



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA INGENIERÍA FORESTAL**

**DETERMINACION DEL FACTOR DE FORMA DE *Pinus radiata* D.**  
**Don EN LA PARROQUIA SICALPA, CANTON COLTA,**  
**PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO FORESTAL**

**AUTOR:**

**JOSUE ISRAEL PILAMUNGA TOMAREMA**

Riobamba – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA INGENIERÍA FORESTAL**

**DETERMINACION DEL FACTOR DE FORMA DE *Pinus radiata* D.**  
**Don EN LA PARROQUIA SICALPA, CANTON COLTA,**  
**PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO FORESTAL**

**AUTOR:** JOSUE ISRAEL PILAMUNGA TOMAREMA

**DIRECTOR:** ING. EDUARDO PATRICIO SALAZAR CASTAÑEDA

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Josue Israel Pilamunga Tomarema

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Josue Israel Pilamunga Tomarema, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 28 de noviembre del 2023

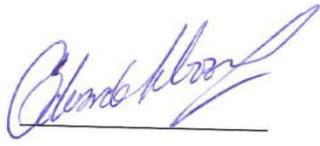
A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and lines. The name 'Josue Pilamunga Tomarema' is faintly visible within the signature.

**Josue Israel Pilamunga Tomarema**

**060377221-1**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA INGENIERIA FORESTAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de investigación, **DETERMINACION DEL FACTOR DE FORMA DE *Pinus radiata* D. Don EN LA PARROQUIA SICALPA, CANTON COLTA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**, realizado por el señor: **JOSUE ISRAEL PILAMUNGA TOMAREMA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Rosa Del Pilar Castro Gómez Ph.D <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-11-28
Ing. Eduardo Patricio Salazar Castañeda MSc <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-11-28
Ing. Miguel Ángel Guallpa Calva MSc <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-11-28

## **DEDICATORIA**

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mis padres Ricardo y María pues sin ellos no lo habría logrado, la bendición de ellos que me dan a diario a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el camino del bien, de igual manera agradezco a cada una de las personas que fueron participes en mi vida estudiantil y me apoyaron constantemente, por eso les doy este trabajo en ofrenda por su paciencia, amor y sacrificio.

Josue

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por haberme otorgado una familia maravillosa, quienes han creído en mí siempre dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio enseñándome a valorar todo lo que tengo, a todos ellos dedico el presente trabajo porque han fomentado en mí el deseo de superación y de triunfo en la vida, lo que ha contribuido a la consecución de este logro, espero contar siempre con su valioso e incondicional apoyo

Josue

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>3</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	3
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 <i>Objetivo General</i> .....	3
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	3
1.3 Justificación.....	4
1.4 Hipótesis .....	4
1.4.1 <i>Hipótesis nula</i> .....	4
1.4.2 <i>Hipótesis alternativa</i> .....	4
<b>CAPITULO II</b>	
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
2.1 Antecedentes de investigación .....	5
2.2 Referencias Teóricas.....	6
2.2.1 <i>Pinus radiata D. Don</i> .....	6
2.2.1.1 <i>Descripción botánica</i> .....	6
2.2.1.2 <i>Ecología y Distribución</i> .....	8
2.2.1.3 <i>Propiedades y usos de la madera de Pinus radiata</i> .....	9
2.2.1.4 <i>Plagas y enfermedades</i> .....	9

2.2.2	<b>Medición de árboles</b> .....	10
2.2.2.1	<i>Medición de diámetros, diámetro a la altura del pecho (DAP)</i> .....	10
2.2.2.2	<i>Medición de Alturas</i> .....	14
2.2.3	<b>Volumetría</b> .....	15
2.2.4	<b>Factor de forma en árboles</b> .....	17
2.2.4.1	<i>factor de forma y su importancia en la medición de árboles</i> .....	17
2.2.4.2	<i>Factores que afectan el factor de forma</i> .....	17
2.2.5	<b>Factor de forma por el método schiffel</b> .....	19
2.2.6	<b>Situación de la industria forestal en Ecuador</b> .....	20
2.2.7	<b>Importancia del factor de forma en la industria forestal</b> .....	22
2.2.7.1	<i>Cálculo del volumen comercial de la madera</i> .....	22
2.2.7.2	<i>Influencia del factor de forma en la rentabilidad de la industria forestal</i> .....	22
<b>CAPITULO III</b>		
3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	23
3.1	<b>Enfoque de investigación</b> .....	23
3.2	<b>Nivel de investigación</b> .....	23
3.3	<b>Diseño de investigación</b> .....	23
3.3.1	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i> .....	23
3.3.2	<i>Según la intervención en el trabajo de campo</i> .....	24
3.4	<b>Tipo de estudio</b> .....	24
3.5	<b>Caracterización del lugar de estudio</b> .....	24
3.5.1	<i>Localización</i> .....	24
3.5.2	<i>Clasificación ecológica</i> .....	24
3.5.3	<i>Ubicación geográfica de la zona de estudio</i> .....	25
3.5.4	<i>Características climáticas</i> .....	26
3.6	<b>Materiales y equipos</b> .....	26
3.6.1	<i>Materiales de campo</i> .....	26

3.6.2	<b>Equipos.....</b>	<b>26</b>
3.7	<b>Metodología.....</b>	<b>27</b>
3.7.1	<b>Determinación del factor de forma de acuerdo a las clases diamétricas.....</b>	<b>27</b>
3.7.1.1	<i>Selección de la muestra.....</i>	27
3.7.1.2	<i>Toma de datos en campo: Medición de altura y diámetro de los árboles.....</i>	28
3.7.1.3	<i>Establecimiento de las clases diamétricas.....</i>	28
3.7.1.4	<i>Cálculo de factor de forma por el método Schiffel.....</i>	29
3.7.1.5	<i>Análisis estadístico.....</i>	29
3.7.2	<b>Cálculo del volumen comercial de la plantación en estudio.....</b>	<b>30</b>
3.7.2.1	<i>Muestreo de árboles.....</i>	31
3.7.2.2	<i>Organización de los datos.....</i>	31
3.7.2.3	<i>Cálculo del volumen comercial por parcela de muestreo.....</i>	31
3.7.2.4	<i>Cálculo del volumen comercial de toda la plantación.....</i>	32
 <b>CAPITULO IV</b>		
4.	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>33</b>
4.1	<b>Determinación del factor de forma de acuerdo a las clases diamétricas.....</b>	<b>33</b>
4.1.1	<b>Clases diamétricas.....</b>	<b>33</b>
4.1.1.2	<i>Factor de forma por método Schiffel por clase diamétrica.....</i>	36
4.1.1.3	<i>Madera gruesa y madera delgada en función de la clase diamétricas.....</i>	37
4.1.1.4	<i>Forma del árbol en función del factor de forma.....</i>	38
4.1.2	<b>Análisis estadístico de las clases diamétricas.....</b>	<b>39</b>
4.1.2.1	<i>Prueba de normalidad.....</i>	39
4.1.2.2	<i>Análisis de varianza.....</i>	39
4.2	<b>Cálculo del volumen comercial de la plantación en estudio.....</b>	<b>41</b>
4.2.1	<b>Volumen de madera por parcelas de muestreo.....</b>	<b>42</b>
4.2.2	<b>Volumen por clases diamétricas.....</b>	<b>44</b>

4.2.3	<i>Volumen madera delgada y gruesa por clase diamétrica en las parcelas inventariadas.....</i>	<i>44</i>
4.2.4	<i>Volumen comercial de la plantación.....</i>	<i>45</i>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>48</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>49</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b> Clasificación taxonómica de <i>Pinus radiata</i> D. Don .....	6
<b>Tabla 3-1:</b> Ubicación geográfica de la zona de estudio .....	25
<b>Tabla 3-2:</b> Criterios para la generación de las clases diamétricas.....	29
<b>Tabla 4-1:</b> Cálculo de clases diamétricas por método de Sturges .....	33
<b>Tabla 4-2:</b> Clases diamétricas de <i>Pinus radiata</i> .....	34
<b>Tabla 4-3:</b> Factor de forma (Schiffel) en función de las clases diamétricas .....	36
<b>Tabla 4-4:</b> Factor de forma en función de la clase diamétrica y de la Tipo de madera: gruesa y delgada .....	37
<b>Tabla 4-5:</b> Porcentajes de árboles correspondientes a madera delgada y gruesa del total de la muestra.....	38
<b>Tabla 4-6:</b> Tipo de conoide aproximado según Factor de Forma y clase diamétrica.....	39
<b>Tabla 4-7:</b> Análisis de varianza del Factor de forma de <i>Pinus radiata</i> .....	40
<b>Tabla 4-8:</b> Test de tukey Alfa=0,05 DMS=0,15725 para las clases diamétricas .....	41
<b>Tabla 4-9:</b> Volumen de madera existente en la parcela de muestreo número 1 en sus diferentes clases diamétricas.....	42
<b>Tabla 4-10:</b> Volumen de madera existente en la parcela de muestreo número 2 en sus diferentes clases diamétricas.....	42
<b>Tabla 4-11:</b> Volumen de madera presente en la parcela de muestreo 3 en sus diferentes clases diamétricas .....	43
<b>Tabla 4-12:</b> Volumen de madera presente en la parcela de muestreo 4 en sus diferentes clases diamétricas .....	43
<b>Tabla 4-13:</b> Volumen comercial promedio por clases diamétricas de las 4 parcelas inventariadas .....	44
<b>Tabla 4-14:</b> Volumen de madera de las parcelas inventariadas por clases diamétricas y Tipo de madera: Delgada y gruesa .....	45
<b>Tabla 4-15:</b> Volumen y número de árboles de una hectárea.....	45
<b>Tabla 4-16:</b> Volumen y número de árboles en las 4 hectáreas.....	46
<b>Tabla 4-17:</b> Cálculo del volumen total de la plantacion de <i>Pinus radiata</i> .....	47

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b> Representación del DAP (diámetro a la altura del pecho).....	11
<b>Ilustración 2-2:</b> Medición del diámetro: a) en terreno llano; b) en terreno inclinado. ....	11
<b>Ilustración 2-3:</b> Medición del diámetro en árboles inclinados: a) en terreno llano; b) en terreno inclinado.....	12
<b>Ilustración 2-4:</b> Medición del diámetro en árboles bifurcados: a) debajo de 1.30 m; b) encima de 1.30 m. ....	12
<b>Ilustración 2-5:</b> Medición del diámetro en árboles con aletones, gamba y raíces tubulares ....	12
<b>Ilustración 2-6:</b> Medición del diámetro en árboles con deformaciones a 1.30 m.....	13
<b>Ilustración 2-1:</b> Representación de la altura comercial (HC) y altura total (HT) de un árbol ...	15
<b>Ilustración 2-1:</b> Sólidos geométricos o tipos dendrométricos que definen aproximadamente las formas de un árbol.....	16
<b>Ilustración 2-2:</b> Semejanza de las partes de un árbol con los sólidos geométricos .....	16
<b>Ilustración 3-1:</b> Mapa de ubicación del área de estudio .....	25
<b>Ilustración 4-1:</b> Histograma de frecuencias relativas de las clases diamétricas .....	35

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A.** IDENTIFICACIÓN, RECORRIDO Y SOBREVUELO DE LA ZONA DE ESTUDIO MEDIANTE UN DRON.
- ANEXO B.** ESTABLECIMIENTO DE LAS PARCELAS DE MUESTREO
- ANEXO C.** MEDICIÓN DE DÍAMETROS A LA ALTURA DEL PECHO (DAP) DE LOS ÁRBOLES EN CAMPO
- ANEXO D.** MEDICIÓN DE DIAMÉTROS A LA MITAD DE LOS ÁRBOLES
- ANEXO E.** MEDICIÓN DE LA ALTURA COMERCIAL Y TOTAL DE LOS ÁRBOLES
- ANEXO F.** FORMULARIO DE REGISTRO DE DATOS EN CAMPO
- ANEXO G.** BASE DE DATOS EN EXCEL DE LOS DATOS RECOLECTADOS EN CAMPO
- ANEXO H.** CÁLCULO DE FACTOR DE FORMA POR CLASE DIAMÉTRICA
- ANEXO I.** CÁLCULO DE FACTOR DE FORMA PROMEDIO GENERAL EN EXCEL
- ANEXO J.** ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS PARA CALCULO DEL VOLUMEN COMERCIAL
- ANEXO K.** DAPs ORGANIZADOS POR CLASES DIAMÉTRICAS
- ANEXO L.** ALTURAS DE LAS PARCELAS POR CLASE DIAMÉTRICA
- ANEXO M.** ORGANIZACIÓN Y CALCULO DE LOS PROMEDIOS DE DAP Y ALTURA COMERCIAL
- ANEXO N.** RESUMEN DE LAS VARIABLES DASOMÉTRICAS
- ANEXO O.** PRUEBA DE LEVENNE
- ANEXO P.** PRUEBA DE NORMALIDAD PARA FACTOR DE FORMA
- ANEXO Q.** ANÁLISIS URKUND

## RESUMEN

Actualmente no existe información oficial sobre los factores de forma de la especie *Pinus radiata* en la zona de estudio, la falta de información precisa sobre el factor de forma, constituye una limitación importante en la eficiencia de la planificación y manejo forestal, sobre todo en el cálculo de volúmenes de madera con mayor exactitud en las plantaciones de dicho lugar. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue determinar el factor de forma de *Pinus radiata* D. Don en la parroquia Sicalpa cantón Colta, provincia de Chimborazo. La metodología implementada tuvo un enfoque cuantitativo, se utilizó un diseño no experimental de tipo transversal debido a que no se manipularon las variables descritas y se desarrolló en un periodo determinado de tiempo; la población en estudio fue la plantación de *Pinus radiata* de 4 hectáreas, donde se midieron datos como el diámetro a la altura del pecho (DAP), diámetro a la mitad del árbol total y la altura, posteriormente, se aplicó la fórmula de Schiffel para hallar el factor de forma, se establecieron las clases diamétricas y se identificó el tipo de madera correspondiente, finalmente se calculó el volumen de madera de la plantación considerando el factor de forma hallado. Mediante esta metodología se logró determinar que en el sitio de estudio existe 7 clases diamétricas con un factor de forma promedio de 0,69. El análisis estadístico evidenció que existe diferencias significativas entre algunas clases diamétricas. Se identificó la presencia de madera delgada y madera gruesa y se determinó un volumen total de madera de 859.4 m<sup>3</sup>. En conclusión, la mayoría de los árboles en la plantación pertenecen a clases diamétricas inferiores a 20 cm, representando más del 70% del total, lo que sugiere que la plantación no fue gestionada adecuadamente durante su desarrollo.

**Palabras clave:** <PLANTACIÓN FORESTAL>, <FACTOR DE FORMA>, <FÓRMULA DE SCHIFFEL>, <CLASES DIAMÉTRICAS>, <MADERA DELGADA>, <MADERA GRUESA>, <SICALPA (PARROQUIA)>

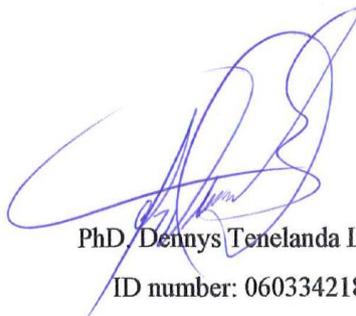


## ABSTRACT

There is currently no official information on the form factors of the species *Pinus radiata* in the study area. The lack of precise information on the form factor constitutes a significant limitation in forest planning and management efficiency, especially in calculating wood volumes with greater accuracy in the plantations of said place. Therefore, the objective of the present investigation was to determine the form factor of *Pinus radiata* D. Don in the Sicalpa parish, Colta canton, Chimborazo province. The methodology implemented had a quantitative approach. A non-experimental cross-sectional design was used because the described variables were not manipulated, and it was developed at a specific time. The study population was the 4-hectare *Pinus radiata* plantation, where data such as diameter at breast height (DBH), diameter at half of the total tree, and height were measured. Subsequently, Schiffel's formula was applied to find the shape factor, the diameter classes were established, and the corresponding type of wood was identified. Finally, the timber volume in the plantation was calculated considering the shape factor found. It was determined that there are 7 diameter classes at the study site with an average shape factor of 0.69. The statistical analysis showed that there are significant differences between some diameter classes. Thin and thick wood were identified, and a total wood volume of 859.4 m<sup>3</sup> was determined. In conclusion, most of the trees in the plantation belong to diameter classes of less than 20 cm, representing more than 70% of the total, which suggests that the plantation was not adequately managed during its development.

**Keywords:** <FOREST PLANTATION>, <FORM FACTOR>, <SCHIFFEL'S FORMULA>, <DIAMETRIC CLASSES>, <THIN WOOD>, <THICK WOOD>, <SICALPA (TOWN)>.

Riobamba, December 6<sup>th</sup>, 2023



PhD Dennys Tenelanda López  
ID number: 0603342189

## INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales de *Pinus radiata* D. Don son un recurso valioso para la industria forestal a nivel mundial. Es una especie de árbol originaria de Norteamérica y México (Barreto et al., 2006: pp. 43-48), pero que ha sido introducida en varias partes del mundo debido a su rápido crecimiento y a la calidad de su madera (Orwa et al., 2009: pp. 1-5).

El *P. radiata* es una especie que se adapta a una gran variedad de climas y suelos (Núñez, 2014, p. 22), lo que lo convierte en una opción atractiva para la industria forestal (Orozco y Martínez 2009: p.7; Sánchez, 2013, p.8). La superficie dedicada al cultivo de *P. radiata* en todo el mundo alcanza los 4 millones de ha, siendo el hemisferio sur con la mayor cantidad de hectáreas cultivadas, es así que estas plantaciones se extienden sobre 1.400.000 ha en Chile, 1.540.000 ha en Nueva Zelanda, 770.000 ha en Australia y 570.000 ha en Sudáfrica (Mead, 2013, p. 10).

En Ecuador la especie *P.radiata* se encuentra difundida en toda la serranía ecuatoriana, mayoritariamente en las provincias Cotopaxí, Chimborazo, Pichincha y Loja (Tapia, 2019. p. 5). Las especies de árbol conocidas como pino fueron introducidos por Luciano Andrade Marín en 1925, y desde entonces ha habido un aumento constante en su cultivo en el país, especialmente en la Sierra ecuatoriana, donde es la segunda especie forestal más común después del eucalipto (Guillén, 2013, p. 3).

Estas plantaciones forestales se establecen con el propósito de su uso industrial o comercial y son compuestas de especies forestales introducidas (Corporación de Promoción de Exportaciones e Inversiones, 2007, p. 23). Estas plantaciones son intervenidas directamente por el hombre con fines comerciales y están en condiciones de producir madera u otros productos. Es una práctica ampliamente utilizada en la industria forestal (Óscar et al., 2018: p. 11). Todo esto requiere de una gestión técnica adecuada, y un aspecto importante de esta gestión es el cálculo del factor de forma.

La determinación del factor de forma de los árboles es un aspecto importante en la silvicultura, ya que permite estimar de manera más precisa el volumen de madera que se puede obtener de una determinada especie forestal en una plantación forestal (Subedi et al., 2021: pp. 143-166), su cálculo se basa en la relación entre la altura y el diámetro del tronco (Aguilar et al., 2017: pp. 74-84). El factor de forma puede variar según la especie de árbol, la edad, la ubicación geográfica y otros factores. Por lo tanto, es importante determinar el factor de forma para cada especie en la zona donde se encuentra (Tenzin et al., 2017: pp. 359-366).

En ese sentido, conocer con precisión el factor de forma de los árboles de *P. radiata* en la zona de estudio, es de suma importancia, debido a que ayudará en la planificación de la gestión forestal sostenible en la región. Asimismo, se espera contribuir a la generación de información valiosa para la toma de decisiones en materia de manejo de recursos forestales.

## CAPÍTULO I

### 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Planteamiento del problema

La provincia de Chimborazo cuenta con una zona dedicada a la producción forestal de 15948,27 ha. Que corresponde el 2,45% de la superficie total. Las plantaciones forestales ocupan una superficie de 10983,97 ha con corte al año 2018 (PDOT, 2020, p. 132). La industria maderera es una de las principales actividades económicas en la provincia de Chimborazo, siendo el pino una de las especies más aprovechadas (Sanchez, 2015, pp. 41-54).

Actualmente no existe información oficial sobre los factores de forma de la especie en la zona de estudio, esta falta de información precisa sobre el factor de forma de *P. radiata* en la parroquia Sicalpa cantón Colta, provincia de Chimborazo, limita la eficiencia en la planificación y manejo forestal, sobre todo en el cálculo de volúmenes de madera con mayor exactitud en las plantaciones de dicho lugar. La falta de conocimiento sobre el factor de forma de *P. radiata* puede llevar a una mala planificación y manejo forestal, lo que puede resultar en la sobreexplotación y determinación de volúmenes de madera erróneos, afectando negativamente su valor en el mercado.

Por todo lo expuesto anteriormente se plantea la pregunta de la presente investigación: "¿Cuál es el factor de forma de *P. radiata* en la parroquia Sicalpa cantón Colta, provincia de Chimborazo?"

#### 1.2 Objetivos

##### 1.2.1 *Objetivo General*

Determinar el factor de forma de *Pinus radiata* D. Don en la parroquia Sicalpa cantón Colta, provincia de Chimborazo.

