean los datos de la variable dasométrica de altura dominante (Hd) y edad de la plantación.

3.2.4.2. Determinación de las calidades de sitio

Con la altura total promedio (m) de los árboles dominantes de cada parcela, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de TUKEY al 5 % de probabilidad, con la finalidad de establecer si los sitios evaluados son iguales o diferentes, con el fin de determinar las diferentes calidades de sitio que se tendría en el área de estudio.

Para obtener las curvas de crecimiento de los árboles de las parcelas evaluadas, se aplicó el método de la curva guía o modelo de Schumacher, que es muy utilizado por generar curvas anamórficas, para ello se relacionaron cuatro variables mediante un parámetro constante (β_0) en una sola ecuación (Campos y Leite 2013; Clutter et al., 1983).

$$\ln(Hd) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{E}\right) + \varepsilon \dots (1)$$

$$\ln(S) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{E_i}\right) + \varepsilon \dots (2)$$

Despejando β_0 de (1)

$$\beta_0 = \ln(Hd) - \beta_1 \left(\frac{1}{E}\right) + \varepsilon$$

Reemplazando β_0 en (2)

$$\ln(S) = \ln(Hd) - \beta_1 \left(\frac{1}{E}\right) + \beta_1 \left(\frac{1}{E_i}\right) + \varepsilon$$

Se obtiene las siguientes ecuaciones:

$$\ln(S) = \ln(Hd) - \beta_1 \left[\left(\frac{1}{E}\right) - \left(\frac{1}{E_i}\right) \right] + \varepsilon$$

$$\ln(Hd) = \ln(S) + \beta_1 \left[\left(\frac{1}{E}\right) - \left(\frac{1}{E_i}\right) \right] + \varepsilon$$

Donde:

Hd = Altura dominante (m)

E = Edad de los árboles dominantes

E_i = Edad Índice

S = Índice de sitio

ε = Error aleatorio, $e \sim N(0, \sigma^2)$

3.2.4.3. Determinación de la influencia de los factores edáficos

a) Modelo estadístico

Para determinar el grado de influencia de los factores edáficos, considerados como significativos en el crecimiento de los árboles, se utilizó los modelos estadísticos de correlación y regresión lineal, utilizando la siguiente formula:

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

Dónde:

n : Número de observaciones

R² : SCR / SCT – Coeficiente de determinación

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

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

b) Análisis estadístico

Para determinar la caracterización de cada calidad de sitio existentes en la plantación de estudio, se evaluó la variable dependiente (altura promedio de los árboles) y las variables independientes (edáficas), las que fueron obtenidas de los resultados de los análisis de suelo correspondientes.

Variable dependiente

- Altura promedio de los árboles dominantes (Hd)

Variables independientes

- Variables físicas

X1: Profundidad efectiva (cm)

X2: Pendiente (%)

X3: Conductividad eléctrica (dS/m)

X4: Arena (%)

X5: Limo (%)

X6: Arcilla (%)

- Variables químicas

X7: Reacción pH (valor Log natural)

X8: Calcáreo total (%)

X9: Materia orgánica (%)

X10: Nitrógeno disponible (%)

X11: Fósforo disponible (ppm)

X12: Potasio disponible (ppm)

X13: Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)

X14: Suma de cationes cambiabiles

X15: Suma de bases

X16: % saturación de bases

c) Procesamiento a usar para el análisis estadístico

Se realizó el análisis de regresión y correlación lineal el cual permitió determinar la influencia y el grado de correlación entre la variable dependiente y cada una de las variables independientes respectivamente.

Se determinó el conjunto de variables que pueden predecir mejor la forma de crecimiento del *P. radiata*, para ello se calculó las correlaciones simples entre todas las variables independientes y la variable dependiente; de acuerdo a los siguientes pasos:

- a) Cálculo de la regresión lineal entre todas las variables independientes y la variable dependiente.
- b) Selección de las variables independientes más relacionadas con la variable dependiente (para esta selección se tuvo en cuenta el coeficiente de correlación).

3.2.4.4. Determinación de la influencia de los factores climáticos

Para determinar el grado de influencia de los factores climáticos en el crecimiento de los árboles, se empleó el coeficiente de determinación (r^2).

Variables climáticas

- Temperatura media anual.
- Precipitación media anual.

3.2.4.5. Caracterización de las calidades de sitio

Con el análisis de regresión y correlación de las variables independientes con respecto a la altura promedio de los árboles (variable dependiente), permitió seleccionar las variables que caracterizan las calidades de sitio, determinadas en la plantación de *P. radiata* en el Parque Forestal Cumbe Mayo.

La selección se realizó de acuerdo al coeficiente de correlación encontrando entre las variables independientes (características edáficas de suelo) y la variable dependiente (altura dominante promedio de los árboles); se exigió un coeficiente de correlación (r) mayor a 0.7.

3.2.4.6. Evaluación de la calidad de la madera

Para la caracterización de la madera de *P. radiata* se realizaron ensayos físicos-mecánicos mediante probetas de pequeñas dimensiones libres de defectos en el laboratorio de Tecnología de la Madera de la Universidad Nacional de Ucayali, para la determinación de las propiedades físicas se utilizó el método de experimentación de diferencias de peso gravimétrico según las especificaciones técnicas de la norma NTP, para determinación del contenido de humedad la norma técnica NTP 251-010:2014, para la determinación de contracciones radial, tangencial, longitudinal y volumétrica la norma técnica NTP 251-012:2015 y para determinación de las densidades la norma técnica NTP 251-011:2014; para las propiedades mecánicas se utilizó las siguientes normas: Determinación del cizallamiento, norma técnica NTP 250-013:2015, determinación a la compresión paralela norma técnica NTP 250-014:2014, determinación a flexión estática norma técnica NTP 251- 017:20014, determinación a compresión perpendicular norma técnica NTP 250-016:2015, determinación a la dureza norma técnica NTP 250-015:2012 y para la determinación al clivaje norma técnica NTP ASTM-143.94.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Ubicación y distribución de parcelas del área de estudio

Para la ubicación y distribución de las cuatro parcelas dentro del área de estudio, se optó por ubicarlas dentro de áreas regularmente cubiertas, debido a que la densidad de la plantación de *P. radiata* en referencia a su biomasa es relativamente baja. El área de estudio muestra muchos claros, producto de la caída de árboles a causa de los fuertes vientos presentes en el lugar.

Tabla 01. Ubicación geográfica de las parcelas experimentales

| Parcelas | Coordenadas UTM | | Altitud (msnm) |
|------------|-----------------|---------|-------------------|
| | Este | Norte | |
| Parcela 01 | 771740 | 9204420 | 3482 |
| Parcela 02 | 771407 | 9204309 | 3491 |
| Parcela 03 | 771260 | 9204293 | 3455 |
| Parcela 04 | 771394 | 9204361 | 3444 |

El número de parcelas se determinó realizando los cálculos a partir de la distribución de frecuencias con los datos de CAP y la extensión del terreno, cálculo que lo podemos apreciar en el Anexo 7.1 donde se obtuvo un coeficiente de variabilidad de 20.27 % y el tamaño de muestra de $3.7 \cong 4$ parcelas a evaluar y con una intensidad de muestreo del 6.45 %.

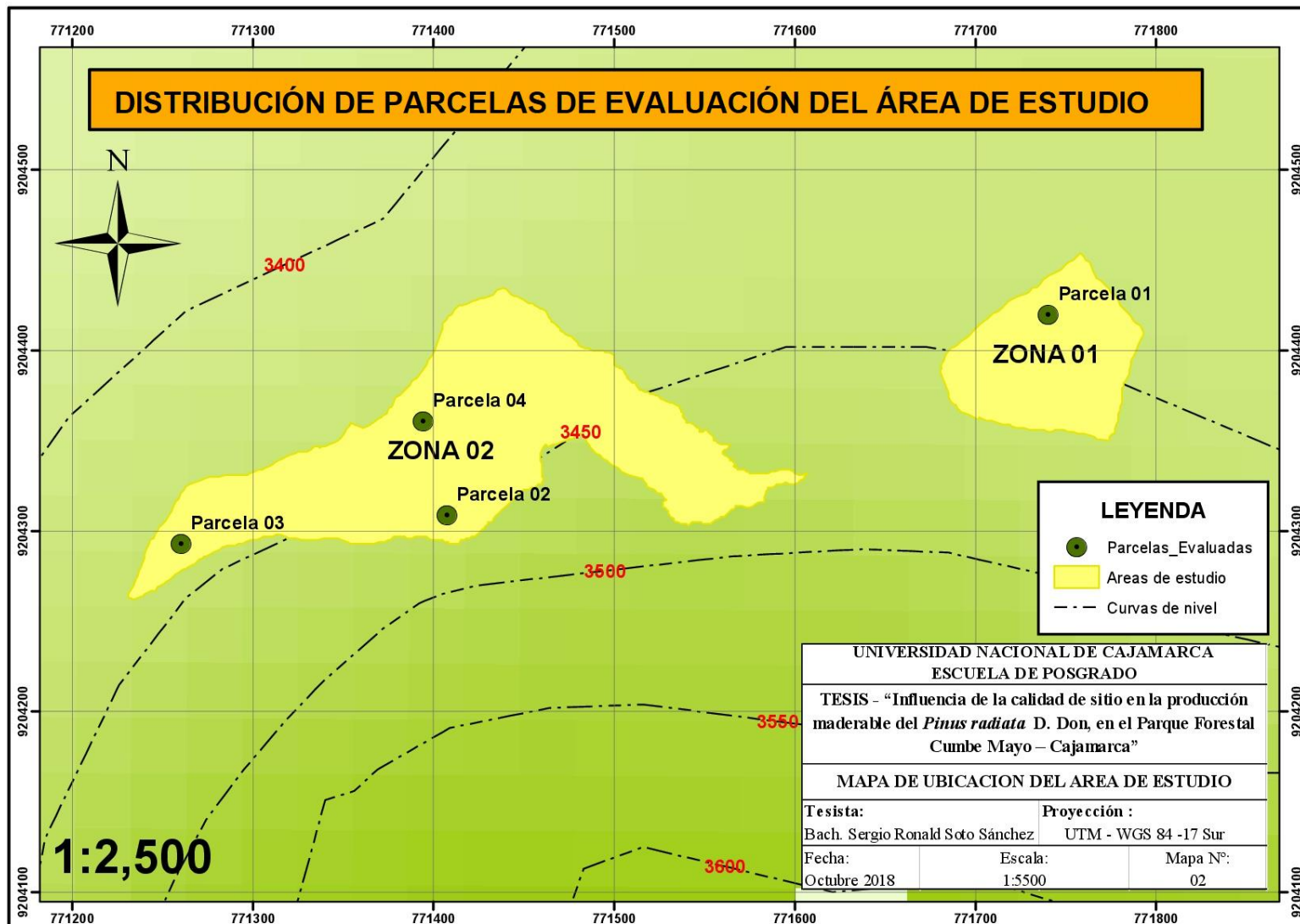


Figura 05. Mapa de distribución de las parcelas de evaluación de *P. radiata*

4.2. Evaluación de los árboles

Se evaluaron los árboles de cada parcela, para identificar los 5 dominantes, de los cuales se obtuvieron los siguientes datos: altura dominante promedio (m), área basal (m²), volumen (m³) e incremento en altura (m/año), datos que reflejan el rendimiento potencial de los árboles dominantes de cada parcela evaluada de *P. radiata* establecida en el Parque Forestal Cumbe Mayo los cuales se muestran en la tabla 02.

Tabla 02. Parámetros dasométricos de los 5 árboles dominantes evaluados por parcela

| Parcela | Altura dominante promedio (m) | Área Basal (AB) (m ²) | Volumen (V) (m ³) | Incremento en altura (m/año) |
|---------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1 | 30.30 | 0.84 | 17.87 | 0.66 |
| 2 | 32.12 | 0.79 | 17.75 | 0.70 |
| 3 | 39.50 | 0.67 | 18.54 | 0.86 |
| 4 | 31.20 | 0.91 | 19.86 | 0.68 |

Como se puede apreciar en la tabla anterior se muestran las alturas promedio de los 5 árboles dominantes evaluados en cada parcela, con los cuales se determinó las calidades de sitio del área de estudio, notándose una gran diferencia en promedio de alturas entre la parcela tres (39.50 m), con un incremento anual en altura de 0.86 m y las parcelas uno, dos y cuatro (30.30 m, 32.12 m y 31.20 m), con un incremento anual en altura de 0.66 m, 0.70 m y 0.68 m respectivamente.

En lo concerniente al área basal de los árboles dominantes se puede apreciar que la parcela cuatro es la que muestra mejores resultados (0.91 m²), seguida por la parcela uno (0.84 m²), parcela dos (0.79 m²) y parcela tres (0.67 m²), estos datos serían resultado de las condiciones

edáficas y fisiográficas del área de estudio, ya que las parcelas uno y cuatro son las que tiene menor pendiente (11 % y 19 %), en comparación con las parcelas tres y dos (23 % y 35 %).

En cuanto al volumen maderable los mejores resultados obtenidos fueron en las parcelas cuatro y tres (19.86 m³ y 18.54 m³ respectivamente), en comparación con las parcelas uno y dos (17.87 m³ y 17.75 m³ respectivamente).

Como se puede apreciar, la plantación de *P. radiata* cuenta con árboles dominantes de muy buenas características dasométricas, demostrando que el área de estudio presenta buena o aceptable producción forestal, sin embargo, se debería fomentar más investigaciones que tengan como fin mejorar esta producción y rentabilidad teniendo siempre presente los distintos factores que influyen en el crecimiento y rendimiento de la plantación.

4.3. Descripción de los perfiles de suelo según su capacidad de uso mayor

La clasificación de tierras por capacidad de uso mayor (CUM), toma en consideración los aspectos edafoclimáticos, para realizar una interpretación práctica del estudio de suelos. Para lo cual se utilizó el reglamento de clasificación de Tierras por Uso Mayor actualizado y aprobado según D.S. N° 017-2009-AG, de fecha 01 de septiembre del 2009.

Una vez hechas las calicatas dentro del área de estudio, se procedió a la descripción del perfil del suelo de cada una de ellas, lo que nos ayudó a estimar su calificación para cada uno de los tipos de suelo encontrados según sus características físicas y químicas; en la tabla se describe cada una de estas para una posterior clasificación de su capacidad según su uso mayor.

Tabla 03. Características edáficas de cada parcela evaluada

| Características Edáficas | Parcela 1 | Parcela 2 | Parcela 3 | Parcela 4 |
|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Pendiente | 11 % Ligeramente inclinada | 35 % Empinada | 23 % Moderadamente empinada | 19 % Moderadamente empinada |
| Microrelieve | Ondulado | Ondulado suave | Ondulado suave | Ondulado suave |
| Profundidad | Muy profundo | Profundo | Muy profundo | Profundo |
| Textura | Moderadamente Gruesa | Moderadamente Gruesa | Moderadamente fina | Moderadamente Gruesa |
| Pedregosidad | Moderadamente Pedregoso | Moderadamente Pedregoso | Moderadamente Pedregoso | Moderadamente Pedregoso |
| Drenaje | Bueno | Bueno | Bueno | Bueno |
| pH | Extremadamente ácido | Muy fuertemente ácido | Muy fuertemente ácido | Muy fuertemente ácido |
| Erosión | Muy ligera | Ligera | Ligera | Ligera |
| Salinidad | Libre de sales | Libre de sales | Libre de sales | Libre de sales |
| Inundación | Sin riesgo | Sin riesgo | Sin riesgo | Sin riesgo |

Para la Clasificación de las Tierras según su Capacidad de Usa Mayor (CUM) se considera una metodología multidisciplinaria según el D.S. 017-2009-AG (ver anexo 7.4), conformada por la combinación de atributos o componentes del sitio tales como: clima, zonas de vida, geomorfología (pendiente del terreno) y suelo (variables edáficas), fundamentalmente.

Descritos los perfiles de suelo de la plantación, se procedió a clasificar a cada uno de estas según su capacidad de uso mayor, en la tabla 04 mostramos los resultados obtenidos.

Tabla 04. Clasificación de suelos según su capacidad de uso mayor

| | Parcela 1 | Parcela 2 | Parcela 3 | Parcela 4 |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Suelo según su capacidad de uso mayor | F1s | F2se | F2s | P2se-F2se |

Como se puede apreciar para las parcelas uno, dos y tres, califican como tierras aptas para producción forestal, con algunas limitaciones en suelo y la parcela cuatro califica como tierras para pastos con limitaciones en suelo, asociada a producción forestal. Esto nos indica que los terrenos ubicados en el Parque Forestal Cumbe Mayo cumplen con los requisitos para la producción de especies forestales.

Debido a las limitaciones que presentan estas tierras, especialmente por el factor topográfico, la explotación del bosque debe realizarse con mucho cuidado, considerando también la reforestación inmediata, como una práctica que contribuya a garantizar una permanente cobertura vegetal para preservar el recurso suelo y evitar el deterioro ambiental que se ocasionaría por la erosión del suelo (Poma y Alcántara, 2011).

4.4. Evaluación de las variables edáficas

Tabla 05. Análisis físico químico de los suelos del Parque Forestal Cumbe Mayo

| Parcela | Horizontes | Pendiente | Profundidad | Ph (1:1) | C.E. (1:1) dS/m | CaCO ₃ % | M.O % | P ppm | K ppm | N % | Análisis Mecánico | | | Clase Textural | CIC | Cationes Cambiables | | | | | Suma de Cationes | Suma de Bases | % Sat. De Bases |
|---------|------------|-----------|-------------|-------------|-----------------------|------------------------|----------|----------|----------|--------|----------------------|----|----|-------------------|-------|---------------------|------------------|----------------|-----------------|----------------------------------|---------------------|------------------|--------------------|
| | | | | | | | | | | | A | L | Ar | | | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Al ³⁺ +H ⁺ | | | |
| | | | | | | | | | | | % | % | % | | | meq/100g | | | | | | | |
| P1 | A | 11 % | 72 | 4.42 | 0.03 | 0.00 | 2.16 | 25.2 | 50 | 0.10 | 72 | 10 | 18 | Fr.A. | 11.20 | 0.99 | 0.35 | 0.11 | 0.08 | 1.45 | 2.98 | 1.53 | 14 |
| | B | | >150 | 3.95 | 0.06 | 0.00 | 0.87 | 20.4 | 22 | 0.06 | 64 | 8 | 28 | Fr.Ar.A. | 8.96 | 0.62 | 0.23 | 0.06 | 0.13 | 1.75 | 2.80 | 1.05 | 12 |
| P2 | A | 35 % | 90 | 4.59 | 0.06 | 0.00 | 9.19 | 3.1 | 60 | 0.27 | 64 | 18 | 18 | Fr.A. | 21.28 | 5.53 | 2.68 | 0.15 | 0.08 | 4.00 | 12.44 | 8.44 | 40 |
| | B | | 140 | 4.33 | 0.04 | 0.00 | 2.87 | 11.6 | 56 | 0.14 | 74 | 14 | 12 | Fr.A. | 16.96 | 0.65 | 0.23 | 0.12 | 0.07 | 1.05 | 2.12 | 1.07 | 6 |
| P3 | A | 23 % | 37 | 4.64 | 0.05 | 0.00 | 1.31 | 4.1 | 169 | 0.07 | 44 | 20 | 36 | Fr.Ar. | 28.00 | 1.29 | 0.43 | 0.41 | 0.12 | 16.30 | 18.56 | 2.26 | 8 |
| | B | | >150 | 3.78 | 0.18 | 0.00 | 2.10 | 7.1 | 48 | 0.08 | 36 | 14 | 50 | Ar. | 15.52 | 0.64 | 0.28 | 0.12 | 0.20 | 8.15 | 9.40 | 1.25 | 8 |
| P4 | A | 19 % | 90 | 4.59 | 0.06 | 0.00 | 9.19 | 3.1 | 60 | 0.27 | 64 | 18 | 18 | Fr.A. | 21.28 | 5.53 | 2.68 | 0.15 | 0.08 | 4.00 | 12.44 | 8.44 | 40 |
| | B | | 140 | 4.33 | 0.04 | 0.00 | 2.87 | 11.6 | 56 | 0.14 | 74 | 14 | 12 | Fr.A. | 16.96 | 0.65 | 0.23 | 0.12 | 0.07 | 1.05 | 2.12 | 1.07 | 6 |

Fuente: Resultado de análisis Laboratorio de suelos UNALM

En la tabla anterior se puede apreciar los resultados de los análisis de caracterización de las muestras de suelos que fueron tomados de las calicatas instaladas en las diferentes parcelas del área de estudio, con estos resultados se realizaron los análisis estadísticos para determinar la influencia de cada una de las variables edáficas en la calidad de sitio del área.

Para el caso de salinidad los parámetros edáficos de todas las parcelas de evaluación se encuentran en el rango de libre a muy ligeramente afectados de excesos de sales, donde prácticamente ningún cultivo muestra daños provocados por exceso de sales, los suelos muestran conductividad eléctrica entre 0.03 a 0.6 dS/m. (Toll, 2014) hace mención sobre la teoría de la sequedad fisiológica, la cual describe que, en suelos salinos, así haya gran cantidad de humedad, las plantas pueden sufrir estrés hídrico y morir. Así también que la disminución del crecimiento de la planta se debe a que las sales afectan la división celular produciendo un engrosamiento de las paredes celulares, lo cual limita el crecimiento de forma irreversible.

No se encontraron carbonatos de calcio en las muestras (0.00 % de CaCO₃).

Comparando los resultados de textura del suelo, se puede apreciar que en las parcelas uno, dos y cuatro son suelos franco arenosos (Fr.A.) de estructura bloques subangulares, medios, grado moderado, suelos que poseen buena permeabilidad y aireación. En la parcela tres suelos franco arcilloso (Fr.Ar.) estructura bloques angulares finos y medios de grado moderado, que favorecen la retención de humedad y poseen buena permeabilidad. Para el caso de los requerimientos de suelo para el *P. radiata* ambas clases texturales son óptimas para el buen desarrollo de la planta como lo mencionan (Mead, 2013). Suelos bien drenados, profundos, libres de piedras y de textura gruesa, como arenas arcillosas o margas arenosas con un contenido de limo y arcilla de 10 a 25 por ciento, tienen la capacidad de trazabilidad, trabajabilidad y penetrabilidad de la raíz más adecuadas. Se deben evitar los suelos que son alcalinos, salinos, derivados de rocas ultra básicas o que tienen otros problemas de toxicidad.

En lo concerniente a la profundidad efectiva y pendiente para el área en estudio, estas muestran suelos profundos a muy profundos (1.40 m y mayores a 1.50 m) y pendientes desde ligeramente empinadas a empinada (11 a 35 %) siendo estos muy determinantes para el buen desarrollo de los árboles instalados. (Ponce, 1993) menciona que, el *Pino insigne* o *P. radiata* para su buen desarrollo necesita suelos de mediana a gran profundidad de 1.0 m a más de 1.30 m de profundidad; así mismo, (Sánchez y Rodríguez, 2008) afirman que, las características de suelo para el *P. radiata* deben ser profundos, en pendientes moderadas, generalmente bien drenados.

La relación del suelo con respecto al pH, los valores van desde extremadamente ácidos a muy fuertemente ácidos (4.42 a 4.64), suelos que son óptimos para el desarrollo de la especie, como lo indica Arteaga et al., (1988, citado por Quintanar, 1992) confirma que la especie soporta suelos con un pH entre 4.1 y 5.7. Así mismo, (Pritchett, 1991) afirma que muchos de los efectos directos visibles de la acidez del suelo sobre el crecimiento de los árboles pueden, de hecho, ser el resultado de los efectos indirectos sobre las condiciones del suelo. La disponibilidad de micronutrientes como el boro, el cobre, el magnesio y el hierro, aumenta de manera general cuando la acidez del suelo aumenta (o sea, cuando disminuye el pH). Siendo estos micronutrientes favorables para el crecimiento de las especies forestales.

Con respecto a los porcentajes de contenido materia orgánica (MO), las parcelas dos y cuatro poseen altos contenidos de materia orgánica (9.19 %), en comparación con la parcela uno que cuenta con niveles medios (2.16 %) y la parcela tres con niveles bajos de contenido materia orgánica (1.31 %). (Docampo, 2012) afirma que la MO es el componente principal que determina la calidad y productividad del suelo. La fertilidad, la disponibilidad de agua, la susceptibilidad a la erosión, la compactación, e incluso la resistencia de las plantas a los insectos y las enfermedades, dependen en gran medida de la materia orgánica del suelo.

Para el contenido de nitrógeno (N) disponible observamos que las parcelas dos y cuatro tienen niveles altos (0.27 %), la parcela uno nivel medio (0.10 %) y la parcela tres niveles bajos (0.07 %). Uno de los procesos más importantes que afectan a la cantidad de N disponible en el suelo es la mineralización de la materia orgánica (MO) y de los residuos de cultivos, que produce la nitrificación del amonio liberado (Cabrera, 2007); Los factores que afectan a la mineralización de residuos son: las condiciones ambientales, la temperatura, el contenido hídrico del suelo, los eventos de secado y rehumedecimiento y las características del suelo (Kruse et al., 2004), siendo los más importantes en la mayoría de los casos, el agua y la temperatura (Rodrigo et al., 1997). Así mismo (Marschner, 1998) menciona que, los factores que influyen en la absorción de este elemento por parte de la planta son: la especie y el tipo de planta. (Tisdale y Nelson, 1991) afirman que un adecuado suministro de nitrógeno está asociado con vigorosos crecimientos vegetativos y un intenso color verde. Cantidades excesivas de nitrógeno pueden prolongar el periodo de crecimiento y retrasar la madurez. En plantas arbóreas, la disponibilidad de N durante el período de máximo crecimiento de las ramas influye en el crecimiento de los brotes y, por ende, en la arquitectura del árbol. La tasa de aparición de las hojas y la longitud final de los entrenudos responde de manera similar a la disponibilidad de N, en función del orden del eje y de la posición en el árbol (Médiène et al., 2002); El N lo absorben siempre que se encuentran en período de crecimiento activo, pero no siempre a la misma velocidad. La cantidad absorbida por unidad de tiempo y de materia vegetal es máxima cuando las plantas son jóvenes y declina gradualmente con la edad (Thompson y Troeh, 1988).

En cuanto a la relación C/N nos arrojan para la parcela tres un valor medio (10.86) por lo tanto se tendría una liberación correcta de nitrógeno, para la parcela uno es alta (12.53) y para las parcelas dos y cuatro muy alta (19.74 y 19.86) por lo que tendrían una escasa liberación de nitrógeno (Flores, 2009) afirma que cuando la relación C/N es alta significa que hay mucha

energía y poco nitrógeno; por tanto prácticamente todo el nitrógeno liberado es tomado por los microorganismos del suelo, quedando muy poco libre para ser utilizado por las plantas. Cuando la relación C/N es baja significa que hay mucho nitrógeno y poca energía. Una parte del nitrógeno liberado es tomada por los microorganismos y el resto es incorporado al suelo y puede ser absorbido por las plantas.

Para los niveles de fósforo (P) en el área de estudio, se tiene para la parcela uno un nivel alto en contenido de fósforo disponible, tanto en el suelo como en el sub suelo (25.2 ppm y 20.4 ppm), en comparación con los sectores dos, tres y cuatro que cuentan con niveles bajos de fósforo (3.1 ppm, 4.1 ppm y 3.1 ppm respectivamente), pero podemos encontrar niveles medios en los sub suelos de la parcela dos y cuatro (11.6 ppm). (Harold y Hockey, 1984) afirman que el contenido de P_2O_5 soluble varía en los suelos forestales de 10 a 200 ppm. (Soria y Viteri, 1999) mencionan que el P desempeña funciones claves en la fotosíntesis, en el metabolismo de los azúcares, en el almacenamiento y transferencia de la información genética, además promueve la formación inicial y el desarrollo de la raíz, el crecimiento de la planta y la formación de las semillas.

Para el contenido de potasio (K) disponible en el suelo, los mayores niveles encontrados están en la parcela tres (169 ppm) con un nivel medio, seguido por las parcelas dos, cuatro y uno (60 ppm, 60 ppm y 50 ppm respectivamente) que figuran con un nivel bajo en contenido de potasio disponible. Para este caso Vincent (1975, citado por Huaripata 2012) menciona que la cantidad de potasio que satisface las necesidades de las especies forestales es de 150 ppm, pero para el caso de los *Pinus*, estos se satisfacen con pequeñas cantidades de potasio, aproximadamente 25 ppm.

Para la capacidad de intercambio catiónico (CIC) la mayor concentración la tiene la parcela tres (28.00 meq/100 g), seguido de las parcelas dos y cuatro (21.28 meq/100 g en cada una) por

lo que califican con un nivel alto de CIC y finalmente la parcela uno (11.20 meq/100g) con un nivel medio. (INTAGRI, 2015) afirma que la mayor influencia sobre la CIC viene de las arcillas del suelo y de la materia orgánica. La arcilla tiene una capacidad de 10-150 meq/100g, mientras que la materia orgánica tiene una capacidad de 200 - 400 meq/100g, es decir la materia orgánica tiene más alta CIC. Para nuestro estudio se obtuvo que la parcela dos está directamente influenciadas en su CIC por la cantidad de arcilla presente en el suelo, y para los otros casos el porcentaje de materia orgánica sería el que se relaciona directamente con el CIC.

Para la suma de cationes intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , $\text{Al}^{+3}+\text{H}^+$) se tiene una relación directa con la capacidad de intercambio catiónico (CIC), siendo la parcela tres (18.56) el mayor, seguido de las parcelas dos y cuatro (12.44 cada uno) y finalmente la parcela uno (2.98). (INTAGRI, 2015) sostiene que la cantidad de cationes intercambiables en la solución del suelo es muy pequeña comparando con la cantidad que se retiene en las arcillas. Entonces la mayor proporción de cationes están adheridos a las superficies de las partículas del suelo, y los cuales están en equilibrio con la solución de este. La CIC, por lo tanto, proporciona una reserva de nutrientes para reponer los que fueron absorbidos por las plantas o lavados de la zona radical.

4.5. Determinación de la calidad de sitio

Las variaciones relacionadas al crecimiento del *P. radiata* por calidad de sitio en las parcelas establecidas en el Parque Forestal Cumbe Mayo, se le atribuye principalmente a las variaciones físicas y químicas del suelo. Así mismo el clima como la precipitación y la temperatura, son factores muy importantes que influyen en el crecimiento del árbol. (Schlatter y Gerding, 2014) afirman que, la calidad de sitio es el resultado de la interacción de los factores clima y suelo que caracterizan un sitio determinado, con la especie o grupo de especies que estén establecidas

en él, medido en términos de desarrollo o productividad. Además, (Díaz, 1996) sostiene que el clima es el principal determinante del tipo de suelo y de la vegetación de una región, además menciona que la interacción del complejo climático con el proceso fisiográfico del árbol constituye una base del éxito o el fracaso en una plantación.

El método utilizado para determinar la calidad de sitio para el presente trabajo, son la altura dominante promedio de los árboles de cada parcela establecida en función a la edad, para lo cual se utilizó el análisis de varianza y la prueba de significancia, este método resulto el más práctico por su fácil aplicación y precisión de los resultados reflejados en la capacidad de producción de las diferentes calidades de sitio. (Prodan et al., 1997) menciona que, se recurre generalmente a índices, como expresión cuantitativa de la calidad de sitio, siendo el más común de ellos el índice de sitio, basado en la altura que logran los árboles de mejor desarrollo del bosque, medida a una edad clave. (Ojeda, 2011) menciona que la altura dominante fue usada por primera vez como magnitud de la calidad de sitio por Baur en el año 1879, con vistas a la construcción de tablas de producción, es desde este entonces que se usa como un requisito indispensable en la modelación del crecimiento y rendimiento.

En Tabla 06 se observa los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la altura dominante por parcela, estos indican que existe significación estadística entre cada uno de ellos, dado que, el valor de significación (p-valor = 0.0017) es menor al 0.05. Esto nos hace llegar a la conclusión que la altura dominante en las cuatro parcelas instaladas en el área de estudio es estadísticamente diferente.

El coeficiente de variación ($CV = 9.97 \%$), indica la variabilidad de los resultados (altura dominante) dentro de una parcela, esta variabilidad posiblemente corresponda a factores propios de los árboles, asociados a otros factores de importancia como densidad de la plantación, exposición, luz solar, agua, nutrientes, temperatura, O_2 y CO_2

Tabla 06. Análisis de varianza (ANOVA) para la altura dominante de árboles por parcela

| Fuente de variación | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Cuadrados medios | F calculado | p-valor |
|----------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------|----------------|
| Parcela | 266.2 | 3 | 88.73 | 8.06 | 0.0017 |
| Error | 176.19 | 16 | 11.01 | | |
| Total | 442.39 | 19 | | | |

CV = 9.97 %

La prueba de significación de Tukey al 5 % de probabilidad (Tabla 07), indica que en la parcela tres, la altura dominante en promedio fue de 39.5 m, siendo este resultado estadísticamente superior al resto de parcelas; en las parcelas dos, cuatro y uno, la altura dominante en promedio fue de 32.12 m, 31.2 m y 30.3 m, respectivamente, estos resultados son estadísticamente iguales.

Tabla 07. Prueba de significación de Tukey al 5 % de probabilidad

| Parcela | Altura (m) | Significación al 5 % | Calidad de sitio |
|----------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Parcela 3 | 39.5 | A | I |
| Parcela 2 | 32.1 | B | II |
| Parcela 4 | 31.2 | B | II |
| Parcela 1 | 30.3 | B | II |

De los resultados obtenidos se agrupó a las parcelas en dos (02) calidades de sitio para el área de estudio, obteniendo la mejor calificación la parcela tres como calidad de sitio I y las parcelas dos, cuatro y uno como la calidad de sitio II. La Figura 06 nos muestra la distribución de alturas por índice de sitio de cada una de las parcelas de *P. radiata*.

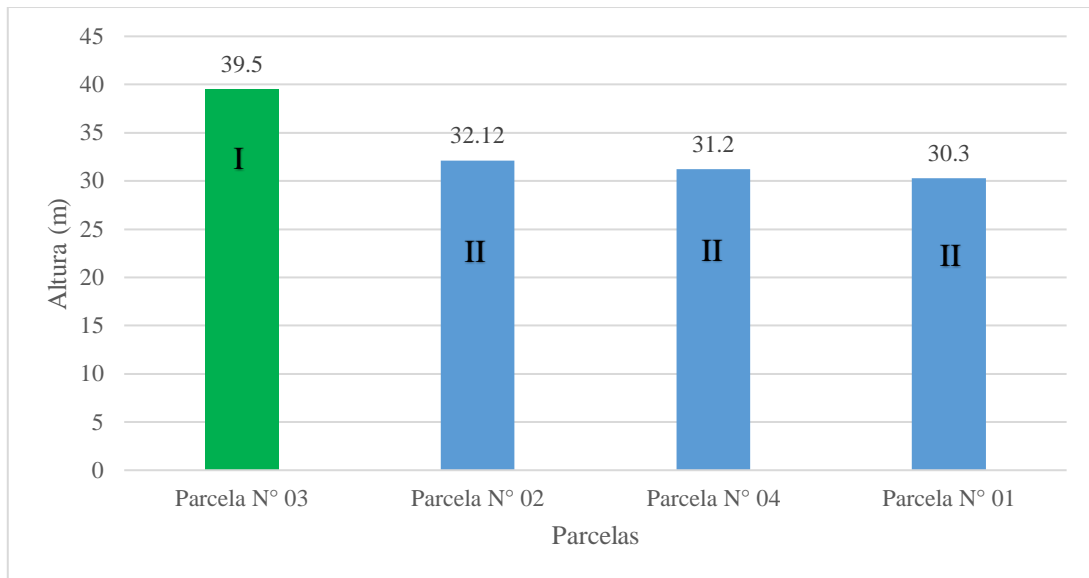


Figura 06. Distribución de alturas promedio dominante por índice de sitio

Para la obtención de la gráfica de curvas de crecimiento donde se aprecian las calidades de sitio, se utilizó el método de la curva guía, para ello se utilizó la edad y la altura dominante de los árboles década parcela, arrojando ajustes válidos, donde se puede apreciar que la regresión es buena, teniendo un coeficiente de determinación ($r^2 = 0,913$) y como producto del ajuste se alcanzó los siguientes parámetros: $\beta_0 = 4.3190$ y $\beta_1 = -27.0821$, los que fueron reemplazados en las fórmulas siguientes:

$$\ln(S) = \ln(Hd) - \beta_1 \left[\left(\frac{1}{E} \right) - \left(\frac{1}{E_i} \right) \right] + \varepsilon$$

$$\ln(Hd) = \ln(S) + \beta_1 \left[\left(\frac{1}{E} \right) - \left(\frac{1}{E_i} \right) \right] + \varepsilon$$

Con el resultado de estas fórmulas se generó la tabla de dispersión (tabla 08) donde se muestra las edades base y alturas índice de acuerdo al rango de variación de altura, además se graficó las curvas anamórficas que permiten en términos de calidades de sitio la clasificación del crecimiento.

Tabla 08. Distribución de alturas según calidad de sitio

| Edad | Calidad de sitio II | | | Calidad de sitio I | | |
|-----------|---------------------|------|------|--------------------|------|------|
| | Altura | | | | | |
| 10 | 3.5 | 3.9 | 4.2 | 4.6 | 4.9 | 5.3 |
| 15 | 8.6 | 9.5 | 10.4 | 11.2 | 12.1 | 13.0 |
| 20 | 13.6 | 14.9 | 16.3 | 17.7 | 19.0 | 20.4 |
| 25 | 17.8 | 19.6 | 21.4 | 23.2 | 24.9 | 26.7 |
| 30 | 21.3 | 23.5 | 25.6 | 27.7 | 29.9 | 32.0 |
| 50 | 30.6 | 33.7 | 36.7 | 39.8 | 42.9 | 45.9 |

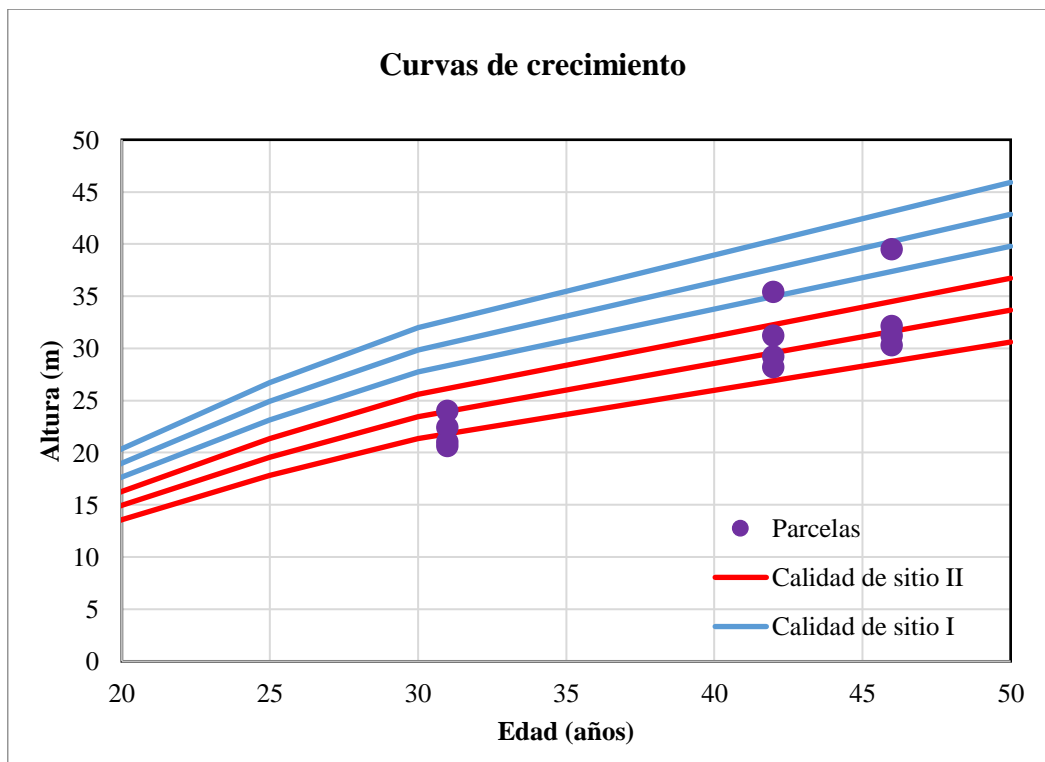


Figura 07. Curvas de calidades de sitio para la plantación de *P. radiata*

Como se puede apreciar en la Figura 07 las parcelas evaluadas de la plantación de *P. radiata* del Parque Forestal Cumbe Mayo según las curvas de índice de sitio se encuentran en dos calidades de sitio (calidad de sitio I y II).

4.6. Calidad de sitio y su relación con las variables climáticas

Las parcelas evaluadas de *P. radiata* ubicadas en el área de estudio se encuentran distribuidas en un rango aproximado de 358.8 mm a 908.6 mm de precipitación media anual (PMA), según datos meteorológicos de los años 1970 hasta 2017. Estos rangos se encuentran dentro de los parámetros requeridos para la especie, según lo descrito por McDonald y Laake, (1990 cit. por Sánchez y Rodríguez, 2008) quienes mencionan, que la precipitación promedio para el *P. radiata* varía desde 380 - 890 mm por año, con ausencia de lluvias entre los meses de julio y agosto. (Mead, 2013) comenta que el *P. radiata* se ha cultivado con éxito en distintas áreas recibiendo tan solo 500 mm, las plantaciones comerciales requieren una precipitación mínima anual de 600 - 750 mm.

En las Figuras 08 y 09 se observan los coeficientes de correlación calculados ($r = 0.53$), el cual indica que existe una correlación positiva moderada entre la precipitación anual y la altura para la calidad de sitio I y calidad de sitio II respectivamente, además, las variables presentan una relación directamente proporcional, este resultado indica que el aumento de la precipitación produciría un aumento en la altura de los árboles.

El coeficiente de determinación ($r^2 = 0.2763$), revela que la precipitación explica en 27.63% la altura de los árboles. La ecuación lineal obtenida de este análisis de regresión:

❖ Calidad de Sitio I: $\text{Altura (m)} = 0.0988 (\text{precipitación}) - 43.621$

❖ Calidad de Sitio II: $\text{Altura (m)} = 0.0798 (\text{precipitación}) - 33.706$

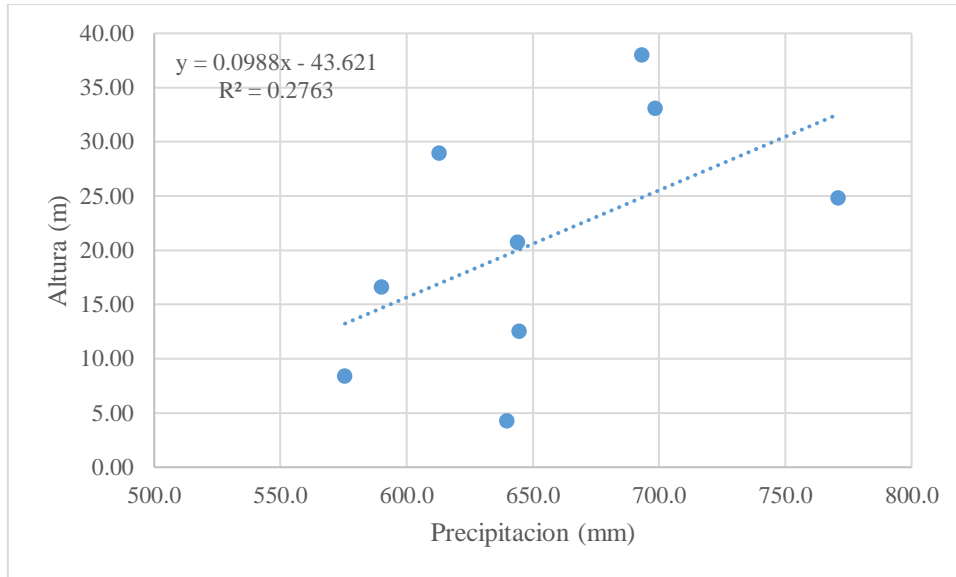


Figura 08. Correlación de la precipitación y la altura en la calidad de sitio I

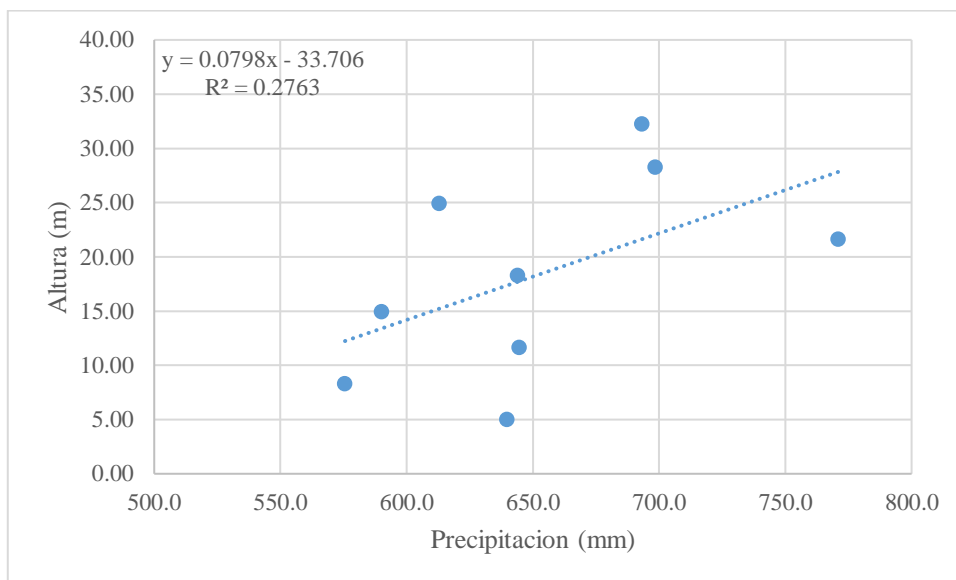


Figura 09. Correlación de la precipitación y la altura en la calidad de sitio II

En cuanto a la temperatura media mensual (TMM) para el área de estudio, esta varía desde los 11.8 a 17.7 °C, según datos meteorológicos, rangos que se encuentran dentro de los parámetros requeridos por la especie, así como lo mencionan Mead, 2013; McDonald y Laake, (1990 cit. Por Sánchez y Rodríguez, 2008) que las temperaturas medias mensuales se encuentran entre los rangos de 9 - 11 °C en invierno y 16 - 18 °C en verano, parámetros

establecidos para su hábitat natural. Pudiendo soportar temperaturas extremas de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $41\text{ }^{\circ}\text{C}$, con 300 días de heladas al año. Shepherd (1995 cit. por Mead, 2013) encontró que las temperaturas ambientales del campo de aproximadamente 10 a $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ dieron el mejor crecimiento de diámetro para la especie *P. radiata*

En la Figura 10 y 11 se observan los coeficientes de correlación calculado ($r = 0.87$), el cual indica que existe correlación positiva alta entre la temperatura media anual y la altura para la calidad de sitio I y calidad de sitio II respectivamente, al igual que las variables de precipitación también presentan una relación directamente proporcional, este resultado indica que el aumento de la temperatura produciría un aumento en la altura de los árboles.

El coeficiente de determinación ($r^2 = 0.7644$), indica que la temperatura explica en 76.44% la altura de los árboles. La ecuación lineal obtenida de este análisis de regresión:

❖ Calidad de Sitio I: $\text{Altura (m)} = 25.394 (\text{temperatura}) - 345.71$

❖ Calidad de Sitio II: $\text{Altura (m)} = 20.517 (\text{temperatura}) - 277.78$

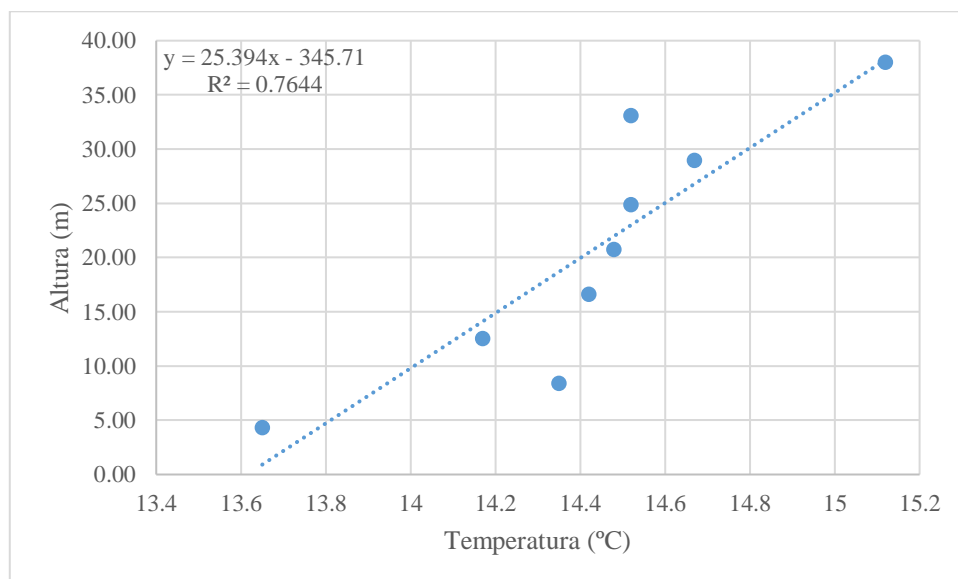


Figura 10. Correlación de la temperatura y la altura en la calidad de sitio I

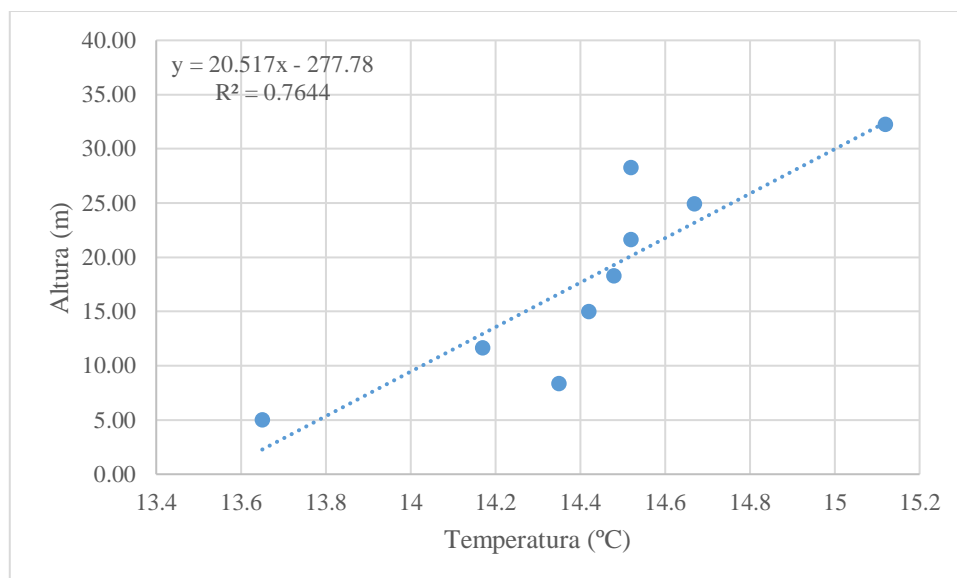


Figura 11. Correlación de la temperatura y la altura en la calidad de sitio II

4.7. Representación y producción del bosque por calidad de sitio

Los análisis de varianza y prueba de significación Tukey permitieron agrupar a las parcelas en estudio en dos calidades de sitio las que se representan en la Figura 06; la representación y producción del bosque por calidad de sitio definidas en la altura dominante promedio, el área basal por hectárea, el volumen por hectárea, así como incremento medio anual y el incremento en altura por año se presentan en la Tabla 09.

Tabla 09. Medidas dasométricas y productividad maderable por calidad de sitio

| Número de parcela | Calidad de sitio | Altura dominante promedio (m) | AB (m ² /ha) | Volumen (m ³ /ha) | Incremento medio anual (m ³ /ha/año) | Incremento en altura (m/año) |
|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------|------------------------------|---|------------------------------|
| 3 | I | 39.50 | 46.13 | 937.07 | 20.37 | 0.86 |
| 1, 2 y 4 | II | 31.21 | 47.44 | 865.68 | 18.82 | 0.68 |

Con los datos del inventario integral de cada una de las parcelas se muestra la producción total del bosque por calidades de sitio (tabla 09), teniendo para la calidad de sitio I un volumen maderable de 937.07 m³/ha y un incremento medio anual de 20.37 m³/ha/año, mientras que para la calidad de sitio II un volumen maderable de 865.68 m³/ha y un incremento medio anual de 18.82 m³/ha/año. Demostrando una buena productividad para el área de estudio, esto nos indica la importancia de conocer la calidad de sitio, para de esta forma atraer las inversiones en el tema de plantaciones forestales.