##### 1.2.2 *Objetivos Específicos*

- Determinar el factor de forma de acuerdo a las clases diamétricas.
- Calcular el volumen comercial de la plantación en estudio

### **1.3 Justificación**

La determinación del factor de forma de una especie forestal es un aspecto fundamental en la evaluación del volumen de madera que se puede obtener de un bosque o plantación forestal (Ojeda, 2013, p. 1). El factor de forma es una constante que relaciona la altura y el diámetro de un árbol (Espinoza et al., 2016: p. 20), y su valor puede variar según la especie, la edad y las condiciones ambientales del sitio.

En el caso de *Pinus radiata* es una de las más cultivadas en el Ecuador y se encuentra ampliamente distribuida en diferentes regiones del país (Guillén, 2013, p. 3). Sin embargo, a pesar de su importancia económica, existe una falta de información actualizada sobre el factor de forma de esta especie en diferentes sitios de crecimiento.

Por lo tanto, la determinación del factor de forma de *P. radiata* en la parroquia Sicalpa cantón Colta, provincia de Chimborazo, es un tema de gran relevancia para la gestión forestal y la planificación del aprovechamiento de los recursos forestales en esta región.

Además, esta investigación puede tener implicaciones importantes para el manejo y la sostenibilidad de las plantaciones de *P. radiata* en otras zonas de Ecuador y en otros países donde esta especie se encuentra presente. La información generada por este estudio puede ser utilizada por empresas forestales, propietarios de bosques y otras entidades interesadas en la evaluación y el aprovechamiento sostenible de los recursos forestales.

### **1.4 Hipótesis**

#### ***1.4.1 Hipótesis nula***

No hay diferencia significativa en el factor de forma de *Pinus radiata* D. Don en la parroquia Sicalpa entre las diferentes clases diamétricas.

#### ***1.4.2 Hipótesis alternativa***

Existe al menos una diferencia significativa en el factor de forma de *Pinus radiata* D. Don en la parroquia Sicalpa entre las diferentes clases diamétricas.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de investigación

La determinación del factor de forma de *Pinus radiata* es un tema importante en el ámbito forestal, ya que permite conocer la cantidad de madera aprovechable en un árbol. El estudio de factor de forma como tal es un tema que ha sido ampliamente estudiada en diferentes países y regiones del mundo a lo largo del tiempo.

Numerosos estudios se han llevado a cabo para comprender mejor el factor de forma de *P. radiata*, una especie de pino originaria de América del Norte y ampliamente cultivada en varias partes del mundo debido a su rápido crecimiento y su valor comercial como fuente de madera. Estos estudios han utilizado diferentes enfoques y metodologías para determinar y modelar el factor de forma de los árboles de *P. radiata* (Burdon, 2022, p. 6).

Algunos de los antecedentes de investigación en este tema incluyen estudios realizados por reconocidos investigadores en el campo de la silvicultura y la mensuración forestal. Estos estudios se han centrado en la recopilación de datos de campo, mediciones de árboles y análisis estadísticos para establecer modelos que relacionen la altura y el diámetro de los árboles de *P. radiata* (Watt et al. 2021: pp. 1-14).

Además, se han investigado diversos factores que pueden influir en el factor de forma de esta especie, como las condiciones de crecimiento, la densidad de plantación, la edad del árbol y la competencia entre árboles. Estos estudios han buscado identificar patrones y relaciones entre estos factores y el factor de forma, con el objetivo de mejorar las estimaciones del volumen de madera y optimizar la gestión de los bosques de *P. radiata* (Burdon, 2022, p. 6).

Los resultados de estas investigaciones han contribuido al desarrollo de modelos predictivos y herramientas de apoyo a la toma de decisiones en la silvicultura. Estos modelos permiten estimar el factor de forma de *P. radiata* en base a variables fácilmente medibles, lo que facilita la planificación y el manejo de los recursos forestales (Dünisch et al., 2010: pp. 301-313).

En resumen, los antecedentes de investigación sobre la determinación del factor de forma de *P. radiata* han abarcado diversos enfoques y han sido realizados por expertos en silvicultura y

ciencia forestal. Estos estudios han contribuido a mejorar la comprensión de los factores que influyen en el factor de forma de esta especie y han proporcionado herramientas para la gestión forestal sostenible y la estimación precisa del volumen de madera en las plantaciones de *P. radiata*.

## 2.2 Referencias Teóricas

### 2.2.1 *Pinus radiata* D. Don

#### 2.2.1.1 Descripción botánica

**Tabla 2-1:** Clasificación taxonómica de *Pinus radiata* D. Don

Dominio	Reino	Filo	Subfilo	Clase	Familia	Género	Especie
Eukaryota	Plantae	Spermatophyta	Gymnospermae	Pinopsida	Pinaceae	Pinus	<i>Pinus radiata</i>

Fuente: Burdon, 2022

*Pinus radiata* D. Don es un árbol perenne con una copa densa y follaje de un verde profundo e inusualmente intenso. En árboles jóvenes, la forma de la copa es puntiaguda y generalmente algo irregular, reflejando un patrón de ramificación complejo que varía desde estrecho y en forma de aguja en sitios poco fértiles hasta amplio y grueso en suelos altamente fértiles. En árboles maduros, la copa es redondeada o incluso aplanada en la parte superior. Los conos persistentes, generalmente grandes, son una característica notable. En California continental e Isla Guadalupe, la altura de los árboles generalmente alcanza de 20 a 35 m, dependiendo del sitio, rara vez superando los 40 m (Lindsay, 1932); en la Isla Cedros tiende a ser menor. El diámetro a la altura del pecho (dap) en rodales nativos tiende a ser extremadamente variable dependiendo de la densidad de plantación y del sitio; en rodales densos, generalmente alcanza de 40 a 75 cm, pero los árboles aislados pueden ser mucho más grandes, superando los 100 cm, con un máximo de más de 200 cm. En plantaciones exóticas, la altura final, aunque también varía ampliamente según el sitio, tiende a ser mayor, generalmente oscilando entre 30 m y 50-55 m, con árboles raros que alcanzan los 60 m. Los diámetros finales del fuste en rodales cerrados, que rara vez se alcanzan realmente, serían típicamente mayores, probablemente de 50 a 85 cm, con árboles aislados que llegan a más de 250 cm.

El fuste suele ser un solo tronco, más o menos recto, que a menudo se divide en grandes ramas extendidas en las copas superiores de árboles viejos de crecimiento abierto. La forma del tronco puede variar ampliamente según el sitio, desde muy recta, con poca disminución y casi sin

bifurcaciones en suelos deficientes en nitrógeno o fósforo, hasta árboles bastante torcidos y con una alta proporción de bifurcaciones en suelos muy fértiles. El tronco cerca del suelo generalmente tiene una disminución apreciable y generalmente desarrolla un ligero acanalado después de la etapa de poste. Los vientos predominantes pueden hacer que el árbol se incline ligeramente y que haya una curvatura apreciable en la parte inferior del tronco. La corteza en los troncos inferiores de los árboles viejos es dura, de color marrón oscuro y generalmente bastante gruesa y profundamente fisurada, pero se vuelve mucho más delgada más arriba en el tronco. El patrón de ramificación es muy complejo y variable (Bannister, 1962), el número de racimos de ramas (verticilos) en un año de crecimiento del líder varía de uno a seis, dependiendo en gran medida del genotipo individual. La distancia entre los racimos de ramas sucesivos y el tamaño de las ramas pueden variar desde regular hasta muy irregular. El ángulo de salida de las ramas es muy variable, con ramas grandes que tienden a tener un ángulo pronunciado. La variabilidad en el hábito de ramificación ha sido de gran interés en los programas de mejoramiento genético. Los diámetros de las ramas muestran una gran influencia de la fertilidad del suelo y de la densidad de plantación.

El sistema de raíces se basa naturalmente en una raíz principal fuerte en plántulas jóvenes, especialmente en las procedencias de islas, pero la preparación en el vivero para la plantación puede modificar esta característica, al igual que el uso de esquejes para la propagación. En algunos suelos, como aquellos con múltiples capas de cenizas volcánicas o ciertas arenas costeras, el sistema de raíces puede ser muy profundo, pero la profundidad de enraizamiento a menudo se ve limitada por la profundidad del suelo o por capas compactadas, como las que a menudo se forman en gravas fluviales. Características del sistema de raíces de los árboles jóvenes son la alta capacidad de regeneración de raíces y la producción rápida de raíces fibrosas, lo que ayuda a que la especie sea fácil de trasplantar con éxito. El hábito de crecimiento en las etapas juvenil y "adolescente" tiende a ser inestable y relativamente desordenado, y el hábito adulto se alcanza típicamente después de 6 a 12 años.

Las acículas, agrupadas en fascículos, crecen en grupos de tres en la variedad *radiata* y en grupos de dos en las variedades *binata* y *cedrosensis*. Por lo general, tienen una longitud de 10 a 18 cm, ocasionalmente de 3 a 20 cm, y un ancho de 1.2 a 2 cm. Su color suele ser un verde oscuro intenso, aunque puede ser amarillento o azulado. Por lo general, son suaves y moderadamente flexibles. El follaje primario verde de la fase juvenil se produce hasta una etapa inusualmente avanzada de desarrollo para un pino, aunque esta característica varía ampliamente entre las poblaciones naturales.

Los estróbilos de polen son cilíndricos, de 7 a 17 mm de largo. Los estróbilos femeninos son de color púrpura rojizo al emerger, con la característica notable de que se producen en los brotes más vigorosos, incluido el líder, y nunca en el grupo de yemas de ramas en el extremo de una etapa de crecimiento anual en el brote. Los conos pueden estar solitarios pero muy a menudo se agrupan alrededor del brote. Tardan dos años desde la polinización hasta que maduran y se abren. Los conos recién maduros son de color marrón pálido o medio, generalmente de 7 a 17 cm de largo (ocasionalmente de 5 a 20 cm), y por lo general de 4 a 7 cm de ancho (ocasionalmente hasta 9 cm) con una forma distintiva, aunque variable, ovoide-cónica, generalmente con una fuerte asimetría, la parte proximal del eje curvándose bruscamente hacia atrás (20-90°, generalmente alrededor de 50°) desde la punta del brote, pero la parte distal es recta. Los conos grandes tienden a ser más asimétricos y tienen mayores relaciones longitud:ancho. Las escamas a menudo son muy grandes y gruesas, con umbos elevados en el lado exterior. Los mucros son muy pequeños o están ausentes. Los conos son serotinosos, capaces de permanecer cerrados durante varios años en ausencia de condiciones calurosas y secas, y pueden permanecer unidos mucho tiempo después de abrirse.

#### 2.2.1.2 *Ecología y Distribución*

*Pinus radiata* se encuentra de forma natural en solo cinco poblaciones distintas, en Año Nuevo (o 'Swanton') (Lat. 37°), Monterey (Lat. 36.5°) y Cambria (Lat. 35.5°) en California, y en la Isla Guadalupe (Lat. 29°) y la Isla Cedros (28°), frente a la costa de la Península de Baja California (México). La ubicación y los hábitats de las poblaciones continentales han sido descritos por Lindsay (1932), y Burdon et al. (2022). y los de las islas por Libby et al. (1968). La extensión total del bosque natural, antes de los impactos europeos, era ligeramente inferior a 10,000 ha, de las cuales aproximadamente 5,300 ha permanecen (Burdon, 2022). Todos los hábitats naturales representan una variante especial y altamente localizada del clima mediterráneo seco (precipitación anual generalmente 700 mm o menos), causado por una corriente oceánica fría; las temperaturas en verano son suaves y las nieblas marinas durante los meses de verano, que son prácticamente sin lluvia, producen una cantidad crucial de precipitación oculta en forma de goteo de niebla. En ningún lugar los bosques naturales se extienden más allá de 8 km tierra adentro. La altitud varía desde el nivel del mar hasta 420 m en el continente, y de 300 a 1200 m en las poblaciones insulares más al sur. La geología y los suelos son altamente variables, tanto en general como dentro de la población de Monterey. Dentro de su área de distribución natural, *P. radiata* suele ser la única especie de bosque alto. La especie se ha naturalizado en varios países,

especialmente en Nueva Zelanda, Chile, Australia y Sudáfrica, a menudo regenerándose de forma natural dentro de plantaciones e invadiendo terrenos circundantes.

#### 2.2.1.3 *Propiedades y usos de la madera de Pinus radiata*

La madera es fácil de trabajar, se mecaniza bien y es muy fácil de clavar, además de que acepta pintura y barniz fácilmente y se pega sin problemas. Sin embargo, su rigidez es relativamente baja, incluso en relación con su densidad, lo cual es una limitación importante, al igual que la frecuencia con la que aparecen nudos grandes. Aunque se puede utilizar la laminación para producir elementos estructurales grandes en "productos de ingeniería". La madera no es adecuada para el curvado al vapor y requiere habilidad para teñirla satisfactoriamente (Burdon, 2022).

La madera de *P. radiata* es muy versátil y se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, que incluyen construcción ligera, acabados, carpintería, muebles, chapas, postes para diversas situaciones, fabricación de productos de madera reconstituida, así como para pulpa mecánica y química. La mayor parte de la cosecha final se destina a la producción de madera aserrada, mientras que los residuos se utilizan principalmente para pulpa. Existe un comercio internacional considerable de madera y productos de madera de *P. radiata* (Lewis et al. 1993), incluyendo troncos sin procesar, madera aserrada, pulpa y papel, y una variedad de productos de madera reconstituida. Actualmente, *P. radiata* representa aproximadamente el 20% tanto en volumen como en valor del comercio internacional de troncos sin procesar (FAO, 2021).

#### 2.2.1.4 *Plagas y enfermedades*

La avispa de la madera *Sirex noctilio* puede matar árboles muy rápidamente al atacar los troncos (Rawlings, 1955). Hubo una mortalidad espectacular de árboles en Nueva Zelanda entre 1946 y 1949, pero eso causó poco daño real (y de hecho, bastante beneficioso) y *Sirex* ahora no es importante debido a un control biológico efectivo. Lecciones de los impactos de insectos y enfermedades en plantaciones de pino radiata en Nueva Zelanda en los últimos cien años). Sin embargo, *Sirex* ha sido motivo de preocupación en Australia y Argentina.

La polilla europea del brote del pino, *Rhyacionia buoliana*, ha causado daños variables en los brotes principales en plantaciones en Europa y puede limitar el uso de *P. radiata*. Se ha propagado a Argentina y luego a Chile. En Chile, se convirtió en una plaga importante (Beeche, et al., 1992), pero el control biológico mediante parasitoides de origen natural e introducidos ha hecho que ahora no sea importante.

El escarabajo de corteza *Ips grandicollis* ha sido una plaga significativa en Australia. La procesionaria del pino, *Thaumetopoea pityocampa* *Thaumetopoea pityocampa*, es un defoliador importante en las zonas más cálidas de Europa, donde limita el uso de *P. radiata*. Otro defoliador es la polilla emperador del pino, *Imbrasia cytherea*, que puede causar problemas en Sudáfrica (Rawlings, 1955).

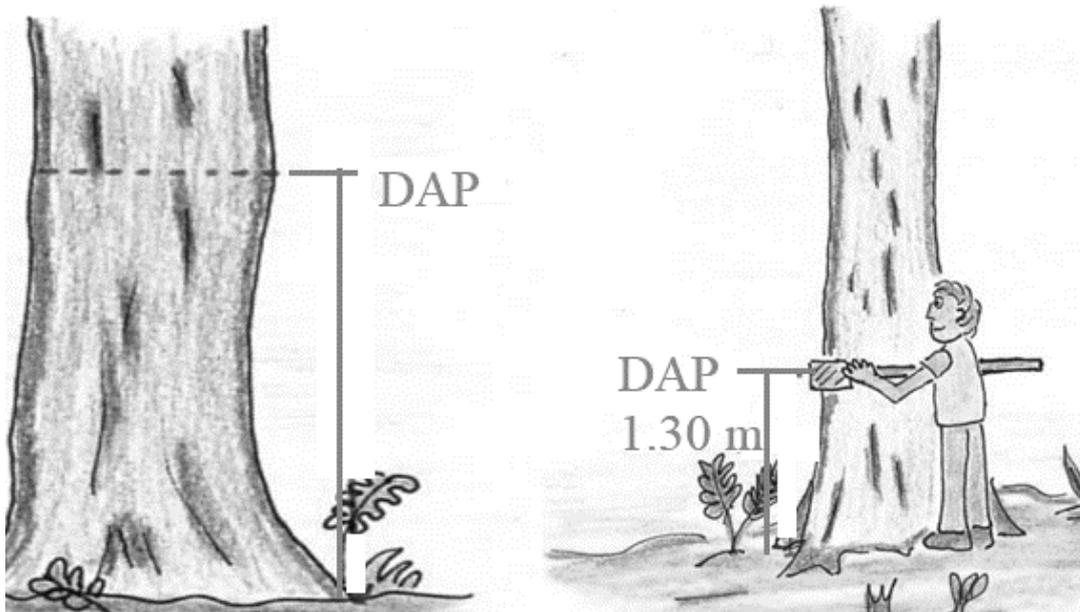
## **2.2.2 Medición de árboles**

### **2.2.2.1 Medición de diámetros, diámetro a la altura del pecho (DAP)**

En la Dendrometría, que se refiere a la medición de árboles, el diámetro o circunferencia del árbol es la medida más esencial y común que el técnico forestal debe obtener. Esta medida es la base para calcular el volumen del árbol y determinar su estado de desarrollo. La medición de esta variable es importante porque influye en el cálculo del volumen, el área basal y el peso del árbol. Además, es una medida accesible que se puede tomar con gran precisión y economía. También permite conocer la distribución del diámetro en el bosque y definir la densidad del área forestal (Pereira, 2008, p. 43).

- **Consideraciones para medir el DAP**

La medición del diámetro es efectuada a 1,30 m en Cuba y Brasil, 1,37 m en los Estados Unidos de Norteamérica y 1,25 m en Japón por simple comodidad (Pereira, 2008, p. 43). No obstante, La medida promedia establecida es a 1.30 m de altura (Ilustración 1-2) desde el suelo (Encinas, 2008, p. 9). Es importante asegurarse de medir el diámetro del árbol en la altura correcta y de manera perpendicular al eje del tronco. Si se mide a una altura incorrecta, se pueden obtener estimaciones inexactas, ya sea subestimando o sobreestimando. Además, si se mide en un plano diferente, se obtendrá un valor que puede ser mayor o menor que el real (IDEAM, 2018, p. 60).



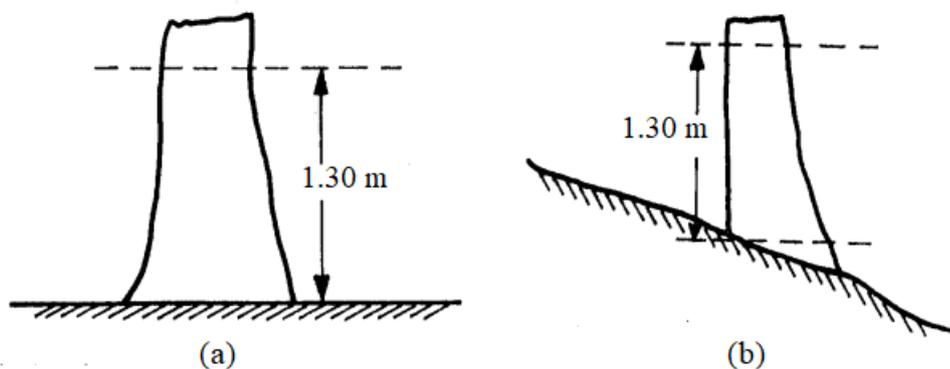
**Ilustración 2-1:** Representación del DAP (diámetro a la altura del pecho)

Fuente: Encinas, 2008

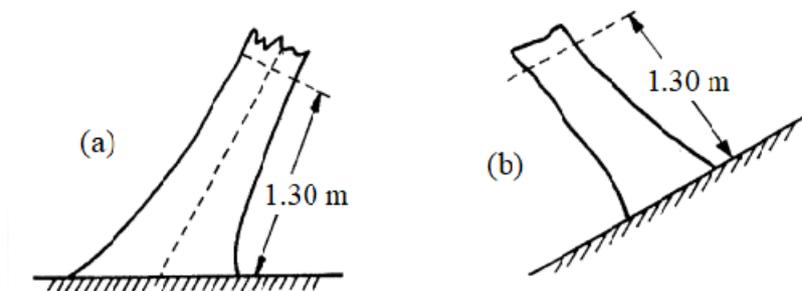
Es muy Común la medición de la circunferencia ( $C$ ) o también conocido como circunferencia a la altura del pecho ( $CAP$ ) y su posterior conversión a diámetro. Para tal conversión basta utilizar la siguiente relación:

$$DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

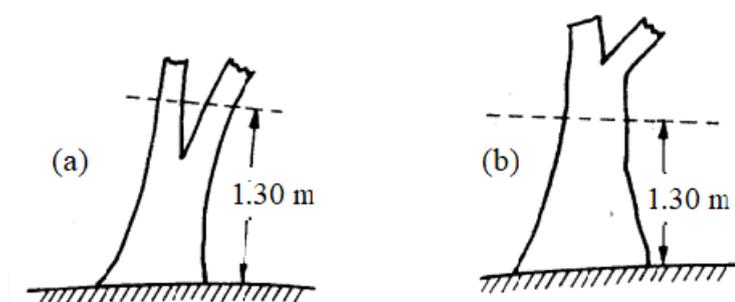
Cuando se realizan mediciones de diámetros y/o circunferencias, es habitual que surjan preguntas debido a las diferentes formas en que se presentan los árboles. A continuación, se pueden encontrar varias situaciones que pueden surgir al medir los árboles:



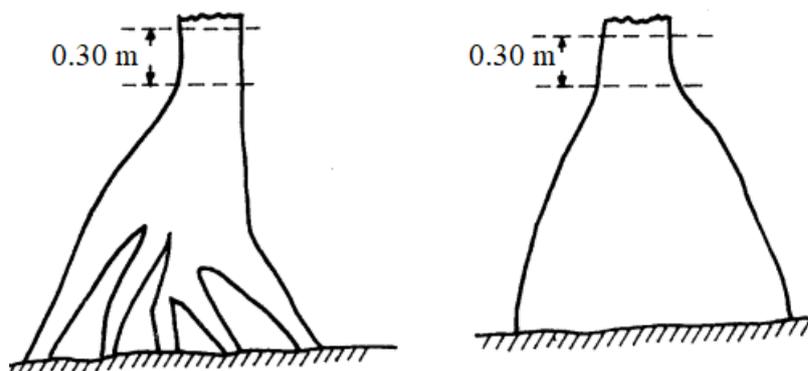
**Ilustración 2-2:** Medición del diámetro: a) en terreno llano; b) en terreno inclinado.