Según Gonzales (1975) en su trabajo de crecimiento en volumen por hectárea de *P. radiata* en Cajamarca publicado en la revista forestal del Perú, determinó que para la zona de Cajamarca en un periodo de rotación de 18 años una producción promedio de 318.7 m³/ha, sin considerar calidad de sitio. (Huaripata, 2012) nos dice que la producción maderable para la especie *P. radiata* en la plantación de Granja Porcón para la calidad de sitio I es de 1117.49 m³/ha, para la calidad de sitio II de 517.22 m³/ha, y para la calidad de sitio III de 300.91 m³/ha,

López y Gonzales (1980) en su trabajo de crecimiento del *P. radiata* en Puno, estimaron que a los 33 años se llegará a una rotación óptima con un rendimiento de 653 m³/ha.

Mead (2013) menciona en su trabajo de efecto de la silvicultura en un sitio de granja fértil en Nueva Zelanda producciones maderables de *P. radiata* de 213 m³/ha a 935 m³/ha, con alturas de 31.1 m a 39.6 en edades de 25 años, teniendo como factor determinante en número de árboles/ha.

El mismo autor revela excelentes resultados de incremento medio anual en volumen maderable en plantaciones de *P. radiata* a gran escala en algunos países de mundo, para el caso de Chile van desde los 14 a 34 m³/ha/año, en Australia de 16 a 21 m³/ha/año, en Nueva Zelanda

de 17 a 20 m³/ha/año, en Sudáfrica de 12 a 16 m³/ha/año y España de 14 a 22 m³/ha/año, en rotaciones que van desde los 18 a 35 años.

Los incrementos en altura varían de 0.86 m/año para la calidad de sitio I, a 0.68 m/año promedio en la calidad de sitio II (Tabla 09), si comparamos con lo encontrado por (Huaripata, 2012) en las plantaciones de *P. radiata* en la Granja Porcón en Cajamarca, para la calidad de sitio I tenía una altura de 26.17 m en promedio a los 20 años de edad (1.3 m/año), para la calidad de sitio II una altura de 22.17 m (1.1 m/año). (Sánchez y Rodríguez, 2008) estimaron para la calidad de sitio I a la edad de 20 años una altura de 25.9 m (1.3 m/año), para la calidad de sitio II una altura de 21.7 m (1.1 m/año) en España. (Schlatter et al., 1998) estimaron para la calidad de sitio I a la edad de 19 años 29.5 m (1.6 m/año), para la calidad de sitio II una altura de 25.9 m (1.3 m/año) en Chile. Pudiendo ser mayor el rendimiento en el Parque Forestal Cumbe Mayo, si se tiene en cuenta que el crecimiento a edades adultas disminuye, por lo que se tendría que establecer un periodo de rotación óptimo para esta especie.

Todo lo antes mencionado nos hace entender la importancia de conocer la calidad de sitio para la instalación de una plantación forestal con fines de producción y especialmente con un periodo de rotación establecido, que para el caso de la plantación en Cumbe Mayo sería entre los 28 y 30 años teniendo alturas de 32 m (1.15 m/año) para la calidad de sitio I y de 25.6 m (0.91 m/año) para la calidad de sitio II, estos datos están ajustados al modelo de índice de sitio aplicado a este trabajo.

4.8. Caracterización de la calidad de sitio

En las Tablas 10 y 11 se observan la correlación lineal entre los 16 parámetros edáficos (variables independientes) tanto de suelo como de sub suelo, con respecto a la altura dominante promedio (variable dependiente), esto permitió seleccionar en base a los coeficientes de

regresión más altos (0.7) a las variables que tengan influencia directa o indirecta en el crecimiento de *P. radiata*.

Con respecto a la correlación entre las variables edáficas de suelo y la altura dominante promedio de los árboles (Tabla 10), se puede constatar que las variables independientes de profundidad efectiva (0.892), porcentaje de arena (-0.982), porcentaje de arcilla (0.984), fósforo disponible (0.994), capacidad de intercambio catiónico (0.821) y suma de cationes (0.815) presentan una relación muy alta con la altura de los árboles dominantes. De estas variables que presentan una relación alta con la altura de los árboles, solo el porcentaje de arena, porcentaje de arcilla y potasio disponible son significativos.

McDonald y Laacke, (1990 cit. por Mead, 2013) indican que en su hábitat natural el *P. radiata* crece en una variedad de suelos y de material parental. Pero en general, el mejor crecimiento se produce en margas arenosas profundas derivadas de sedimentos marinos y con una capa gruesa de materia orgánica. Así mismo menciona que la mayoría de los sitios óptimos para esta especie están en terrenos inclinados y bien drenados. Puede haber una capa de arcilla de 50 a 85 cm, que ayuda a almacenar la humedad; los suelos son generalmente ácidos a ácidos fuertes.

Pritchett (1991) comenta que los suelos arenosos profundos y gruesos a menudo sostiene cultivos del género *Pinus*; en consecuencia, la productividad de los suelos arenosos aumenta a medida que las proporciones de material menor a 0.05 mm (partículas de arena y arcilla) aumenta a un nivel óptimo.

Sela (2018) menciona que el potasio (K) es requerido en grandes cantidades para el crecimiento y reproducción. (Plaster, 2000) recalca que el K es un nutriente clave, ya que los árboles consumen más K que cualquier otro nutriente.

Al igual que el análisis de correlación para el suelos, se trabajó la correlación entre las variables edáficas del sub suelo con la altura dominante promedio de los árboles (Tabla 11) evidenciando que las variables independientes profundidad efectiva (0.892), conductividad eléctrica (0.953), porcentaje de arena (-0.910), porcentaje de arcilla (0.830), nitrógeno disponible (-0.770), suma de cationes (0.967) y suma de bases (0.995) presentan una relación muy alta con relación a la altura. De estas variables independientes del sub suelo que presentan relación alta con la altura solo la conductividad eléctrica, suma de cationes y suma de bases son significativos.

Mead (2013) menciona que el *P. radiata* no tolera suelos muy húmedos, salinidad o suelos altamente calcáreos y que los cationes intercambiables son generalmente menos importantes para el desarrollo de la especie.

Tabla 10. Matriz de correlación del análisis de las características del suelo

| | PE | Pen | CE | A | L | Ar | pH | CT | MO | N | P | K | CIC | SCC | SB | %StB | HT |
|------|----|------|------|--------|-------|-------|--------|----|-------|--------|--------|--------|--------|---------|-------|---------|--------|
| PE | 1 | .490 | .577 | -.957* | .921 | .816 | .933 | - | -.080 | -.791 | .862 | -.114 | .990** | .989* | .079 | -.145 | .892 |
| Pen | | 1 | .754 | -.301 | .676 | .067 | .665 | - | .536 | -.741 | .130 | .518 | .566 | .571 | .614 | .500 | .239 |
| CE | | | 1 | -.316 | .850 | 0.000 | .832 | - | .767 | -.956* | .084 | .745 | .686 | .693 | .859 | .724 | .152 |
| A | | | | 1 | -.768 | -.949 | -.789 | - | .366 | .579 | -.972* | .397 | -.907 | -.903 | .214 | .426 | -.982* |
| L | | | | | 1 | .526 | .999** | - | .315 | -.967* | .595 | .283 | .966* | .969* | .462 | .253 | .647 |
| Ar | | | | | | 1 | .554 | - | -.641 | -.292 | .996** | -.667 | .728 | .721 | -.511 | -.689 | .984* |
| pH | | | | | | | 1 | - | .284 | -.958* | .622 | .251 | .974* | .976* | .432 | .221 | .672 |
| CT | | | | | | | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| MO | | | | | | | | | 1 | -.547 | -.575 | .999** | .060 | .070 | .987* | .998** | -.514 |
| N | | | | | | | | | | 1 | -.371 | -.518 | -.869 | -.874 | -.672 | -.491 | -.433 |
| P | | | | | | | | | | | 1 | -.602 | .782 | .776 | -.438 | -.626 | .994** |
| K | | | | | | | | | | | | 1 | .026 | .036 | .981* | 1,000** | -.543 |
| CIC | | | | | | | | | | | | | 1 | 1,000** | .217 | -.005 | .821 |
| SCC | | | | | | | | | | | | | | 1 | .227 | .005 | .815 |
| SB | | | | | | | | | | | | | | | 1 | .975* | -.373 |
| %StB | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | -.568 |
| HT | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |

PE: Profundidad Efectiva; Pen: Pendiente; CE: Conductividad eléctrica; A: Arena; L: Limo; Ar: Arcilla; pH: Potencial de hidrogeno; CT: Calcáreo Total; MO: Materia orgánica; N: Nitrógeno; P: Fósforo; K: Potasio; CIC: Capacidad de intercambio catiónico; SCC: Suma de cationes cambiables; SB: Suma de bases; %StB: Porcentaje saturación de bases; HT: Altura total

Tabla 11. Matriz de correlación del análisis de las características del subsuelo

| | PE | Pen | CE | A | L | Ar | pH | CT | MO | N | P | K | CIC | SCC | SB | %StB | HT |
|------|----|------|-------|---------|------|--------|--------|----|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|---------|--------|
| PE | 1 | .490 | .728 | -.636 | .816 | .499 | -.250 | - | .532 | -.975* | .659 | .198 | .701 | .761 | .870 | -.577 | .892 |
| Pen | | 1 | -.040 | .134 | .733 | -.256 | .436 | - | .749 | -.606 | .757 | .663 | .755 | -.002 | .142 | -.754 | .239 |
| CE | | | 1 | -.992** | .198 | .958* | -.846 | - | -.194 | -.556 | -.037 | -.528 | .021 | .999** | .971* | .140 | .953* |
| A | | | | 1 | .074 | -.986* | .906 | - | .315 | .448 | .161 | .630 | .104 | -.985* | -.934 | -.262 | -.910 |
| L | | | | | 1 | -.093 | .355 | - | .923 | -.925 | .972* | .728 | .984* | .247 | .426 | -.943 | .472 |
| Ar | | | | | | 1 | -.964* | - | -.468 | -.294 | -.323 | -.750 | -.268 | .942 | .861 | .419 | .830 |
| pH | | | | | | | 1 | - | .687 | .028 | .564 | .899 | .515 | -.819 | -.695 | -.646 | -.653 |
| CT | | | | | | | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| MO | | | | | | | | | 1 | -.707 | .987* | .935 | .977* | -.145 | .046 | -.999** | .098 |
| N | | | | | | | | | | 1 | -.810 | -.411 | -.842 | -.597 | -.739 | .745 | -.770 |
| P | | | | | | | | | | | 1 | .868 | .998** | .013 | .203 | -.995** | .253 |
| K | | | | | | | | | | | | 1 | .838 | -.485 | -.310 | -.915 | -.259 |
| CIC | | | | | | | | | | | | | 1 | .071 | .259 | -.987* | .308 |
| SCC | | | | | | | | | | | | | | 1 | .982* | .091 | .967* |
| SB | | | | | | | | | | | | | | | 1 | -.101 | .995** |
| %StB | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | -.152 |
| HT | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |

PE: Profundidad Efectiva; Pen: Pendiente; CE: Conductividad eléctrica; A: Arena; L: Limo; Ar: Arcilla; pH: Potencial de hidrogeno; CT: Calcáreo Total; MO: Materia orgánica; N: Nitrógeno; P: Fósforo; K: Potasio; CIC: Capacidad de intercambio catiónico; SCC: Suma de cationes cambiables; SB: Suma de bases; %StB: Porcentaje saturación de bases; HT: Altura total

4.9. Evaluación de la calidad de la madera

Para la evaluación de la calidad de la madera de *P. radiata* extraída de las parcelas instaladas en la plantación, se procedió a realizar los diferentes ensayos de las propiedades físicas y mecánicas, trabajo realizado en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Universidad Nacional de Ucayali, para la determinación de las diferentes propiedades se lo realizó según las especificaciones técnicas de la Norma Técnica Peruana (ver anexo 7.7).

4.9.1. Propiedades físicas

De acuerdo con los resultados obtenidos (tabla 13), la madera de *P. radiata* presentó un contenido de humedad de 56.27 %, para la calidad de sitio I y 134 % para la calidad de sitio II, llegando a 17.93% y 29.4 % en contenido de humedad seco al aire, 16.47 % y 17.7 % en contenido de humedad seco al horno respectivamente, (Lozano, 2008) encontró para la misma especie un contenido de humedad de 117.16 % y un contenido de humedad seca al aire libre de 14.83 %.

Los valores obtenidos para la densidad básica fueron de 0.42 g/cm³ para ambas calidades de sitio, su contracción volumétrica de 12.5 % para calidad de sitio I y 12.4 % para calidad de sitio II, una relación tangencial – radial de 1.33 y 1.64, de acuerdo a (Aróstegui, 1982), se puede clasificar como una madera de densidad media dentro de los rangos de 0.41 - 0.60 g/cm³ y de contracción volumétrica alta, resultados similares obtuvo (Lozano, 2008) en su trabajo realizado en la plantación de *P. radiata* de Granja Porcón, al obtener 0.45 g/cm³ de densidad básica, 12.57 % de contracción volumétrica y una relación tangencial radial de 1.51, clasificándolo como una madera de densidad media y de contracción muy estable.

4.9.2. Propiedades mecánicas

Según los resultados obtenidos y mostrados en la tabla 12, para la prueba de flexión estática, presento un valor para el módulo de ruptura (MOR) de 439.05 Kg/cm² para la calidad de sitio I y 334.95 Kg/cm² para la calidad de sitio II; para el módulo de elasticidad (MOE) tenemos 66328 Kg/cm² para calidad de sitio I y 57328 Kg/cm²; para el esfuerzo de fibras al límite proporcional (ELPF) se tiene 259.96 Kg/cm² para calidad de sitio I y 197 Kg/cm² para calidad de sitio II, según la clasificación propuesta por (Sibille, 2006) para el MOR la clasifica dentro del rango de calidad bajo (B) de grado (II), para el MOE dentro del rango de muy flexible de grado (I) y para el ELPF como muy alta de grado (V).

Para la prueba de compresión perpendicular los resultados arrojaron 1.95 Kg/cm² para la calidad de sitio I, mientras que para para la calidad de sitio II un valor de 2,97 Kg/cm², clasificándola según (Sibille, 2006) de una calidad muy baja (MB) de grado (I).

Los ensayos de compresión paralela se tienen resultados de 241.68 Kg/cm² para la calidad de sitio I y de 237.36 Kg/cm² para la calidad de sitio II, clasificándola según (Sibille, 2006) de mediana (M) de grado (III) y baja (B) de grado (II) respectivamente.

Los resultados para la prueba de cizallamiento fueron de 60.4 Kg/cm² para la calidad de sitio I y 50.27 Kg/cm² para la calidad de sitio II, teniendo una clasificación según (Sibille, 2006) para ambas calidades de sitio es de baja (B) de grado (II).

Los resultados en clivaje, mostraron 20.87 Kg/cm² para la calidad de sitio I y 16.7 Kg/cm² para calidad de sitio II, clasificándola para esta prueba, según (Dávalos y Bárcenas 1999) como muy bajas (MB) en ambas calidades de sitio.

Si hacemos una comparación con los resultados de las propiedades mecánicas obtenidas en el presente trabajo y las propiedades mecánicas del *P. radiata* cosechado en Chile según

(CORMA, 2013) en su compendio de directrices para enseñanza en ingeniería, podemos decir que sus características presentan una similitud para las diferentes pruebas realizadas.

Cabe recalcar que los resultados de las diferentes pruebas para determinar las propiedades mecánicas de la madera se realizaron con madera en estado verde, en la tabla 12, se puede apreciar el resumen de todos los ensayos realizados a la madera de *P. radiata*.

Tabla 12. Resumen de las propiedades físicas y mecánicas del *P. radiata*

| Propiedades del <i>Pinus radiata</i> D. Don | | Series de sitio | |
|---|--|--------------------|---------------------|
| | | Calidad de sitio I | Calidad de Sitio II |
| Propiedades físicas | Contenido de humedad (%) | 56.27 | 134.00 |
| | Contracción (%) | 12.50 | 12.40 |
| | Densidad (g/cm ³) | 0.42 | 0.42 |
| | Relación T/R | 1.33 | 1.64 |
| Propiedades mecánicas | MOR (Kg/cm ²) | 439.05 | 334.95 |
| | Flexión estática MOE (Kg/cm ²) | 66328 | 57328 |
| | ELPF (Kg/cm ²) | 259.96 | 197.00 |
| | Compresión perpendicular (Kg/cm ²) | 1.95 | 2.97 |
| | Compresión paralela (Kg/cm ²) | 241.68 | 237.36 |
| | Cizallamiento (Kg/cm ²) | 60.4 | 50.27 |
| | Clivaje (Kg/cm ²) | 20.87 | 16.7 |

De acuerdo a los resultados obtenidos en los diferentes ensayos para las propiedades físicas de la madera, se puede determinar que la madera obtenida de la calidad de sitio I y calidad de sitio II, del Parque Forestal Cumbe Mayo son muy similares, a diferencia de las propiedades mecánicas que nos arrojan mejores resultados en la mayoría de las pruebas de esfuerzo para la calidad de sitio I que la madera de la calidad de sitio II, esto se correspondería específicamente por el contenido de humedad de las probetas al momento de realizar los diferentes ensayos.

Al realizar comparativos de las diferentes propiedades de la madera de *P. radiata* de la plantación ubicada en el Parque Forestal Cumbe Mayo con madera cultivada en Chile se puede determinar que las características de ambas maderas son similares, como se puede apreciar en la figura 12 de propiedades físicas y figura 13 de propiedades mecánicas.

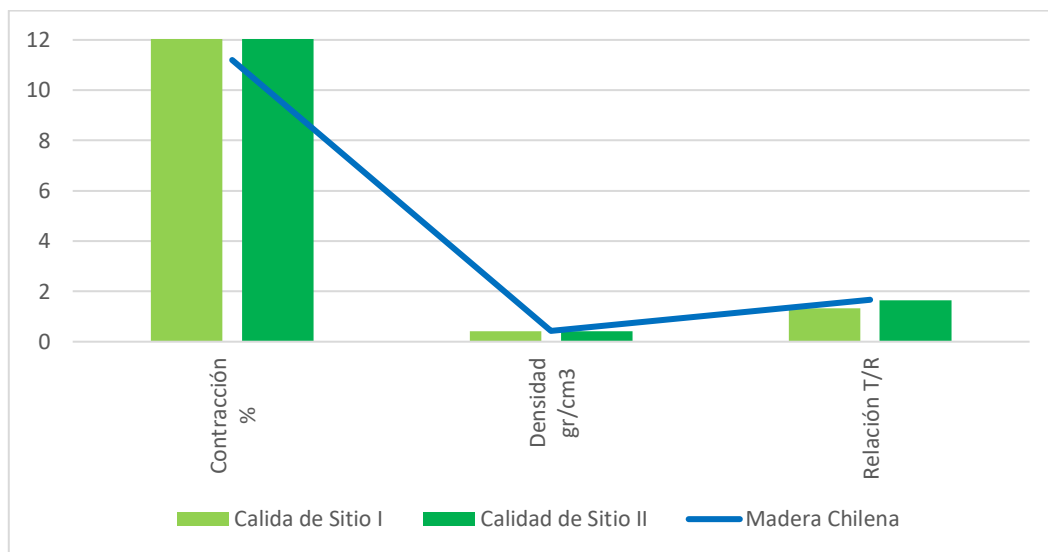


Figura 12. Propiedades físicas de la madera del Parque Forestal Cumbe Mayo vs madera de Chile

Como se aprecia en la figura 12 según los resultados obtenidos en el Parque Forestal Cumbe Mayo y los obtenidos por (Pérez, 1991) en su publicación “Manual de construcción en maderas” realizado en Chile, muestran bastante similitud para las propiedades físicas de la madera.

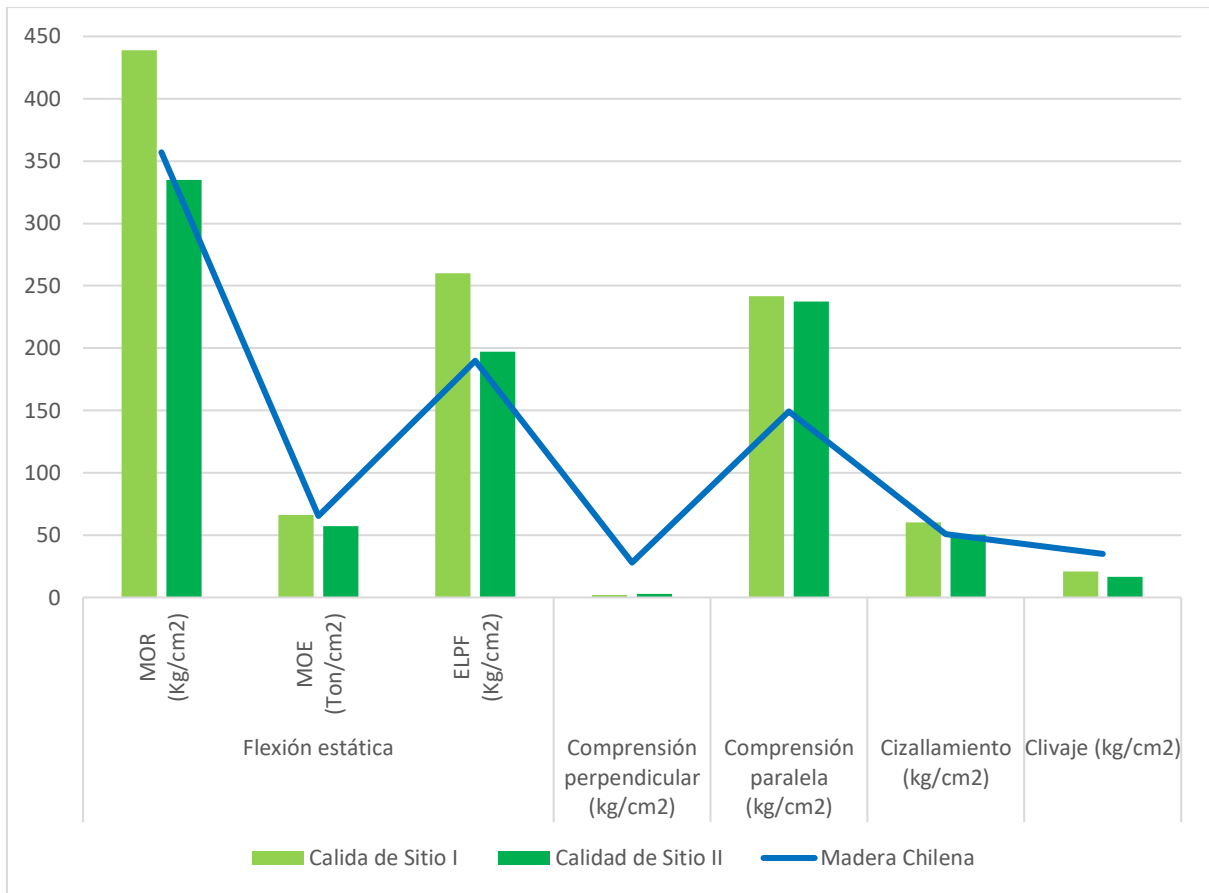


Figura 13. Propiedades mecánicas de la madera del Parque Forestal Cumbe Mayo vs madera de Chile

Así mismo se puede apreciar en la figura 13 que comparando los resultados de las propiedades mecánicas de la madera del Parque Forestal Cumbe Mayo con los obtenidos en ensayos realizados por (CORMA, 2003) con madera crecida en Chile, se evidencia que las calidades de ambas maderas tienen similitud en la mayoría de sus propiedades Mecánicas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El análisis estadístico de la investigación realizada nos permitió determinar dos calidades de sitio (calidad de sitio I y calidad de sitio II) para la plantación de *P. radiata* de 46 años de edad, establecida en el Parque Forestal Cumbe Mayo, los cuales nos llevan a determinar la influencia de cada una de éstas en la producción maderable, demostradas en los parámetros dasométricos obtenidos del inventario forestal.

Las características dasométricas encontradas para cada calidad de sitio fueron: altura dominante promedio de 39.5 m con un el incremento promedio en altura de 0.86 m/año para la calidad de sitio I y altura dominante promedio de 31.2 m con un el incremento promedio en altura de 0.68 m/año para la calidad de sitio II.

En cuanto a la producción de la plantación, se determinó para la calidad de sitio I, un volumen maderable de 937.07 m³/ha, con un incremento medio anual de 20.37 m³/ha/año y para la calidad de sitio II, un volumen maderable de 865.68 m³/ha con un incremento medio anual de 18.82 m³/ha/año, demostrando que la plantación se encuentra establecida en un área con buenas condiciones tanto edáficas como climáticas.

Las variables de suelo que mostraron una relación muy alta con la altura de los árboles fueron: profundidad efectiva (0.892), porcentaje de arena (-0.982), porcentaje de arcilla (0.984), fosforo disponible (0.994), capacidad de intercambio catiónico (0.821), suma de cationes (0.815) y las variables edáficas del sub suelo fueron: profundidad efectiva (0.892), conductividad eléctrica (0.953), porcentaje de arena (-0.910), porcentaje de arcilla (0.830), nitrógeno disponible (-0.770), suma de cationes (0.967) y suma de bases (0.995).

En cuanto a las variables climática, se determinó que la precipitación indica que existe correlación positiva moderada con la altura dominante para ambas calidades de sitio, el coeficiente de determinación indica que la precipitación explica en 27.63 % la altura de los árboles; para la variable de temperatura, existe una correlación positiva alta para ambas calidades de sitio, el coeficiente de determinación indica que la temperatura explica en 76.44 % la altura de los árboles.

Las propiedades físicas de la madera mostraron un contenido de humedad de 56.27 %, para la calidad de sitio I y 134 % para la calidad de sitio II, llegando a un contenido de humedad seco al aire de 17.93 y 29.4 %, y un contenido de humedad seco al horno de 16.47 y 17.7 %; así mismo una densidad de 0.42 g/cm³ para ambas calidades de sitio, una contracción volumétrica de 12.5% para calidad de sitio I y 12.4% para calidad de sitio II, una relación tangencial – radial de 1.33 y 1.64.

Las propiedades mecánicas de la madera para la prueba de compresión perpendicular registró una resistencia de 1.95 Kg/cm² para la calidad de sitio I, mientras que para para la calidad de sitio II de 2,97 Kg/cm², para la compresión paralela se obtuvo 241.68 Kg/cm² para la calidad de sitio I y 237.36 Kg/cm² para la calidad de sitio II, para la prueba de cizallamiento 60.4 Kg/cm² para la calidad de sitio I y 50.27 Kg/cm² para la calidad de sitio II, los resultados en clavaje mostraron una resistencia de 20.87 Kg/cm² para la calidad de sitio I y 16.7 Kg/cm² para calidad de sitio II.

RECOMENDACIONES

Dada su importancia se recomienda probar diferentes metodologías para determinar con la mayor precisión calidades de sitio y estimar en consecuencia la productividad forestal en plantaciones con fines comerciales, incluyendo el respectivo turno técnico.

Establecer parcelas permanentes de muestreo para evaluar periódicamente el crecimiento de las plantaciones forestales, a fin de contar con información suficiente que permita generar curvas de crecimiento por especie y por calidad de sitio.

Este tipo de investigaciones son importantes ya que gracias a los resultados obtenidos se puede predecir la productividad de futuras plantaciones forestales.

CAPÍTULO VI

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Aldana, R. 2012. Análisis del Crecimiento en Plantaciones de *Pinus radiata* en Inkawasi, Lambayeque. Tesis para optar el Título de Ingeniero Forestal. Lima Perú.
- Alder, D. 1980. Estimación del volumen y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Roma, IT. FAO. Vol. 1 y 2, 118.
- Amico, I., Bava, J., Calderón, A. 2010. Índices de calidad de sitio de *Populus nigra* 'Itálica' en plantaciones lineales en el noroeste de Chubut. Rev. FCA UN. Tomo 42. 147-158.
- Aróstegui, A. 1982. Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas. Lima, PE, PNUD/FAO/PER/71/511. 57.
- Arteaga-Martínez, B. 2000. Evaluación dasométrica de plantaciones de cuatro especies de pinos en Ayotoxtla, Guerrero. Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 6(2): 151-157.
- ASTM. 1992. Standard methods of testing small clear specimens of timber. Book of ASTM Standard D143. Vol. 04.09. Wood American Society for Testing and Materials. Philadelphia. PA. USA. 37-78.
- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. 1 ed. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. (ASSC). 157.
- Bockheim, JG. 1991. Suelos forestales. In Young, RA. Comp. Introducción a las ciencias forestales. Trad. Por José Hurtado Vega. México, Limusa. 119-139.
- Cabrera, 2007. Mineralización y nitrificación. Procesos claves en el ciclo del nitrógeno. Informaciones agronómicas del Cono Sur, 34, pp.1–26.

- Camargo, J. Morales, T. García, J. 2008. Términos de referencia para la formulación de planes de manejo y aprovechamiento sostenible de guaduales. Proyecto Bosques FLEGT / Colombia. P. 16
- Campos, J. C. C. Leite, H. G. 2013. Medición forestal: preguntas y respuestas. 4. ed. Exuberante: UFV. 600 p.
- Chen, Y. H., K. Klinkan and R. D. Kabzems. 1998. Site index, site quality, and foliar nutrients of trembling aspen: relationships and predictions. *Can. J. For. Res.* 28 (12): 1743-1755.
- CICAFOR. 1978. Proyecto Específico Forestal. Ensayos y Demostraciones de Plantaciones Forestales. Cajamarca, Perú. 33.
- Clutter, J.L., Fortson, J.C., Pienaar, L.V., Brister, G.H., Bailey, R.L. (1983). Timber management: A quantitative approach. New York: John Wiley & Sons, 333.
- CORMA, 2003. Corporación Chilena de la Madera. Compendio de directrices para enseñanza en Ingeniería. Proyecto Corfo – Fontec. Chile. 37-47.
- Corvalán, P., Hernández, J. 2006. Cátedra de dasometría. Santiago de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile.
- Crisólogo, M. 2012. Estudio de la calidad de sitio para la especie *Pinus pseudostrabus* en las plantaciones establecidas por el proyecto piloto forestal en granja Porcón Cajamarca. Tesis de pregrado Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de Cajamarca.
- D.S. 017-2009-AG. 2009. Aprueba el Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor. Lima-Perú.

- Daniel, P., Helms, U., Baker, F. 1982. Principios de silvicultura. Editorial Mc Graw Hill. México. 231.
- Dávalos S., R. y G. Bárcenas P. 1999. Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición “seca”. *Madera y Bosques* 5(1):61-69.
- Del Valle Arango, J. 1993. La predicción del sitio forestal para especies que se plantan en el trópico. Medellín Colombia. Vol. 46 N°. 1:2. 47-69.
- Díaz, U. 1996. Climatología. Universidad Nacional de Cajamarca. Perú. 243.
- Docampo, R. 2012. La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola– Jornada de Divulgación. INIA Serie Actividades de Divulgación N° 687.
- Donahue, R., Miller, R., Shickluna, J. 1981. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Editorial Prentice Hall Internacional. Primera edición. Michigan – U. S. A. 64.
- Doncón, M. 2015. Elaboración de una tabla de volumen de pino (*Pinus radiata* D. Don), para el sector de Palmira, Cantón Guamote, Provincia de Chimborazo. Tesis Ingeniero Forestal. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- Donoso, C. 2001. Ecología forestal, el bosque y su medio ambiente. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Tercera edición. Chile.
- Escobedo L, M. 1995. Índices de sitio para *Pinus pseudostrabus* Lindl, en los departamentos de Chimaltenango y Sololá. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 80 p.
- FAO. 2015. Suelos Sanos para una vida sana. Año internacional de los suelos. Recuperado de <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/285875/>

- Farjon, A. 2018. Base de datos de Coníferas (versión Enero 2014). En: Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 2015 Annual Checklist (Roskov Y., Abucay L., Orrell T., Nicolson D., Kunze T., Flann C., Bailly N., Kirk P., Bourgoin T., DeWalt R.E., Decock W., De Wever A., eds). Recurso digital en <http://www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2015/details/species/id/cf329a2462d3db99fc9ff843a4f190c0>
- Flores, J. 2009. Agricultura ecológica manual y guía didáctica. Instituto de Restauración y Medio Ambiente. Ediciones Paraninfo S.A. Calle Velázquez no. 31, 3º. Derecha, 28001 Madrid - España.
- Flores, M. 2016. Ordenación Forestal. Los suelos forestales y calidad de sitio. Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente. Universidad Nacional del Centro del Perú. Recuperada de <https://es.scribd.com/document/334300012/Suelo-Forestal-y-Calidad-de-Sitio>
- Fontes, L., M. Tomé, F., Thompson, A., Yeomans, J., Sales L., and P. Savill. 2003. Modelling the Douglas- Fir (*Pseudotsuga menziessi* (Mirb.) Franco) site index from site factors in Portugal. *Forestry*. 76 (5): 491-507.
- Gonzáles, C. 1987. Estudio de la calidad de sitio para *Pinus radiata* en Chilacat – Cajamarca. Tesis Ingeniero Forestal. Lima. Perú. UNALM. 106.
- Gonzáles, M. 1975. Crecimiento en volumen por hectárea de *Pinus radiata* en Cajamarca-Perú. *Revista Forestal del Perú* 5 (1-2). 93-98.
- Gonzáles, R. 2008. Crecimiento en volumen por hectárea de *Pinus Radiata* en Cajamarca-Perú. *Revista Forestal del Perú*, 5(1-2), 1-8.

- Griffiths, R.P. M.D. Madritch y A.K. Swanson. 2009. Los efectos de la topografía sobre las características del suelo forestal en las montañas Cascade de Oregón (EE.UU.): Implicaciones de los efectos del cambio climático en las propiedades del suelo. *Forest Ecology and Management* 257 (1): 1-7.
- Gutiérrez, B. 2017. Guía de ensayos en materiales de construcción. Trabajo de aplicación para la obtención del Grado de Licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Tecnología. La Paz Bolivia. 72.
- Hairston, A., Grigal, D. 1991. Influencias topográficas en suelos y árboles dentro de unidades de mapeo únicas en un paisaje arenoso. *Ecología y gestión forestal (Holanda)* 43 (1-2): 35-45.
- Harold, W., Hocker, J. 1984. Introducción a la biología forestal. Editorial AGT S.A. Primera edición. México. 446.
- Huaripata, D. 2012. Estudio de la calidad de sitio para *Pinus radita* D. Don. en las plantaciones de granja Porcón. Tesis de pregrado Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de Cajamarca.
- INACAL. 2016. Normas Técnicas Peruanas de Madera. NTP 251.008. Selección y colección de muestras. Lima – Perú.
- INFOR (2010), Anuario Forestal 2010. Boletín Estadístico 128, Concepción, Chile, Instituto Forestal.
- Instituto Nacional de Bosques. 2014. Dinámica de crecimiento y productividad de 28 especies forestales en plantaciones en Guatemala, Serie Técnica No. DT-002(2015). Guatemala 212.

- INTAGRI. 2015. La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo. Serie Suelos. Núm. 09. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3.
- Jaramillo, D., 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia Medellín. 331 – 334.
- Kemmitt, S., Wrighta, D., Gouldingb, K., Jones, D., 2006. pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two agricultural soils. *Soil Biology y Biochemistry* 38. 898–911.
- Kimmins, J.P. 2004. *Forest Ecology. A foundation for sustainable management and environmental ethics in forestry.* Prentice Hall, New Jersey. USA.
- Kramer, P. 1983. *Water relations of plants.* Academic Press. New York. 489.
- Kruse, J. Kissel, D. Cabrera, M. 2004. Efectos del secado y la rehumectación sobre C y N mineralización en suelos y residuos incorporados. *Ciclos de nutrientes en agroecosistemas*, 69 (3), pp.247–256. Ladha, J. et al., 2005.
- Lacasta, C., Benítez, M., Maire, N., Meco, R. 2006. Efecto de la textura del suelo sobre diferentes parámetros bioquímicos. VII Congreso SEAE: Agricultura y Alimentación Ecológica. Trabajo 110.
- Lavery, P.B. 1986. *Plantation forestry with Pinus radiata.* Christchurch (Nueva Zelanda): University of Canterbury, School of Forestry, Paper n° 12, 255.
- López, R., Gonzales, M. 1980. Crecimiento del *Pinus radiata* en Puno – Perú. *Revista Forestal del Perú*. V10 (1-2):1-6.
- Lozano, W. 2008. Estudio de las características anatómicas y propiedades físicas de la madera de *Pinus radiata* D. Don. De la plantación de granja Porcón. Tesis de pregrado Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de Cajamarca.

- MacFarlene, D. W., E. J. Green and H. E. Burkhart. 2000. Population density influences assessment and application of site index. *Can. J. For. Res.* 30 (9): 1472-1475.
- Maldonado, J. M. 1996. Asimilación del nitrógeno y del azufre. En: *Fisiología y Bioquímica Vegetal*. Azcón-Bieto, J. y M. Talón (eds.). Interamericana-McGraw-Hill, Madrid, 215 - 236.
- Marschner, H. 1998. *Mineral Nutrition of higher plants*. Academic Press, San Diego, 889.
- Martínez, P., Domínguez, M., Juárez, A., López, M., De la Cruz, V., Álvarez, J. (2015). Índice de sitio y producción de madera en plantaciones forestales comerciales de Gmelina arborea en Tabasco, México - *Revista Fitotecnia Mexicana / Sociedad Mexicana de Fitogenética*.
- Mead, D.J. 2013. Sustainable management of *Pinus radiata* plantations. *FAO Forestry Paper* No. 170. Rome, FAO.
- Médiène, S., Pagès, L., Jordan, M. O., Le Bot, J., Adamowicz, S. 2002. Influencia de la disponibilidad de nitrógeno en el desarrollo de brotes en melocotoneros jóvenes [*Prunus persica* (L.) Batsch]. *Árboles*, 16 (8), pp.547–554.
- Mendoza, H. 1980. Determinación del índice de sitio de *Pinus radiata* D. Don en bosquetes del Altiplano. (Primera aproximación). Puno – Perú. 60.
- Montero, M. 1999. Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L. F. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. 111.
- NTP (Norma Técnica Peruana) 2015. Método para determinar la contracción. NTP 251.012:2015

- Ojeda, M. 2011. Determinación del índice de sitio en tres plantaciones de teca (*Tectona grandis*) de la compañía reybanpac reybanano del pacifico c.a. Tesis Ingeniero Forestal. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Recursos Naturales. Riobamba Ecuador. 24.
- Olate, V. 2007. Análisis de Curvas de índice de sitio/altura dominante para un bosque siempreverde de *Nothofagus dombeyi* (Mirb.), en Valle Mirta, XI Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. Tesis para optar el Título de Ingeniero Forestal. Valdivia-chile. 3.
- Ortega, A., Montero, G. 1988. Evaluación de la calidad de las estaciones forestales. Revisión bibliográfica. Icona, Madrid. Ecología, N: 2, 1988. 155-184.
- Pantoja, L. Vallejo, E. 2013. Identificación de la calidad de sitio en una plantación de *Pinus radiata* D. Don, en el cantón Ibarra, parroquia Angochagua, sector hacienda la merced. Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniera Forestal. Ibarra – Ecuador.
- Peniche, C. 1990. “La madera y la arquitectura”. División de Ciencias y Artes para el Diseño. Departamento de Procesos y Técnicas de Realización. Universidad Autónoma Metropolitana. 137.
- Pérez, V. 1983. Manual de Propiedades Físicas y Mecánicas de Maderas Chilenas. Corporación Nacional Forestal. Santiago, Chile. 451.
- Pérez, V. 1991. Manual de construcción en madera. Manual N° 10, 2^{da} edición, vols. 1 y 2. Instituto Forestal / Corporación de Fomento de la producción. Santiago -Chile.
- Plaster, EJ. 2000. La ciencia del suelo y su manejo. Ed. Paraninfo, Madrid – España. 419.

- Poma, W., Alcantara, G. 2011. Estudio de suelos y capacidad de uso mayor del Departamento de Cajamarca. Gobierno Regional de Cajamarca.
- Ponce, V. 1993. Efecto de diferentes sistemas de preparación física del suelo sobre una plantación de *Pinus radiata* D. Don. Memoria Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 93.
- Porta, J. Reguerín, M. Roquero, C. 2003. EDAFOLOGÍA Para la agricultura y el medio ambiente. Tercera. Mundi-Prensa Barcelona, editor. Barcelona. España.
- Pritchett, W. 1991. Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento. Primera edición. México, sistemas editoriales técnicos S.A. de C.V. 634.
- Quintanar, J. 1992. Requerimientos para el crecimiento de *Pinus radiata* D. Don: hábitat natural y situación en Chile. En: *Pinus radiata* investigación en Chile. Silvicultura, manejo y tecnología. Editado por B. Olivares, M Meneses y G. Paredes. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 30-34.
- Ramos, N. 1999. Estudio de los recursos y propuesta de un plan de manejo para el Parque Forestal Cumbe Mayo. Tesis de pregrado Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Reyes, F. (2013, 01 de abril). Factores que intervienen en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Recuperado de <http://fulreyes3.blogspot.com/>
- Riveiro, B. Zepeda, B. 1990. Principios básicos de regulación forestal. México, Universidad Autónoma de Chapingo, División de Ciencias Forestales. 262.
- Robles, F. Echenique, M. 1983. "Estructuras de Madera", 1ª edición. Editorial Limusa, México, D.F.

- Roca, A. (2018, 17 de agosto). Elementos del suelo esenciales para las plantas. IngoAgro.
Recuperado de
http://www.infoagro.com/abonos/elementos_suelo_esenciales_plantas.htm
- Rodrigo, A. Recous, S. Neel, C. Mary, B. 1997. Modelado de los efectos de la temperatura y la humedad sobre las transformaciones de C-N en los suelos: comparación de nueve modelos. *Modelado ecológico* 102, 325-339.
- Sadzawka, A. Peralta, M. Ibarra, J. Peralta, J. Fuentes. 1995. Características químicas de los suelos forestales chilenos. *Bosque* 16(1), 9-28.
- Salvo, L. Perez, N. 2013. Propiedades físicas de la Madera. Informe de laboratorio. Universidad de Bio. Recuperado de:
https://issuu.com/quin_11/docs/inf_lab_prop_fis_mad__romero_-gonzalez_arq
- Sánchez, F. Rodríguez, R. 2008. Selvicultura de *Pinus radiata* D. Don Compendio de selvicultura aplicada en España. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. 471-502.
- Sánchez, F. Rodríguez, R. Rojo, A. Gálvez, G. y otros. 2003. Crecimiento y tablas de producción de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Lugo, España, Departamento de Producción Vegetal. Departamento de Ingeniería Agroforestal.
- Sánchez, S. 2011. Zonas de vida de Cajamarca. Cajamarca – Perú.
- Schlatter, J. Gerding, V. 2014. Sitio Forestal. In Donoso C, ME González, A Lara eds. Ecología forestal. Bases para el manejo sustentable y conservación de los bosques nativos de Chile. Valdivia, Chile. Ediciones UACH. 309-319.

- Schlatter, J. Grez, V. Gerding. 2003. Manual para el reconocimiento de suelos. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 114.
- Schlatter, J.E. 1993. Fertilidad del suelo, conceptos y su aplicación en la actividad forestal. Charlas y Conferencias 8, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. p. 76-86.
- Schlatter, J.E. Gerding, V. Oñate, M.I. 1998. Características y variabilidad de sitios con plantaciones adultas de *Pinus radiata* D. Don en suelos graníticos de las Regiones VIII y IX. Bosque, 19: 37–59.
- Scott, C. 1961. Pino Insigne (*Pinus radiata*) Roma F.A.O. 304.
- Sela, G. (2018, 18 de agosto). Potasio en las plantas. Recuperado de <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/potassium-in-plants>
- Sibille, A.M. 2006. Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas. Lima – Perú. PNUD/FAO/PER/81/002. 57.
- Sierra, A. Vázquez, J. y Rodríguez, D. (1994). La Auto ecología de *Pinus radiata* en la Cuenca de México. Serie Publicación Especial. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Soria, N. y Viteri, P. (1999). Guía para el cultivo de babaco en el Ecuador. Quito, Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. 30p.
- Spavento, E. Keil, G. Monteoliva, S. 2008. Propiedades mecánicas de la madera. Curso de Xilotecnología. Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata.

- Stiff, C. T. Dechert. N. Pérez. & M. Valdez. 1991. Manual de implementación para la clasificación de la calidad de sitio y productividad en los bosques de pino de las tierras altas del Centro de Honduras. ESNACIFOR-COHDEFOR/USAID, Tegucigalpa, Honduras: 43.
- Stiff, C. M. Leuba, V. Sun, Q. and LeTourneau. (1991) Isolation, culture, and callus regeneration of lentil protoplasts from leaf tissue. *Lens*, 30–33.
- Thiers, J. Reyes, V. Gerding, E. Schlatter. 2014. Suelos en ecosistemas forestales. In Donoso C, ME González, A Lara eds. *Ecología forestal. Bases para el manejo sustentable y conservación de los bosques nativos de Chile*. Valdivia, Chile. Ediciones UACH. 133-178.
- Thompson y Troeh, F. 1988. *Los suelos y su fertilidad* 4ª ed., Barcelona: Reverte.
- Tisdale, S. Nelson, W. 1991. *Fertilidad de los suelos y fertilizantes*. Primera reimpresión. Edit. Limusa UTEHA Unión Tipográfica Hispano Americana, S.A. de C.V. México.
- Toll, J. 2014. *Recuperación biológica de suelos salinos y salinos sódicos mediante especies forrajeras en la llanura deprimida salina del este de Tucumán y oeste de Santiago del Estero, Argentina*. Tesis (Doctor en 69 Agronomía). San Miguel de Tucumán, Argentina: Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Agronomía y Zootecnia, 2014. 434 p.
- Torres, J. Magaña, O. 2001. Curvas de índice de sitio de forma y escala variables en investigaciones forestales. *Agrociencia* 35: 87-98.
- Ugalde, J. 2017. *Manual para Operadores de Secadores Convencionales para Madera*. CITE Madera. Primera Edición. Lima Perú. 12.

- USDA. 1999. Soil Quality Test Kit Guide. Washington. D.D: Agricultural Research Service and Natural Resources Conservation Service-Soil Quality Institute.
- Vallejos, B. 1996. Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis* L. F., *Bombacopsis quinatum* (Jacq.) Dugand y *Gmelina arborea* Roxb. Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 147.
- Vásquez, CW. 1987. Desarrollo de índices de sitio y selección de un modelo preliminar de rendimiento para *Pinus caribea* var. hondurensis en la reserva forestal La Yaguada. Panamá. Tesis Mag. Sc. Turrialba. C.R. Universidad de Costa Rica/CATIE. 113.
- Vásquez, W. Ugalde, L. 1995. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea* Roxb., *Tectona grandis* L. f., *Bombacopsis quinatum* (Jacq.) Dugand y *Pinus Caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Informe final, Convenio de Cooperación Proyecto Forestal Chorotega (IDA/FAO) Proyecto Madeleña-3. Turrialba, Costa Rica. 132.
- Villamor, M. (25 de octubre 2013). Pino Insigne, Recuperado de: <http://www.maderas.com/pino-in-car.htm>
- Vincent, L. 1980. Manejo de plantaciones forestales con fines de producción. Universidad de los Andes. Facultad Ciencias Forestales. Centro de Estudios de Postgrado. Dpto. Manejo de Bosques. Mérida, Venezuela. 90.
- Wang, G. G. 1998. La altura de los árboles dominantes en un diámetro de referencia es una medida adecuada de la calidad del sitio. *Ecología y Manejo Forestal*. 112 (1-2): 49-54.
- Waring, RH. JJ Landsberg, M. Williams. 1998. La producción primaria neta de bosques es una fracción constante de la producción primaria bruta. *Tree Physiology* 18: 129-34.

- Welch, R. M. 1995. Micronutrient nutrition of plants. *Critical Reviews in Plant Science*, 14(1):49- 82.
- White, J. 1987. Fertilization. In: *Roses a manual of greenhouse rose production*. Langhans, R.W. (ed.). Published by Roses Incorporated, Michigan, 87-142.
- Winandy, J. 1994. Propiedades de la madera. USDA-Servicio Forestal, Laboratorio de Productos Forestales. *Enciclopedia de la agricultura. Ciencia*. Orlando, FL: Academic Press: 549-561. Vol. 4.
- Zepeda, EM., Riveiro, P. 1984. Construcción de curvas anamórficas de índices de sitio; ejemplificación del método de la curva guía. *Ciencia Forestal* 9(51):3-38.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

10.1. Determinación del tamaño de muestra para inventario de la plantación de *P. radiata* ubicado en el Parque Forestal Cumbe Mayo

Muestreo aleatorio simple (MAS)

Según Camargo et al. (2008) el muestreo básico y más sencillo es el MAS y consiste en la selección aleatoria de un determinado número de unidades muestrales para el inventario. Las unidades en este caso son parcelas y todas deben tener la misma probabilidad de ser elegidas. Este muestreo puede ser usado en cualquier situación especialmente si la población es homogénea o no existen estratos (grupos homogéneos dentro de la población). No obstante, debido al esfuerzo, algunas veces requerido se opta por otro tipo de muestreo.

Para un MAS el tamaño de la muestra (n) se define como:

$$\mathbf{n} = \frac{Z^2_{\alpha/2} CV^2}{(e \%)^2 + \frac{Z^2_{\alpha/2} CV^2}{N}} \quad \text{ó} \quad \mathbf{n}_o = \left[\frac{Z^2_{\alpha/2} CV}{e} \right]^2 \quad \mathbf{n} = \frac{\mathbf{n}_o}{1 + \frac{\mathbf{n}_o}{N}}$$

Donde:

n : Es el tamaño de la muestra

N : Es el tamaño de la población, número total de parcelas posibles de establecer dentro del área objeto de estudio

e : Es el error muestral deseado (20%)

$Z^2_{\alpha/2}$: Es el número de desviaciones estándar en la distribución normal que deja una región deseada (nivel de confiabilidad) a cada lado de la media, que son al 95% de confiabilidad 1.96.