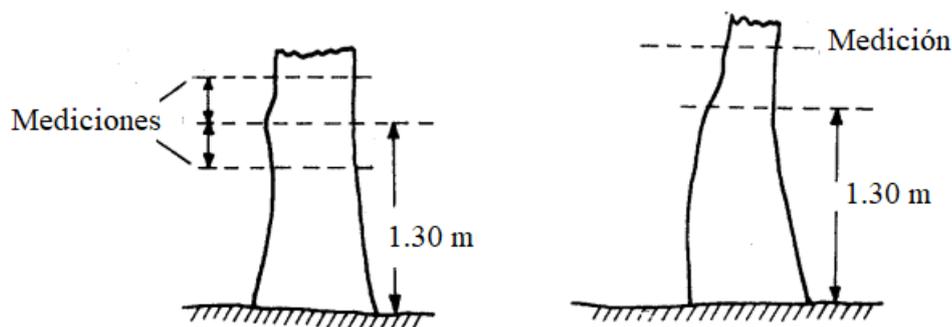
**Ilustración 2-3:** Medición del diámetro en árboles inclinados: a) en terreno llano; b) en terreno inclinado



**Ilustración 2-4:** Medición del diámetro en árboles bifurcados: a) debajo de 1.30 m; b) encima de 1.30 m.



**Ilustración 2-5:** Medición del diámetro en árboles con aletones, gamba y raíces tubulares



**Ilustración 2-6:** Medición del diámetro en árboles con deformaciones a 1.30 m

La medición del diámetro y/o circunferencia a la altura del pecho ha sido tradicionalmente utilizada como punto de referencia por las siguientes razones: En primer lugar, es la altura a la que los técnicos forestales pueden manejar los instrumentos de medición con mayor facilidad. En segundo lugar, la mayoría de los árboles adultos en regiones tropicales y templadas presentan "aletones" y otras deformaciones que tienen una influencia relativamente baja en la forma del tronco a una altura de 1,30 metros (Pereira, 2008, p. 46).

De acuerdo con Pereira (2008, p. 47) se recomienda medir la circunferencia en lugar del diámetro para fines de investigación debido a su mayor sensibilidad. En el caso de mediciones de DAP y CAP en árboles en dos años consecutivos, un error de 1 cm en el DAP resulta en un error de más de 3 cm en el CAP, mientras que un error de 1 cm en el CAP resulta en un error inferior a 0.3 cm en el DAP. En el caso de árboles bifurcados, se deben medir los diámetros de las ramas 1 y 2 y calcular sus volúmenes, y luego sumarlos para obtener el volumen total del árbol. En caso de que la altura de ambas ramas sea la misma, se puede calcular un único volumen para el árbol a partir del diámetro obtenido mediante la ecuación 1. La recomendación general es medir la circunferencia en lugar del diámetro debido a su mayor precisión en mediciones y cálculos.

$$D = \sqrt{D_1^2 + D_2^2} \quad (1)$$

- **Instrumentos habituales para la medición de diámetros de los árboles**

Cinta métrica o Diamétrica, Dendrómetro BARR-STROUD, Dendrómetro Friedrich, Forcípula, finlandesa, Forcípula o Calibre, Pentaprisma WHEELER, Regla, Relascopio de BITTERLICH, Tenedor de Diámetro, Vara de Biltimore, Visor de Diámetro de BITTERLICH

### 2.2.2.2 *Medición de Alturas*

Según Pereira (2008, p.78) La altura de los árboles es otra de las variables esenciales en la investigación forestal, ya que es necesaria para el cálculo del volumen y la evaluación de la productividad del sitio forestal. Se puede medir directamente con herramientas como el hipsómetro, la cadena (árboles derribados) o subiéndolo al árbol en el caso de los bosques tropicales, pero también se puede estimar mediante relaciones hipsométricas (relación entre la altura y el diámetro) si no es posible medir la altura de todos los árboles de la población. La altura también se utiliza para analizar el crecimiento de una especie en un sitio forestal a lo largo del tiempo.

Determinar con precisión la altura de los árboles en los bosques tropicales y subtropicales es un desafío, ya que es difícil distinguir claramente la parte superior de las copas de muchos árboles cuando están densamente cubiertos de follaje (Castaño, 2009, p.19).

El diámetro a la altura del pecho (DAP) de dos árboles puede ser el mismo, pero pueden tener alturas significativamente diferentes, lo que impactará en el volumen de manera directamente proporcional. Para medir la altura de un árbol sin derribarlo, se utilizan diferentes técnicas, que van desde instrumentos simples hasta fotografías aéreas. Los métodos y equipos de medición deben ser económicos, portátiles, precisos, fáciles de usar y viables en las condiciones del bosque. Como se mencionó anteriormente, la altura se puede medir directamente o mediante estimaciones (Pereira, 2008, p. 78).

Es crucial tener información precisa sobre la altura de los árboles porque tiene dos usos principales: en primer lugar, permite determinar la calidad del lugar en el que se encuentran, también conocida como índice de sitio o calidad, lo que se relaciona directamente con la edad de los árboles del área; en segundo lugar, es una variable fundamental para estimar el volumen actual o el crecimiento futuro de los árboles.

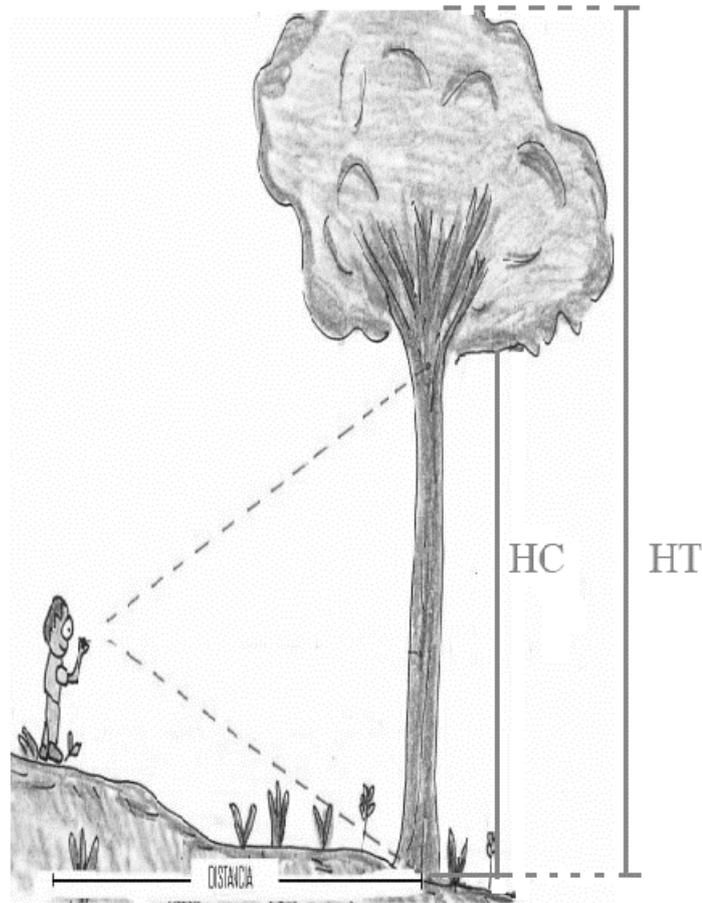
- **Altura comercial**

Es la altura estimada que existe entre el suelo y las ramas de las copas del árbol, o también conocido como altura de fuste (Encinas, 2008, p. 10).

- **Altura total**

La altura total de un árbol se define como la distancia desde la base del tronco hasta su extremo superior. Tomando en cuenta que, si se mide la altura de árboles que no tienen un crecimiento

vertical recto y que han caído, es probable que se obtengan mediciones exageradas (Pereira, 2008, p. 77).



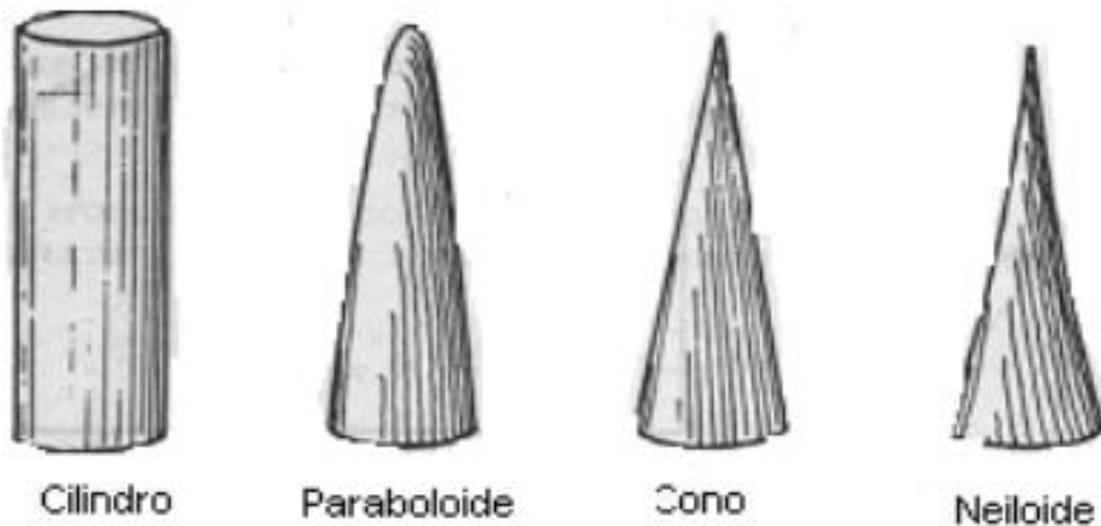
**Ilustración 2-1:** Representación de la altura comercial (HC) y altura total (HT) de un árbol

**Fuente:** Encinas, 2008

### 2.2.3 *Volumetría*

El volumen es una medida tridimensional de un objeto que se expresa en unidades cúbicas que se derivan de una unidad de longitud, en el caso de los árboles el volumen se refiere a la cantidad de madera sólida. En términos de aprovechamiento comercial, el tronco (fuste) es la parte más importante del árbol, y por esta razón en él está basado el volumen del árbol (Pereira, 2008, p.110).

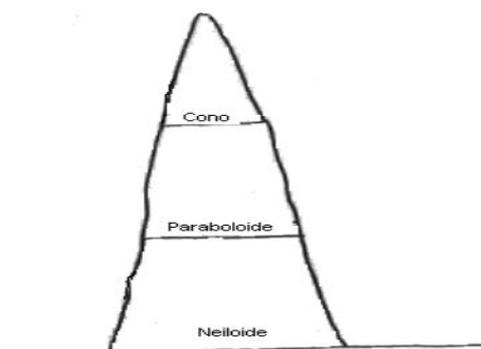
Se puede asumir que las partes del árbol se asemejan a determinados sólidos geométricos



**Ilustración 2-1:** Sólidos geométricos o tipos dendrométricos que definen aproximadamente las formas de un árbol

Fuente: Pereira, 2008

Es frecuente que la base del árbol tenga similitudes con una forma particular de parábola llamada neiloide o con un cilindro, que la parte media se asemeje a un paraboloide, y que la parte superior tenga similitudes con un cono, entre otras formas. Si pudiéramos ubicar de manera clara y precisa dónde empiezan y terminan las partes del árbol que se asemejan a un sólido geométrico específico, tal como se muestra en la figura 5.6 a continuación, podríamos calcular el volumen de la porción del árbol utilizando la fórmula correspondiente al sólido geométrico semejante. Sin embargo, esto no es posible, y por eso se han desarrollado varias fórmulas (metodologías) para realizar la medición exacta del volumen de los árboles (Pereira, 2008, p.110).



**Ilustración 2-2:** Semejanza de las partes de un árbol con los sólidos geométricos

Fuente: Pereira, 2008

#### **2.2.4 Factor de forma en árboles**

El factor de forma es una razón de volúmenes que se utiliza para ajustar el volumen del cilindro y calcular el volumen del árbol. Es un factor de reducción muy importante para determinar con precisión el volumen real de los árboles o bosques en pie. Se basa en la medición de variables independientes de fácil acceso, como el diámetro y la altura, lo que proporciona una estimación bastante cercana a la realidad. (Pereira, 2008, p. 160).

##### *2.2.4.1 factor de forma y su importancia en la medición de árboles*

Según Wagner (2011, p.1-320), el factor de forma es un factor clave para determinar el valor de la madera en pie. El volumen de madera en un árbol se calcula multiplicando el área transversal por la altura del árbol. Sin embargo, no todo el volumen de un árbol se puede utilizar con fines comerciales, ya que la forma del árbol afecta la cantidad de madera utilizable. Los árboles que son altos y delgados tienen un factor de forma menor que los árboles bajos y gruesos, lo que significa que tienen una proporción más alta de madera utilizable.

##### *2.2.4.2 Factores que afectan el factor de forma*

El factor de forma varía según la especie de árbol. Por ejemplo, las coníferas generalmente tienen un factor de forma menor que los árboles de hoja ancha. Esto se debe a que las coníferas tienden a crecer altas y rectas con relativamente poca disminución, lo que resulta en una proporción más alta de madera no utilizable. Los árboles de hoja ancha, por otro lado, tienden a tener más disminución, lo que significa que tienen un factor de forma más alto y una proporción más alta de madera utilizable. El factor de forma se ve afectado por varios factores, como la especie, la edad, las condiciones del sitio y las prácticas silviculturales (Pereira, 2008, p.160).

El factor de forma varía según la especie de árbol. Por ejemplo, las coníferas generalmente tienen un factor de forma menor que los árboles de hoja ancha. Esto se debe a que las coníferas tienden a crecer altas y rectas con relativamente poca disminución, lo que resulta en una proporción más alta de madera no utilizable. Los árboles de hoja ancha, por otro lado, tienden a tener más disminución, lo que significa que tienen un factor de forma más alto y una proporción más alta de madera utilizable (Tenzin et al., 2017: pp. 359-366).

La edad también afecta el factor de forma de un árbol. Los árboles jóvenes tienden a tener un factor de forma más alto que los árboles viejos, ya que todavía están creciendo y no han

desarrollado una cantidad significativa de disminución. A medida que los árboles envejecen, se vuelven más altos y gruesos, pero también desarrollan más disminución, lo que reduce su factor de forma. Las condiciones del sitio también juegan un papel en la determinación del factor de forma de un árbol. Los árboles que crecen en condiciones favorables, como suelos ricos y agua abundante, tienden a tener un factor de forma más alto que los árboles que crecen en condiciones pobres.

Las prácticas silviculturales, como el raleo y la poda, también pueden afectar el factor de forma de un árbol. El raleo implica la eliminación de algunos de los árboles en una zona para reducir la competencia y promover el crecimiento de los árboles restantes. Esto puede resultar en que los árboles restantes tengan un factor de forma más alto, ya que tienen más espacio y recursos para crecer. La poda implica la eliminación de ramas bajas de un árbol para promover el crecimiento recto y reducir los nudos en la madera. Esto también puede resultar en un factor de forma más alto, ya que el árbol tiene menos ramas (Pereira, 2008, p.160).

Según Mejía (2013, p.160) El factor de forma puede variar dependiendo de dónde se mida el área transversal del árbol. Aunque idealmente debería ser medida en la base del árbol para ser consistente con los sólidos geométricos, en la práctica se mide generalmente a la altura del DAP (Diámetro a la Altura del Pecho), ya que medirla en la base es poco práctico debido a la irregularidad de la sección transversal causada por el sistema radical. Además, se debe tener en cuenta la necesidad de medir el DAP en posiciones compatibles con el proceso de medición de volumen de los otros árboles en la parcela. Si se mide el DAP y la altura total en estas posiciones, se puede calcular el volumen del cilindro como:

$$V_c = \frac{\pi}{4} (DAP)^2 h$$

Donde:

$V_c$  = volumen del cilindro

$DAP$  = diámetro a la altura del pecho

$h$  = Altura

Así, para estimar el volumen de este árbol es necesario multiplicarlo por un factor de forma, obtenido a partir de los árboles cubicados rigurosamente, teniendo como base del cilindro, el DAP.

### **2.2.5 Factor de forma por el método schiffel**

Para medir el factor de forma, existen varios métodos que se han desarrollado a lo largo del tiempo. No obstante, para el desarrollo de este estudio se enfocará en el factor de método Schiffel.

Corresponde a uno de los primeros coeficientes de forma y fue desarrollado por Schiffel en el año 1899. Conceptualmente se define como la proporción del diámetro a la mitad de la altura  $dH/2$  sobre el DAP. El diámetro es asumido como aquel de mayor importancia en la determinación de la forma del fuste y su comparación con un cilindro de igual base y altura. Tiene la deficiencia de generar el mismo resultado para árboles de igual forma, pero de alturas diferentes. Para su cálculo las alturas deben ser medidas en forma precisa. Existen además algunos problemas para árboles pequeños. Por ejemplo, si el árbol tiene altura total igual a 2,6 m el coeficiente de Schiffel es igual a 1. En estos casos, y en general para rodales con árboles de baja altura, la relación de diámetros es estrecha y el coeficiente pierde sensibilidad a la forma (Corvalan y Hernandez, 2014: p. 5).

El factor de forma de Schiffel es una medida utilizada en silvicultura para evaluar la calidad de los árboles y la madera. Este factor de forma se refiere a la relación entre la altura de un árbol y su diámetro a la altura del pecho (DAP) (Prodan, 1997, p. 67)

En otras palabras, el factor de forma de Schiffel se calcula dividiendo la altura total del árbol por su diámetro a la altura del pecho. Un árbol con un factor de forma alto tendrá una altura relativamente grande en comparación con su diámetro, mientras que un árbol con un factor de forma bajo tendrá una altura relativamente baja en comparación con su diámetro (Meyer 1931, p. 1-410).

El factor de forma de Schiffel se utiliza comúnmente para evaluar la calidad de los árboles destinados a la producción de madera. Los árboles con un factor de forma alto suelen producir madera de mayor calidad y valor, ya que la madera tendrá menos nudos y crecerá más recta y uniforme. Por otro lado, los árboles con un factor de forma bajo suelen producir madera de menor calidad y valor, ya que la madera tendrá más nudos y será más curva e irregular.

Además de la Tipo de madera, el factor de forma de Schiffel también se utiliza para evaluar la salud y el crecimiento de los árboles. Los árboles con un factor de forma alto se consideran generalmente más saludables y con un mejor crecimiento que los árboles con un factor de forma bajo.

El factor de forma de Schiffel se puede utilizar para evaluar el potencial de crecimiento de un árbol. Los árboles con un factor de forma alto suelen crecer más rápido que los árboles con un factor de forma corto. El factor de forma de Schiffel también se puede utilizar para clasificar árboles en diferentes formas de crecimiento. Por ejemplo, los árboles con un factor de forma alto a menudo se clasifican como árboles "altos", mientras que los árboles con un factor de forma corto a menudo se clasifican como árboles "bajos" (Meyer 1931, p. 1-410).

El factor de forma de Schiffel también se puede utilizar para predecir el crecimiento futuro de un árbol. Los árboles con un factor de forma alto suelen tener más probabilidades de seguir creciendo altos en el futuro, mientras que los árboles con un factor de forma bajo suelen tener más probabilidades de seguir creciendo bajos en el futuro. El factor de forma de Schiffel es una herramienta útil para silvicultores y arbolistas. Se puede utilizar para evaluar el potencial de crecimiento de los árboles, clasificar los árboles en diferentes formas de crecimiento y predecir el crecimiento futuro de los árboles (Meyer 1931, p. 1-410).

El método fue desarrollado en 1899 y consiste en la razón entre el diámetro tomado en la mitad de la altura total del árbol y el DAP o diámetro a 1,30 m del suelo.

Su fórmula es dada por:

$$Q_s = \left( \frac{d_{1/2h}}{d_{1.3}} \right)^2$$

Donde:

$Q_s$  = factor de forma según Schiffel

$d_{1/2h}$  = es el valor del diámetro tomado en la mitad de la altura del árbol; y

$d_{1.3}$  = diámetro tomado a 1,30 m del suelo

### ***2.2.6 Situación de la industria forestal en Ecuador***

El sector forestal es considerado prioritario para las inversiones en Ecuador, ya que ofrece un gran potencial de desarrollo y crecimiento económico. Los bosques aportan alrededor de 600 millones de dólares al año a la economía del país, lo que representa aproximadamente el 3,2% del PIB (ECUADOR FORESTAL, 2016, p. 4). Ecuador cuenta con 9,7 millones de hectáreas de bosques, de las cuales alrededor de 3 millones son bosques nativos aptos para ser aprovechados, pero solo se utilizan alrededor de 600 mil hectáreas (SECAP. 2014).