Tabla 13. Distribución de frecuencias de la circunferencia de un muestreo al azar de 15 árboles de *P. radiata* D. Don en el Parque Forestal Cumbe Mayo – Cajamarca

| N° árbol | CAP | (xi- \bar{x}) | (xi- \bar{x}) ² |
|------------------|---------------|------------------|-------------------------------|
| 1 | 136 | -7.33 | 53.78 |
| 2 | 131 | -12.33 | 152.11 |
| 3 | 151 | 7.67 | 58.78 |
| 4 | 202 | 58.67 | 3441.78 |
| 5 | 193 | 49.67 | 2466.78 |
| 6 | 123 | -20.33 | 413.44 |
| 7 | 161 | 17.67 | 312.11 |
| 8 | 142 | -1.33 | 1.78 |
| 9 | 126 | -17.33 | 300.44 |
| 10 | 163 | 19.67 | 386.78 |
| 11 | 128 | -15.33 | 235.11 |
| 12 | 106 | -37.33 | 1393.78 |
| 13 | 111 | -32.33 | 1045.44 |
| 14 | 111 | -32.33 | 1045.44 |
| 15 | 166 | 22.67 | 513.78 |
| Sumatoria | 2150 | | 11821.33 |
| Promedio | 143.33 | | |

1. Cálculos de la variancia

$$S^2 = \frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n - 1} = \frac{11821.33}{14} = \mathbf{844.38}$$

2. Desviación estándar

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{844.38} = \mathbf{29.06}$$

3. Media Aritmética

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{2150}{15} = 143.33$$

4. Coeficiente de variabilidad.

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100 = \frac{29.06}{143.33} \times 100 = 20.27\%$$

5. Desviación estándar de la media

$$S_{\bar{X}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{29.06}{\sqrt{15}} = 7.50$$

6. Límite de confianza

$$M \pm S_{\bar{X}} t$$

$$t_{0.05} = 1.96$$

$$S_{\bar{X}} t = 14.7$$

7. Determinación del tamaño de la muestra

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 CV^2}{(e\%)^2 + \frac{Z_{\alpha/2}^2 CV^2}{N}} = \frac{(1.96)^2 (20.27)^2}{(20)^2 + \frac{(1.96)^2 (20.27)^2}{62}} = 3.70 \equiv 4$$

Donde:

- n : Tamaño de la muestra en parcelas
CV : Coeficiente de Variabilidad
 $Z^2_{\alpha/2}$: Valor de Z para un margen de error del 95% =1.96
e % : Error asumido de la muestra al = 20%
N : Número de parcelas de 500m² en 3.12 ha

8. Intensidad del muestreo.

$$I = \frac{n}{N} \times 100 = \frac{4}{62} \times 100 = \mathbf{6.45\%}$$

10.2. Resultados de análisis de suelos de la plantación de *P. radiata* del Parque Forestal

Cumbe Mayo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : SERGIO RONALD SOTO SANCHEZ

Departamento : CAJAMARCA
Distrito : CAJAMARCA

Referencia : H.R. 64992-131C-18

Bolt.: 1917

Provincia : CAJAMARCA
Predio : PARQUE FORESTAL
Fecha : 21/09/18

| Lab | Número de Muestra Claves | pH (1:1) | C.E. (1:1) dS/m | CaCO ₃ % | M.O. % | P ppm | K ppm | Análisis Mecánico | | | Clase Textural | CIC | Cationes Cambiables meq/100g | | | | Suma de Cationes Bases | Suma de Sat. De Bases % | | |
|-------|-----------------------------|-------------|-----------------------|------------------------|-----------|----------|----------|-------------------|-----------|--------------|-------------------|-------|---------------------------------|------------------|----------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|----|
| | | | | | | | | Arena % | Limo % | Arcilla % | | | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | | | Al ³⁺ + H ⁺ | |
| 11731 | P1-M1A | 4.59 | 0.06 | 0.00 | 9.19 | 3.1 | 60 | 64 | 18 | 18 | Fr.A. | 21.28 | 5.53 | 2.68 | 0.15 | 0.08 | 4.00 | 12.44 | 8.44 | 40 |
| 11732 | P1-M1B | 4.64 | 0.05 | 0.00 | 1.31 | 4.1 | 169 | 44 | 20 | 36 | Fr.Ar. | 28.00 | 1.29 | 0.43 | 0.41 | 0.12 | 16.30 | 18.56 | 2.26 | 8 |
| 11733 | P1-M2A | 4.33 | 0.04 | 0.00 | 2.87 | 11.6 | 56 | 74 | 14 | 12 | Fr.A. | 16.96 | 0.65 | 0.23 | 0.12 | 0.07 | 1.05 | 2.12 | 1.07 | 6 |
| 11734 | P1-M2B | 3.78 | 0.18 | 0.00 | 2.10 | 7.1 | 48 | 36 | 14 | 50 | Ar. | 15.52 | 0.64 | 0.28 | 0.12 | 0.20 | 8.15 | 9.40 | 1.25 | 8 |

A = Arena ; A.Fr. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

| Lab. | Número de Muestra Claves | N | |
|-------|-----------------------------|------|------|
| | | N | % |
| 11731 | P1-M1A | 0.27 | 0.27 |
| 11732 | P1-M1B | 0.07 | 0.07 |
| 11733 | P1-M2A | 0.14 | 0.14 |
| 11734 | P1-M2B | 0.08 | 0.08 |

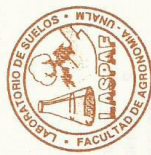


Sady García Bendezú
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : SERGIO RONALD SOTO SANCHEZ

Departamento : CAJAMARCA
 Distrito : CAJAMARCA

Referencia : H.R. 64992-131C-18

Provincia : CAJAMARCA
 Predio : PARQUE FORESTAL
 CUMBEMAYO
 Fecha : 21/09/18

Bolt.: 1917

| Lab | Número de Muestra Claves | pH (1:1) | C.E. (1:1) dS/m | CaCO ₃ % | M.O. % | P ppm | K ppm | Análisis Mecánico | | | Clase Textural | C/C | Cationes Cambiables meq/100g | | | | Suma de Cationes Bases | Suma de Sat. De Bases % | | |
|-------|--------------------------|----------|-----------------|---------------------|--------|-------|-------|-------------------|--------|-----------|----------------|-------|------------------------------|------------------|----------------|-----------------|------------------------|-------------------------|-----------------------------------|----|
| | | | | | | | | Arena % | Limo % | Arcilla % | | | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | | | Al ³⁺ + H ⁺ | |
| 11736 | P2-M1 | 4.42 | 0.03 | 0.00 | 2.16 | 25.2 | 50 | 72 | 10 | 18 | Fr.A. | 11.20 | 0.99 | 0.35 | 0.11 | 0.08 | 1.45 | 2.98 | 1.53 | 14 |
| 11736 | P2-M2 | 3.95 | 0.06 | 0.00 | 0.87 | 20.4 | 22 | 64 | 8 | 28 | Fr.Ar.A. | 8.96 | 0.62 | 0.23 | 0.06 | 0.13 | 1.75 | 2.80 | 1.05 | 12 |

A = Arena ; A.Fr. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

| Número de Muestra | |
|-------------------|--------|
| Lab. | Claves |
| 11735 | P2-M1 |
| 11736 | P2-M2 |
| | N % |
| | 0.10 |
| | 0.06 |

Sady García Benítez
 Jefe del Laboratorio

MÉTODOS SEGUIDOS EN EL ANÁLISIS DE SUELOS

1. Textura de suelo: % de arena, limo y arcilla; método del hidrómetro.
2. Salinidad: medida de la conductividad eléctrica (CE) del extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1 o en el extracto de la pasta de saturación(es).
3. PH: medida en el potenciómetro de la suspensión suelo: agua relación 1:1 ó en suspensión suelo: KCl N, relación 1:2.5.
4. Calcio total (CaCO₃): método gaso-volumétrico utilizando un calcímetro.
5. Materia orgánica: método de Walkley y Black, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio. %M.O. = %Cx1.724.
6. Nitrogeno total: método del micro-Kjeldahl.
7. Fósforo disponible: método del Olsen modificado, extracción con NaHCO₃=0.5M, pH 8.5
8. Potasio disponible: extracción con acetato de amonio (CH₃ - COONH₄)N, pH 7.0
9. Capacidad de intercambio catiónico (CIC): saturación con acetato de amonio (CH₃ - COONH₄)N; pH 7.0
10. Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ cambiables: reemplazamiento con acetato de amonio (CH₃ - COONH₄)N; pH 7.0 cuantificación por fotometría de llama y/o absorción atómica.
11. Al³⁺, H⁺: método de Yuan. Extracción con KCl, N
12. Iones solubles:
 - a) Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ solubles: fotometría de llama y/o absorción atómica.
 - b) Cl⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻, NO₃ solubles: volumetría y colorimetría. SO₄ turbidimetría con cloruro de Bario.
 - c) Boro soluble: extracción con agua, cuantificación con curcumina.
 - d) Yeso soluble: solubilización con agua y precipitación con acetona.

Equivalencias:

- 1 ppm = 1 mg/kilogramo
- 1 mililitro (mmho/cm) = 1 deciSiemens/metro
- 1 miliequivalente / 100 g = 1 cmol(+)/kg
- Sales solubles totales (TDS) en ppm ó mg/kg = 640 x CEes
- CE (1 : 1) mmho/cm x 2 = CE(es) mmho/cm

TABLA DE INTERPRETACION

| Salinidad | | Materia Orgánica | | Fósforo disponible | | Potasio disponible | | Relaciones Catiónicas | |
|-------------------------|--------|------------------|-------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|-----------------------|--|
| Clasificación del Suelo | CE(es) | CLASIFICACIÓN | % | ppm P | ppm K | Clasificación | K/Mg | Ca/Mg | |
| *muy ligeramente salino | <2 | *bajo | <2.0 | <7.0 | <100 | *Normal | 0.2 - 0.3 | 5 - 9 | |
| *ligeramente salino | 2 - 4 | *medio | 2 - 4 | 7.0 - 14.0 | 100 - 240 | *defc. Mg | >0.5 | | |
| *moderadamente salino | 4 - 8 | *alto | >4.0 | >14.0 | >240 | *defc. K | >0.2 | | |
| *fuertemente salino | >8 | | | | | *defc. Mg | | >10 | |

| Reacción o pH | | CLASES TEXTURALES | | | |
|-------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Clasificación del Suelo | pH | A | Fr | Ar | Ar.L |
| *fuertemente ácido | <5.5 | = arena | = franco arenoso | = franco arcilloso | = franco arcilloso arenoso |
| *moderadamente ácido | 5.6 - 6.0 | A.Fr = franco arenoso | Fr = franco arcilloso | Fr.Ar = franco arcilloso limoso | Fr.Ar.L = franco arcilloso arenoso |
| *ligeramente ácido | 6.1 - 6.5 | Fr = franco arcilloso | Fr.L = franco arcilloso limoso | Ar = arcilloso limoso | Ar.L = arcilloso limoso |
| *neutro | 6.6 - 7.0 | Fr.L = franco arcilloso limoso | L = limoso | | |
| *ligeramente alcalino | 7.1 - 7.8 | | | | |
| *moderadamente alcalino | 7.9 - 8.4 | | | | |
| *fuertemente alcalino | >8.5 | | | | |

| Distribución de Cationes % | |
|----------------------------|---|
| Ca ²⁺ | = |
| Mg ²⁺ | = |
| K ⁺ | = |
| Na ⁺ | = |

10.3. Descripción de perfiles modales de calicatas

Calicata N° 01

| | |
|-------------------------|---|
| Ubicación | Parque Forestal Cumbe Mayo |
| Clasificación FAO | Cambisol Húmico |
| Clasific. por uso mayor | Tierras aptas para producción Forestal, capacidad agrologica alta (F1s) |
| Fisiografía | Ladera ligeramente inclinada |
| Microtopografía | Ondulado |
| Vegetación | Presencia de plantación de Pinus radiata D. Don |
| Altitud | 3439 msnm |
| Coordenadas UTM | 771739 m E y 9204398 m N |
| Material parental | Materiales detríticos de diferente origen de carácter grueso |
| Textura | Moderadamente gruesa |
| Drenaje natural | Bueno |
| Reacción del suelo | Extremadamente ácido |
| Pendiente | Ligeramente inclinada (11%) |
| Profundidad Efectiva | Muy profundos |
| Fragmentos rocosos | Ligeramente gravosos |
| Pedreg. superficial | Ligeramente pedregoso |
| Erosión hídrica | Muy ligera |
| Salinidad y/o Sodicidad | Libre a muy ligeramente afectada de excesos de sales y sodio |
| Riesgo de anegamiento | Sin riesgo de anegamiento o inundación |
| Clima | Húmedo semifrío |
| Zona de vida | Bosque húmedo- montano subtropical (bh-Ms) |
| Fertilidad del suelo | Media |
| A 00-70 cm | Horizonte de color pardo muy oscuro, textura franco arenoso, de estructura bloques subangulares, medios, grado moderado, ligeramente adhesiva, oscuros guijarros, reacción extremadamente ácida (pH:4.42), nivel medio en materia orgánica (MO:2.16%), nivel medio en nitrógeno (N:0.10%), alto contenido de fosforo disponible (P:25.2 ppm), bajo en potasio disponible (K: 50 ppm), nivel bajo en capacidad de intercambio catiónico (CIC:11.20 me/100g), sin calcáreo total (CaCO3:0.00%), |

saturación de bases bajo (SN:14%), libre a muy ligeramente afectados de exceso de sales y sodio (CE: 0.03 dS/m), la razón de absorción de sodio es baja, por lo tanto no afecta la disponibilidad de nutrientes, horizonte con buen desarrollo de raíces finas, buena actividad biológica.

B 70 a más

Horizonte de color pardo oscuro, textura franco arcillo arenoso, de estructura bloques angulares finos y medios, grado moderado, ligeramente adhesiva, reacción extremadamente ácido (pH:3.95), nivel bajo en materia orgánica (MO: 0.87%), nivel bajo en materia orgánica (N:0.06), alto contenido de fosforo disponible (P:20.4 ppm), bajo en potasio disponible (K: 22 ppm), nivel bajo en capacidad de intercambio catiónico (CIC: 8.96 me/100g), sin calcáreo total (CaCO₃:0.00%), saturación de bases bajo (SB:12%), libre a muy ligeramente afectados de exceso de sales y sodio (CE: 0.06 dS/m), la razón de absorción de sodio es baja, por lo tanto no afecta la disponibilidad de nutrientes, horizonte con buen desarrollo de raíces finas, buena actividad biológica.



Figura 14. Vista de calicata N° 01

Calicata N° 02

| | |
|-------------------------|--|
| Ubicación | Parque Forestal Cumbe Mayo |
| Clasificación FAO | Cambisol Húmico |
| Clasific. por uso mayor | Tierras aptas para producción Forestal, capacidad agrologica media, con limitaciones de suelo, erosión y microrelieve (F2se) |
| Fisiografía | Ladera empinada |
| Microtopografía | Ondulado suave |
| Vegetación | Presencia de plantación de Pinus radiata D. Don |
| Altitud | 3393 msnm |
| Coordenadas UTM | 771393 m E y 9204333 m N |
| Material parental | Materiales detríticos de diferente origen de carácter grueso |
| Textura | Moderadamente gruesa |
| Drenaje natural | Bueno |
| Reacción del suelo | Muy fuertemente ácido |
| Pendiente | Empinada (35%) |
| Profundidad Efectiva | Profundo |
| Fragmentos rocosos | Ligeramente gravoso |
| Pedreg. superficial | Ligeramente pedregoso |
| Erosión hídrica | Ligera |
| Salinidad y/o Sodicidad | Libre a muy ligeramente afectada de excesos de sales y sodio |
| Riesgo de anegamiento | Sin riesgo de anegamiento o inundación |
| Clima | Húmedo semifrío |
| Zona de vida | Bosque húmedo- montano subtropical (bh-Ms) |
| Fertilidad del suelo | Media |

A 00 – 90 cm

Horizonte de color negro, textura franco arenoso, de estructura bloques subangulares, medios, grado moderado, ligeramente adhesiva, raros guijarros, reacción muy fuertemente ácido (pH:4.59), nivel alto en materia orgánica (MO: 9.19%), nivel alto en nitrógeno (N:0.27), nivel bajo contenido de fosforo disponible (P:3.1 ppm), bajo en potasio disponible (K: 60 ppm), nivel alto en capacidad de intercambio catiónico (CIC: 21.28 me/100g), sin calcáreo total (CaCO₃:0.00%), saturación de bases alto (SB:40%), libre a muy ligeramente afectados de exceso de sales y sodio (CE: 0.06 dS/m), la razón de absorción de sodio es baja, por lo tanto no afecta la disponibilidad de nutrientes, horizonte

con buen desarrollo de raíces finas, buena actividad biológica.

B 90 – a más

Horizonte de color pardo oscuro, textura franco arenoso, de estructura bloques subangulares, medios, grado moderado, ligeramente adhesiva, reacción extremadamente ácido (pH:4.33), nivel medio en materia orgánica (MO: 2.87%), nivel medio en nitrógeno (N:0.14), nivel medio en contenido de fosforo disponible (P:11.6 ppm), bajo en potasio disponible (K: 56 ppm), nivel alto en capacidad de intercambio catiónico (CIC: 16.96 me/100g), sin calcáreo total (CaCO₃:0.00%), saturación de bases bajo (SB:6%), libre a muy ligeramente afectados de exceso de sales y sodio (CE: 0.04 dS/m), la razón de absorción de sodio es baja, por lo tanto no afecta la disponibilidad de nutrientes, horizonte con buen desarrollo de raíces finas, buena actividad biológica.



Figura 15. Vista de calicata N° 02

Calicata N° 03

| | |
|-------------------------|---|
| Ubicación | Parque Forestal Cumbe Mayo |
| Clasificación FAO | Cambisol distrito |
| Clasific. por uso mayor | Tierras aptas para producción Forestal, capacidad agrológica media, con limitaciones de suelo, microrelieve (F2s) |
| Fisiografía | Ladera moderadamente empinada |
| Microtopografía | Ondulado suave |
| Vegetación | Presencia de plantación de Pinus radiata D. Don |
| Altitud | 3425 msnm |
| Coordenadas UTM | 771248 m E y 9204277 m N |
| Material parental | Materiales detríticos de diferente origen de carácter grueso |
| Textura | Moderadamente fina |
| Drenaje natural | Bueno |
| Reacción del suelo | Muy fuertemente ácido |
| Pendiente | Moderadamente empinada (23%) |
| Profundidad Efectiva | Muy profundo |
| Fragmentos rocosos | Muy ligeramente gravoso |
| Pedreg. superficial | Ligeramente pedregoso |
| Erosión hídrica | Ligera |
| Salinidad y/o Sodicidad | Libre a muy ligeramente afectada de excesos de sales y sodio |
| Riesgo de anegamiento | Sin riesgo de anegamiento o inundación |
| Clima | Húmedo semifrío |
| Zona de vida | Bosque húmedo- montano subtropical (bh-Ms) |
| Fertilidad del suelo | Media |
| A 00 a 35 cm | Horizonte de color pardo claro , textura Franco arcillo, de estructura bloques angulares finos y medios, grado moderado, reacción muy fuertemente ácido (pH:4.64), nivel bajo en materia orgánica (MO: 1.31%), nivel bajo en nitrógeno (N:0.07), bajo contenido de fósforo disponible (P:4.1 ppm), nivel medio en potasio disponible (K: 169 ppm), nivel alto en capacidad de intercambio catiónico (CIC: 28.00 me/100g), sin calcáreo total (CaCO3:0.00%), saturación de bases bajo (SB:8%), libre a muy ligeramente afectados de exceso de sales y sodio (CE: 0.05 dS/m), la razón de absorción de sodio es baja, por lo tanto no afecta la |

disponibilidad de nutrientes, horizonte con buen desarrollo de raíces finas, buena actividad biológica.

B 35 – a más

Horizonte de color pardo claro, textura arenosa, de estructura bloques subangulares, medios, grado moderado, reacción extremadamente ácido (pH:3.78), nivel medio en materia orgánica (MO: 2.10%), nivel bajo en nitrógeno (N:0.08), nivel medio en contenido de fosforo disponible (P:7.1 ppm), nivel bajo en potasio disponible (K: 48 ppm), nivel alto en capacidad de intercambio catiónico (CIC:15.52 me/100g), sin calcáreo total (CaCO₃:0.00%), saturación de bases bajo (SB:8%), libre a muy ligeramente afectados de exceso de sales y sodio (CE: 0.18 dS/m), la razón de absorción de sodio es baja, por lo tanto no afecta la disponibilidad de nutrientes, horizonte con moderado desarrollo de raíces finas.



Figura 16. Vista de calicata N° 03

10.4. Clasificación de suelos según su capacidad de uso mayor

Parcela N° 1

| | | | |
|--------------|---|-------------------------|-------------------------|
| Pendiente | : | 11% | (Ligeramente inclinada) |
| Microrelieve | : | Plano | |
| Profundidad | : | Muy profundo | |
| Textura | : | Moderadamente Gruesa | |
| Pedregosidad | : | Moderadamente Pedregoso | |
| Drenaje | : | Bueno | |
| pH | : | Extremadamente ácido | (4.42) |
| Erosión | : | Muy ligera | |
| Salinidad | : | Libre de sales | |
| Inundación | : | Sin riesgo | |

| Suelo/Pendiente | Pendiente | Microrelieve | Profundidad | Textura | Drenaje | Erosión |
|------------------------|------------------|---------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|
| 11% | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Clasificación: **F1s** Tierras aptas para producción forestal con algunas limitaciones en suelo

Parcela N° 2

| | | | |
|--------------|---|-------------------------|------------|
| Pendiente | : | 35% | (Empinada) |
| Microrelieve | : | Ondulado suave | |
| Profundidad | : | Profundo | |
| Textura | : | Moderadamente Gruesa | |
| Pedregosidad | : | Moderadamente Pedregoso | |
| Drenaje | : | Bueno | |
| pH | : | Muy fuertemente ácido | (4.59) |
| Erosión | : | Ligera | |
| Salinidad | : | Libre de sales | |
| Inundación | : | Sin riesgo | |

| Suelo/Pendiente | Pendiente | Microrelieve | Profundidad | Textura | Drenaje | Erosión |
|------------------------|------------------|---------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|
| 34.50% | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Clasificación: **F2se** Tierras aptas para producción forestal con algunas limitaciones en suelo, con riesgo de erosión

Parcela N° 3

| | | | |
|--------------|---|-------------------------|--------------------------|
| Pendiente | : | 23% | (Moderadamente empinada) |
| Microrelieve | : | Ondulado suave | |
| Profundidad | : | Muy profundo | |
| Textura | : | Moderadamente fina | |
| Pedregosidad | : | Moderadamente Pedregoso | |
| Drenaje | : | Bueno | |
| pH | : | Muy fuertemente ácido | (4.64) |
| Erosión | : | Ligera | |
| Salinidad | : | Libre de sales | |
| Inundación | : | Sin riesgo | |

| <u>Suelo/Pendiente</u> | <u>Pendiente</u> | <u>Microrelieve</u> | <u>Profundidad</u> | <u>Textura</u> | <u>Drenaje</u> | <u>Erosión</u> |
|------------------------|------------------|---------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|
| 22.50% | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Clasificación: **F2s** Tierras aptas para producción forestal con algunas limitaciones en suelo

Parcela N° 4

| | | | |
|--------------|---|-------------------------|--------------------------|
| Pendiente | : | 19% | (Moderadamente empinada) |
| Microrelieve | : | Ondulado suave | |
| Profundidad | : | Profundo | |
| Textura | : | Moderadamente Gruesa | |
| Pedregosidad | : | Moderadamente Pedregoso | |
| Drenaje | : | Bueno | |
| pH | : | Muy fuertemente ácido | (4.59) |
| Erosión | : | Ligera | |
| Salinidad | : | Libre de sales | |
| Inundación | : | Sin riesgo | |

| <u>Suelo/Pendiente</u> | <u>Pendiente</u> | <u>Microrelieve</u> | <u>Profundidad</u> | <u>Textura</u> | <u>Drenaje</u> | <u>Erosión</u> |
|------------------------|------------------|---------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|
| 19% | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 |

Clasificación: **P2se** Tierras para pastos con limitaciones en suelo con riesgo de erosión
F2s Tierras aptas para producción forestal con algunas limitaciones en suelo

10.5. Solicitud de información meteorológica a SENAMHI

PROCEDIMIENTO PARA OTORGAR INFORMACION HIDROMETEOROLOGICA EN EL SENAMHI A ESTUDIANTES, TESISITAS, MAESTRISTAS, DOCTORADO E INVESTIGADORES

ANEXO 02: FORMATO DE SOLICITUD ESTUDIANTES/TESITAS – DIRECCION ZONAL

Señor

Ing. M.Sc. Felipe Huamán Solís

DIRECTOR ZONAL 3 DEL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ – SENAMHI - CAJAMARCA

Presente.-

.....
SERGIO RONALD SOTO SÁNCHEZ
(Nombres y Apellidos)

.....
Prolg. Tayabamba # 252 – Cajamarca
(Dirección)

Con N° DNI: 40408465 Telf.: 962924546 E-mail: sergio.sotos31@gmail.com

Universidad /Instituto: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

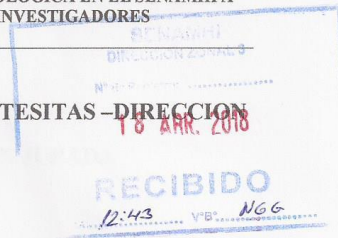
Carrera/ Profesión: Ingeniería Forestal

Antes usted me presento y expongo:

Que, la información hidrometeorológica proporcionada por SENAMHI, será de uso exclusivo para mi trabajo de tesis titulado **“Influencia de la Calidad de Sitio en la Producción Maderable del *Pinus radiata* D. Don, en el Parque Forestal Cumbe Mayo – Cajamarca”**, el cual vengo desarrollando.

La información hidrometeorológica solicitada pertenecen a las estaciones AUGUSTO WEBERBAUER y AYLAMBO, ambas ubicadas en el distrito de Cajamarca, dichos datos será usados para determinar cómo influyen las características climatizas en el crecimiento de los árboles.

.....
DIRECTIVA N°003-2016-SENAMHI-SG-OPP-OM
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI



10.6. Resolución de donación de árboles



Universidad Nacional de Cajamarca

Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962
Cajamarca - Perú

DIRECCION GENERAL DE ADMINISTRACION

RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 139-2018-DIGA-UNC.

Cajamarca, 10 de octubre de 2018

Visto:

El Oficio N° 00209-2018-UTP-OGL-UNC, de fecha 09 de octubre del 2018, remitido por la Unidad Técnica de Patrimonio de la Universidad Nacional de Cajamarca, mediante el cual se hace llegar, la Convocatoria, Bases Administrativas y proyecto de Resolución; y,

CONSIDERANDO:

Que, de conformidad con el Artículo sexto de la Resolución Directoral N° 094-2018-DIGA-UNC, de fecha 27 de junio del 2018 se aprueba la enajenación por COMPRAVENTA DIRECTA INMEDIATA POR EMERGENCIA del lote de 570 árboles en SOBRE CERRADO, a cargo de la Unidad Técnica de Patrimonio, "en donde están y en las condiciones en las que se encuentran".

Que, resulta necesario realizar la modificación del artículo Séptimo de la Resolución Directoral N° 094-DIGA-UNC, el mismo que por error considera "APORBAR el apoyo a título oneroso con tres árboles con fines de investigación, a favor del Ing. Sergio Ronald Soto Sánchez para el desarrollo de su trabajo de tesis, y la parte excedente se entregue al beneficiario de la compraventa".

Que, en tal sentido resulta procedente se expida una Resolución Directoral, que disponga la modificación, y apruebe la convocatoria y Bases Administrativas que en anexos 01 y 02 forman parte de la presente resolución.

Estando a lo expuesto y en uso de sus atribuciones conferidas por el Artículo 227° del Estatuto Universitario, Artículos 179° y 180° del Reglamento General, en concordancia con el Artículo 74° de la Ley N° 30220;



SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO: MODIFICAR el Artículo Séptimo de la Resolución Administrativa N° 094-2018-DIGA-UNC, en la forma siguiente: "APROBAR el apoyo a título gratuito con tres árboles para fines de investigación, a favor del Ing. Sergio Ronald Soto Sánchez para el desarrollo de su trabajo de tesis, y la parte excedente se entregue al beneficiario de la compraventa".

ARTÍCULO SEGUNDO: APROBAR la CONVOCATORIA que como ANEXO N° 01 forma parte de la presente Resolución Directoral.

ARTÍCULO TERCERO: APROBAR las BASES ADMINISTRATIVAS que como ANEXO N° 02 forma parte de la presente Resolución Directoral.

ARTÍCULO CUARTO: NOTIFICAR a la Empresa HIDRANDINA la presente Resolución y la Resolución Directoral N° 094-2018-DIGA-UNC, para los efectos de que en mérito al Código Nacional de Electricidad y Suministro intervenga en la supervisión antes y durante el proceso de tala de 570 árboles dados de baja, a llevarse a cabo los días martes 23 al viernes 26 del mes de octubre del 2018, en el horario de 9:00 am. a 1:30 pm. respectivamente.

ARTÍCULO QUINTO: NOTIFICAR al Ing. Sergio Ronald Soto Sánchez la presente Resolución y la Resolución Directoral, N° 094-2018-DIGA-UNC, para los efectos de hacerle conocer el apoyo brindado para el desarrollo de su trabajo de Tesis.

ARTÍCULO SEXTO: DISPONER la publicación en el portal web de la UNC: www.unc.edu.pe, la convocatoria del presente proceso de COMPRAVENTA DIRECTA INMEDIATA POR EMERGENCIA para su difusión.



Universidad Nacional de Cajamarca

Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962
Cajamarca - Perú

DIRECCION GENERAL DE ADMINISTRACION

RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 139-2018-DIGA-UNC.

Cajamarca, 10 de octubre de 2018

Visto:

El Oficio N° 00209-2018-UTP-OGL-UNC, de fecha 09 de octubre del 2018, remitido por la Unidad Técnica de Patrimonio de la Universidad Nacional de Cajamarca, mediante el cual se hace llegar, la Convocatoria, Bases Administrativas y proyecto de Resolución; y,

CONSIDERANDO:

Que, de conformidad con el Artículo sexto de la Resolución Directoral N° 094-2018-DIGA-UNC, de fecha 27 de junio del 2018 se aprueba la enajenación por COMPRAVENTA DIRECTA INMEDIATA POR EMERGENCIA del lote de 570 árboles en SOBRE CERRADO, a cargo de la Unidad Técnica de Patrimonio, "en donde están y en las condiciones en las que se encuentran".

Que, resulta necesario realizar la modificación del artículo Séptimo de la Resolución Directoral N° 094-DIGA-UNC, el mismo que por error considera "APORBAR el apoyo a título oneroso con tres árboles con fines de investigación, a favor del Ing. Sergio Ronald Soto Sánchez para el desarrollo de su trabajo de tesis, y la parte excedente se entregue al beneficiario de la compraventa".

Que, en tal sentido resulta procedente se expida una Resolución Directoral, que disponga la modificación, y apruebe la convocatoria y Bases Administrativas que en anexos 01 y 02 forman parte de la presente resolución.

Estando a lo expuesto y en uso de sus atribuciones conferidas por el Artículo 227° del Estatuto Universitario, Artículos 179° y 180° del Reglamento General, en concordancia con el Artículo 74° de la Ley N° 30220;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO: MODIFICAR el Artículo Séptimo de la Resolución Administrativa N° 094-2018-DIGA-UNC, en la forma siguiente: "APROBAR el apoyo a título gratuito con tres árboles para fines de investigación, a favor del Ing. Sergio Ronald Soto Sánchez para el desarrollo de su trabajo de tesis, y la parte excedente se entregue al beneficiario de la compraventa".

ARTÍCULO SEGUNDO: APROBAR la CONVOCATORIA que como ANEXO N° 01 forma parte de la presente Resolución Directoral.

ARTÍCULO TERCERO: APROBAR las BASES ADMINISTRATIVAS que como ANEXO N° 02 forma parte de la presente Resolución Directoral.

ARTÍCULO CUARTO: NOTIFICAR a la Empresa HIDRANDINA la presente Resolución y la Resolución Directoral N° 094-2018-DIGA-UNC, para los efectos de que en mérito al Código Nacional de Electricidad y Suministro intervenga en la supervisión antes y durante el proceso de tala de 570 árboles dados de baja, a llevarse a cabo los días martes 23 al viernes 26 del mes de octubre del 2018, en el horario de 9:00 am. a 1:30 pm. respectivamente.

ARTÍCULO QUINTO: NOTIFICAR al Ing. Sergio Ronald Soto Sánchez la presente Resolución y la Resolución Directoral, N° 094-2018-DIGA-UNC, para los efectos de hacerle conocer el apoyo brindado para el desarrollo de su trabajo de Tesis.

ARTÍCULO SEXTO: DISPONER la publicación en el portal web de la UNC: www.unc.edu.pe, la convocatoria del presente proceso de COMPRAVENTA DIRECTA INMEDIATA POR EMERGENCIA para su difusión.

10.7. Informe de las propiedades de la madera de *P. radiata* de la plantación del Parque Forestal Cumbe Mayo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES y AMBIENTALES

DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE LA MADERA

INFORME TECNOLÓGICO

"DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LA MADERA DE *Pinus radiata* D. Don (PINO) DE PLANTACION PROVENIENTE DE DOS ZONAS DEL PARQUE FORESTAL CUMBE MAYO - CAJAMARCA "

1. RESUMEN

El presente trabajo de investigación se expone de laboratorio empleando Normas Técnicas Peruanas. Los resultados obtenidos al evaluar las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus radiata* D. Don provenientes de dos zonas del parque forestal Cumbe Mayo en Cajamarca.

2. METODO DE INVESTIGACION

Para la determinación de las propiedades físicas de la madera de pino su utilizo el método de experimentación de diferencias de pesos gravimétrico según las especificaciones técnicas de la norma NTP y que se detalla a continuación:

1. Determinación de contenido de humedad norma técnica NTP 251-010:2014
2. Determinación de contracciones radial, tangencial, longitudinal y volumétrica; norma técnica NTP 251- 012:2015.
3. Determinación de las densidades; Norma NTP 251-011:2014

Para las propiedades mecánicas se utilizó las siguientes normas:

1. Determinación del cizallamiento, Norma NTP 250-013:2015
2. Determinación a la compresión paralela, Norma NTP 250-014:2014
3. Determinación a flexión estática, Norma NTP 251- 017:20014
4. Determinación a compresión perpendicular Norma NTP 250-016:2015
5. Determinación a la Dureza Norma NTP 250-015:2012
6. Determinación al clavaje Norma NTP ASTM-143.94

3. POBLACION Y MUESTRA

La población la constituye el volumen de todas las probetas a ser evaluadas de la madera de *Pinus radiata* D. Don en el Laboratorio de Tecnología de La Madera de la Universidad Nacional de Ucayali que está ubicada en la carretera Federico Basadre Km 6.200. Las muestras estuvieron constituida por todas las probetas que fueron seccionadas al azar y libre de defectos.

4. INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

- **Para la determinación de las propiedades físicas**
 - ✓ Balanza digital de precisión 0.001 g
 - ✓ Calibradores digitales
 - ✓ Estufa digital
 - ✓ Desecador
 - ✓ Formatos
 - ✓ Lápices
 - ✓ Lapiceros
- **Para la determinación de las propiedades mecánicas**
 - ✓ Flexión estática: cabezal de accionamiento, soporte sometido a dos puntos. (velocidad de ensayo 2.5 mm/ min)
 - ✓ Cizallamiento: cizalla (velocidad de ensayo 0.6mm/min)
 - ✓ Compresión paralela: plataforma circular de compresión (velocidad de carga 0.305mm/min)
 - ✓ Compresión perpendicular: base de metal de compresión velocidad de carga (0.3mm/min)
 - ✓ Clivaje : tenazas de sujeción de acero (2.5mm/min)
 - ✓ Dureza de lados y extremos: cabezal con esfera de penetración. (velocidad de carga 6mm/min)

5. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCION DE DATOS

- **Preparación de probetas de ensayos físicos**
Las probetas se prepararon del lugar de origen de procedencia
- **Preparación de probetas de ensayos mecánicos**
Las probetas se prepararon del lugar de origen de procedencia

6. CLASIFICACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LA MADERA

Serán clasificada según con los valores de Vizcarra y Arostegui (1986)

7. CLASIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Se clasifico según con los valores que encontró Davalos y Bárcenas (1999) y Sibilly (2006)

8. RESULTADOS

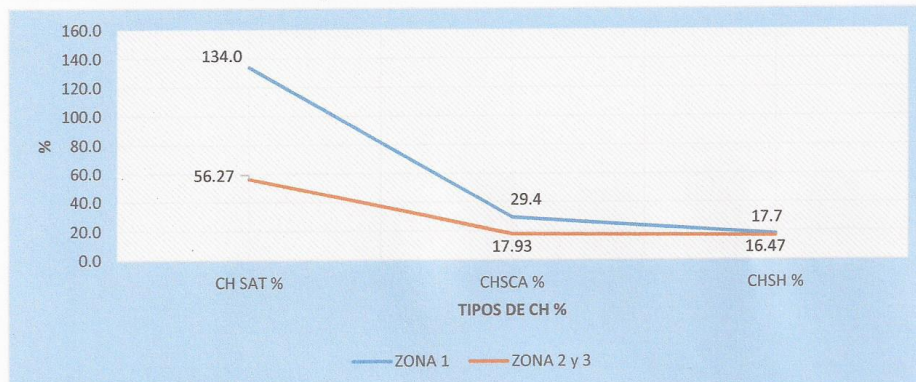
1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE *Pinus radiata* (pino) provenientes de una plantación de las zonas 1 y 2,3.

• CONTENIDO DE HUMEDAD

Cuadro N° 01. Contenido de humedad de la madera de *Pinus radiata* (pino)

| ítem | CH SAT % | CHSCA % | CHSH % | S | ± | CV (%) | |
|------------|----------|---------|--------|---|--------|--------|-------|
| ZONA 1 | 134.0 | 29.4 | 17.7 | S | ± 10.7 | CV (%) | 16.4 |
| ZONA 2 y 3 | 56.27 | 17.93 | 16.47 | S | ± 6.82 | CV (%) | 18.17 |

La madera según contenido de humedad está clasificada como madera muy húmeda para la zona 01 y para la zona 2-3 está clasificada como madera húmeda. Observar grafico 01.



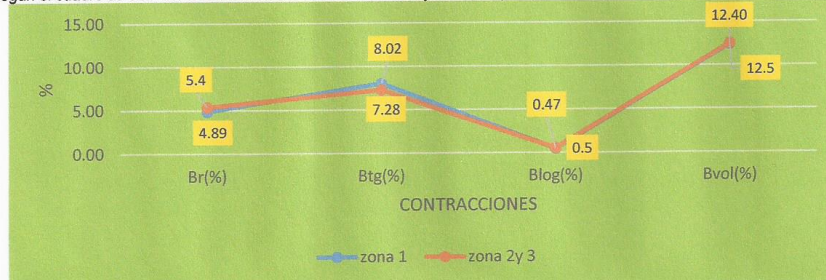
Graf.01. curvas de secado de la madera de *pinus radiata* (pino)

• CONTRACCIONES

Cuadro N°02 contracción radial, tangencial longitudinal y volumétrica de la madera de *pinus radiata* (pino)

| ITEM | $\beta.r$ (%) | $\beta.tg$ (%) | $\beta.log$ (%) | $\beta.vol$ (%) |
|------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|
| zona 1 | 4.89 ± 1.09 | 8.02 ± 0.87 | 0.47 ± 0.22 | 12.40 ± 1.76 |
| zona 2 y 3 | 5.4 ± 1.48 | 7.28 ± 2.05 | 0.5 ± 0.24 | 12.5 ± 2.3 |

Según el cuadro se clasifica a la contracción volumétrica de baja a media para las dos zonas en estudio. Observar grafico 02.



GRAF.02. Contracciones de la Madera de *Pinus radiata* (pino)

• DENSIDADES

CUADRO N° 03. Densidades de la madera de *pinus radiata* (pino) provenientes de dos zonas 1 y 2-3

| item | Dsat (g/cm ³) | D básica (g/cm ³) | Dsca (g/cm ³) | Dcsh (g/cm ³) |
|----------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| zona 1 | 1.00 | 0.42 | 0.53 | 0.48 |
| zona 2y3 | 0.67 | 0.42 | 0.53 | 0.48 |

La clasificación según la densidad básica encontrada para la madera de *pinus radiata* de la zona 1 y 2-3 es de **media**.
Observe gráfico 03.



Graf. 03. Densidades de la madera de *Pinus radiata* (pino)

• RELACION T/R

| ITEM | T/R |
|----------|------|
| zona 1 | 1.64 |
| zona 2y3 | 1.33 |

Según la clasificación de esta relación la madera de *pinus radiata* de la zona 1 y 2-3 es considerada estable.

2. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE *Pinus radiata* (pino) provenientes de una plantación de las zonas 1 y 2,3.

• **FLEXIÓN ESTÁTICA**

**Condición de ensayo: CH= 134.0 % ZONA 1; CH= 56.27% ZONA 2-3

Cuadro n°04. Módulo de ruptura, módulo de elasticidad y Esfuerzo proporcional a la fibra. (MOR, MOE, ELPF)

| ITEM | MOR(Kg/cm ²) | MOE(Kg/cm ²) | ELPF(Kg/cm ²) |
|----------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| ZONA 1 | 334.95 ± 83.10 | 57328 ± 6823.49 | 197.± 60.66 |
| ZONA 2-3 | 439.05± 83.10 | 66328 ± 8444.59 | 259.96 ± 62.05 |

Según la clasificación para estos valores tanto para la zona 1, 2-3, están dentro de un rango DE CALIDAD MUY BAJO, DE GRADO (I) para MOR y MOE, para ELPF están en rango de CALIDAD MUY ALTA, de GRADO (V), encontrada para la madera de *pinus radiata*.

• **COMPRESION PERPENDICULAR**

**Condición de ensayo: CH= 134.0 % ZONA 1; CH= 56.27% ZONA 2-3

Cuadro n°05. Esfuerzo al límite proporcional de la madera de *pinus radiata*

| ITEM | ELP(Kg/cm ²) | GRADO | CALIDAD |
|----------|--------------------------|-------|----------|
| ZONA 1 | 2.97 ± 1.65 | I | MUY BAJO |
| ZONA 2-3 | 1.95 ± 0.87 | I | MUY BAJO |

Según la clasificación para estos valores tanto para la zona 1, 2-3, están dentro de un rango DE CALIDAD MUY BAJO, DE GRADO (I) encontrada para la madera de *pinus radiata*.

• **COMPRESION PARALELA**

Cuadro n°06. Resistencia a la compresión paralela de la madera de *pinus radiata*

| ITEM | R. MAX. (Kg/cm ²) | GRADO | CALIDAD |
|----------|-------------------------------|-------|-------------------|
| ZONA 1 | 241.68± 18.64 | I,II | MUY BAJA , A BAJA |
| ZONA 2-3 | 237.36± 13.57 | I | MUY BAJA |

Según la clasificación para estos valores tanto para la zona 1, 2-3, están dentro de un rango DE CALIDAD MUY BAJO A BAJA , DE GRADO (I),(II) encontrada para la madera de *pinus radiata*.

• **CIZALLAMIENTO**

Cuadro n°07. Resistencia al cizallamiento de la madera de *pinus radiata*

| ITEM | R. MAX. (Kg/cm ²) | GRADO | CALIDAD |
|----------|-------------------------------|-------|---------|
| ZONA 1 | 50.27± 12.6 | II | BAJA |
| ZONA 2-3 | 60.4± 20.8 | II | BAJA |

Según la clasificación para estos valores tanto para la zona 1, 2-3, están dentro de un rango DE CALIDAD BAJA , DE GRADO (II) encontrada para la madera de *pinus radiata*.

• **CLIVAJE**

Cuadro n°08. Resistencia al clavaje de la madera de *pinus radiata*

| ITEM | R. MAX. (Kg/cm ²) | GRADO | CALIDAD |
|----------|-------------------------------|-------|----------|
| ZONA 1 | 16.70 ± 7.59 | I | MUY BAJA |
| ZONA 2-3 | 20.87± 8.26 | I | MUY BAJA |

Según la clasificación para estos valores tanto para la zona 1, 2-3, están dentro de un rango DE CALIDAD MUY BAJA , DE GRADO (I) encontrada para la madera de *pinus radiata*.

9. CONCLUSIONES

1. La densidad básica de la madera de *pinus radiata* fue de 0.42 g/cm³
2. El contenido de humedad encontrada para la zona 1 fue de 134% (estado muy húmedo), y la zona 2-3 fue de 56.27% (estado húmedo)
3. La madera por la relación T/R es estable.
4. La madera de *pinus radiata* para el valor de MOE Y MOR es muy baja y ELPF es muy alta
5. La madera de *pinus radiata* para el valor de la resistencia a la compresión perpendicular es muy baja
6. La madera de *pinus radiata* para el valor de la resistencia a la compresión paralela es muy baja a baja
7. La madera de *pinus radiata* para el valor de la resistencia al cizallamiento es baja
8. La madera de *pinus radiata* para el valor de la resistencia al clavaje es muy baja.

Sin otro particular que informar, se emite el presente informe para que el interesado lo utilice en lo que crea correspondiente.



Ing. Noé Cristian Fachin Vargas
Aux. Laboratorio
FCF y A- UNU

Anexos:

ANEXO 01. Fotos de los ensayos físicos y mecánicos de la madera de *Pinus radiata* (Pino)

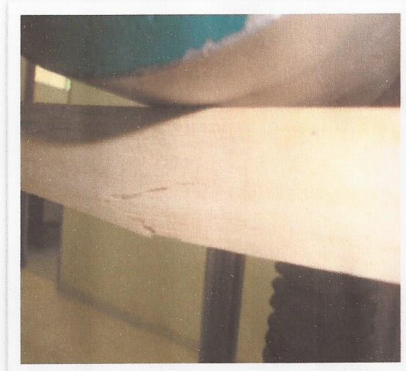


FOTO 01. FLEXION ESTATICA

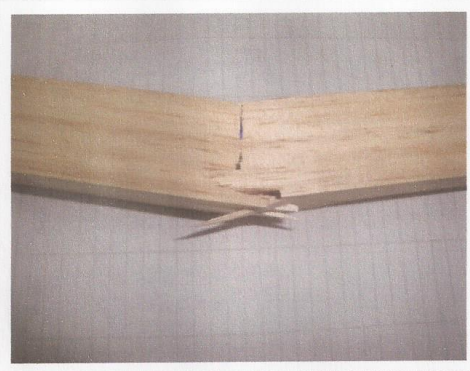


FOTO 02. FLEXION ESTATICA



FOTO 03. CIZALLAMIENO

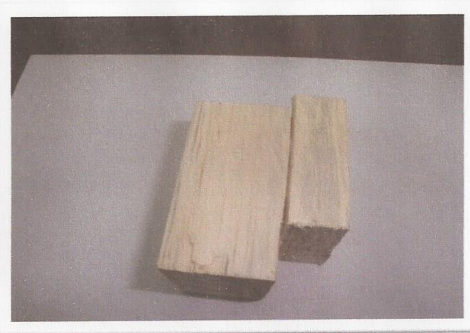


FOTO 04. CIZALLAMIENO

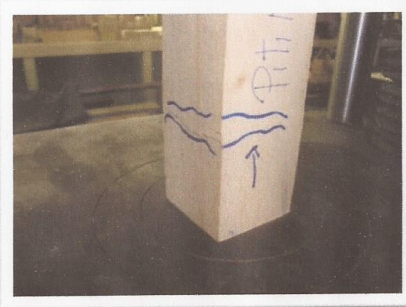


FOTO 05. COMPRESION PARALELA

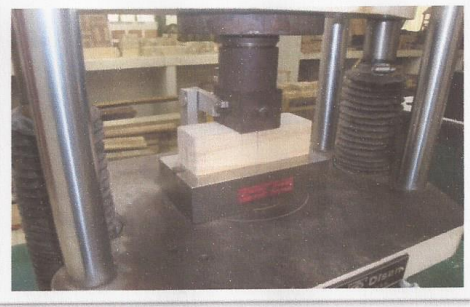


FOTO 06. COMPRESION PERPENDICULAR

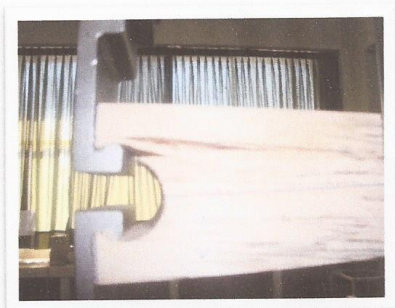


FOTO 08. CLIVAJE

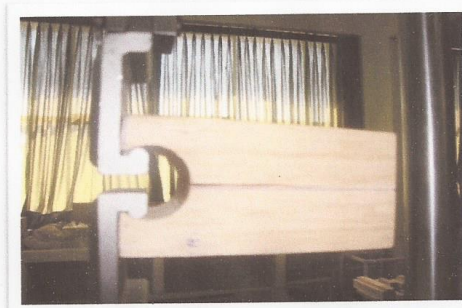


FOTO 09. CLIVAJE



FOTO 10. MEDICION DE PROBETAS



FOTO 11. MEDICION DE PROBETAS

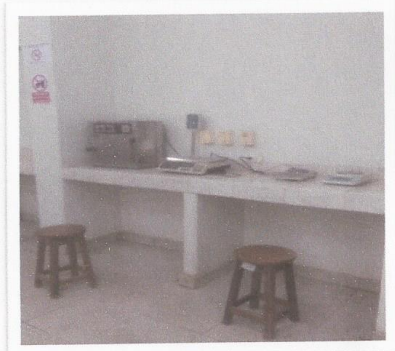


FOTO 10. EQUIPOS DE MEDICION

ANEXO 02. Datos de evaluación de las propiedades físicas y mecánicas
2.1. Propiedades físicas