La ubicación geográfica de Ecuador y la presencia de diferentes pisos climáticos, así como la cordillera de Los Andes, permiten la existencia de numerosas especies maderables, tanto nativas como exóticas. Entre las especies comerciales exóticas se encuentran la Teca, Eucaliptos, Pinos, Terminalias y Melina (Proecuador 2014).

El sector forestal exportó un total de 683 mil toneladas de productos forestales, incluyendo madera, tableros, muebles, acabados de la construcción, papel y cartón, y generó USD 344 millones en el 2014. Las inversiones en este sector ascienden a los 1.150 millones de dólares al año, y se exportan alrededor de 160 millones de dólares en especies como balsa, teca y productos procesados. El sector forestal genera aproximadamente 234 mil empleos directos en Ecuador (Pin, 2016, p. 25).

El país cuenta con dos sistemas de plantación: de protección y comercial, pero se debería promover un tercer sistema que implique la plantación de árboles multipropósito. Este sistema de plantación debe propiciar varios beneficios y ser atractivo para despertar el interés de las personas en emprender procesos de forestación (SECAP. 2014).

La industria forestal se encuentra mayormente localizada en el noroccidente de Ecuador, en las provincias de Cotopaxi, Pichincha, Esmeraldas y Pastaza. También existen plantas importantes para procesar chip de eucalipto de exportación ubicadas en el Puerto de Esmeraldas, así como plantas para procesar bloques de balsa en la provincia de Los Ríos. La industrialización de los productos forestales se realiza principalmente por micro, pequeñas, medianas y grandes industrias, que se dividen en industria primaria y secundaria (Pin, 2016, p. 25).

En conclusión, el sector forestal es de gran importancia para la economía de Ecuador y ofrece un gran potencial de crecimiento y desarrollo económico. El país cuenta con una gran diversidad de especies maderables y un amplio territorio de bosques, lo que representa una gran oportunidad para el aprovechamiento de la materia prima y la industrialización de los productos forestales. Es necesario promover la plantación de árboles multipropósito y fomentar la inversión en este sector para su desarrollo sostenible y la generación de empleo (Pin, 2016, p. 25).

## **2.2.7 Importancia del factor de forma en la industria forestal**

### **2.2.7.1 Cálculo del volumen comercial de la madera**

Según Ramos et al., (2017: pp. 561-580) El volumen comercial se refiere a la parte de un árbol que se puede utilizar con fines comerciales, como la producción de madera o papel además constituye indicador del potencial productivo de un rodal y puede ser dividido en volumen total (Vt) y volumen comercial (Vc). Los autores proponen una herramienta para cuantificar el volumen comercial de las plantaciones de *Eucalyptus urophylla* utilizando funciones de relación volumétrica y modelos de volumen total. El volumen comerciable se estima multiplicando los resultados de las dos ecuaciones obtenidas de los modelos Vt y r. La ecuación Vt estima el volumen total del árbol, mientras que la ecuación r estima la relación de volumen hasta un porcentaje de utilización o un diámetro no comercial.

Por otro lado, Gaillard de Benítez (1994, pp. 71-74) presenta ecuaciones para estimar el volumen comerciable de árboles individuales en cuatro especies del bosque Chaqueño Seco, con base en su diámetro a la altura del pecho y altura total.

### **2.2.7.2 Influencia del factor de forma en la rentabilidad de la industria forestal**

Aunque el factor de forma no es una variable determinante en cuanto se refiere a la evaluación de la Tipo de madera o el rendimiento de un rodal, su estudio es sumamente relevante en la industria forestal, puesto que es un parámetro importante para el cálculo de los volúmenes de madera, especialmente para las especies de árboles comerciales que se comercializarán en el mercado

Por ejemplo, Reyes et al., (2020: pp. 196-210) observó un alto rendimiento de trozas en un aserrío y esto obedecía a un conjunto de factores; como el poco ahusamiento que presenta el fuste de la especie *Pnumnopitys harsmsiana*. por lo que su factor de forma es cercano a uno, lo cual se puede observar en la poca diferencia entre el diámetro mayor y el diámetro menor de las trozas evaluadas; otros factores son el tamaño de los cuartones obtenidos y trozas de diámetros grandes.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Enfoque de investigación

El enfoque más adecuado para esta investigación es el cuantitativo, ya que en el desarrollo de su estudio se trabajó con datos numéricos. Este estudio se centró en la recopilación precisa de datos, incluyendo mediciones como el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) y alturas de los árboles. Además, se emplearon análisis estadísticos detallados para examinar y comprender estas mediciones de manera objetiva. Según Hernández (2014, p. 4) en este tipo de enfoque se utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías

#### 3.2 Nivel de investigación

La presente investigación se enmarca en el nivel descriptivo, debido a que, esta investigación se enfocó en medir y caracterizar el factor de forma como insumo técnico para el cálculo de volumen de madera en pie de una plantación de *P. radiata* en la parroquia Sicalpa, cantón Colta, provincia de Chimborazo, lo que concuerda con el nivel descriptivo, donde se busca documentar y analizar fenómenos tal como se presentan en el entorno real.

#### 3.3 Diseño de investigación

##### 3.3.1 *Según la manipulación o no de la variable independiente*

En esta investigación se recopiló datos de campo para describir el factor de forma de *P. radiata* de manera precisa. Por lo que no se realizó ningún experimento ni manipulación activa de variables, por lo tanto, se enmarca en la categoría de investigación no experimental. De acuerdo con Díaz y Núñez (2016: pp. 115-121) en un diseño de investigación no experimental, el investigador no manipula deliberadamente ninguna variable independiente. En lugar de eso, se observa y describe un fenómeno tal como ocurre en su entorno natural.

### **3.3.2 *Según la intervención en el trabajo de campo***

En un diseño de investigación transversal, los datos se recopilan en un punto específico en el tiempo y se analizan para describir o caracterizar una población o fenómeno en ese momento (Cvetković Vega et al. 2021: pp. 164-170) . Partiendo de la definición anterior, en esta investigación, se recopiló datos sobre el factor de forma de *P. radiata* en la parroquia Sicalpa en un momento específico, sin seguir a lo largo del tiempo cómo cambia esta característica, por lo tanto, se enmarca en un diseño transversal.

### **3.4 Tipo de estudio**

El presente estudio se enmarca en las categorías de campo y documental. De campo porque implicó la recopilación de datos primarios como diámetros y alturas de los árboles en el campo, y documental porque el cálculo de factor de forma implicó revisión de documentos comparaciones con otros estudios y procesamiento de datos en oficina. Según Cajal (2019, pp. 1-13) un estudio de campo implica la recopilación de datos directamente del entorno natural o de campo, en este caso, la parroquia Sicalpa en el cantón Colta, provincia de Chimborazo, donde se realizó observaciones y mediciones en el lugar para determinar el factor de forma de *P. radiata* en esa área específica. Por otro lado, un estudio documental se basa principalmente en el análisis de documentos, registros, literatura existente u otras fuentes de información escrita sin llevar a cabo investigaciones de campo directas (Morales, 2003. pp. 20).

### **3.5 Caracterización del lugar de estudio**

#### **3.5.1 *Localización***

Sicalpa es una de las parroquias urbanas del Cantón Colta en la Provincia de Chimborazo, situada en la parte Noroccidental. Está a una distancia de solo 19 Km de la ciudad de Riobamba y a 206 Km de la Capital de la República del Ecuador (Cayambe, 2012, p.34).

#### **3.5.2 *Clasificación ecológica***

Tomando en consideración la altura sobre el nivel del mar a la que se encuentra la zona de estudio y comparado con el sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental (MAATE,

2012, p.48) la zona de estudio corresponde al bosque muy húmedo montano bajo, dentro de la categoría intervenida.

Durante el recorrido, se pudo constatar que los alrededores de la zona de estudio están experimentando un proceso de alteración debido a la intervención antrópica y a la conversión de tierras con fines agrícolas. Se observan evidencias de la presencia de vegetación nativa, todas estas observaciones son coherentes con las conclusiones previamente reportadas por MAATE (2012, p.48).

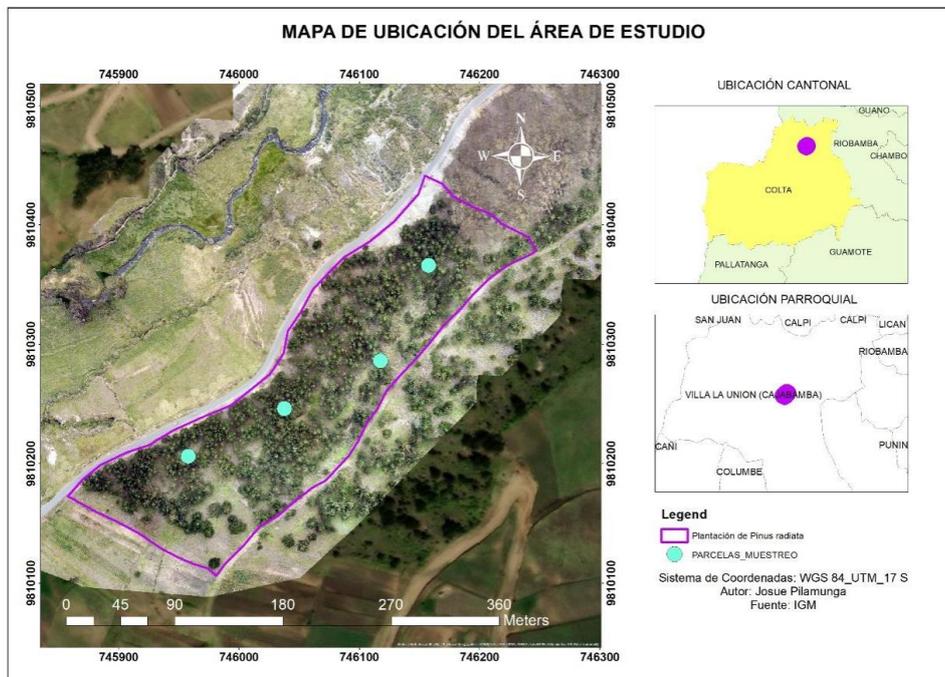
### 3.5.3 Ubicación geográfica de la zona de estudio

La plantación de pino objeto del presente estudio está ubicada en el sector Guacona-El Belén, zona 17 Sur y con las siguientes coordenadas geográficas UTM, utilizando el Datum WGS 84 como referencia.

**Tabla 3-1:** Ubicación geográfica de la zona de estudio

	UTM		ALTITUD (msnm)
	X	Y	
Sicalpa	746066	9810269	3217

Realizado por: Pilamunga J., 2023



**Ilustración 3-1:** Mapa de ubicación del área de estudio

Realizado por: Pilamunga J., 2023

### **3.5.4 Características climáticas**

La parroquia está ubicada en una región de clima frío, con un rango de temperatura promedio de 10 y 12 °C. Estas variaciones, a veces significativas, resultan beneficiosas para la población dedicada a las labores agrícolas. En cuanto a las precipitaciones el rango va de 750 a 1000 mm/año (MAATE, 2023, p.1).

## **3.6 Materiales y equipos**

### **3.6.1 Materiales de campo**

- Aplicación Gaia maps 2.0
- Cámara fotográfica de 100 megapíxeles celular Samsung note 20 ultra
- Cinta métrica
- Clinómetro Suunto
- Dron Dji Mavic Air 2
- Esferos
- Flexómetro
- Forcípula
- GPS marca Garmin modelo 62s
- Hojas
- Lápiz
- Libreta de apuntes
- Mapa de la plantación
- Tablero de campo

### **3.6.2 Equipos**

- Calculadora
- Computadora Marca Hp con Windows 10
- Impresora Marca
- Paquete Microsoft office 2020
- Software ArcGIS 10.1
- Software InfoStat 2022

- Software PIX4D mapper 2022

### 3.7 Metodología

#### 3.7.1 Determinación del factor de forma de acuerdo a las clases diamétricas.

##### 3.7.1.1 Selección de la muestra

Se seleccionó una muestra representativa para obtener resultados confiables y precisos. Aquí se detallan los pasos que se siguió para tal fin:

- **Delimitación del área de estudio**

Se realizó labores de reconocimiento en la plantación para identificar los rodales que serían objeto de estudio. Para esto, se utilizó un dron y se tomó ortofotos de la plantación en estudio (ANEXO A), se utilizaron límites geográficos como caminos, los cuales fueron georreferenciados con precisión mediante el uso de un GPS Garmin y el uso de una aplicación (GAIA maps) (Ilustración 1-3). Todo este proceso de mapeo y medición se llevó a cabo utilizando el programa ArcGis 10.1 como herramienta de apoyo.

- **Diseño de muestreo**

El área de estudio corresponde a una plantación de *P. radiata* que abarca 4 hectáreas. En este estudio, se llevó a cabo un muestreo aleatorio utilizando una intensidad de muestreo del 5%, parcelas circulares con un radio de 12,65 m dando como resultado un área de 500 metros cuadrados (ANEXO B) y un total de 4 parcelas.

La fórmula empleada para determinar el número de parcelas se basó en considerar el área total de la plantación, multiplicarla por la intensidad de muestreo y luego dividir entre el área de cada parcela.

$$n = \frac{A \cdot I}{a} \quad (1)$$

Donde:

n: número de parcelas

A: área total de la plantación (m<sup>2</sup>)

I: intensidad de muestreo

a: área de cada parcela (m<sup>2</sup>) (Corvalan y Hernandez, 2014)

### 3.7.1.2 *Toma de datos en campo: Medición de altura y diámetro de los árboles*

En cada una de las parcelas establecidas, se tomó datos de Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) a 1,30 m del suelo (ANEXO C) y diámetro a la mitad de la altura del árbol. Posteriormente, se registró alturas comerciales y altura total de los árboles (ANEXO E). Estos datos son fundamentales para calcular el factor de forma utilizando el método Schiffel y posteriormente para el cálculo del volumen comercial de la plantación.

A continuación, se detalla el paso a paso de la toma de datos en campo de cada una de las variables dasométricas de los árboles según la metodología señalada por el manual Science Enviromental (2018, p. 61).

Una vez concluidas las tareas de reconocimiento, se procedió a la medición del DAP (Diámetro a la Altura del Pecho) de los árboles en las parcelas designadas. Esta medición se llevó a cabo a una altura de 1,30 m sobre el nivel del suelo, utilizando una forcípula. Posteriormente, se procedió a la medición de las alturas comercial y total de los árboles mediante el empleo de un clinómetro (ANEXO E). Otro dato inicial crucial para el cálculo del factor de forma consistió en la medición del diámetro a la mitad del árbol, esta medición se efectuó escalando los árboles, al igual que el DAP esta medida se obtuvo utilizando una forcípula.

Cada uno de estos datos fue registrado en un formulario de campo (ANEXO F), seguido de la creación de una base de datos en Excel.

### 3.7.1.3 *Establecimiento de las clases diamétricas*

Las clases diamétricas se establecieron basándose en los diámetros encontrados durante el estudio. Se recolectaron datos precisos de los diámetros de los árboles presentes en el área de interés, lo que permitió analizar la distribución de estos diámetros y determinar los límites de las clases diamétricas.

El proceso de definir las clases diamétricas se llevó a cabo de manera cuidadosa y considerando la representatividad de los datos recolectados. Se buscó que las clases diamétricas abarcaran un

espectro adecuado de tamaños de árboles, desde los más pequeños hasta los más grandes, permitiendo una caracterización completa de la estructura y composición de la población forestal.

**Tabla 3-2:** Criterios para la generación de las clases diamétricas

Número de datos	Total de observaciones o datos
Valor máximo	El dato más grande de todo el conjunto de datos
Valor mínimo	El dato más pequeño de todo el conjunto de datos
No. de intervalo de la clase diamétrica	Se utilizó un total de 7 clases diamétricas
Amplitud de clase	Se utilizó una amplitud de 5 cm

**Fuente:** Gonzalez et al., 2017

**Realizado por:** Pilamunga J., 2023

#### 3.7.1.4 Cálculo de factor de forma por el método Schiffel

Una vez establecida las clases diamétricas se realizó el cálculo del factor de forma empleando la metodología de Schiffel. Esta es una técnica utilizada en silvicultura y estudios forestales para determinar el factor de forma de los árboles. Este método se basa en la medición de los diámetros mencionados anteriormente (Prodan, 1997, p. 67).

$$Q_s = \left( \frac{d_{1/2h}}{d_{1.3}} \right)^2 \quad (2)$$

Donde:

$Q_s$  = factor de forma según Schiffel

$d_{1/2h}$  = es el valor del diámetro tomado en la mitad de la altura del árbol; y

$d_{1.3}$  = diámetro tomado a 1,30 m del suelo (Prodan, 1997, p. 67)

Utilizando la fórmula previamente mencionada (Schiffel) se tabuló los datos obtenidos en campo en Excel y se calculó el factor de forma para cada árbol en función de su clase diamétrica correspondiente. Para lograr la clasificación de los datos según las clases diamétricas predefinidas, se empleó la herramienta de tablas dinámicas en Excel. A través de la aplicación de la fórmula de promedio, se obtuvieron los resultados correspondientes, los cuales están detallados en los anexos de este documento.

#### 3.7.1.5 Análisis estadístico

El tipo de diseño experimental que se utilizó para el análisis de los datos procedentes del muestreo fue de Bloques Completos al Azar, considerando como tratamientos las diferentes clases diamétricas y repeticiones a los factores de forma de los árboles de las diferentes parcelas.

Para probar la hipótesis planteada en el primer objetivo de la investigación, se realizó en primer lugar la comprobación de los supuestos de normalidad, y luego un análisis de varianza (ANOVA) de un factor o de una sola vía.

A continuación, se detalla los pasos seguidos para realizar el ANOVA:

- **Organizar los datos:** Calcular el factor de forma para cada clase diamétrica
- **Verificación de los supuestos de ANOVA:** Antes de realizar el ANOVA, es importante verificar si se cumplen los supuestos necesarios. Los supuestos incluyen la normalidad de los residuos y la homogeneidad de las varianzas entre los grupos. Se utilizó pruebas estadísticas como el test de normalidad (por ejemplo, el test de Shapiro-Wilk) y el test de homogeneidad de varianzas (por ejemplo, el test de Levene) (ANEXO O) para evaluar estos supuestos.
- **Análisis de varianza (ANOVA):** Se introdujo los datos y se especificó la variable dependiente (factor de forma) y el factor (clases diamétricas). Utilizando el software estadístico InfoStat.
- **Interpretación de los resultados:** Se examinó los resultados del ANOVA para determinar si hay diferencias significativas entre las clases diamétricas en el factor de forma. Poniendo especial atención al valor de p-valor asociado al factor de forma. Considerando que si el valor de p es menor que un umbral de significancia predeterminado (como  $p < 0.05$ ), se rechaza la hipótesis nula y se concluye que hay al menos una diferencia significativa en el factor de forma entre las clases diamétricas.

### **3.7.2 Cálculo del volumen comercial de la plantación en estudio**

En esta sección se describe la metodología empleada para determinar el volumen total de la plantación forestal en estudio.

Una vez establecida las clases diamétricas y calculado el factor de forma, se realizó el cálculo del volumen comercial de toda la plantación correspondiente a *P. radiata*, utilizando los factores de forma calculados. Para lo cual se siguió el siguiente procedimiento:

#### 3.7.2.1 *Muestreo de árboles*

Para llevar a cabo el cálculo preciso del volumen comercial de la plantación, fue fundamental contar con tres conjuntos de datos esenciales: el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP), el factor de forma y la altura comercial de los árboles. La recopilación de el DAP y la altura comercial se realizó en el campo, siguiendo un método detallado a una intensidad de muestreo del 5% en relación al área total de la plantación evaluada.

#### 3.7.2.2 *Organización de los datos*

Se creó una nueva base de datos en Excel (ANEXO J) para cada una de las parcelas, en el cual se almacenó los datos correspondientes de cada una de las parcelas, como: número de parcela, número de árbol, Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) y la altura comercial. Luego, se procedió a la organización de los datos de los diámetros y alturas comerciales según sus respectivas clases diamétricas. Este proceso fue llevado a cabo para las cuatro parcelas que fueron muestreadas (ANEXO K).

Una vez organizado los datos, se realizó un resumen de los DAP, Altura comercial y frecuencia de los datos de los árboles. Posteriormente se obtuvo el promedio de cada una de las variables mencionadas (DAP, Altura comercial) (ANEXO M).

#### 3.7.2.3 *Cálculo del volumen comercial por parcela de muestreo*

Para determinar los volúmenes de las parcelas muestreadas, se organizó la información de los diámetros en las clases diamétricas predefinidas, además se calculó el área basal correspondiente. Para lo cual se utilizó la siguiente ecuación:

$$AB = \frac{\pi}{4000} * DAP^2 \quad (3)$$

Donde:

AB: área basal

DAP: diámetro a la altura del pecho en cm

4000: factor de conversión de cm a m (Hernández et al., 2013: pp. 61-77)

Una vez terminado el cálculo de los volúmenes según la clase diamétrica, se realizó una suma y se obtuvo el volumen total de cada una de las parcelas muestreadas.