| N° | fecha | PESO HUMEDO | | | | | | 06/08/2018 | | | | | | 09/08/2018 | | | | | | 06/08/2018 | | | | | | | | | |
|--------|--------|-------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|
| | | 01/08/2018 | 01/08/2018 | 01/08/2018 | 01/08/2018 | 01/08/2018 | 01/08/2018 | 06/08/2018 | 06/08/2018 | 06/08/2018 | 06/08/2018 | 06/08/2018 | 06/08/2018 | 06/08/2018 | 06/08/2018 | 06/08/2018 | 06/08/2018 | 06/08/2018 | 06/08/2018 | 06/08/2018 | 06/08/2018 | 06/08/2018 | 06/08/2018 | 06/08/2018 | 06/08/2018 | 06/08/2018 | 06/08/2018 | 06/08/2018 | 06/08/2018 |
| CODIGO | | PESO (grs.) | RD(mm) | TG(mm) | LOI(mm) | PESO (grs.) | RD(mm) | TG(mm) | LOI(mm) | PESO (grs.) | RD(mm) | TG(mm) | LOI(mm) | PESO (grs.) | RD(mm) | TG(mm) | LOI(mm) | PESO (grs.) | RD(mm) | TG(mm) | LOI(mm) | PESO (grs.) | RD(mm) | TG(mm) | LOI(mm) | PESO (grs.) | RD(mm) | TG(mm) | LOI(mm) |
| 1 | Z23-1 | 50.85 | 29.52 | 29.66 | 100.85 | 46.37 | 29.4 | 29.21 | 100.52 | 44.70 | 28.96 | 28.51 | 100.28 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Z23-2 | 62.47 | 29.66 | 29.45 | 100.52 | 53.04 | 29.59 | 29.25 | 100.49 | 46.85 | 29.24 | 28.47 | 100.11 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Z23-3 | 49.25 | 29.82 | 30.00 | 100.43 | 44.76 | 29.89 | 29.54 | 100.5 | 42.20 | 29.64 | 28.88 | 100.09 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Z23-4 | 53.34 | 29.55 | 29.25 | 100.32 | 46.84 | 29.73 | 29.07 | 100.44 | 43.61 | 29.08 | 28.48 | 100.31 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Z23-5 | 85.70 | 29.50 | 30.45 | 100.69 | 74.65 | 29.39 | 30.09 | 100.52 | 59.74 | 29.31 | 29.84 | 100.35 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Z23-6 | 66.14 | 29.98 | 29.44 | 100.56 | 57.82 | 29.84 | 29.23 | 100.77 | 49.93 | 29.57 | 28.65 | 100.68 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Z23-7 | 66.57 | 29.29 | 30.53 | 100.77 | 57.21 | 29.09 | 29.96 | 100.79 | 49.38 | 29.00 | 28.64 | 100.54 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | Z23-8 | 56.33 | 29.90 | 29.52 | 100.63 | 49.39 | 29.98 | 29.39 | 100.62 | 46.41 | 29.62 | 28.67 | 100.35 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Z23-9 | 63.42 | 29.10 | 30.26 | 100.26 | 54.42 | 28.98 | 29.51 | 100.89 | 46.79 | 28.44 | 29.16 | 100.76 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | Z23-10 | 65.95 | 29.25 | 29.97 | 100.58 | 55.55 | 29.51 | 29.77 | 100.72 | 47.02 | 29.19 | 29.23 | 100.54 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | Z23-11 | 50.22 | 29.63 | 29.54 | 100.72 | 44.65 | 29.37 | 29.65 | 100.6 | 42.67 | 28.96 | 29.16 | 100.26 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | Z23-12 | 66.11 | 29.38 | 29.38 | 100.65 | 56.13 | 29.5 | 29.25 | 100.56 | 47.15 | 29.17 | 28.58 | 100.56 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | Z23-13 | 65.95 | 29.85 | 29.85 | 100.39 | 57.94 | 29.92 | 29.4 | 100.46 | 47.89 | 29.55 | 28.65 | 100.22 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | Z23-14 | 81.67 | 30.94 | 30.94 | 100.52 | 71.77 | 29.52 | 31.03 | 100.43 | 51.74 | 29.33 | 30.7 | 100.23 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | Z23-15 | 54.20 | 30.00 | 30.00 | 100.66 | 48.99 | 29.58 | 29.85 | 100.52 | 45.90 | 29.35 | 29.37 | 100.38 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | Z23-16 | 62.41 | 29.91 | 29.91 | 100.46 | 53.37 | 29.93 | 29.98 | 100.91 | 46.31 | 29.58 | 29.42 | 100.85 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | Z23-17 | 86.08 | 30.27 | 30.27 | 100.60 | 72.12 | 29.71 | 29.85 | 100.57 | 55.14 | 29.42 | 29.39 | 100.40 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | Z23-18 | 49.98 | 29.77 | 29.77 | 100.69 | 45.93 | 29.58 | 29.61 | 100.39 | 43.45 | 29.25 | 29.28 | 99.99 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | Z23-19 | 52.70 | 29.48 | 29.48 | 100.41 | 47.5 | 29.43 | 29.84 | 100.36 | 44.79 | 29.06 | 29.4 | 100.37 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | Z23-20 | 85.90 | 29.72 | 29.72 | 100.61 | 70.04 | 29.46 | 29.88 | 100.5 | 54.20 | 29.15 | 29.3 | 100.33 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | Z23-21 | 45.26 | 29.64 | 29.64 | 100.51 | 40.3 | 29.31 | 29.25 | 100.21 | 38.95 | 29.12 | 25.24 | 100.16 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | Z23-22 | 47.35 | 30.05 | 30.05 | 100.47 | 42.26 | 29.39 | 29.55 | 100.62 | 40.62 | 29.18 | 29.3 | 100.53 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | Z23-23 | 48.26 | 30.17 | 30.17 | 100.55 | 42.82 | 29.33 | 29.52 | 100.51 | 41.12 | 29.08 | 29.22 | 100.00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | Z23-24 | 47.76 | 29.69 | 29.69 | 100.64 | 42.71 | 29.31 | 29.33 | 100.34 | 40.94 | 29.02 | 29.16 | 100.35 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | Z23-25 | 64.81 | 29.88 | 29.88 | 100.49 | 51.95 | 29.78 | 29.3 | 100.52 | 46.85 | 29.37 | 28.42 | 100.35 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | Z23-26 | 58.39 | 29.83 | 29.83 | 100.10 | 47.87 | 29.65 | 29.04 | 100.12 | 44.23 | 29.23 | 28.51 | 99.94 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27 | Z23-27 | 46.19 | 29.72 | 29.72 | 100.54 | 41.57 | 29.1 | 29.48 | 100.16 | 39.71 | 28.99 | 29.44 | 100.18 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | Z23-28 | 59.03 | 29.66 | 29.66 | 100.58 | 47.25 | 29.52 | 28.9 | 100.4 | 43.37 | 29.09 | 28.26 | 100.41 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | Z23-29 | 45.17 | 29.75 | 29.75 | 99.90 | 40.97 | 29.42 | 29.52 | 100.44 | 39.10 | 29.27 | 29.28 | 100.49 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | Z23-30 | 45.98 | 29.54 | 29.54 | 100.43 | 40.7 | 29.38 | 28.88 | 100.42 | 38.80 | 29.12 | 28.56 | 100.10 | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 09/08/2018 PESO (grs.) | PESO SECO AL AIRE | | | | PESO SECO AL HORNO | | | | | | |
|---------------------------|-------------------|--------|---------|-------------|--------------------|--------|---------|-------------|-------|-------|--------|
| | RD(mm) | TG(mm) | LON(mm) | PESO (grs.) | RD(mm) | TG(mm) | LON(mm) | PESO (grs.) | | | |
| 44.07 | 28.93 | 28.48 | 100.39 | 43.66 | 28.87 | 28.41 | 100.33 | 37.44 | 27.88 | 27.12 | 100.02 |
| 44.95 | 28.75 | 28.17 | 100.14 | 44.14 | 28.72 | 28.03 | 99.9 | 37.75 | 27.85 | 26.9 | 100.07 |
| 41.17 | 29.21 | 28.61 | 100.17 | 40.55 | 29.2 | 28.36 | 100.17 | 34.72 | 28.56 | 27.02 | 99.99 |
| 42.76 | 29.04 | 28.08 | 100.18 | 41.59 | 28.92 | 28.02 | 100.29 | 35.59 | 28.12 | 26.89 | 99.99 |
| 54.85 | 29.28 | 29.62 | 100.32 | 52.89 | 29.16 | 29.49 | 100.31 | 44.82 | 28.25 | 28.17 | 100.03 |
| 47.67 | 29.29 | 28.5 | 100.65 | 45.89 | 28.88 | 28.04 | 100.56 | 39.1 | 27.37 | 28.04 | 100.35 |
| 47.38 | 28.53 | 29.56 | 100.61 | 46.24 | 28.34 | 29.2 | 100.36 | 39.31 | 28.16 | 26.86 | 100.42 |
| 45.39 | 29.51 | 28.36 | 100.36 | 44.74 | 29.44 | 28.34 | 100.36 | 38.17 | 28.53 | 26.92 | 100.26 |
| 45.72 | 28.84 | 28.86 | 100.69 | 45.07 | 28.21 | 28.83 | 100.68 | 38.56 | 27.08 | 27.62 | 100.55 |
| 45.91 | 28.99 | 29.07 | 100.34 | 45.36 | 28.91 | 29.02 | 100.32 | 38.83 | 28.01 | 27.8 | 100.34 |
| 42.28 | 28.93 | 29.01 | 99.84 | 42.02 | 28.85 | 28.95 | 99.97 | 36.15 | 28.07 | 28.08 | 100.22 |
| 45.82 | 28.88 | 28.29 | 100.49 | 45.29 | 28.87 | 28.2 | 100.47 | 38.88 | 27.95 | 27.07 | 100.29 |
| 46.41 | 29.44 | 28.29 | 100.24 | 45.87 | 29.41 | 28.22 | 100.22 | 39.27 | 28.41 | 26.72 | 100.17 |
| 48.52 | 28.94 | 30.15 | 100.39 | 47.54 | 28.67 | 29.88 | 100.27 | 40.74 | 27.63 | 28.63 | 100.19 |
| 44.98 | 29.36 | 29.23 | 100.28 | 44.4 | 29.18 | 29.08 | 100.21 | 38.11 | 28.27 | 28.03 | 100.21 |
| 45.11 | 29.51 | 29.25 | 100.79 | 44.66 | 29.43 | 29.16 | 100.77 | 38.3 | 28.55 | 28.08 | 100.06 |
| 53.19 | 29.2 | 29.19 | 100.47 | 52.55 | 29.1 | 28.98 | 100.46 | 44.92 | 28.46 | 27.77 | 100.17 |
| 42.79 | 29.35 | 29.05 | 100.11 | 42.45 | 29.15 | 28.97 | 100.1 | 36.54 | 28.41 | 28.05 | 100.01 |
| 44.17 | 28.91 | 29.35 | 100.36 | 43.84 | 28.78 | 29.16 | 100.34 | 37.73 | 27.89 | 28.23 | 100.13 |
| 52.58 | 29.1 | 29.09 | 100.43 | 52 | 29.02 | 28.86 | 100.42 | 44.55 | 28.26 | 27.53 | 100.35 |
| 38.68 | 29.15 | 29.09 | 100.19 | 38.5 | 28.82 | 29.11 | 100.18 | 33.33 | 28.6 | 28.14 | 100.05 |
| 40.26 | 29.1 | 29.24 | 100.52 | 40.03 | 29.07 | 29.02 | 100.5 | 34.74 | 28.35 | 28.45 | 100.31 |
| 40.68 | 29.04 | 29.15 | 100.16 | 40.46 | 28.8 | 29.07 | 100.12 | 35.06 | 28.1 | 28.31 | 100.01 |
| 40.53 | 28.95 | 29.06 | 100.42 | 40.31 | 28.91 | 28.94 | 100.33 | 34.96 | 28.17 | 28.27 | 100.24 |
| 46.08 | 29.35 | 28.3 | 100.37 | 45.78 | 29.22 | 28.28 | 100.32 | 39.35 | 28.33 | 26.78 | 100.1 |
| 43.55 | 29.2 | 28.3 | 99.77 | 43.31 | 29.11 | 28.32 | 99.95 | 37.25 | 28.07 | 27.23 | 99.7 |
| 39.32 | 28.9 | 29.21 | 99.97 | 39.14 | 28.83 | 29.2 | 99.95 | 34.01 | 28.28 | 28.4 | 100.17 |
| 42.76 | 28.96 | 28.14 | 100.45 | 42.5 | 28.86 | 28.09 | 100.42 | 36.57 | 27.94 | 27.03 | 100.21 |
| 38.74 | 29.18 | 29.15 | 100.51 | 38.62 | 29.12 | 29.12 | 100.48 | 33.44 | 28.61 | 28.45 | 100.45 |
| 38.49 | 29.18 | 28.35 | 100.08 | 38.37 | 29.12 | 28.32 | 100.06 | 33.08 | 28.41 | 27.53 | 100.09 |

2.1 Propiedades mecánicas

| N° | Sample | ENSAYO: FLEXION ESTÁTICA | | | FECHA: 17/08/18 | | MOE (kg/cm2) | CLP (Kg) | N° DE PROBETAS: 50 | | ELPF (kg/cm2) |
|----|--------|--------------------------|-----------|-------------|-----------------|-------------|--------------|----------|--------------------|----------|---------------|
| | | Sample No. | Ancho(cm) | Espesor(cm) | Area(cm2) | MOR(Kg/cm2) | | | C MAX (Kg) | DLP (cm) | |
| 1 | PINO | PZ1-1 | 2.5625 | 2.568 | 6.58 | 428 | 49800 | 81.4 | 134 | 0.439 | 260.11 |
| 2 | PINO | PZ1-2 | 2.57 | 2.553 | 6.56 | 464 | 52700 | 65.6 | 143.9 | 0.34 | 211.48 |
| 3 | PINO | PZ1-3 | 2.581 | 2.563 | 6.62 | 313 | 57400 | 48 | 98.4 | 0.225 | 152.88 |
| 4 | PINO | PZ1-4 | 2.584 | 2.551 | 6.59 | 304 | 44500 | 42.6 | 94.6 | 0.26 | 136.80 |
| 5 | PINO | PZ1-5 | 2.6515 | 2.636 | 6.99 | 281 | 48300 | 54.2 | 95.8 | 0.27 | 158.86 |
| 6 | PINO | PZ1-6 | 2.648 | 2.684 | 7.11 | 289 | 50000 | 64.7 | 102 | 0.295 | 183.15 |
| 7 | PINO | PZ1-7 | 2.583 | 2.584 | 6.67 | 211 | 47200 | 37.5 | 67.2 | 0.208 | 117.41 |
| 8 | PINO | PZ1-8 | 2.566 | 2.589 | 6.64 | 191.1 | 57000 | 21.3 | 60.9 | 0.0979 | 66.87 |
| 9 | PINO | PZ1-9 | 2.583 | 2.582 | 6.67 | 315 | 56000 | 78.7 | 100.5 | 0.369 | 246.79 |
| 10 | PINO | PZ1-10 | 2.572 | 2.562 | 6.59 | 327 | 55200 | 80.6 | 102.1 | 0.394 | 257.81 |
| 11 | PINO | PZ1-11 | 2.589 | 2.573 | 6.66 | 402 | 57300 | 70.9 | 127.5 | 0.327 | 223.37 |
| 12 | PINO | PZ1-12 | 2.569 | 2.593 | 6.66 | 316 | 53200 | 60 | 101.2 | 0.293 | 187.58 |
| 13 | PINO | PZ1-13 | 2.6365 | 2.644 | 6.97 | 404 | 55500 | 83 | 138.1 | 0.358 | 243.18 |
| 14 | PINO | PZ1-14 | 2.678 | 2.655 | 7.11 | 346 | 56900 | 66.9 | 120.9 | 0.269 | 188.51 |
| 15 | PINO | PZ1-15 | 2.632 | 2.67 | 7.03 | 241 | 53300 | 46.1 | 83.8 | 0.201 | 132.67 |
| 16 | PINO | PZ1-16 | 2.643 | 2.636 | 6.97 | 298 | 57100 | 53.1 | 101.3 | 0.224 | 156.14 |
| 17 | PINO | PZ1-17 | 2.663 | 2.635 | 7.02 | 292 | 63600 | 65.3 | 100.1 | 0.246 | 190.71 |
| 18 | PINO | PZ1-18 | 2.649 | 2.635 | 6.98 | 356 | 59500 | 72 | 121.2 | 0.291 | 211.39 |
| 19 | PINO | PZ1-19 | 2.627 | 2.653 | 6.97 | 332 | 56000 | 52.5 | 113.7 | 0.223 | 153.33 |
| 20 | PINO | PZ1-20 | 2.601 | 2.659 | 6.92 | 356 | 53000 | 59.4 | 121.4 | 0.267 | 174.42 |
| 21 | PINO | PZ1-21 | 2.634 | 2.634 | 6.94 | 251 | 62000 | 31.2 | 85.1 | 0.122 | 92.19 |
| 22 | PINO | PZ1-22 | 2.675 | 2.642 | 7.07 | 124.3 | 48500 | 17.9 | 43 | 0.0872 | 51.77 |
| 23 | PINO | PZ1-23 | 2.64 | 2.61 | 6.89 | 312 | 59900 | 45.8 | 104 | 0.1897 | 137.52 |
| 24 | PINO | PZ1-24 | 2.562 | 2.673 | 6.59 | 417 | 58800 | 72.8 | 130.9 | 0.331 | 231.77 |
| 25 | PINO | PZ1-25 | 2.575 | 2.521 | 6.49 | 394 | 48800 | 85.3 | 119.3 | 0.495 | 281.46 |
| 26 | PINO | PZ1-26 | 2.546 | 2.533 | 6.45 | 436 | 70800 | 78 | 131.8 | 0.311 | 257.85 |
| 27 | PINO | PZ1-27 | 2.552 | 2.562 | 6.54 | 373 | 47200 | 59.4 | 115.7 | 0.342 | 191.49 |
| 28 | PINO | PZ1-28 | 2.534 | 2.522 | 6.39 | 302 | 62500 | 48.3 | 90.1 | 0.222 | 161.82 |
| 29 | PINO | PZ1-29 | 2.487 | 2.57 | 6.39 | 367 | 65000 | 58.4 | 111.7 | 0.249 | 191.98 |
| 30 | PINO | PZ1-30 | 2.558 | 2.534 | 6.48 | 342 | 61900 | 73.2 | 103.9 | 0.332 | 240.65 |
| 31 | PINO | PZ1-31 | 2.576 | 2.571 | 6.62 | 192.9 | 54600 | 24.8 | 60.8 | 0.121 | 76.65 |
| 32 | PINO | PZ1-32 | 2.553 | 2.565 | 6.55 | 237 | 51600 | 70.7 | 73.9 | 0.371 | 227.29 |
| 33 | PINO | PZ1-33 | 2.525 | 2.566 | 6.53 | 271 | 65600 | 54 | 84.8 | 0.22 | 172.69 |
| 34 | PINO | PZ1-34 | 2.599 | 2.587 | 6.72 | 461 | 63100 | 102.8 | 148.5 | 0.422 | 319.14 |
| 35 | PINO | PZ1-35 | 2.529 | 2.559 | 6.47 | 234 | 58500 | 59.7 | 71.8 | 0.281 | 194.66 |
| 36 | PINO | PZ1-36 | 2.59 | 2.567 | 6.65 | 397 | 68200 | 60.6 | 125.5 | 0.237 | 191.74 |
| 37 | PINO | PZ1-37 | 2.565 | 2.552 | 6.55 | 466 | 78400 | 90.7 | 144.3 | 0.317 | 293.19 |
| 38 | PINO | PZ1-38 | 2.568 | 2.583 | 6.63 | 363 | 52900 | 49.7 | 115.1 | 0.248 | 156.64 |
| 39 | PINO | PZ1-39 | 2.552 | 2.541 | 6.48 | 456 | 61300 | 80.3 | 139.2 | 0.365 | 263.16 |
| 40 | PINO | PZ1-40 | 2.581 | 2.563 | 6.62 | 365 | 56700 | 62.7 | 114.7 | 0.296 | 199.70 |
| 41 | PINO | PZ1-41 | 2.553 | 2.544 | 6.49 | 426 | 58500 | 82.4 | 130.4 | 0.391 | 269.30 |
| 42 | PINO | PZ1-42 | 2.569 | 2.536 | 6.51 | 344 | 57900 | 73.5 | 105.3 | 0.353 | 240.23 |
| 43 | PINO | PZ1-43 | 2.56 | 2.541 | 6.5 | 257 | 59500 | 69.7 | 78.6 | 0.326 | 227.71 |
| 44 | PINO | PZ1-44 | 2.653 | 2.663 | 7.06 | 205 | 51800 | 42.4 | 71.6 | 0.1906 | 121.70 |
| 45 | PINO | PZ1-45 | 2.626 | 2.621 | 6.88 | 281 | 57500 | 78.7 | 93.9 | 0.338 | 235.58 |
| 46 | PINO | PZ1-46 | 2.591 | 2.536 | 6.57 | 403 | 58500 | 61.9 | 124.3 | 0.303 | 200.59 |
| 47 | PINO | PZ1-47 | 2.641 | 2.641 | 6.97 | 374 | 49600 | 76.2 | 127.6 | 0.368 | 223.38 |
| 48 | PINO | PZ1-48 | 2.555 | 2.531 | 6.47 | 311 | 57700 | 59.4 | 94.4 | 0.29 | 195.98 |
| 49 | PINO | PZ1-49 | 2.552 | 2.531 | 6.46 | 427 | 71900 | 85.2 | 129.3 | 0.334 | 281.43 |
| 50 | PINO | PZ1-50 | 2.565 | 2.538 | 6.51 | 492 | 65700 | 88.3 | 150.4 | 0.374 | 288.59 |

| N° | Sample | Sample No. | Ancho(cm) | Espesor(cm) | Area(cm2) | MOR(Kg/cm2) | MOE (kg/cm2) | CLP (Kg) | C MAX (Kg) | DLP (cm) | ELPF (kg/cm2) |
|----|--------|------------|-----------|-------------|-----------|-------------|--------------|----------|------------|----------|---------------|
| 1 | PINO | PZ2-3-1 | 2.56 | 2.57 | 6.58 | 533.00 | 59800 | 101.4 | 234 | 0.739 | 324.34 |
| 2 | PINO | PZ2-3-2 | 2.57 | 2.55 | 6.56 | 569.00 | 62700 | 85.6 | 243.9 | 0.64 | 275.95 |
| 3 | PINO | PZ2-3-3 | 2.58 | 2.56 | 6.62 | 418.00 | 67400 | 68 | 198.4 | 0.525 | 216.58 |
| 4 | PINO | PZ2-3-4 | 2.58 | 2.55 | 6.59 | 409.00 | 54500 | 62.6 | 194.6 | 0.56 | 201.03 |
| 5 | PINO | PZ2-3-5 | 2.65 | 2.64 | 6.99 | 386.00 | 68300 | 74.2 | 195.8 | 0.57 | 217.48 |
| 6 | PINO | PZ2-3-6 | 2.65 | 2.68 | 7.11 | 394.00 | 60000 | 84.7 | 202 | 0.595 | 239.77 |
| 7 | PINO | PZ2-3-7 | 2.58 | 2.58 | 6.67 | 316.00 | 67200 | 57.5 | 167.2 | 0.508 | 180.03 |
| 8 | PINO | PZ2-3-8 | 2.57 | 2.59 | 6.64 | 296.10 | 57000 | 41.3 | 160.9 | 0.3979 | 129.67 |
| 9 | PINO | PZ2-3-9 | 2.58 | 2.58 | 6.67 | 420.00 | 76000 | 98.7 | 200.5 | 0.669 | 309.51 |
| 10 | PINO | PZ2-3-10 | 2.57 | 2.56 | 6.59 | 432.00 | 75200 | 100.6 | 202.1 | 0.694 | 321.78 |
| 11 | PINO | PZ2-3-11 | 2.59 | 2.57 | 6.66 | 507.00 | 77300 | 90.9 | 227.5 | 0.627 | 286.38 |
| 12 | PINO | PZ2-3-12 | 2.57 | 2.59 | 6.66 | 421.00 | 83200 | 80 | 201.2 | 0.593 | 250.10 |
| 13 | PINO | PZ2-3-13 | 2.64 | 2.64 | 6.97 | 509.00 | 65500 | 103 | 238.1 | 0.658 | 301.77 |
| 14 | PINO | PZ2-3-14 | 2.68 | 2.66 | 7.11 | 451.00 | 66900 | 85.9 | 220.9 | 0.569 | 245.72 |
| 15 | PINO | PZ2-3-15 | 2.63 | 2.67 | 7.03 | 346.00 | 63300 | 66.1 | 183.8 | 0.501 | 190.23 |
| 16 | PINO | PZ2-3-16 | 2.64 | 2.64 | 6.97 | 403.00 | 67100 | 73.1 | 201.3 | 0.524 | 214.94 |
| 17 | PINO | PZ2-3-17 | 2.66 | 2.64 | 7.02 | 397.00 | 63600 | 85.3 | 200.1 | 0.546 | 249.12 |
| 18 | PINO | PZ2-3-18 | 2.65 | 2.64 | 6.98 | 461.00 | 69500 | 92 | 221.2 | 0.591 | 270.11 |
| 19 | PINO | PZ2-3-19 | 2.63 | 2.65 | 6.97 | 437.00 | 76000 | 72.5 | 213.7 | 0.523 | 211.74 |
| 20 | PINO | PZ2-3-20 | 2.60 | 2.66 | 6.92 | 461.00 | 63000 | 79.4 | 221.4 | 0.567 | 233.15 |
| 21 | PINO | PZ2-3-21 | 2.63 | 2.63 | 6.94 | 356.00 | 72000 | 51.2 | 185.1 | 0.422 | 151.29 |
| 22 | PINO | PZ2-3-22 | 2.68 | 2.64 | 7.07 | 229.30 | 78500 | 37.9 | 143 | 0.3872 | 109.61 |
| 23 | PINO | PZ2-3-23 | 2.64 | 2.61 | 6.89 | 417.00 | 69900 | 65.8 | 204 | 0.4897 | 197.58 |
| 24 | PINO | PZ2-3-24 | 2.56 | 2.57 | 6.59 | 522.00 | 58800 | 92.8 | 230.9 | 0.631 | 295.45 |
| 25 | PINO | PZ2-3-25 | 2.58 | 2.52 | 6.49 | 499.00 | 68800 | 105.3 | 219.3 | 0.795 | 347.46 |
| 26 | PINO | PZ2-3-26 | 2.55 | 2.53 | 6.45 | 541.00 | 80800 | 98 | 231.8 | 0.611 | 323.96 |
| 27 | PINO | PZ2-3-27 | 2.55 | 2.56 | 6.54 | 478.00 | 67200 | 79.4 | 215.7 | 0.642 | 255.96 |
| 28 | PINO | PZ2-3-28 | 2.53 | 2.52 | 6.39 | 407.00 | 82500 | 68.3 | 190.1 | 0.522 | 228.83 |
| 29 | PINO | PZ2-3-29 | 2.49 | 2.57 | 6.39 | 472.00 | 75000 | 78.4 | 211.7 | 0.549 | 257.73 |
| 30 | PINO | PZ2-3-30 | 2.56 | 2.53 | 6.48 | 447.00 | 71900 | 93.2 | 203.9 | 0.632 | 306.41 |
| 31 | PINO | PZ2-3-31 | 2.58 | 2.57 | 6.62 | 297.90 | 64600 | 44.8 | 160.8 | 0.421 | 142.08 |
| 32 | PINO | PZ2-3-32 | 2.55 | 2.57 | 6.55 | 342.00 | 71600 | 90.7 | 173.9 | 0.671 | 291.59 |
| 33 | PINO | PZ2-3-33 | 2.53 | 2.59 | 6.53 | 376.00 | 75800 | 74 | 184.8 | 0.52 | 236.65 |
| 34 | PINO | PZ2-3-34 | 2.60 | 2.59 | 6.72 | 566.00 | 73100 | 122.8 | 248.5 | 0.722 | 381.24 |
| 35 | PINO | PZ2-3-35 | 2.53 | 2.56 | 6.47 | 339.00 | 58500 | 79.7 | 171.8 | 0.581 | 259.87 |
| 36 | PINO | PZ2-3-36 | 2.59 | 2.57 | 6.65 | 502.00 | 68200 | 80.6 | 225.5 | 0.537 | 255.02 |
| 37 | PINO | PZ2-3-37 | 2.57 | 2.55 | 6.55 | 571.00 | 78400 | 110.7 | 244.3 | 0.617 | 357.84 |
| 38 | PINO | PZ2-3-38 | 2.57 | 2.58 | 6.63 | 468.00 | 52900 | 69.7 | 215.1 | 0.548 | 219.68 |
| 39 | PINO | PZ2-3-39 | 2.55 | 2.54 | 6.48 | 561.00 | 61300 | 100.3 | 239.2 | 0.665 | 328.70 |
| 40 | PINO | PZ2-3-40 | 2.58 | 2.56 | 6.62 | 470.00 | 56700 | 82.7 | 214.7 | 0.596 | 263.40 |
| 41 | PINO | PZ2-3-41 | 2.55 | 2.54 | 6.49 | 531.00 | 58500 | 102.4 | 230.4 | 0.691 | 334.66 |
| 42 | PINO | PZ2-3-42 | 2.57 | 2.54 | 6.51 | 449.00 | 57900 | 93.5 | 205.3 | 0.653 | 305.59 |
| 43 | PINO | PZ2-3-43 | 2.56 | 2.54 | 6.5 | 362.00 | 59500 | 89.7 | 178.6 | 0.626 | 293.05 |
| 44 | PINO | PZ2-3-44 | 2.65 | 2.66 | 7.06 | 310.00 | 51800 | 62.4 | 171.6 | 0.4906 | 179.10 |
| 45 | PINO | PZ2-3-45 | 2.63 | 2.62 | 6.88 | 386.00 | 57500 | 98.7 | 193.9 | 0.638 | 295.45 |
| 46 | PINO | PZ2-3-46 | 2.59 | 2.54 | 6.57 | 508.00 | 56500 | 81.9 | 224.3 | 0.603 | 265.41 |
| 47 | PINO | PZ2-3-47 | 2.64 | 2.64 | 6.97 | 479.00 | 49600 | 96.2 | 227.6 | 0.668 | 282.01 |
| 48 | PINO | PZ2-3-48 | 2.56 | 2.53 | 6.47 | 416.00 | 57700 | 79.4 | 194.4 | 0.59 | 261.96 |
| 49 | PINO | PZ2-3-49 | 2.55 | 2.53 | 6.46 | 532.00 | 71900 | 105.2 | 229.3 | 0.634 | 347.49 |
| 50 | PINO | PZ2-3-50 | 2.57 | 2.54 | 6.51 | 597.00 | 65700 | 108.3 | 250.4 | 0.674 | 353.96 |