#### 3.7.2.4 Cálculo del volumen comercial de toda la plantación

Las variables dasométricas (DAP, altura comercial) obtenidas en campo fueron tabuladas en Excel y se utilizó la siguiente fórmula para calcular el volumen comercial de la plantación además del factor de forma calculado.

$$V_c = \frac{\pi}{4} DAP^2 * h * f \quad (4)$$

Donde:

$V_c$ : volumen comercial

$DAP$ : diámetro a la altura del pecho

$h$ : Altura

$f$ : Factor de forma calculado (Zamora y Pando, 2004: pp. 135-140)

Después de obtener el volumen total de la plantación, se procedió a clasificar la madera en dos categorías: delgada y gruesa, considerando la totalidad del área de la plantación de 4 hectáreas. Para finalizar, se efectuó un último cálculo del volumen total de la plantación, incorporando variables estadísticas adicionales como el promedio, la desviación estándar, el coeficiente de variación y el error.

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Determinación del factor de forma de acuerdo a las clases diamétricas

En esta sección, se exponen los resultados obtenidos en relación con el objetivo principal de la investigación, que consiste en determinar el factor de forma de *Pinus radiata* en función de las clases diamétricas.

##### 4.1.1 Clases diamétricas

En la tabla 4-1 se presenta información relevante sobre el proceso de cálculo de las clases diamétricas de una muestra de 166 árboles de la especie *P. radiata*, específicamente relacionada con sus diámetros a 1,30 metros del suelo (Diámetro a la Altura del Pecho o DAP)

**Tabla 4-1:** Cálculo de clases diamétricas

Total de observaciones	V. max (DAP 1,30 m)	V. min (DAP 1.30m)	Numero de Clases diamétricas	Amplitud de clase
166	40	6	7	5

Realizado por: Pilamunga J., 2023

V.max: valor máximo

V.min: valor mínimo

El total de observaciones fue de 166. Es decir que se midió y se registró datos de 166 árboles de *P. radiata* en la muestra estudiada. La columna "V. máximo" representa el diámetro máximo medido a 1,30 metros de altura del suelo. En este caso, el valor máximo registrado fue de 40 centímetros. La columna "V. mínimo" muestra el diámetro mínimo medido a 1,30 metros del suelo. En este caso, el valor mínimo registrado fue de 5 centímetros.

La amplitud de clase es la diferencia en tamaño entre las clases diamétricas. En el presente estudio, la amplitud de clase asignado fue de 5 centímetros, dando como resultado 7 clases diamétricas.

A partir de la explicación anterior la tabla 4-2 muestra las "Clases Diamétricas" encontradas de una muestra de 166 árboles. Cada clase diamétrica representa un rango de diámetros y contiene

información específica sobre la frecuencia absoluta (F.A), frecuencia relativa (F.R), frecuencia acumulada absoluta (F.A.A) y frecuencia acumulada relativa (F.R.A).

**Tabla 4-2:** Clases diamétricas de *Pinus radiata*

N°	Clases Diamétricas (cm)	FA	FR	F.A. A	F.R. A
1	5,1-10	25	15,06%	25	15,06%
2	10,1-15	54	32,53%	79	47,59%
3	15,1-20	50	30,12%	129	77,71%
4	20,1-25	18	10,84%	147	88,55%
5	25,1-30	12	7,23%	159	95,78%
6	30,1-35	5	3,01%	164	98,80%
7	35,1-40	2	1,20%	166	100,00%
		<b>166</b>	<b>100.00%</b>		

**Realizado por:** Pilamunga J., 2023

Las clases diamétricas corresponden las categorías que agrupan los diámetros de los árboles. Cada clase se define por un rango específico de diámetros. Los resultados de la tabla 2-4 muestran las 7 clases halladas en este estudio y muestran cómo se distribuyen los árboles en cada rango.

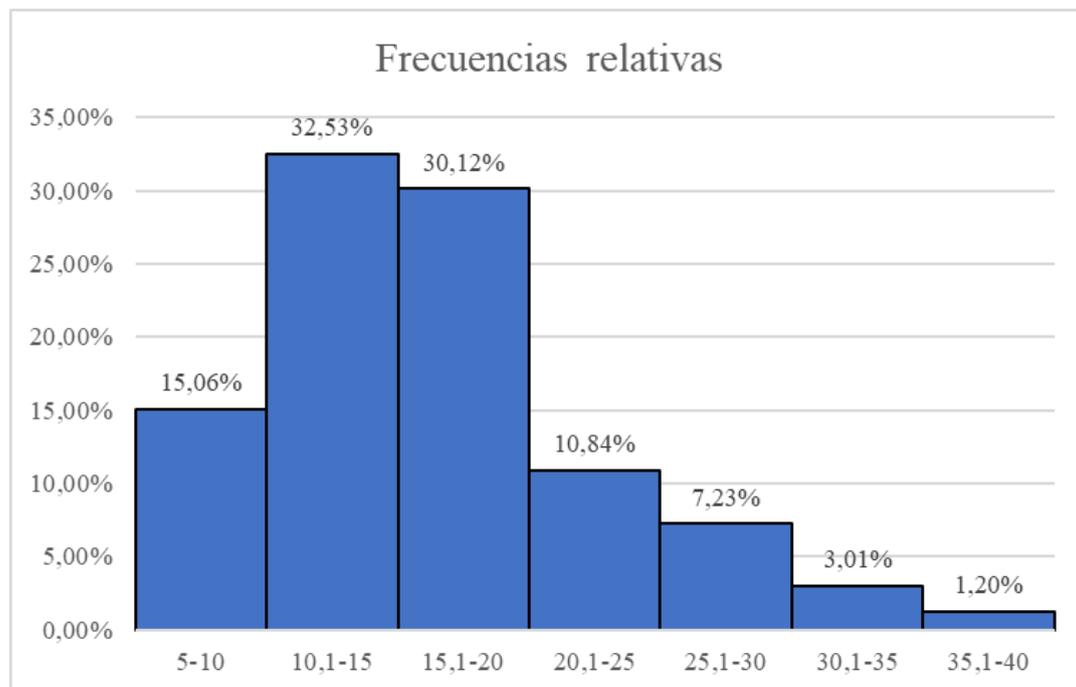
Sabiendo que la frecuencia absoluta es el número total de árboles que se encuentra en cada clase diamétrica, en la tabla 2-4 se observa, que dentro de las clases 10,1 cm a 15 cm se encuentran 54 árboles y así con todas las demás clases diamétricas. Por otro lado, la frecuencia Relativa (FR): Muestra la proporción de árboles en términos de porcentaje en cada clase diamétrica con respecto al total de árboles. Por ejemplo, en la clase 5 cm-10 cm, los 25 árboles representan el 15,06% del total de árboles, del mismo modo para las demás clases diamétricas.

Frecuencias Absolutas Acumuladas (F.A. A): Es la suma acumulativa de las frecuencias absolutas a medida que avanzamos de clase en clase. Por ejemplo, en la clase 20,1-25, la F.A. A es 147, lo que significa que hasta ese punto hay un total de 147 árboles. Frecuencias Relativas Acumuladas (F.R. A): Es similar a la F.A.A, pero expresada como un porcentaje del total. Por ejemplo, en la clase 30,1-35, la F.R.A es 98,80%, lo que indica que hasta ese punto se ha alcanzado casi el 99% de los árboles.

En términos de frecuencia relativa acumulada, es interesante notar que la mayoría de los árboles de *P. radiata* se encuentran en las clases diamétricas con diámetros más pequeños. Por ejemplo, las clases de 5 a 20 centímetros de diámetro representan más del 70% de la población total de árboles muestreados.

En referencia al establecimiento de las clases diamétricas en una plantación forestal, Chasquero (2019, p. 48) señala que clasificar por clases diamétricas es una herramienta de gran utilidad en la planificación del manejo forestal debido a que proporcionan estimaciones del volumen maderable por clase diamétrica, lo que implica una predicción implícita. Esta clasificación por clases diamétricas revela la estructura del rodal según las diferentes clases diamétricas, lo que permite definir los tratamientos silvícolas que pueden aplicarse, ya que el tamaño de los diámetros influye en el uso industrial de la madera y en el precio de los productos obtenidos. Asimismo, la distribución diamétrica juega un papel crucial en la planificación de la cosecha de madera, ya que afecta la elección de la maquinaria de extracción y transporte a utilizar.

En la ilustración 4-1 se aprecia la distribución de los árboles en cada clase diamétrica en términos de porcentaje:



**Ilustración 4-1:** Histograma de frecuencias relativas de las clases diamétricas

**Realizado por:** Pilamunga J., 2023

En la ilustración 4-1, se evidencia que la mayoría de los árboles se encuentran dentro de las clases diamétricas de 10 a 20 cm. Esta observación sugiere que la plantación se encuentra en una etapa juvenil de su desarrollo. Además, sirve como un indicador de que la plantación no ha recibido las prácticas de silvicultura necesarias para promover un crecimiento uniforme.

#### 4.1.1.2 Factor de forma por método Schiffel por clase diamétrica

En la tabla 4-3 se muestra las diferentes clases diamétricas y los factores de forma correspondientes a cada clase.

**Tabla 4-3:** Factor de forma (Schiffel) en función de las clases diamétricas

N°	Clases Diamétricas (cm)	Frecuencia	Fact. forma
1	5,1-10	25	0,48
2	10,1-15	54	0,54
3	15,1-20	50	0,66
4	20,1-25	18	0,73
5	25,1-30	12	0,76
6	30,1-35	5	0,80
7	35,1-40	2	0,87
<b>Total</b>		<b>166</b>	<b>0,69</b>

Realizado por: Pilamunga J., 2023

Los valores de la tabla anterior muestran cómo el factor de forma varía según la clase diamétrica en la plantación de *P. radiata*. De acuerdo con Lozano y Bonilla (2022: p. 348) valores de factor de forma cercanos a uno implica que los árboles en esa clase tienen una forma más cilíndrica y, por lo tanto, más madera aprovechable (Uranga et al., 2015: p. 788), lo que influye en el cálculo del volumen total de madera para cada grupo de árboles de esa clase.

En este estudio, al calcular el promedio general de los factores de forma de todas las clases diamétricas (Tabla 4-3), se obtiene un valor de 0,69, que al redondearlo al número entero más cercano es igual a 0,7. Es interesante destacar que este resultado coincide con el factor de forma vigente establecido por el MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería) para *P. radiata*.

El resultado de factor de forma obtenido en esta investigación también se puede comparar con otros que se han realizado, tal es el caso de Antillanca et al., (2017: p. 85) quien obtuvo un resultado de 0,70-0,72. No obstante, en un estudio realizado por Diaz (2018, p. 33) se halló valores de factor de forma de 0,5 a 0,3 lo que contrasta con los valores encontrados en el presente estudio.

El valor de factor de forma elevado hallado en este estudio se puede explicar que se debe a la fórmula de Schiffel usado, ya que según Corvalan y Hernandez (2014: p. 5), un inconveniente con este método para determinar el factor de forma radica en que arroja valores cercanos a uno. En

ese sentido, Espinoza et al., (1967: p. 30) señala esta problemática con dicho método, podría ser una de las razones del porque se obtuvo valores de factor de forma superiores a 0,6 en este estudio. Un aspecto adicional que destaca en relación con los valores elevados de los factores de forma es que la plantación objeto de estudio no se ha realizado manejos silviculturales, lo que también influye en los valores del factor de forma (Uranga et al., 2015: p. 788). Por otro lado, Olivar et al., (2013: p. 1) señala que las variaciones de factor de forma pueden estar relacionado con factores medioambientales como calidad de suelo, clima, competencia y calidad de sitio.

#### 4.1.1.3 Madera gruesa y madera delgada en función de la clase diamétricas

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en relación con el análisis de la distribución de madera gruesa y madera delgada con respecto a las clases diamétricas.

**Tabla 4-4:** Factor de forma en función de la clase diamétrica y de la Tipo de madera: gruesa y delgada

Nº	Clases Diamétricas cm.	Frecuencia	Fact. forma	Calidad de madera	Fact. forma promedio
1	5,1-10	25	0,48	Delgada	0,60
2	10,1-15	54	0,54	Delgada	
3	15,1-20	50	0,66	Delgada	
4	20,1-25	18	0,73	Delgada	
5	25,1-30	12	0,76	Gruesa	0,81
6	30,1-35	5	0,80	Gruesa	
7	35,1-40	2	0,87	Gruesa	
<b>Total</b>		<b>166</b>	<b>0,69</b>		<b>0,69</b>

Realizado por: Pilamunga J., 2023

La clasificación de la madera en categorías de calidad "delgada" y "gruesa" se efectuó siguiendo los criterios establecidos por ACOSAFOREST (2008), quienes establecen que los árboles con diámetros menores a 25 cm se le denomina madera delgada, mientras que a aquellos árboles cuyos diámetros superan los 25 cm, se catalogan como madera gruesa. Siguiendo esta pauta, la Tabla 4-4 ilustra que las clases diamétricas en el rango de 5 a 25 cm corresponden a la categoría de calidad denominada madera delgada, exhibiendo un factor de forma promedio de 0,60. Asimismo, las clases diamétricas que abarcan desde 25 cm hasta 40 cm se enmarcan en la categoría de calidad denominada madera gruesa. En esta categoría, el factor de forma promedio se eleva a 0,80, señalando una tendencia hacia una forma más robusta y recta en los troncos de mayor diámetro.

Por otro lado, la Tabla 4-5 presenta los porcentajes de árboles correspondientes a las categorías de "madera delgada" y "madera gruesa" en relación con el total de la muestra, clasificados por clases diamétricas. Se proporcionan porcentajes parciales y totales para cada clase diamétrica, lo que permite visualizar cómo se distribuyen las categorías de la Tipo de madera dentro de cada rango de diámetro y en el conjunto de la muestra. Es así que, del total de la muestra analizada en este estudio, el 88,55% de los árboles corresponde a la categoría de calidad denominada madera delgada, mientras que tan solo el 11,45% corresponde a la categoría de calidad madera gruesa.

**Tabla 4-5:** Porcentajes de árboles correspondientes a madera delgada y gruesa del total de la muestra

N°	Clases Diamétricas cm.	Frecuencia	Fact. forma	Calidad de Madera	Porcentaje parcial	Total
1	5,1-10	25	0,48	Delgada	15,06%	88,55%
2	10,1-15	54	0,54	Delgada	32,53%	
3	15,1-20	50	0,66	Delgada	30,12%	
4	20,1-25	18	0,73	Delgada	10,84%	
5	25,1-30	12	0,76	Gruesa	7,23%	11,45%
6	30,1-35	5	0,8	Gruesa	3,01%	
7	35,1-40	2	0,87	Gruesa	1,20%	
<b>Total</b>		<b>166</b>	<b>0,69</b>			<b>100,00%</b>

Realizado por: Pilamunga J., 2023

De acuerdo con Merino (2010, p. 109), la categorización de los árboles en una plantación forestal como "madera delgada" o "madera gruesa" desempeña un papel crucial, especialmente en la evaluación de la calidad de la plantación. Esta clasificación permite la asignación de los árboles a diversas áreas de procesamiento en la industria forestal. Por ejemplo, la madera delgada se emplea de manera efectiva en la fabricación de pallets, duelas, pisos, tablillas y tablas de hasta 12 cm de grosor, además de ser utilizada en el proceso de chipeado para la creación de aglomerados. En contraste, la madera gruesa encuentra su utilidad en la producción de una amplia variedad de elementos de madera aserrada. Esta distinción proporciona a la industria forestal la capacidad de tomar decisiones más acertadas, lo que resulta en una reducción de costos de producción y, lo que es aún más importante, una práctica más sostenible.

#### 4.1.1.4 Forma del árbol en función del factor de forma

El valor del factor de forma calculado por cada clase diamétrica, corresponden a una determinada forma geométrica, estos resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 4-6:** Tipo de conoide aproximado según Factor de Forma y clase diamétrica

Nº	Clases Diamétricas cm.	Fact. forma	Tipo de conoide Aproximado
1	5,1-10	0,48	Paraboloide
2	10,1-15	0,54	Paraboloide
3	15,1-20	0,66	Cilíndrico
4	20,1-25	0,73	Cilíndrico
5	25,1-30	0,76	Cilíndrico
6	30,1-35	0,80	Cilíndrico
7	35,1-40	0,87	Cilíndrico

Realizado por: Pilamunga J., 2023

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior, los árboles que se encuentran en las clases diamétricas de 5 y 15 cm se asemejan a una forma paraboloide, mientras que los árboles que se encuentran en las clases diamétricas de 15 y 40 cm se asemejan a una forma cilíndrica.

Estos datos son consistentes con la afirmación de Corvalán y Hernández (2014, p. 1), quienes señalan que los valores de factor de forma cercanos a 1 indican árboles con forma cilíndrica, valores cercanos a 0,5 indican una forma paraboloide, valores cercanos a 0,33 sugieren una forma cónica y valores cercanos a 0,25 se asocian con una forma neiloide. De manera similar, los hallazgos obtenidos en este estudio coinciden con lo mencionado por Gutiérrez et al., (2013) citado por Lozano y Bonilla (2022, p. 348), cuando sugiere que el factor de forma para un fuste con forma cilíndrica es  $\geq 0,75$ .

#### 4.1.2 *Análisis estadístico de las clases diamétricas*

##### 4.1.2.1 *Prueba de normalidad*

Luego de aplicar la prueba de normalidad a los datos. Los resultados obtenidos indican que el p-valor para el Factor de forma es mayor que 0,05 (ANEXO P) por lo tanto los datos para "F. F", se distribuyen de manera normal en los conjuntos de datos analizados.

##### 4.1.2.2 *Análisis de varianza*

El Análisis de la Varianza (ANOVA) es fundamental para comprender si existen diferencias significativas entre las diferentes clases diamétricas de *P. radiata* en la parroquia Sicalpa en

términos de factor de forma. Tomando en cuenta las hipótesis planteadas, procedemos a interpretar los resultados.

**Tabla 4-7:** Análisis de varianza del Factor de forma de *Pinus radiata*

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
F. F	28	0,83	0,78	9,87

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	S.C	g.L	CM	F	p-valor
Modelo	0,47	6	0,08	16,90	<0,0001
Clases	0,47	6	0,08	16,90	<0,0001
Error	0,10	21	4,7E-03		
Total	0,57	27			

Realizado por: Pilamunga J., 2023

F.F: Factor de forma

En la tabla 4-7 se observa que el valor de R<sup>2</sup> es 0,83, lo que significa que aproximadamente el 83% de la variabilidad observada en el factor de forma puede ser explicada por las diferentes clases diamétricas consideradas. Por otro lado, el valor de R<sup>2</sup> ajustado es 0,78, lo que indica que el modelo sigue siendo sólido y puede explicar el 78% de la variabilidad de los datos incluso al tener en cuenta el número de clases diamétricas consideradas.

El coeficiente de variación es una medida relativa de la dispersión de los datos en relación con su media. En este caso, el CV es de aproximadamente 9,87%, lo que indica que el factor de forma dentro de cada clase diamétrica es diferente en comparación con su media. En la tabla 5-4 se presenta un análisis de la varianza con tres partes: el modelo, las clases y el error. Tanto el modelo como las clases son muy importantes (p-valor < 0,0001), lo que indica una diferencia significativa en el factor de forma de los árboles entre diferentes tamaños, considerando una amplitud de clase de 5 cm.

Por lo tanto, en esta investigación se rechaza la hipótesis nula planteada (No hay diferencia significativa en el factor de forma de una plantación de *P. radiata* en la parroquia Sicalpa entre las diferentes clases diamétricas) y podemos concluir que existe al menos una diferencia significativa en el factor de forma de *P. radiata* entre las clases diamétricas.

A continuación, se analiza los resultados obtenidos del Test de Tukey para evaluar las diferencias significativas existentes entre las diferentes clases diamétricas:

**Tabla 4-8:** Test de tukey Alfa=0,05 DMS=0,15725 para las clases diamétricas  
Error: 0,0047 gl: 21

N°	Clases diamétricas	Medias				
1	5,1-10	0,48	A			
2	10,1-15	0,54	A	B		
3	15,1-20	0,66		B	C	
4	20,1-25	0,73			C	D
5	25,1-30	0,76			C	D
6	30,1-35	0,80			C	D
7	35,1-40	0,87				D

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

Realizado por: Pilamunga J., 2023

La tabla 4-8 muestra que hay diferencias significativas entre algunas de las clases diamétricas de *P. radiata* en términos de factor de forma, mientras que otras no presentan diferencias significativas. Algunas observaciones se detallan a continuación:

Las clases diamétricas "5-10" y "10,1-15" tienen la misma letra "A", lo que significa que no hay diferencias significativas entre sus medias. Ambos grupos tienen valores similares de factor de forma.

La clase diamétrica "15,1-20" tiene una letra "B", lo que indica que es significativamente diferente de las clases "5-10" y "10,1-15", pero no de las demás.

La clase diamétrica "20,1-25" tiene una letra "C", lo que significa que es significativamente diferente de las clases "5-10", "10,1-15" y "15,1-20", pero no de las siguientes.

Las clases diamétricas "25,1-30", "30,1-35" y "35,1-40" tienen la misma letra "D", lo que indica que no hay diferencias significativas entre sus medias.