ENSAYO: COMPRESION PARALELA FECHA: 18/08/18 N° DE PROBETAS: 40

| N° | Sample | Sample No. | Ancho(cm) | Espesor(cm) | Area(cm2) | CLP (Kg) | C MAX (Kg) | DLP (cm) | RMAX(Kg/cm2) |
|----|--------|------------|-----------|-------------|-----------|----------|------------|----------|--------------|
| 1 | PINO | PZ1-1 | 5 | 5 | 25 | 5310 | 5650 | 0.1484 | 226 |
| 2 | PINO | PZ1-2 | 5 | 5 | 25 | 3660 | 5610 | 0.0719 | 224.4 |
| 3 | PINO | PZ1-3 | 5 | 5 | 25 | 3900 | 5670 | 0.0774 | 226.8 |
| 4 | PINO | PZ1-4 | 5 | 5 | 25 | 1992 | 5830 | 0.0338 | 233.2 |
| 5 | PINO | PZ1-5 | 5 | 5 | 25 | 1598 | 5310 | 0.0286 | 212.4 |
| 6 | PINO | PZ1-6 | 5 | 5 | 25 | 4220 | 5950 | 0.1028 | 238 |
| 7 | PINO | PZ1-7 | 5 | 5 | 25 | 3980 | 5920 | 0.0911 | 236.8 |
| 8 | PINO | PZ1-8 | 5 | 5 | 25 | 3730 | 6020 | 0.0887 | 240.8 |
| 9 | PINO | PZ1-9 | 5 | 5 | 25 | 4640 | 7020 | 0.0989 | 280.8 |
| 10 | PINO | PZ1-10 | 5 | 5 | 25 | 4160 | 5700 | 0.0892 | 228 |
| 11 | PINO | PZ1-11 | 5 | 5 | 25 | 6330 | 6800 | 0.1638 | 272 |
| 12 | PINO | PZ1-12 | 5 | 5 | 25 | 5540 | 6360 | 0.1242 | 254.4 |
| 13 | PINO | PZ1-13 | 5 | 5 | 25 | 4570 | 6510 | 0.1152 | 260.4 |
| 14 | PINO | PZ1-14 | 5 | 5 | 25 | 1921 | 6630 | 0.039 | 265.2 |
| 15 | PINO | PZ1-15 | 5 | 5 | 25 | 1542 | 5890 | 0.031 | 235.6 |
| 16 | PINO | PZ1-16 | 5 | 5 | 25 | 856 | 5630 | 0.01435 | 225.2 |
| 17 | PINO | PZ1-17 | 5 | 5 | 25 | 1459 | 6040 | 0.0252 | 241.6 |
| 18 | PINO | PZ1-18 | 5 | 5 | 25 | 3660 | 5650 | 0.0758 | 226 |
| 19 | PINO | PZ1-19 | 5 | 5 | 25 | 1537 | 6040 | 0.0268 | 241.6 |
| 20 | PINO | PZ1-20 | 5 | 5 | 25 | 2080 | 6660 | 0.0349 | 266.4 |

| N° | Sample | Sample No. | Ancho(cm) | Espesor (cm) | Area(cm2) | CLP (Kg) | C MAX (Kg) | DLP (cm) | RMAX(Kg/cm2) |
|----|--------|------------|-----------|--------------|-----------|----------|------------|----------|--------------|
| 1 | PINO | PZ2-3-1 | 5 | 5 | 25 | 4330 | 5840 | 0.1145 | 233.6 |
| 2 | PINO | PZ2-3-2 | 5 | 5 | 25 | 997 | 5210 | 0.01631 | 208.4 |
| 3 | PINO | PZ2-3-3 | 5 | 5 | 25 | 5950 | 7920 | 0.0912 | 316.8 |
| 4 | PINO | PZ2-3-4 | 5 | 5 | 25 | 5390 | 5760 | 0.1144 | 230.4 |
| 5 | PINO | PZ2-3-5 | 5 | 5 | 25 | 1125 | 5640 | 0.01714 | 225.6 |
| 6 | PINO | PZ2-3-6 | 5 | 5 | 25 | 4990 | 5670 | 0.1189 | 226.8 |
| 7 | PINO | PZ2-3-7 | 5 | 5 | 25 | 6310 | 6320 | 0.334 | 252.8 |
| 8 | PINO | PZ2-3-8 | 5 | 5 | 25 | 5700 | 7560 | 0.1017 | 302.4 |
| 9 | PINO | PZ2-3-9 | 5 | 5 | 25 | 4200 | 6390 | 0.1011 | 255.6 |
| 10 | PINO | PZ2-3-10 | 5 | 5 | 25 | 3680 | 6500 | 0.0762 | 260 |
| 11 | PINO | PZ2-3-11 | 5 | 5 | 25 | 1371 | 4710 | 0.01855 | 188.4 |
| 12 | PINO | PZ2-3-12 | 5 | 5 | 25 | 4910 | 5410 | 0.1253 | 216.4 |
| 13 | PINO | PZ2-3-13 | 5 | 5 | 25 | 3830 | 5290 | 0.0863 | 211.6 |
| 14 | PINO | PZ2-3-14 | 5 | 5 | 25 | 5930 | 6110 | 0.1573 | 244.4 |
| 15 | PINO | PZ2-3-15 | 5 | 5 | 25 | 2920 | 5280 | 0.0588 | 211.2 |
| 16 | PINO | PZ2-3-16 | 5 | 5 | 25 | 1650 | 6150 | 0.0223 | 246 |
| 17 | PINO | PZ2-3-17 | 5 | 5 | 25 | 1626 | 4140 | 0.0281 | 165.6 |
| 18 | PINO | PZ2-3-18 | 5 | 5 | 25 | 4370 | 5790 | 0.0672 | 231.6 |
| 19 | PINO | PZ2-3-19 | 5 | 5 | 25 | 4230 | 6540 | 0.0766 | 261.6 |
| 20 | PINO | PZ2-3-20 | 5 | 5 | 25 | 4340 | 6450 | 0.0941 | 258 |

ENSAYO: COMPRESION PERPENDICULAR FECHA: 19/08/18 N° DE PROBETAS: 40

| N° | Sample | Sample No. | Ancho(cm) | Espesor(cm) | Area(cm2) | CLP (Kg) | C MAX (Kg) | DLP (cm) | ELP (Kg/cm2) |
|----|--------|------------|-----------|-------------|-----------|----------|------------|----------|--------------|
| 1 | PINO | PZ1-1 | 5.06 | 5.181 | 26.2 | 1077 | 1648 | 0.0498 | 7.27 |
| 2 | PINO | PZ1-2 | 5.06 | 5.024 | 25.4 | 685 | 1817 | 0.01256 | 5.07 |
| 3 | PINO | PZ1-3 | 5.06 | 5.201 | 26.3 | 474 | 1698 | 0.01156 | 3.16 |
| 4 | PINO | PZ1-4 | 5.06 | 5.039 | 25.5 | 229 | 842 | 0.00878 | 1.68 |
| 5 | PINO | PZ1-5 | 5.06 | 4.988 | 25.2 | 430 | 1540 | 0.00916 | 3.26 |
| 6 | PINO | PZ1-6 | 5.06 | 4.993 | 25.3 | 557 | 1411 | 0.01386 | 4.18 |
| 7 | PINO | PZ1-7 | 5.06 | 5.11 | 25.9 | 250 | 919 | 0.00876 | 1.75 |
| 8 | PINO | PZ1-8 | 5.06 | 5.005 | 25.3 | 549 | 1426 | 0.01349 | 4.11 |
| 9 | PINO | PZ1-9 | 5.06 | 5.041 | 25.5 | 193 | 666 | 0.00993 | 1.41 |
| 10 | PINO | PZ1-10 | 5.06 | 4.99 | 25.2 | 437 | 1319 | 0.01043 | 3.31 |
| 11 | PINO | PZ1-11 | 5.06 | 5.057 | 25.6 | 298 | 1143 | 0.00772 | 2.16 |
| 12 | PINO | PZ1-12 | 5.06 | 5.025 | 25.4 | 411 | 1580 | 0.00929 | 3.04 |
| 13 | PINO | PZ1-13 | 5.06 | 5.018 | 25.4 | 309 | 1123 | 0.0098 | 2.29 |
| 14 | PINO | PZ1-14 | 5.06 | 5.021 | 25.4 | 739 | 1960 | 0.01321 | 5.48 |
| 15 | PINO | PZ1-15 | 5.06 | 5.028 | 25.4 | 403 | 1378 | 0.01252 | 2.98 |
| 16 | PINO | PZ1-16 | 5.06 | 4.999 | 25.3 | 402 | 1614 | 0.00899 | 3.02 |
| 17 | PINO | PZ1-17 | 5.06 | 5.013 | 25.4 | 157.7 | 726 | 0.00865 | 1.17 |
| 18 | PINO | PZ1-18 | 5.06 | 5.01 | 25.4 | 345 | 1205 | 0.00967 | 2.56 |
| 19 | PINO | PZ1-19 | 5.06 | 5.036 | 25.5 | 95.6 | 734 | 0.00442 | 0.70 |
| 20 | PINO | PZ1-20 | 5.06 | 5.005 | 25.3 | 123.3 | 708 | 0.00764 | 0.92 |

| N° | Sample | Sample No. | Ancho(cm) | Espesor(cm) | Area(cm2) | CLP (Kg) | C MAX (Kg) | DLP (cm) | ELP (Kg/cm2) |
|----|--------|------------|-----------|-------------|-----------|----------|------------|----------|--------------|
| 1 | PINO | PZ2-3-1 | 2.56 | 5 | 25.3 | 413 | 1202 | 0.01374 | 3.10 |
| 2 | PINO | PZ2-3-2 | 2.57 | 5.029 | 25.4 | 117.4 | 781 | 0.00662 | 0.87 |
| 3 | PINO | PZ2-3-3 | 2.58 | 4.989 | 25.2 | 306 | 1502 | 0.00725 | 2.32 |
| 4 | PINO | PZ2-3-4 | 2.58 | 5.055 | 25.6 | 211 | 1218 | 0.00713 | 1.53 |
| 5 | PINO | PZ2-3-5 | 2.65 | 5.044 | 25.5 | 551 | 1572 | 0.01718 | 4.03 |
| 6 | PINO | PZ2-3-6 | 2.65 | 5.027 | 25.4 | 116.2 | 571 | 0.007 | 0.86 |
| 7 | PINO | PZ2-3-7 | 2.58 | 5.036 | 25.5 | 137.8 | 1264 | 0.00579 | 1.01 |
| 8 | PINO | PZ2-3-8 | 2.57 | 4.986 | 25.2 | 162.2 | 1225 | 0.00458 | 1.23 |
| 9 | PINO | PZ2-3-9 | 2.58 | 5.062 | 25.6 | 265 | 977 | 0.00916 | 1.92 |
| 10 | PINO | PZ2-3-10 | 2.57 | 4.97 | 25.1 | 246 | 1058 | 0.00878 | 1.89 |
| 11 | PINO | PZ2-3-11 | 2.59 | 4.972 | 25.2 | 224 | 922 | 0.00764 | 1.70 |
| 12 | PINO | PZ2-3-12 | 2.57 | 5.008 | 25.3 | 309 | 1383 | 0.00914 | 2.31 |
| 13 | PINO | PZ2-3-13 | 2.64 | 5.011 | 25.4 | 231 | 930 | 0.00852 | 1.71 |
| 14 | PINO | PZ2-3-14 | 2.68 | 5.036 | 25.5 | 229 | 1043 | 0.00751 | 1.68 |
| 15 | PINO | PZ2-3-15 | 2.63 | 5.015 | 25.4 | 219 | 801 | 0.00929 | 1.62 |
| 16 | PINO | PZ2-3-16 | 2.64 | 5.008 | 25.3 | 526 | 1515 | 0.01336 | 3.94 |
| 17 | PINO | PZ2-3-17 | 2.66 | 5.033 | 25.5 | 212 | 763 | 0.01171 | 1.55 |
| 18 | PINO | PZ2-3-18 | 2.65 | 5.038 | 25.5 | 252 | 1311 | 0.00738 | 1.85 |
| 19 | PINO | PZ2-3-19 | 2.63 | 5.004 | 25.3 | 228 | 1217 | 0.00611 | 1.71 |
| 20 | PINO | PZ2-3-20 | 2.60 | 5.18 | 26.2 | 320 | 1162 | 0.00777 | 2.16 |

| ENSAYO: CIZALLAMIENTO | | | FECHA: 19/08/18 | | | N° DE PROBETAS: 40 | |
|-----------------------|-----------|------------|-----------------|------------|----------|--------------------|-----------------|
| N° | Sample ID | Sample No. | Ancho cm | Espesor cm | Area cm² | CMAX kg | R. MAX (Kg/cm2) |
| 1 | PINO | PZ1-1 | 5.038 | 5.073 | 25.6 | 1057 | 41.3 |
| 2 | PINO | PZ1-2 | 4.845 | 5.013 | 24.3 | 1380 | 56.8 |
| 3 | PINO | PZ1-3 | 4.992 | 5.063 | 25.3 | 1560 | 61.7 |
| 4 | PINO | PZ1-4 | 4.892 | 5.063 | 24.8 | 1087 | 43.8 |
| 5 | PINO | PZ1-5 | 4.963 | 4.996 | 24.8 | 1159 | 46.7 |
| 6 | PINO | PZ1-6 | 4.946 | 5.024 | 24.8 | 1085 | 43.8 |
| 7 | PINO | PZ1-7 | 4.935 | 4.987 | 24.6 | 1596 | 64.9 |
| 8 | PINO | PZ1-8 | 5.061 | 5.048 | 25.5 | 1189 | 46.6 |
| 9 | PINO | PZ1-9 | 4.997 | 4.998 | 25 | 1100 | 44.0 |
| 10 | PINO | PZ1-10 | 5.082 | 5.047 | 25.6 | 1200 | 46.9 |
| 11 | PINO | PZ1-11 | 4.856 | 5.057 | 24.6 | 1250 | 50.8 |
| 12 | PINO | PZ1-12 | 5.103 | 5.065 | 25.8 | 1240 | 48.1 |
| 13 | PINO | PZ1-13 | 4.972 | 5.116 | 25.4 | 1713 | 67.4 |
| 14 | PINO | PZ1-14 | 4.959 | 5.109 | 25.3 | 1520 | 60.1 |
| 15 | PINO | PZ1-15 | 4.945 | 5.017 | 24.8 | 1230 | 49.6 |
| 16 | PINO | PZ1-16 | 4.936 | 5.03 | 24.8 | 1250 | 50.4 |
| 17 | PINO | PZ1-17 | 4.975 | 5.11 | 25.4 | 1455 | 57.3 |
| 18 | PINO | PZ1-18 | 4.862 | 5.08 | 24.7 | 1022 | 41.4 |
| 19 | PINO | PZ1-19 | 4.95 | 5.006 | 24.8 | 1032 | 41.6 |
| 20 | PINO | PZ1-20 | 5.005 | 4.945 | 24.7 | 1045 | 42.3 |

| N° | Sample ID | Sample No. | Ancho cm | Espesor cm | Area cm² | CMAX kg | R. MAX |
|----|-----------|------------|----------|------------|----------|---------|--------|
| 1 | PINO | PZ2-3-1 | 5.035 | 5.03 | 25.3 | 1464 | 57.9 |
| 2 | PINO | PZ2-3-2 | 4.962 | 5.023 | 24.9 | 1199 | 48.2 |
| 3 | PINO | PZ2-3-3 | 5.008 | 5.04 | 25.2 | 1091 | 43.3 |
| 4 | PINO | PZ2-3-4 | 4.935 | 4.909 | 24.2 | 1360 | 56.2 |
| 5 | PINO | PZ2-3-5 | 4.998 | 5.159 | 25.8 | 1258 | 48.8 |
| 6 | PINO | PZ2-3-6 | 4.96 | 5.013 | 24.9 | 1114 | 44.7 |
| 7 | PINO | PZ2-3-7 | 4.982 | 5.049 | 25.2 | 1214 | 48.2 |
| 8 | PINO | PZ2-3-8 | 4.988 | 4.967 | 24.8 | 1476 | 59.5 |
| 9 | PINO | PZ2-3-9 | 5.035 | 5.046 | 25.4 | 2090 | 82.3 |
| 10 | PINO | PZ2-3-10 | 4.892 | 5.104 | 25 | 1466 | 58.6 |
| 11 | PINO | PZ2-3-11 | 5.019 | 4.911 | 24.6 | 2060 | 83.7 |
| 12 | PINO | PZ2-3-12 | 5.002 | 4.856 | 24.3 | 1626 | 66.9 |
| 13 | PINO | PZ2-3-13 | 4.918 | 4.907 | 24.1 | 1862 | 77.3 |
| 14 | PINO | PZ2-3-14 | 4.985 | 5.061 | 25.2 | 1257 | 49.9 |
| 15 | PINO | PZ2-3-15 | 5.064 | 5.038 | 25.5 | 1893 | 74.2 |
| 16 | PINO | PZ2-3-16 | 4.945 | 5.065 | 25 | 1476 | 59.0 |
| 17 | PINO | PZ2-3-17 | 4.99 | 5.082 | 25.4 | 1470 | 57.9 |
| 18 | PINO | PZ2-3-18 | 4.97 | 4.974 | 24.7 | 1919 | 77.7 |
| 19 | PINO | PZ2-3-19 | 5.064 | 5.072 | 25.7 | 1520 | 59.1 |
| 20 | PINO | PZ2-3-20 | 4.99 | 4.997 | 24.9 | 1352 | 54.3 |

| N° | ENSAYO: CLIVAJE | | FECHA: 19/08/18 | | | N° DE PROBETAS: 40 | |
|----|-----------------|------------|-----------------|--------------|-----------|--------------------|-----------------|
| | Sample | Sample No. | Ancho(cm) | Espesor (cm) | Area(cm2) | C MAX (Kg) | RES.MAX(Kg/cm2) |
| 1 | PINO | PZ1-1 | 5.084 | 7.582 | 38.5 | 119 | 23.41 |
| 2 | PINO | PZ1-2 | 5.082 | 7.457 | 37.9 | 155.2 | 30.54 |
| 3 | PINO | PZ1-3 | 5.046 | 7.56 | 38.1 | 89.7 | 17.78 |
| 4 | PINO | PZ1-4 | 5.128 | 7.37 | 37.8 | 120 | 23.40 |
| 5 | PINO | PZ1-5 | 5.128 | 7.37 | 37.8 | 116.6 | 22.74 |
| 6 | PINO | PZ1-6 | 5.017 | 7.63 | 38.3 | 136 | 27.11 |
| 7 | PINO | PZ1-7 | 5.062 | 7.615 | 38.5 | 112.2 | 22.17 |
| 8 | PINO | PZ1-8 | 4.978 | 7.294 | 36.3 | 47.3 | 9.50 |
| 9 | PINO | PZ1-9 | 5.047 | 7.376 | 37.2 | 113.5 | 22.49 |
| 10 | PINO | PZ1-10 | 5.079 | 7.469 | 37.9 | 33.6 | 6.62 |
| 11 | PINO | PZ1-11 | 5.006 | 7.408 | 37.1 | 116.7 | 23.31 |
| 12 | PINO | PZ1-12 | 5.085 | 7.478 | 38 | 61.4 | 12.07 |
| 13 | PINO | PZ1-13 | 5.035 | 7.47 | 37.6 | 77.9 | 15.47 |
| 14 | PINO | PZ1-14 | 5.007 | 7.386 | 37 | 56.9 | 11.36 |
| 15 | PINO | PZ1-15 | 5.042 | 7.291 | 36.8 | 35.5 | 7.04 |
| 16 | PINO | PZ1-16 | 5.058 | 7.686 | 38.9 | 77.7 | 15.36 |
| 17 | PINO | PZ1-17 | 5.037 | 7.522 | 37.9 | 39.9 | 7.92 |
| 18 | PINO | PZ1-18 | 5.118 | 7.413 | 37.9 | 21.3 | 4.16 |
| 19 | PINO | PZ1-19 | 5.012 | 7.514 | 37.7 | 62.1 | 12.39 |
| 20 | PINO | PZ1-20 | 5.065 | 7.731 | 39.2 | 97.2 | 19.19 |

| N° | Sample | Sample No. | Ancho(cm) | Espesor (cm) | Area(cm2) | C MAX (Kg) | RES.MAX(Kg/cm2) |
|----|--------|------------|-----------|--------------|-----------|------------|-----------------|
| 1 | PINO | PZ2-3-1 | 5.035 | 7.554 | 38 | 128.8 | 25.58 |
| 2 | PINO | PZ2-3-2 | 5.029 | 7.421 | 37.3 | 137.4 | 27.32 |
| 3 | PINO | PZ2-3-3 | 5.037 | 7.522 | 37.9 | 66.3 | 13.16 |
| 4 | PINO | PZ2-3-4 | 5.029 | 7.421 | 37.3 | 72.5 | 14.42 |
| 5 | PINO | PZ2-3-5 | 5.18 | 7.413 | 38.4 | 82.3 | 15.89 |
| 6 | PINO | PZ2-3-6 | 5.084 | 7.69 | 39.1 | 142 | 27.93 |
| 7 | PINO | PZ2-3-7 | 5.037 | 7.522 | 37.9 | 67.8 | 13.46 |
| 8 | PINO | PZ2-3-8 | 5.007 | 7.387 | 37 | 120.7 | 24.11 |
| 9 | PINO | PZ2-3-9 | 5.041 | 7.291 | 36.8 | 69.6 | 13.81 |
| 10 | PINO | PZ2-3-10 | 5.034 | 7.47 | 37.6 | 107.7 | 21.39 |
| 11 | PINO | PZ2-3-11 | 5.077 | 7.564 | 38.4 | 44.4 | 8.75 |
| 12 | PINO | PZ2-3-12 | 5.055 | 7.509 | 38 | 133.6 | 26.43 |
| 13 | PINO | PZ2-3-13 | 5.006 | 7.408 | 37.1 | 36.4 | 7.27 |
| 14 | PINO | PZ2-3-14 | 4.938 | 7.726 | 38.2 | 118 | 23.90 |
| 15 | PINO | PZ2-3-15 | 5.095 | 7.485 | 38.1 | 122.9 | 24.12 |
| 16 | PINO | PZ2-3-16 | 5.065 | 7.731 | 39.2 | 123.9 | 24.46 |
| 17 | PINO | PZ2-3-17 | 5.035 | 7.534 | 37.9 | 124.5 | 24.73 |
| 18 | PINO | PZ2-3-18 | 5.118 | 7.413 | 37.9 | 58.7 | 11.47 |
| 19 | PINO | PZ2-3-19 | 5.006 | 7.408 | 37.1 | 144.1 | 28.79 |
| 20 | PINO | PZ2-3-20 | 5.078 | 7.469 | 37.9 | 205 | 40.37 |

Bibliografía

- Sibille (2006) Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas. Lima – Perú. PNUD / FAO /PER/81/002. 57p.
- VISCARRA, S. (1998). Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de cuatro especies de madera del Petén. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 99 pp.
- Vignote y Martínez (2006) Clasificación de la madera por su resistencia a la tracción perpendicular a la fibra en Kg/cm², Ciencia de los materiales. Universidad Nacional de Colombia. Escuela de Física. Consultado 10 oct. 2010
- Dávalos y Bárcenas (1999) Tecnología de la Madera y sus aplicaciones Tomo I – Traducción de la 2da Edición. Ministerio de Agricultura – Instituto Forestal de Investigaciones. Experiencias y Servicios de la Madera. Madrid. - 647 p.

10.8. Panel Fotográfico



Figura 17. Medición de parcelas de muestreo



Figura 18. Señalización de parcelas de muestreo



Figura 19. Medición de Circunferencia a la altura del pecho



Figura 20. Medición de alturas con hipsómetro de suunto

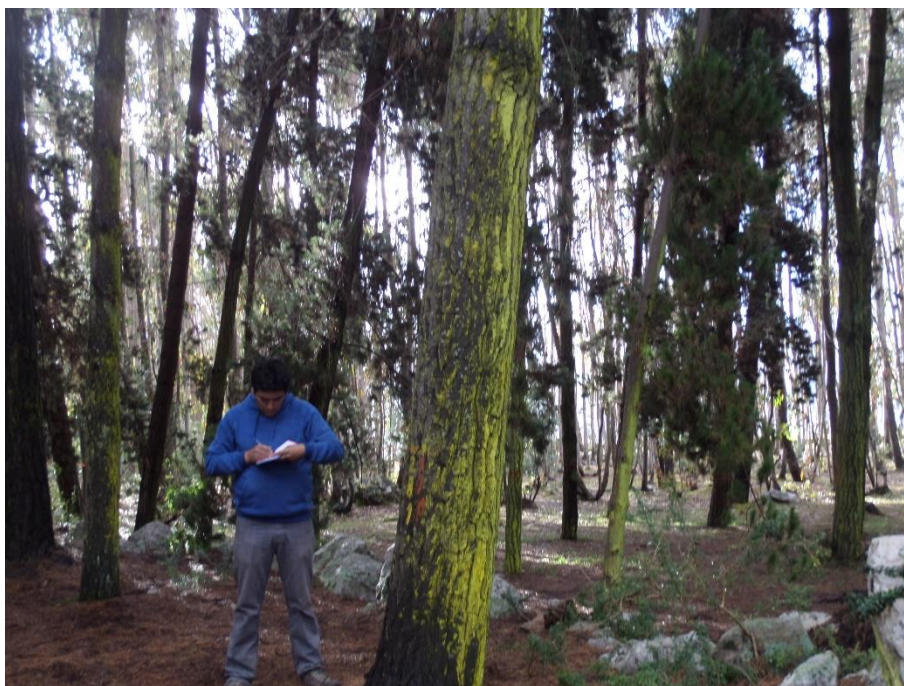


Figura 21. Toma de datos dasométricos



Figura 22. Selección de árboles para pruebas físico-mecánicas



Figura 23. Apertura de calicatas



Figura 24. Medición de profundidad efectiva de suelo



Figura 25. Codificación y acondicionamiento de muestras de suelo



Figura 26. Ingreso de muestras a laboratorio de suelos



Figura 27. Apeado de árboles



Figura 28. Trozado y selección de trozas



Figura 29. Aserrado de la madera



Figura 30. Probetas para ensayos físico-mecánicos de la madera