#### 4.2 Cálculo del volumen comercial de la plantación en estudio

En esta sección se presenta los resultados con respecto al segundo objetivo de investigación planteada el cual fue calcular el volumen comercial de la plantación en estudio

#### 4.2.1 Volumen de madera por parcelas de muestreo

Las siguientes tablas proporcionan información detallada sobre el cálculo del volumen de madera de *P. radiata* a partir de cuatro parcelas circulares con sus respectivas clases diamétricas, diámetros a la altura del pecho (DAP), áreas basales, alturas comerciales, factores de forma, volúmenes unitarios y resultados totales.

**Tabla 4-9:** Volumen de madera existente en la parcela de muestreo número 1 en sus diferentes clases diamétricas.

Clases diamétricas cm.	DAP cm.	Area Basal m <sup>2</sup>	Alt.Com. m.	Fact. forma	Vol. Unit. m <sup>3</sup>	Frec.	Vol. en 0.05 ha m <sup>3</sup>
5,1 - 10	7,14	0,00	6,02	0,48	0,01	11	0,11
10,1 - 15	12,26	0,01	11,25	0,54	0,07	12	0,84
15,1 - 20	17,12	0,02	14,60	0,66	0,22	12	2,64
20,1 - 25	20,50	0,03	16,33	0,73	0,39	4	1,56
25,1 - 30	29,00	0,07	17,60	0,76	0,88	1	0,88
30,1- 35	32,00	0,08	17,20	0,80	1,11	2	2,22
35,1- 40	38,00	0,11	15,50	0,87	1,53	1	1,53
					Σ =	<b>43</b>	<b>9,78</b>
					<b>TOTAL</b>		<b>195,60</b>

Realizado por: Pilamunga J., 2023

En la tabla 4-9 se observa el cálculo a detalle del volumen comercial existente en la parcela número 1. La suma total de los volúmenes parciales por clases diamétricas da un total de 9,78 m<sup>3</sup> de un total de 43 individuos. El valor 195,60 m<sup>3</sup> representa los metros cúbicos proyectado por hectárea.

**Tabla 4-10:** Volumen de madera existente en la parcela de muestreo número 2 en sus diferentes clases diamétricas.

Clase cm.	DAP cm.	Area Basal m <sup>2</sup>	Alt.Com. m.	Fact. forma	Vol. Unit. m <sup>3</sup>	Frec.	Vol. m <sup>3</sup>
5,1 - 10	8,69	0,01	6,89	0,48	0,02	14	0,28
10,1 - 15	11,93	0,01	10,00	0,54	0,06	20	1,20
15,1 - 20	17,16	0,02	14,17	0,66	0,22	15	3,30
20,1 - 25	21,70	0,04	15,85	0,73	0,43	4	1,72
25,1 - 30	25,50	0,05	17,30	0,76	0,67	2	1,34
30,1- 35	31,70	0,08	19,40	0,80	1,22	1	1,22
35,1- 40	36,00	0,10	19,30	0,87	1,71	1	1,71
					Σ =	<b>57</b>	<b>10,77</b>

Realizado por: Pilamunga J., 2023

En la tabla 4-10, se puede apreciar el desglose completo del volumen comercial presente en la parcela número 2. La suma global de los volúmenes parciales por clases diamétricas totaliza 10,77 m<sup>3</sup> de un conjunto de 57 árboles. El valor 215,40 corresponde a la cantidad de metros cúbicos proyectado por hectárea.

**Tabla 4-11:** Volumen de madera presente en la parcela de muestreo 3 en sus diferentes clases diamétricas

Clase cm.	DAP cm.	Area Basal m <sup>2</sup>	Alt.Com. m.	Fact. forma	Vol. Unit. m <sup>3</sup>	En 0,05 ha	
						Frec.	Vol. m <sup>3</sup>
5,1 - 10		0,00		0,48	0,00	0	0,00
10,1 - 15	12,84	0,01	15,23	0,54	0,11	11	1,21
15,1 - 20	17,89	0,03	16,34	0,66	0,27	11	2,97
20,1 - 25	22,23	0,04	17,00	0,73	0,48	4	1,92
25,1 - 30	27,82	0,06	17,83	0,76	0,82	3	2,46
30,1 - 35	30,40	0,07	18,00	0,80	1,05	1	1,05
35,1 - 40				0,87	0,00	0	0,00
$\Sigma =$						30	<b>9,61</b>
						<b>TOTAL</b>	<b>192,2</b>

Realizado por: Pilamunga J., 2023

La tabla 4-11 muestra a detalle el cálculo del volumen comercial presente dentro de la parcela número 3, se observa que de un total de 30 individuos evaluados da un volumen de 9,61m<sup>3</sup>. El valor 192,2, indica el volumen total de madera estimado en la parcela, proyectado por hectárea.

**Tabla 4-12:** Volumen de madera presente en la parcela de muestreo 4 en sus diferentes clases diamétricas

Clase cm.	DAP cm.	Area Basal m <sup>2</sup>	Alt.Com. m.	Fact. forma	Vol. Unit. m <sup>3</sup>	En 0,05 ha	
						Frec.	Vol. m <sup>3</sup>
5,1 - 10		0,00		0,48	0,00	0	0,00
10,1 - 15	12,90	0,01	15,68	0,54	0,11	11	1,21
15,1 - 20	17,27	0,02	17,67	0,66	0,27	12	3,24
20,1 - 25	23,25	0,04	17,17	0,73	0,53	6	3,18
25,1 - 30	25,70	0,05	17,25	0,76	0,68	6	4,08
30,1 - 35	31,20	0,08	18,00	0,80	1,10	1	1,10
35,1 - 40		0,00		0,87	0,00	0	0,00
$\Sigma =$						36	<b>12,81</b>

Realizado por: Pilamunga J., 2023

La Tabla 4-12 presenta en detalle el cálculo del volumen comercial en la parcela número 4. Se evidencia que, de un total de 36 árboles evaluados, se obtiene un volumen de 12,81 m<sup>3</sup>. Además, el valor 256,2 refleja el volumen total estimado de madera proyectado por hectárea.

#### 4.2.2 Volumen por clases diamétricas

La Tabla 4-13 se observa un análisis del volumen comercial total distribuido en diferentes clases diamétricas en las 4 parcelas inventariadas. Se evidencia que el volumen comercial total de las 4 parcelas de un total de 166 árboles evaluados es igual a 44,12 m<sup>3</sup>. Además, se calculó el volumen estimado en las cuatro parcelas proyectado para una hectárea cuyo resultado es igual a 220,6 m<sup>3</sup>.

**Tabla 4-13:** Volumen comercial promedio por clases diamétricas de las 4 parcelas inventariadas

N°	Clases diamétricas cm.	DAP cm.	Area Basal m <sup>2</sup>	Alt.Com. m.	Fact. forma	Vol. Unit. m <sup>3</sup>	Vol. en 0,20 ha	
							Frec	m <sup>3</sup>
1	5,1 – 10	7,91	0,00	6,45	0,48	0,02	25	0,50
2	10,1 – 15	12,48	0,01	13,04	0,54	0,09	54	4,86
3	15,1 – 20	17,36	0,02	15,69	0,66	0,25	50	12,50
4	20,1 – 25	21,92	0,04	16,59	0,73	0,46	18	8,28
5	25,1 – 30	27,00	0,06	17,50	0,76	0,77	12	9,24
6	30,1- 35	31,33	0,08	18,15	0,80	1,13	5	5,65
7	35,1- 40	37,00	0,11	17,40	0,87	1,63	2	3,26
<b>TOTAL</b>						$\Sigma =$	<b>166</b>	<b>44,12</b>
								<b>220,6</b>

Realizado por: Pilamunga J., 2023

#### 4.2.3 Volumen madera delgada y gruesa por clase diamétrica en las parcelas inventariadas

La Tabla 4-14 presenta un análisis detallado del volumen de madera de las parcelas inventariadas, segmentado por clases diamétricas y dividido en dos categorías de Tipo de madera: "Delgada" y "Gruesa". Esta subdivisión según la Tipo de madera es relevante para comprender cómo se distribuye el volumen de madera en función de las características de los árboles y cómo esto puede

influir en la planificación del aprovechamiento forestal y la comercialización de la madera (Merino, 2010).

**Tabla 4-14:** Volumen de madera de las parcelas inventariadas por clases diamétricas y Tipo de madera: Delgada y gruesa

N°	Clases diamétricas cm.	DAP cm.	Alt.Com. m.	Fact. forma	Vol. Unit. m <sup>3</sup>	Vol. en 0,20		Tipo de madera
						Frec	ha	
1	5,1 – 10	7,91	6,45	0,48	0,02	25	0,50	Delgada
2	10,1 – 15	12,48	13,04	0,54	0,09	54	4,86	Delgada
3	15,1 – 20	17,36	15,69	0,66	0,25	50	12,50	Delgada
4	20,1 – 25	21,92	16,59	0,73	0,46	18	8,28	Delgada
5	25,1 – 30	27,00	17,50	0,76	0,77	12	9,24	Gruesa
6	30,1- 35	31,33	18,15	0,80	1,13	5	5,65	Gruesa
7	35,1- 40	37,00	17,40	0,87	1,63	2	3,26	Gruesa
<b>TOTAL</b>					$\Sigma =$	<b>166</b>	<b>44,12</b>	

Realizado por: Pilamunga J., 2023

#### 4.2.4 Volumen comercial de la plantación

La Tabla 4-15 presenta información sobre el volumen y el número de árboles proyectado para una hectárea en función de diferentes clases diamétricas.

**Tabla 4-15:** Volumen y número de árboles de una hectárea

Clases diamétricas cm.	Volumen/árbol m <sup>3</sup>	Frecuencia	Vol / Clase. Diamétrica ( m <sup>3</sup> )
5,1 - 10	0,0200	125	2,50
10,1 - 15	0,0900	270	24,30
15,1 - 20	0,2500	250	62,50
20,1 - 25	0,4600	90	41,40
25,1 - 30	0,7600	60	45,60
30,1- 35	1,1200	25	28,00
35,1- 40	1,6300	10	16,30
<b>TOTAL</b>		<b>830</b>	<b>220,60</b>

Realizado por: Pilamunga J., 2023

Se distingue una tendencia de aumento en el volumen por árbol a medida que aumenta el diámetro del árbol. Esto es lógico, ya que árboles más grandes tienen más volumen de madera. Por ejemplo, los árboles en la clase diamétrica "35,1- 40 cm" tienen el volumen por árbol más alto (1,63 m<sup>3</sup>),

en comparación con la clase más pequeña "5,1 - 10 cm" (0.0200 m<sup>3</sup>). El volumen total de madera por hectárea se distribuye de manera desigual entre las diferentes clases diamétricas. Según Salas e Infante (2006: pp.47-70) estos resultados reflejan la heterogeneidad de la plantación forestal y cómo los árboles de diferentes tamaños y su cantidad contribuyen al volumen total.

El volumen total estimado de madera proyectado por hectárea es de 220,60 m<sup>3</sup>. Esta cifra es el resultado de sumar el volumen de todas las clases diamétricas proyectadas para una hectárea. De acuerdo con López y Gonzales (2010: pp. 1-6) esto refleja el potencial de producción maderera por hectárea en el área estudiada. Por último, se distingue el número total de árboles existentes en la plantación de una hectárea en sus diferentes clases diamétricas, este total da un resultado de 830 árboles.

**Tabla 4-16:** Volumen y número de árboles en las 4 hectáreas

Clases diamétricas cm.	Volumen/árbol. m <sup>3</sup>	Frecuencia	Vol/Clase. Diamétrica. m <sup>3</sup>	Tipo de madera	Volumen por Tipo de madera .m <sup>3</sup>
5,1 – 10	0,0200	500	10,00	Delgada	522,80
10,1 – 15	0,0900	1080	97,20	Delgada	
15,1 – 20	0,2500	1000	250,00	Delgada	
20,1 – 25	0,4600	360	165,60	Delgada	359,60
25,1 – 30	0,7600	240	182,40	Gruesa	
30,1- 35	1,1200	100	112,00	Gruesa	
35,1- 40	1,6300	40	65,20	Gruesa	
<b>TOTAL</b>		<b>3320</b>	<b>882,40</b>		<b>882.40</b>

**Realizado por:** Pilamunga J., 2023

La Tabla 4-16 presenta información sobre el volumen y el número de árboles en un área de 4 hectáreas, organizados por clases diamétricas y Tipo de madera.

Según Merino (2010) la Tipo de madera está asociada con la clase diamétrica, en este caso las clases 5,1 – 10 cm, y 10,1 – 15 cm, se clasifican como “Delgada” alcanzando un volumen de 522,80 m<sup>3</sup>, mientras que las clases 25,1 – 30 cm, 30,1 – 35 cm y 35,1 – 40 cm se clasifican como “Gruesa” alcanzando un volumen de 359,60 m<sup>3</sup>. La utilización de las categorías, madera gruesa y delgada enmarcados como calidad, solo se debe para fines clasificatorios según el diámetro. En ese sentido Zambrano et al., (2013, pp. 65-80) manifiesta que esta clasificación posibilita asignar árboles a diferentes áreas de procesamiento en la industria forestal. Por ejemplo, la madera de menor espesor se utiliza eficazmente en la fabricación de pallets, duelas, pisos, tablillas y tablas de hasta 12 cm de grosor. También se emplea en el proceso de chipeado para crear aglomerados,

que no requieren una alta calidad o grosor en los árboles. Por otro lado, la madera más gruesa tiene aplicaciones en la producción de diversos productos de madera aserrada que exigen una mayor calidad y un mayor grosor en los troncos.

Es claro que para hablar de Tipo de madera se debe analizar otros factores como el manejo, la planta utilizada, el suelo, el clima y muchos factores, no obstante, este estudio no se enfocó en tales variables, solamente se analizó el factor de forma y el volumen de la madera.

El volumen total estimado de madera en las 4 hectáreas es de 882,40 m<sup>3</sup>, con un total de estimado de 3320 árboles en las cuatro hectáreas. No obstante, este volumen está sujeta a evaluación considerando otras variables estadísticas. Todo esto se observa en la tabla 4-17.

**Tabla 4-17:** Cálculo del volumen total de la plantacion de *Pinus radiata*

<b>Ha</b>	<b>Volumen m<sup>3</sup>/ha</b>
1	195,60
2	215,4
3	192,2
4	256,2
Total	859,40
Nº Parcelas	4
Promedio	214,85
Desv Est.	29,40%
Coefficiente variación	13,69%
<b>Error</b>	13,69%
Superficie	4 ha
<b>Volumen Total</b>	<b>859.4</b>

La Tabla 4-17 proporciona un resumen detallado del cálculo del volumen total de la plantación de *P. radiata*, junto con estadísticas descriptivas adicionales. Se determinó un error relativo del 13,69% el cual está dentro de lo permitido. Se calculó el promedio del volumen de madera por hectárea proyectado, dando un valor de 214,85 m<sup>3</sup>.

Por último, la plantación abarca una superficie total de 4 hectáreas, y el volumen total estimado de madera es de 859,4 m<sup>3</sup>.

## CONCLUSIONES

El análisis estadístico de los datos confirmó que existe una diferencia significativa en el factor de forma de *Pinus radiata*, entre las diferentes clases diamétricas. El valor promedio de factor de forma hallado para la plantación en estudio fue de 0,69. Es interesante mencionar que este valor se encuentra respaldado por investigaciones previas realizadas por otros expertos en la misma especie. Además, si se redondea este valor, se obtiene 0,7, que resulta coherente con el valor de factor de forma establecido por la legislación forestal ecuatoriana para esta especie.

Se determinó que el volumen comercial total de la plantación bajo estudio es igual a 859,43 m<sup>3</sup> y el volumen comercial por hectárea es de 214,8 m<sup>3</sup>. Se estimó que en la plantación predominan los árboles dentro de las clases diamétricas que son inferiores a 20 cm, las cuales representan más del 70% del total. Según este análisis, la plantación no fue manejado durante su desarrollo.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda llevar a cabo una evaluación económica-financiera de la plantación, teniendo en cuenta todos los elementos y componentes que inciden en esta valoración. Es fundamental considerar tanto los aspectos directos como indirectos que puedan influir en la valoración de la plantación. Esta valoración permitirá obtener una visión completa de la rentabilidad y los potenciales beneficios asociados a la cosecha de la plantación de *P. radiata* y posibles productos de transformación primaria o secundaria a elaborar.

Al calcular el volumen comercial, considerar la Tipo de madera en pie y la variabilidad del sitio. Incluir parámetros de calidad, como la densidad de la madera, edad de la plantación y la salud de los árboles, en los esquemas de cálculo. Además, tener en cuenta la metodología de cálculo, los cambios en el crecimiento debido a ausencia de manejo, altitud, factores climáticos, y edáficas, particulares de la plantación. Esto permitirá una estimación más precisa del volumen comercial, considerando las características únicas de los individuos que caracterizan a la plantación de *P. radiata* evaluada.

## BIBLIOGRAFÍA

**AGUILAR RODRÍGUEZ, C.A., SEQUEIRA GUILLÉN, A.F. y PERALTA TERCERO, E.D.J.**, Factor de forma para la Tectona grandis L.F, empresa MLR-Forestal, Siuna, Costa Caribe Norte de Nicaragua. *Ciencia e Interculturalidad*, 2017. vol. 21, no. 2, pp. 74-84. ISSN 1997-9231. DOI 10.5377/rci.v21i2.5602.

**ANTILLANCA, M., TRINCADO, G. y LASSERRE, J.P.**, Efecto del método de propagación y sitio sobre atributos fustales en árboles de Pinus radiata a la edad de 17 años. *Madera Bosques*, 2017. vol. 23, no. 1, pp. 79-89. ISSN 14050471. DOI 10.21829/myb.2017.2311554.

**BANNISTER, M.H.**, Some variations in the growth pattern of Pinus radiata in New Zealand. *New Zealand Journal of Science*, 1962. vol. 5, no. 3, pp. 342- 370.

**BARRETO, A., D. GODINEZ, M. LEÓN, J.M. PLASENCIA, R.W.V.V. y N.S.**, Foresta Veracruzana. *Foresta Veracruzana* [en línea], 2006. vol. 8, no. 1, pp. 43-48. [Consulta: 16 abril 2023]. ISSN 1405-7247. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49760207>.

**BEECHE CISTERNAS, M., CERDA MARTÍNEZ, L. y INOSTROZA VILLARROEL, J.C.**, 1992. Detección y control de la polilla brote del pino (Rhyacionia bouliana Den. et. Schiff.) temporada: 1991-1992. *Ministerio de Agricultura*. Santiago-Chile: Ministerio de Agricultura, Servicio Arigricola y Ganaderia,

**BURDON, R.**, Pinus radiata (radiata pine). *CABI Compendium*, 2022. vol. CABI Compe. DOI 10.1079/CABICOMPENDIUM.41699.

**CAJAL, A.**, Investigación de campo: características, tipos y etapas. *Al-Qantara* [en línea], 2019. vol. 2, pp. 13. Disponible en: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lco/mendez\\_r\\_jj/capitulo4.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lco/mendez_r_jj/capitulo4.pdf).

**CASTAÑO, B.**, *PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA REALIZACIÓN DE INVENTARIOS FORESTALES EN LA DENOMINADA ZONA FORESTAL PRODUCTORA DE LOS BOSQUES DEL NORTE Y NORDESTE DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA, COLOMBIA*. [en línea]. Antioquia: s.n. 2009. Disponible en: [https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/FLORA/AIRNR\\_CN\\_8325\\_2009\\_2.pdf](https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/FLORA/AIRNR_CN_8325_2009_2.pdf).

**CAYAMBE, M.,** *PLAN DE DESARROLLO TURISTICO COMUNITARIO PARA LA PARROQUIA SICALPA, CANTÓN COLTA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.* Tesis de grado. S.l.: 2012. Universidad Central del Ecuador.

**CHASQUERO, J.,** *DETERMINACIÓN DE FUNCIONES DE AHUSAMIENTO Y DE VOLUMEN PARA *Pinus patula* Schiede ex Schlttdl. et Cham POR SEGMENTOS DEL FUSTE EN CAJAMARCA - PERÚ* [en línea]. Tesis de Grado. S.l.: 2019. UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA. Disponible en: [http://190.116.36.86/bitstream/handle/20.500.14074/3617/T016\\_71882932\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://190.116.36.86/bitstream/handle/20.500.14074/3617/T016_71882932_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**CORPORACIÓN DE PROMOCIÓN DE EXPORTACIONES E INVERSIONES, 2007.** *Planeación estratégica: plantaciones forestales en el Ecuador.* [en línea]. 2007. S.l.: s.n. [Consulta: 21 septiembre 2022]. Disponible en: [www.ecuadorforestal.org](http://www.ecuadorforestal.org).

**CORVALAN, P. y HERNANDEZ, J.,** *Factores y Coeficientes de Forma* [en línea]. Chile: Universidad de Chile. 2014. Disponible en: [https://www.u-cursos.cl/forestal/2010/2/EF024/1/material\\_docente/bajar?id=485212](https://www.u-cursos.cl/forestal/2010/2/EF024/1/material_docente/bajar?id=485212).

**CVETKOVIĆ VEGA, A., MAGUIÑA, J.L., SOTO, A., LAMA-VALDIVIA, J. y CORREA LÓPEZ, L.E.,** Cross-sectional studies. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 2021. vol. 21, no. 1, pp. 164-170. ISSN 18145469. DOI 10.25176/rfmh.v21i1.3069.

**DIAZ, E.,** “*DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE FORMA DE LA ESPECIE *Pinus radiata* D. Don(PINO) EN LOS BOSQUES COMUNITARIOS DE COCHALOMA, GALTE LAIME Y GUAZÁN EN EL CANTÓN GUAMOTE, PROVINCIA DE CHIMBORAZO*”. Tesis de grado. S.l.: 2018. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

**DÍAZ, V. y NÚÑEZ,** Scientific articles, types of scientific research and productivity in health sciences. *Revista Ciencias de la Salud*, 2016. vol. 14, no. 1, pp. 115-121. ISSN 21454507. DOI 10.12804/revsalud14.01.2016.10.

**DÜNISCH, O., RICHTER, H. y KOCH, G.,** Wood properties of juvenile and mature heartwood. *Wood Science and Technology*, 2010. vol. 44, no. 1120433, pp. 301-313.

**ECUADOR FORESTAL**, 2016. Sector Forestal Productivo Formal. *El sector forestal productivo del Ecuador* [en línea]. S.l.: s.n., [Consulta: 13 mayo 2023]. Disponible en: <http://ecuadorforestal.org/informacion-s-f-e/sector-forestal-productivo-formal/>.

**ENCINAS, G.C.**, Manual práctico de inventarios forestales. *Veeduría forestal comunitaria Corpiaa-atalaya* [en línea], 2008. pp. 19. Disponible en: [http://www.itto.int/files/itto\\_project\\_db\\_input/3033/Technical/TFL-SPD-030-12-R1-M-Manual-Practico-InventarioForestal.pdf](http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/3033/Technical/TFL-SPD-030-12-R1-M-Manual-Practico-InventarioForestal.pdf).

**ESPINOZA, G., GERALDINE, G., MAGAÑA, G., JESÚS, J., RAMOS, H., FLORES, M., JESÚS, H., CUEVAS, G. y RAMOS, H.**, Precisión de los coeficientes y cocientes de forma en la estimación del volumen de *Pinus montezumae* Lamb. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* [en línea], 2016. vol. 7, no. 35, pp. 19-36. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63448564003>.

**ESPINOZA, G.G.G., MAGAÑA, J.J.G., RAMOS, J.H., FLORES, H.J.M., CUEVAS, X.G. y RAMOS, y A.H.**, Precisión de los coeficientes y cocientes de forma en la estimación del volumen de *Pinus montezumae* Lamb. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1967. no. Mi, pp. 5-24.

**FAO, FAO yearbook of forest products 2019** [en línea]. Rome: s.n. 2021. ISBN 9789251341186. Disponible en: <https://www.fao.org/3/cb3795m/cb3795m.pdf>.

**GAILLARD DE BENÍTEZ, C.**, Funciones para estimar el volumen comercial de árboles en dependencia del diámetro y la altura total en cuatro especies del bosque chaqueño seco. *Revista Quebracho* [en línea], 1994. vol. 2, pp. 71-74. Disponible en: [file:///C:/Users/Usuario/Documents/q2\\_09.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Documents/q2_09.pdf).

**GUILLÉN, F.**, *Aprovechamiento de la ascícula media-baja del mantillo de las plantaciones de Pinus patula para la producción del hongo comestible Pleurotus ostreatus* [en línea]. S.l.: 2013. Universidad del Azuay. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/3810/1/09342.pdf>.

**HERNÁNDEZ, R.**, *Metodología de la investigación*. S.l.: s.n. 2014. ISBN 9781456223960.

**HERNÁNDEZ RAMOS, J., MAGAÑA, J.J.G., FLORES, H.J.M., GARCÍACUEVAS, X., REYES, T.S., LÓPEZ, C.F. y RAMOS, A.H.,** Guía de densidad para manejo de bosques. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2013. vol. 4, no. 19, pp. 61-77.

**IDEAM,** *Manual de Campo Inventario Forestal Nacional Colombia* [en línea]. Bogotá: FAO-ONU-REDD. 2018. ISBN 9789251305942. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023785/Manual.pdf>.

**LEWIS, N.B., FERGUSON, I.S., SUTTON, W.R.J., DONALD, D.G.M. y LISBOA, H.B.,** *Management of radiata pine*. New South Wales: Inkata Press Pty Ltd/Butterworth-Heinemann. 1993.

**LIBBY, W.J., BANNISTER, M.H. y LINHART, Y.B.,** The Pines of Cedros and Guadalupe Islands. *Journal of Forestry*, 1968. vol. 66, no. 11, pp. 846-853.

**LINDSAY, A.D.,** 1932. Bulletin, no.11. *Australian Commonwealth Forestry Bureau*. Canberra: Australian Commonwealth Forestry Bureau,

**LOPEZ, R. y GONZALES, M.,** Crecimiento del *Pinus radiata* en Puno, Peru. *Revista Forestal del Perú* [en línea], 2010. vol. 10, no. 1-2, pp. 1-6. Disponible en: [http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos\\_RFP/Vol10\\_no1-2\\_80-81\\_\(14\)/vol10\\_art8.pdf](http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol10_no1-2_80-81_(14)/vol10_art8.pdf).

**LOZANO BOTACHE, L.A. y BONILLA VARGAS, J.L.,** Factor de forma para árboles del Bosque Seco Tropical (bs-T) en el norte del Departamento del Tolima – Colombia. *Temas Agrarios*, 2022. vol. 27, no. 2, pp. 344-353. DOI 10.21897/rta.v27i2.3136.

**MAATE,** Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. *Subsecretaría de Patrimonio Natural* [en línea], 2012. pp. 186. Disponible en: [https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS\\_ECUADOR\\_2.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS_ECUADOR_2.pdf).

**MAATE,** 2023. Ombrotipo del Ecuador. [en línea]. Disponible en: <http://ide.ambiente.gob.ec:8080/mapainteractivo/>.

**MEAD, D.J.,** *Sustainable management of Pinus radiata plantations; FAO Forestry Paper No. 170*. [en línea]. Rome: s.n. 2013. [Consulta: 15 junio 2023]. ISBN 9789251076347. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/018/i3274e/i3274e.pdf>.

**MEJÍA, M.**, *DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE FORMA DE GMELINA (Gmelina arborea Roxb) EN PLANTACIONES DE UNO, DOS Y TRES AÑOS DE EDAD EN LA HACIENDA EL VERGEL CANTÓN VALENCIA PROVINCIA DE LOS RÍOS* [en línea]. Tesis de Grado. S.l.: 2013. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Disponible en: [http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2993/1/33T0121 .pdf](http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2993/1/33T0121.pdf).

**MERINO, J.**, *EVALUACION DE CALIDAD Y VALORACION DE UNA PLANTACIÓN DE PINO (Pinus radiata D Don), EN LA COMUNIDAD CHAUSAN SAN ALFONSO, PARROQUIA PALMIRA, CANTON GUAMOTE, PROVINCIA DE CHIMBORAZO* [en línea]. Tesis de grado. S.l.: 2010. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Disponible en: [http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/711/1/33T0065 MerinoRenato.pdf](http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/711/1/33T0065%20MerinoRenato.pdf).

**MEYER, W.**, *Abstracts of Certain Phases of European Literature in the Field of Forest* [en línea]. Michigan: University of Michigan. 1931. [Consulta: 12 mayo 2023]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=eHpOAAAAMAAJ&oi=fnd&pg=PA1&ots=yM1DPhpTck&sig=v8v2ga0Wo5tnozfCvo27oOmtcHM&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=eHpOAAAAMAAJ&oi=fnd&pg=PA1&ots=yM1DPhpTck&sig=v8v2ga0Wo5tnozfCvo27oOmtcHM&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false).

**MORALES, O.**, Fundamentos de la Investigación Documental y la Monografía. En Manual para la elaboración y presentación de la monografía. *Universidad de Los Andes* [en línea], 2003. pp. 20. Disponible en: [http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/16490/1/fundamentos\\_investigacion.pdf](http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/16490/1/fundamentos_investigacion.pdf).

**NÚÑEZ, F.**, *INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL QUE PRESENTA: INGENIERÍA FORESTAL* [en línea]. Tesis de grado. S.l.: 2014. Instituto tecnológico del valle. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/32874286/subierlibre.pdf?1391233101=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEstimaciones\\_volumetricas\\_de\\_Pinus\\_patul.pdf&Expires=1682997722&Signature=FlcBVkvvzbLgnuZFTVc8PyVYsSP8~VpD0KhdvkdhUCMtxfATJh0eeE](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/32874286/subierlibre.pdf?1391233101=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEstimaciones_volumetricas_de_Pinus_patul.pdf&Expires=1682997722&Signature=FlcBVkvvzbLgnuZFTVc8PyVYsSP8~VpD0KhdvkdhUCMtxfATJh0eeE).

**OJEDA, W.**, Factor De Forma Preliminar Para Seis Familias De Especies Forestales Tropicales. *Revista Forestal del Perú*, 2013. vol. 11, no. 2, pp. 1-6.

**OLIVAR, J., RATHGEBER, C.B.K., ORDOÑEZ, C. y BRAVO, F.**, Influencia del clima en la densidad de la madera de pinos mediterráneos (*Pinus halepensis* y *Pinus pinaster*). *Congreso forestal español*, 2013.

**OROZCO, C. y MARTÍNEZ, P.,** Evaluación de la inoculación con microorganismos fijadores de nitrógeno asimbióticos aislados de la rizósfera de *Pinus patula* en Colombia Evaluation of inoculation with asymbiotic nitrogen-fixing microorganisms isolated from rhizosphere of *Pinus patula* in. *70 BOSQUE* [en línea], 2009. vol. 30, no. 2, pp. 70-77. [Consulta: 30 abril 2023]. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/bosque/v30n2/art02.pdf>.

**ORWA C, A MUTUA, KINDT R , JAMNADASS R, S.A.,** *Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0* [en línea]. S.l.: s.n. 2009. [Consulta: 27 abril 2023]. Disponible en: [https://apps.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Pinus\\_patula.PDF](https://apps.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Pinus_patula.PDF).

**ÓSCAR, M., ALEJANDRO, F., LUIS, C., MARYETA, F. y EVELYN, G.,** *Plantaciones forestales Colombia* [en línea]. 1. Bogotá: UPRA. 2018. Disponible en: <https://www.semana.com/impacto/articulo/plantaciones-forestales-reactivarian-la-economia-en-la-pospandemia/54630/>.

**PDOT,** *Plan de Desarrollo y ordenamiento territorial*. Riobamba: s.n. 2020.

**PEREIRA, E.,** *Medición Forestal* [en línea]. S.l.: s.n. 2008. Disponible en: [https://www.ipcinfo.org/fileadmin/user\\_upload/training\\_material/docs/MedF%2520Medici%25c3%25b3n%2520Forestal.pdf](https://www.ipcinfo.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/MedF%2520Medici%25c3%25b3n%2520Forestal.pdf).

**PIN, A.,** *Oportunidades comerciales de los productos forestales del Ecuador en el MERCOSUR* [en línea]. Tesis de maestría. S.l.: 2016. UNIVERSIDAD DE POSTGRADO DEL ESTADO. Disponible en: [https://repositorio.iaen.edu.ec/bitstream/handle/24000/5086/TESIS\\_OPORTUNIDADES\\_COMERCIALES\\_DE\\_PRODUCTOS\\_FORESTALES\\_AL\\_MERCOSUR\\_COMPLETA\\_11\\_DIC\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.iaen.edu.ec/bitstream/handle/24000/5086/TESIS_OPORTUNIDADES_COMERCIALES_DE_PRODUCTOS_FORESTALES_AL_MERCOSUR_COMPLETA_11_DIC_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**PRODAN, M.,** *Mensura forestal*. Costa Rica: Proyecto IICA/GTZ sobre Agricultura; Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible. 1997.

**PROECUADOR,** *Forestal: cadena agroforestal sustentable y sus productos elaborados*. Quito: s.n. 2014.

**RAMOS, J., HECTOR, D. los S., VALDEZ, J., TAMARIT, J., ÁNGELES, G., HERNÁNDEZ, A. y MÉNDEZ, B.,** Eucalyptus urophylla merchantable volumen estimation with total volume and ratio models. *Agrociencia* [en línea], 2017. pp. 561-580. [Consulta: 13

mayo 2023]. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n5/1405-3195-agro-51-05-00561-en.pdf>.

**RAWLINGS, G.B.**, Epidemics in *Pinus radiata* forests in New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry*, 1955. vol. 7, no. 2, pp. 53-57.

**REYES, A., INFANTAS, D., PASCUAL, G., GONZALES, R., SÁNCHEZ, M., REYES, T., MIGLIO, R. y NAVA, C.**, Anales Científicos. [en línea], 2020. vol. 81, no. 2, pp. 415-423. Disponible en: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/40381816/LIII\\_A-libre.pdf?1448490490=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DLIII\\_A.pdf&Expires=1684082304&Signature=cL6sDvdF9N1wUyeV19VK29Kwpbnrw~-EoA7RxYf6gO0T-CrR7lScAZmmcnewfZGx28rHXnpXzOef93CP8Po9nrVid](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/40381816/LIII_A-libre.pdf?1448490490=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DLIII_A.pdf&Expires=1684082304&Signature=cL6sDvdF9N1wUyeV19VK29Kwpbnrw~-EoA7RxYf6gO0T-CrR7lScAZmmcnewfZGx28rHXnpXzOef93CP8Po9nrVid).

**SALAS, J. y INFANTE, A.**, PRODUCCIÓN PRIMARIA NETA AÉREA EN ALGUNOS ECOSISTEMAS Y ESTIMACIONES DE BIOMASA EN PLANTACIONES FORESTALES José Salas R. 1,2 Angel Infante C. 2. *Revista Forestal Latinoamericana* [en línea], 2006. vol. Rev. For., no. 40, pp. 47-70. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=lah&AN=20073297511&site=ehost-live>.

**SÁNCHEZ, A.**, *DESARROLLO Y VERIFICACIÓN DE CONCENTRACIONES CRÍTICAS Y NORMAS DRIS PARA BRINZALES Y LATIZALES DE *Pinus patula* Schl. et Cham.* [en línea]. Tesis de maestría. S.l.: 2013. INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS. Disponible en: [http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/1877/2/Sanchez\\_Parada\\_A\\_MC\\_Forestal\\_2013.pdf](http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/1877/2/Sanchez_Parada_A_MC_Forestal_2013.pdf).

**SANCHEZ, M.**, Ecuador: Revisión a las principales características del recurso forestal y de la deforestación. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 2015. vol. 3, no. 1, pp. 41-54. ISSN 1390-7638. DOI 10.26423/rctu.v3i1.70.

**SCIENCE, E.**, Forest Mensuration and Biostatistics Department of Forestry and Environmental Science. , 2018. no. 05946.

**SECAP., S.** ecuatoriano de capacitación profesional, 2014. Conversatorio: Prospectivas del sector forestal para la formación ocupacional del servicio público. . S.l.: s.n.,

**SUBEDI, T., BHANDARI, S.K., PANDEY, N., TIMILSINA, Y.P. y MAHATARA, D.,** Form factor and volume equations for individual trees of *Shorea robusta* in Western low land of Nepal. *Austrian Journal of Forest Science*, 2021. vol. 138, no. 4, pp. 143-166. ISSN 03795292.

**TAPIA, E.,** DETERMINACIÓN DE UNA FUNCIÓN DE AHUSAMIENTO PARA EL CÁLCULO VOLUMEN EN PLANTACIONES DE *Pinus radiata* PERTENECIENTES A LA EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI S.A., CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI [en línea]. Tesis de grado. S.l.: 2019. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14339/1/33T00238.pdf>.

**TENZIN, J., WANGCHUK, T. y HASENAUER, H.,** Form factor functions for nine commercial tree species in Bhutan. *Forestry* [en línea], 2017. vol. 90, no. 3, pp. 359-366. [Consulta: 16 abril 2023]. ISSN 14643626. DOI 10.1093/forestry/cpw044. Disponible en: [https://www.academia.edu/61514557/Form\\_factor\\_functions\\_for\\_nine\\_commercial\\_tree\\_species\\_in\\_Bhutan](https://www.academia.edu/61514557/Form_factor_functions_for_nine_commercial_tree_species_in_Bhutan).

**URANGA-VALENCIA, Luisa P, DE LOS SANTOS-POSADAS, H.M., VALDEZ-LAZALDE, J.R., LÓPEZ-UPTON, J. y NAVARRO-GARZA, H.,** Total volume and taper for *Pinus patula* Schiede ex schlttdl. et cham. at three forest conditions. *Agrociencia* [en línea], 2015. vol. 49, no. 1984, pp. 787-801. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v49n7/v49n7a7.pdf>.

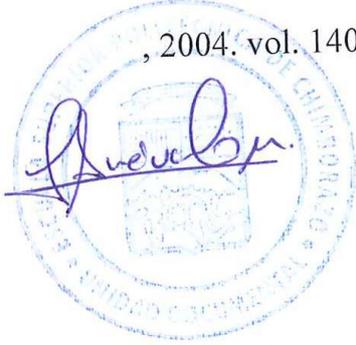
**URANGA-VALENCIA, Luisa P., SANTOS-POSADAS, H.M.D. los, VALDEZ-LAZALDE, J.R., LÓPEZ-UPTON, J. y NAVARRO-GARZA, H.,** Volumen total y ahusamiento para *Pinus patula* schiede ex Schlttdl. et Cham. en tres condiciones de bosque. *Agrociencia*, 2015. vol. 49, no. 7, pp. 787-801. ISSN 14053195.

**WAGNER, J.,** *Forestry Economics: A Managerial Approach* [en línea]. London-New York: Routledge. 2011. ISBN 9780415774406. Disponible en: <https://www.hzu.edu.in/uploads/2020/10/Forestry-Economics-A-Managerial-Approach.pdf>.

**WATT, M.S., PALMER, D.J., LEONARDO, E.M.C. y BOMBRUN, M.,** Use of advanced modelling methods to estimate radiata pine productivity indices. *Forest Ecology and Management* [en línea], 2021. vol. 479, no. July 2020, pp. 1-14. ISSN 03781127. DOI 10.1016/j.foreco.2020.118557. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118557>.

**ZAMBRANO, L., MORENO, P., MUÑOZ, F., DURÁN, J., GARAY, D. y VALERO, S.,**  
Tableros de partículas fabricados con residuos industriales de madera de *Pinus patula*. *Madera Bosques*, 2013. vol. 19, no. 3, pp. 65-80. ISSN 14050471. DOI 10.21829/myb.2013.193328.

- Madera aserrada que emplea variables de árboles en pie para *pinus radiata* D . DON.  
, 2004. vol. 140, pp. 135-140.



## ANEXOS

### ANEXO A. IDENTIFICACIÓN, RECORRIDO Y SOBREVUELO DE LA ZONA DE ESTUDIO MEDIANTE UN DRON.



## ANEXO B. ESTABLECIMIENTO DE LAS PARCELAS DE MUESTREO



## ANEXO C. MEDICIÓN DE DIÁMETROS A LA ALTURA DEL PECHO (DAP) DE LOS ÁRBOLES EN CAMPO



**ANEXO D. MEDICIÓN DE DIAMÉTROS A LA MITAD DE LOS ÁRBOLES**



**ANEXO E. MEDICIÓN DE LA ALTURA COMERCIAL Y TOTAL DE LOS ÁRBOLES**







PARCEL A	NÚMERO DE ARBOL	Altura total	Altura comercial	DAP (1,30)	DAP 1 (MITAD)	DAP 2 (MITAD)	DAP 3 (APICE)	(5CM	FF (Schiffel)
1	1	16.5	15.1	12.5		10.5		3.4	0.7056
									0.6944444
1	3	15.4	12.6	12		10		3.1	44
1	17	11.9	8.6	12.5		10.5		3.4	0.7056
1	18	10.3	8.6	10		8		2.6	0.64
1	20	12.3	10.1	10		8		2.3	0.64
									0.6553287
1	22	11.7	8.9	10.5		8.5		1.8	98
									0.7398405
1	25	16.5	15.4	14.3		12.3		2.5	79
									0.7431629
1	26	15.6	13.9	14.5		12.5		2.7	01
									0.6990056
1	33	10.8	8.6	12.2		10.2		3.4	44
									0.7199265
1	38	12.9	11.7	13.2		11.2		2.6	38
									0.7346938
1	40	11.9	8.7	14		12		3.2	78
1	43	13.2	10.1	11.7		9.7		2.9	0.6873402
									0.5140619
2	55	11.2	8.7	10.6		7.6		2.1	44
									0.6023613
2	53	13.7	11.2	13.4		10.4		2.3	28
									0.6173469
2	46	12.4	9.9	14		11		2.8	39
									0.5062869
2	44	14.3	11.8	10.4		7.4		2.1	82
2	41	12.1	9.6	12.5		9.5		2.1	0.5776
									0.4519454
2	40	13.4	10.9	11.9		8		2.3	84
									0.5340236
2	38	12.9	10.4	13		9.5		1.7	69
									0.6290130
2	37	14.5	12	14.5		11.5		1.6	8
									0.4982698
2	36	9.8	7.3	10.2		7.2		1.9	96
									0.4049586
2	1	12.9	10.4	11		7		2.4	78
									0.5012138
2	34	14.6	12.1	11.3		8		1.5	77
									0.6327479
2	31	14.5	12	13.2		10.5		2.4	34
									0.5327934
2	4	14.5	12	13.7		10		2.5	36
									0.4982698
2	29	8.9	6.4	10.2		7.2		2.2	96
									0.6149267
2	27	12.7	10.2	13.9		10.9		2.8	64
									0.5360331
2	24	13.2	10.7	11.2		8.2		2.4	63

2	22	8.1	5.6	10	6.5	2.1	0.4225
2	9	14.1	11.6	10	7	2.1	0.49
2	19	10.9	8.4	12.6	9.6	2.4	0.5804988 66
2	18	11.2	8.7	11	7.5	1.8	0.4648760 33
3	29	17	15	12.6	8.6	2.1	0.4658604 18
3	24	18	16	13.6	9.6	2.4	0.4982698 96
3	23	19	17.5	14.7	10.7	1.3	0.5298255 36
3	17	20	18	14	10	2.4	0.5102040 82
3	16	16	14	14.15	10.15	2.9	0.5145400 74
3	15	16	12	11.9	7.9	1.3	0.4407174 63
3	14	14	12	12.05	8.05	1.6	0.4462905 25
3	12	16	15.5	11.35	7.35	3.1	0.4193560 91
3	11	18	16	14.6	10.6	3.2	0.5271157 82
3	10	16	15	10.15	6.15	2.3	0.3671285 4
3	8	18	16.5	12.15	8.15	4.7	0.4499483 48
4	36	19	18	11.65	7.65	1.9	0.4311923 23
4	31	20	16	14.65	10.65	2.4	0.5284744 14
4	27	18	18	12.75	8.75	2.8	0.4709727 03
4	26	18	16	11.7	7.7	2.1	0.4331214 84
4	25	19	17	11.4	7.4	1.9	0.4213604 19
4	24	20	15	12.9	8.9	2.4	0.4759930 29
4	23	8	6	13.55	9.55	2.5	0.4967388 79
4	18	20	18	13.25	9.25	1.8	0.4873620 51
4	16	20	15.5	13.65	9.65	2.6	0.4997920 27
4	11	16	15	14.8	10.8	3.4	0.5325054 78
4	8	18	18	11.55	7.55	3.4	0.4272970 9
							<b>0.54</b>

PARCEL A	NÚMERO DE ARBOL	Altura total	Altura comercial	DAP (1,30)	DAP 1 (MITAD)	DAP 2	DAP 3 (APICE)	(5CM	FF (Schiffel)
1	2	17.1	14.3	15.5		13.5		4.3	0.7585848 07

1	13	16.5	14.9	16	14	2.8	0.765625
							0.8005540
1	16	21.7	19.8	19	17	3.9	17
							0.7901234
1	24	21.2	18.7	18	16	3.4	57
							0.7785467
1	27	17.9	15.8	17	15	3.7	13
							0.7954711
1	29	18.7	15.4	18.5	16.5	4.1	47
							0.7809626
1	30	16.5	13.8	17.2	15.2	3.9	83
							0.765625
1	31	13.7	10.1	16	14	2.1	0.765625
							0.7585848
1	36	11.9	8.9	15.5	13.5	3.5	07
							0.7809626
1	37	12.8	10.2	17.2	15.2	3.6	83
							0.765625
1	39	19	17.5	16	14	3.5	0.765625
							0.7944234
1	42	18.4	16.1	18.4	16.4	3.8	4
							0.7106882
2	57	17.5	15	17.2	14.5	2.5	1
							0.6792657
2	49	18.2	15.7	18.2	15	3.4	89
							0.6601562
2	48	14.9	12.4	16	13	3	5
							0.7019722
2	47	18.9	16.4	18.5	15.5	3.2	43
							0.6657759
2	45	15.8	13.3	16.3	13.3	3.1	04
							0.6990056
2	35	19.8	17.3	18.3	15.3	2.6	44
							0.7132808
2	33	17.6	15.1	19.3	16.3	2.4	93
							0.6503642
2	30	11.9	9.4	15.5	12.5	3.7	04
							0.64
2	28	13.8	11.3	15	12	3.1	0.64
							0.6523668
2	26	17.6	15.1	15.6	12.6	2.1	64
							0.7077349
2	16	18.9	16.4	18.9	15.9	2.6	46
							0.7696563
2	13	15.3	12.8	16.3	14.3	2.4	66
							0.5847750
2	12	16.5	14	17	13	2.4	87
							0.6718624
2	10	16.7	14.2	18.3	15	3.2	03
							0.6782006
2	7	16.7	14.2	17	14	2.1	92
							0.6020368
3	31	18	16	17.85	13.85	2.1	93
							0.6170460
3	30	18	15	18.65	14.65	3.9	51
							0.6301413
3	27	22	16	19.4	15.4	3.2	54
							0.5694230
3	25	18	15.5	16.3	12.3	2.5	12
							0.5889670
3	22	20	17.7	17.2	13.2	2.1	09

3	20	20	19	19.6	15.6	2.7	0.633486047
3	19	18	15	19.3	15.3	2.5	0.628446401
3	18	17	16	18.9	14.9	2.6	0.621511156
3	13	20	18	16.15	12.15	2.8	0.565988364
3	9	17	15.5	18.45	14.45	4.7	0.613398844
3	4	18	16	15	11	3.5	0.537777778
4	35	22	20	17.15	13.15	2.6	0.587926799
4	34	25.7	20	16.05	12.05	1.5	0.563668831
4	32	20	15	17.6	13.6	1.9	0.597107438
4	29	20	18	17.6	13.6	2.2	0.597107438
4	28	19	15	19.45	15.45	3.1	0.630983142
4	22	20	18	19	15	2.1	0.623268698
4	20	20	18	17.85	13.85	3.1	0.602036893
4	17	20	18	17.1	13.1	1.3	0.586881434
4	15	20	16	15.6	11.6	3.8	0.552925707
4	14	20	17	15.05	11.05	1.6	0.539077935
4	13	19	18	18.35	14.35	2.8	0.61154957
4	2	21	19	16.4	12.4	3.5	0.571683522
							<b>0.66</b>

PARCEL A	NÚMERO DE ARBOL	Altura total	Altura comercial	DAP (1,30)	DAP 1 (MITAD)	DAP 2	DAP 3 (APICE)	(5CM	FF (Schiffel)
1	4	18.2	16.7	20	18	4.5	0.81		
1	5	17.4	16.8	22	20	4.8	0.826446281		
1	12	16.9	14.5	20	18	4.1	0.81		
1	28	19.9	17.3	20	18	4.2	0.81		
2	50	19.6	17.1	21.7	18.7	3.8	0.742615048		
2	8	18.4	15.9	22	19	3.4	0.745867769		
2	3	17.6	15.1	20.8	18	2.6	0.748890533		
2	2	17.8	15.3	22.3	19	3.5	0.725934565		

3	7	20	18	21.45	17.45	4.2	0.6618144 87
3	6	20	18	24.15	20.15	2.1	0.6961708 44
3	5	18	17	21.8	17.8	4.8	0.6666947 23
3	3	17	15	21.5	17.5	3.1	0.6625202 81
4	33	20	17	24.4	20.4	2.4	0.6990056 44
4	30	25	16	24.35	20.35	3.7	0.6984428 83
4	21	20	18	24.25	20.25	3.6	0.6973110 85
4	12	23.4	16	20.8	16.8	2.4	0.6523668 64
4	5	20	18	21.5	17.5	1.3	0.6625202 81
4	4	20	18	24.2	20.2	2.5	0.6967420 26
							<b>0.73</b>

PARCEL A	NÚMERO DE ARBOL	Altura total	Altura comercial	DAP (1,30)	1 DAP (MITAD)	2 DAP 3 (5CM APICE)	FF (Schiffel)
1.0	41	20.9	17.6	29	27	4.1	0.8668252 08
2.0	21	20.8	18.3	26	23	3.6	0.7825443 79
2.0	11	18.8	16.3	25	21	3.4	0.7056
3.0	28	20	18	26.6	22.6	3.5	0.7218610 44
3.0	21	20	18.5	29.1	25.1	2.7	0.7439803 5
3.0	2	20	17	27.75	23.75	4.3	0.7324892 46
4.0	19	21	19	25.5	21.5	2.4	0.7108804 31
4.0	10	18	14	25.3	21.3	3.2	0.7087909 51
4.0	9	20	18	25.2	21.2	2.1	0.7077349 46
4.0	7	19	17	26.25	22.25	2.1	0.7184580 5
4.0	6	20	17.5	26.8	22.8	3.3	0.7237692 14
4.0	3	21	18	25.15	21.15	2.6	0.7072040 92
							<b>0.76</b>

PARCEL A	NÚMERO DE ARBOL	Altura total	Altura comercial	DAP (1,30)	1 DAP (MITAD)	2 DAP 3 (5CM APICE)	FF (Schiffel)
1	9	17.5	14.9	33	31	4.7	0.8824609 73

1	8	22.1	19.5	31	29	4.7	0.8751300 73
2	6	21.9	19.4	31.7	28.8	3.3	0.8254037 76
3	26	22	18	30.4	26.4	2.7	0.7541551 25
4	1	20	18	31.2	27.2	2.6	0.7600262 98
							<b>0.80</b>

PARC ELA	NÚME RO DE ARBOL	Altura total	Altura comercial	DAP 1 (1,30)	DAP 2 (MITAD)	DAP 3 (5CM APICE)	FF (Schiffel)
1	7	18.9	15.5	38	36	5.2	0.89750 6925
2	15	21.8	19.3	36	33	3.8	0.84027 7778
							<b>0.87</b>

**ANEXO I. CÁLCULO DE FACTOR DE FORMA PROMEDIO GENERAL EN EXCEL**

	REPETICIONES	Altura total	Altura comercial	DAP 1 (1,30)	DAP 2 (MITAD)	F.F
5-10	1	8.31818182	6.01818182	7.13636364	5.13636364	0.51162443
10-15	2	13.25	11.025	12.2833333	10.2833333	0.69707858
15-20	3	17.1166667	14.625	17.025	15.025	0.77792406
20-25	4	18.1	16.325	20.5	18.5	0.81411157
25-30	5	20.9	17.6	29	27	0.86682521
30-35	6	19.8	17.2	32	30	0.87879552
35-40	7	18.9	15.5	38	36	0.89750693
	1	9.38571429	6.88571429	8.69285714	5.83571429	0.4483372
	2	12.495	9.995	11.93	8.725	0.5304864
	3	16.6733333	14.1733333	17.16	14.1466667	0.67900703
	4	18.35	15.85	21.7	18.675	0.74082698
	5	19.8	17.3	25.5	22	0.74407219
	6	21.9	19.4	31.7	28.8	0.82540378
	7	21.8	19.3	36	33	0.84027778
	8					
	1	8.85194805	6.45194805	7.91461039	5.48603896	0.47998081
	2	17.0909091	15.2272727	12.8409091	8.84090909	0.46993243
	3	18.7272727	16.3363636	17.8909091	13.8909091	0.60074754
	4	18.75	17	22.225	18.225	0.67180008
	5	20	17.8333333	27.8166667	23.8166667	0.73277688
	6	22	18	30.4	26.4	0.75415512
	7	20.35	17.4	37	34.5	0.86889235
	1	8.85194805	6.45194805	7.91461039	5.48603896	0.47998081
	2	17.8181818	15.6818182	12.8954545	8.89545455	0.47316454
	3	20.5583333	17.6666667	17.2666667	13.2666667	0.58868478
	4	21.4	17.1666667	23.25	19.25	0.68439813
	5	19.8333333	17.25	25.7	21.7	0.71280628
	6	20	18	31.2	27.2	0.7600263
	7	20.35	17.4	37	34.5	0.86889235
						0.69

ANEXO J. ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS PARA CALCULO DEL VOLUMEN COMERCIAL

PARCELA	NÚMERO	Altura total	Altura comercial	DAP 1 (1,30)	DAP 2 (MITAD)
1	6	7.8	5.7	8	6
1	10	6.7	5.2	7	5
1	11	9.5	7.8	9.3	7.3
1	14	8.5	5.7	7.3	5.3
1	15	6.9	5.4	6.5	4.5
1	19	11.5	7.9	6	4
1	21	7.8	5.2	6	4
1	23	8.6	5.9	6	4
1	32	8.5	6.9	8.5	6.5
1	34	8.8	5.4	7	5
1	35	6.9	5.1	6.9	4.9
1	1	16.5	15.1	12.5	10.5
1	3	15.4	12.6	12	10
1	17	11.9	8.6	12.5	10.5
1	18	10.3	8.6	10	8
1	20	12.3	10.1	10	8
1	22	11.7	8.9	10.5	8.5
1	25	16.5	15.4	14.3	12.3
1	26	15.6	13.9	14.5	12.5
1	33	10.8	8.6	12.2	10.2
1	38	12.9	11.7	13.2	11.2
1	40	11.9	8.7	14	12
1	43	13.2	10.1	11.7	9.7
1	2	17.1	14.3	15.5	13.5
1	13	16.5	14.9	16	14

## ANEXO K. DAPs ORGANIZADOS POR CLASES DIAMÉTRICAS

DAP POR CLASES DIAMÉTRICAS: PARCELA 1							
CLASES DIAMÉTRICAS							
5-10	10.1-15	15.1-20	20.1-25	25.1-30	30.1-35	35.1-40	
6.9	12.5	18.4	20	29	33	15.5	
7	11.7	15.5	20		31		
8.5	12	16	22				
6	14	17.2	20				
6	13.2	15.5					
8	12.2	16					
6	14.5	17.2					
6.5	14.3	18.5					
7.3	10.5	17					
7	10	18					
9.3	10	19					
	12.5	16					

## ANEXO L. ALTURAS DE LAS PARCELAS POR CLASE DIAMÉTRICA

ALTURAS POR CLASES DIAMÉTRICAS: PARCELA 1							
5-10	10.1-15	15.1-20	20.1-25	25.1-30	30.1-35	35.1-40	
5.1	15.1	16.1	17.3	17.6	14.9	38	
5.4	10.1	14.3	14.5		19.5		
6.9	12.6	17.5	16.8				
5.9	8.7	10.2	16.7				
5.2	11.7	8.9					
5.7	8.6	10.1					
7.9	13.9	13.8					
5.4	15.4	15.4					
5.7	8.9	15.8					
5.2	10.1	18.7					
7.8	8.6	19.8					
	8.6	14.9					

## ANEXO M. ORGANIZACIÓN Y CALCULO DE LOS PROMEDIOS DE DAP Y ALTURA COMERCIAL

DAP POR CLASES DIAMÉTRICAS: PARCELA 1								ALTURAS POR CLASES DIAMÉTRICAS: PARCELA 1							
CLASES DIAMÉTRICAS								CLASES DIAMÉTRICAS							
5-10	10.1-15	15.1-20	20.1-25	25.1-30	30.1-35	35.1-40		5-10	10.1-15	15.1-20	20.1-25	25.1-30	30.1-35	35.1-40	
6.9	12.5	18.4	20	29	33	15.5		5.1	15.1	16.1	17.3	17.6	14.9	38	
7	11.7	15.5	20		31			5.4	10.1	14.3	14.5		19.5		
8.5	12	16	22					6.9	12.6	17.5	16.8				
6	14	17.2	20					5.9	8.7	10.2	16.7				
6	13.2	15.5						5.2	11.7	8.9					
8	12.2	16						5.7	8.6	10.1					
6	14.5	17.2						7.9	13.9	13.8					
6.5	14.3	18.5						5.4	15.4	15.4					
7.3	10.5	17						5.7	8.9	15.8					
7	10	18						5.2	10.1	18.7					
9.3	10	19						7.8	8.6	19.8					
	12.5	16							8.6	14.9					
DIO	7.1	12.3	17.1	20.5	29.0	32.0	15.5	PROMEDIO	6.0	11.2	14.6	16.3	17.6	17.2	38.0
NCIA	11	12	12	4	1	2	1	FRECUENCIA	11	12	12	4	1	2	1

## ANEXO N. RESUMEN DE LAS VARIABLES DASOMÉTRICAS

RESUMEN DE LOS DAP PROMEDIO						RESUMEN DE LAS ALTURAS PROMEDIO						RESUMEN DE LAS FRECUENCIAS PROMEDIO					
Clases diamétricas	N°PARCELAS				PROMEDIO	Clases diamétricas	N°PARCELAS				PROMEDIO	Clases diamétricas	N°PARCELAS				SUMATORIA
	1	2	3	4			1	2	3	4			1	2	3	4	
5-10	7,1	8,7	#DIV/0!	#DIV/0!	7,9	5-10	6,0	6,9	#DIV/0!	#DIV/0!	6,5	5-10	11	14	0	0	25
10.1-15	12,3	11,9	13,8	12,9	12,5	10.1-15	11,2	10,0	15,2	15,7	13,0	10.1-15	12	20	11	11	54
15.1-20	17,1	17,2	17,9	17,3	17,4	15.1-20	14,6	14,2	16,3	17,7	15,7	15.1-20	12	15	11	12	50
20.1-25	20,5	21,7	22,2	23,3	21,9	20.1-25	16,3	15,9	17,0	17,3	16,6	20.1-25	4	4	4	6	18
25.1-30	29,0	25,5	27,8	25,7	27,0	25.1-30	17,6	17,3	17,8	17,3	17,5	25.1-30	1	2	3	6	12
30.1-35	31,0	31,7	30,4	31,2	31,3	30.1-35	17,2	19,4	18,0	18,0	18,2	30.1-35	2	1	1	1	5
35.1-40	15,5	36,0	#DIV/0!	#DIV/0!	25,8	35.1-40	38,0	19,3	#DIV/0!	#DIV/0!	28,7	35.1-40	1	1	0	0	2

166

## ANEXO O. PRUEBA DE LEVENNE

### Análisis de la varianza

Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CV  
RABS F.F 28 0,35 0,16 75,25

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor  
 Modelo. 0,01 6 2,2E-03 1,87 0,1345  
 Clases 0,01 6 2,2E-03 1,87 0,1345  
 Error 0,03 21 1,2E-03  
Total 0,04 27

## ANEXO P. PRUEBA DE NORMALIDAD PARA FACTOR DE FORMA

### Análisis de la varianza

Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CV  
RDUO F.F 28 0,00 0,00 2,26007986006689E18

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor  
 Modelo. 0,00 6 0,00 0,00 >0,9999  
 Clases 0,00 6 0,00 0,00 >0,9999  
 Error 0,10 21 4,7E-03  
Total 0,10 27

## ANEXO Q. ANÁLISIS URKUND

### Document Information

Analyzed document	JosuePilamunga.docx (D175067707)
Submitted	2023-10-02 15:36:00
Submitted by	Eduardo
Submitter email	eduardo.salazar@esPOCH.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	eduardo.salazar.esPOCH@analysis.orkund.com

### Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>damaris.docx</b> Document damaris.docx (D147707353)	 <b>2</b>
<b>SA</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO / Xiomara Alexandra Moncayo Chamorro.docx</b> Document Xiomara Alexandra Moncayo Chamorro.docx (D107289668) Submitted by: miguel.guallpa@esPOCH.edu.ec Receiver: miguel.guallpa.esPOCH@analysis.orkund.com	 <b>1</b>
<b>SA</b>	<b>DASOMETRIA.docx</b> Document DASOMETRIA.docx (D9950086)	 <b>1</b>
<b>SA</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO / Bryan Pantoja.pdf</b> Document Bryan Pantoja.pdf (D149703534) Submitted by: eduardo.salazar@esPOCH.edu.ec Receiver: eduardo.salazar.esPOCH@analysis.orkund.com	 <b>1</b>

### Entire Document

#### INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales de *Pinus radiata* D. Don son un recurso valioso para la industria forestal a nivel mundial. Esta especie de árbol originaria de Norteamérica y México (Barreto et al., 2006: pp. 43-48), pero ha sido introducida en varias partes del mundo debido a su rápido crecimiento y a la calidad de su madera (Orwa et al., 2009: pp. 1-5). El *P. radiata* es una especie que se adapta a una gran variedad de climas y suelos (Núñez, 2014, p. 22), lo que la hace una opción atractiva para la industria forestal (Orozco y Martínez 2009: p.7; Sánchez, 2013, p.8). La superficie dedicada al cultivo de *P. radiata* todo el mundo alcanza los 4 millones de ha. En la actualidad, en el hemisferio sur, estas plantaciones se extienden sobre 1.400.000 ha en Chile, 1.540.000 ha en Nueva Zelanda, 770.000 ha en Australia y 570.000 ha en Sudáfrica (Mead, 2013, p. 10).

En Ecuador la especie *P. radiata* se encuentra difundida en toda la serranía ecuatoriana, mayoritariamente en las provincias Cotopaxi, Chimborazo, Pichincha y Loja (Tapia, 2019. p. 5). Las especies de árbol conocidas como pino fueron introducidos por Luciano Andrade Marín en 1925, y desde entonces ha habido un aumento constante en su cultivo en el país, especialmente en la Sierra ecuatoriana, donde es la segunda especie forestal más común después del eucalipto (Guillén, 2013, p. 3).



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO



DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL  
APRENDIZAJE

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS  
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 11/ 12 / 2023

<b>INFORMACIÓN DE LOS AUTORES</b>	
Nombres – Apellidos: Josue Israel Pilamunga Tomarema	
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>	
Facultad: Recursos Naturales	
Carrera: Ingeniería Forestal	
Título a optar: Ingeniero Forestal	
f. Analista de Biblioteca responsable:	 Ing. Fernanda Arévalo M.

