



Factor de forma de la especie Pinus radiata D. Don en una plantación forestal comercial ubicada en la parroquia Sicalpa, cantón Colta, provincia de Chimborazo

Form factor of the species Pinus radiata D. Don in a commercial forest plantation located in the Sicalpa parish, Colta canton, Chimborazo province

Fator de forma da espécie Pinus radiata D. Don em uma plantaço florestal comercial localizada na freguesia de Sicalpa, cantão de Colta, província de Chimborazo

Eduardo Patricio Salazar Castañeda^I
eduardosalazar@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-5392-036X>

Josué Israel Pilamunga Tomarema^{II}
josuepilamunga@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0008-7119-4988>

Miguel Ángel Guallpa Calva^{III}
miguelguallpa@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8381-0401>

Fabián Marcelo Remache Reinoso^{IV}
fabienremache@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8381-0401>

Correspondencia: eduardosalazar@epoch.edu.ec

Ciencias de la Educación
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 20 de febrero de 2024 * **Aceptado:** 22 de marzo de 2024 * **Publicado:** 30 de abril de 2024

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.

Resumen

En la parroquia Sicalpa perteneciente al cantón Colta, provincia de Chimborazo, se están ejecutando proyectos de aprovechamiento de *Pinus radiata* D. Don que requieren la cuantificación de existencias volumétricas para el manejo o comercialización de la madera. Son las razones que motivaron investigar el factor de forma de la especie *Pinus radiata* por clases diamétricas y estimar su volumen comercial de madera delgada y gruesa para la plantación evaluada. Mediante el muestreo sistemático con la instalación de parcelas circulares de 500m² con una intensidad del 2% para levantar información dasométrica útil para el cálculo del factor de forma, su categorización por clases diamétricas y posterior estimación del volumen de madera. Para establecer el factor de forma, se utilizó el método de Schiffel. El cual, se basa en la medición de los diámetros a la altura del pecho y a la mitad de la altura de los árboles. 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 m³ y el volumen comercial por hectárea es de 214,8 m³. 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 manejada durante su crecimiento y desarrollo.

Palabras clave: Factor de Forma; Plantación Forestal; Dron.

Abstract

In the Sicalpa parish belonging to the Colta canton, province of Chimborazo, projects are being carried out to use *Pinus radiata* D. Don that require the quantification of volumetric stocks for the management or marketing of wood. These are the reasons that motivated investigating the shape factor of the *Pinus radiata* species by diameter classes and estimating its commercial volume of thin and thick wood for the evaluated plantation. Through systematic sampling with the installation of circular plots of 500m² with an intensity of 2% to collect dasometric information useful for calculating the shape factor, its categorization by diameter classes and subsequent estimation of

the volume of wood. To establish the form factor, the Schiffel method was used. Which is based on measuring the diameters at chest height and at half the height of the trees. The statistical analysis of the data confirmed that there is a significant difference in the shape factor of Pinus radiata, between the different diameter classes. The average value of form factor found for the plantation under study was 0.69. It is interesting to mention that this value is supported by previous research carried out by other experts on the same species. Furthermore, if this value is rounded, 0.7 is obtained, which is consistent with the form factor value established by Ecuadorian forestry legislation for this species. It was determined that the total commercial volume of the plantation under study is equal to 859.43 m³ and the commercial volume per hectare is 214.8 m³. It was estimated that trees within diameter classes that are less than 20 cm predominate in the plantation, which represent more than 70% of the total. According to this analysis, the plantation was not managed during its growth and development.

Keywords: Form Factor; Forest Plantation; Drone.

Resumo

Na freguesia de Sicalpa pertencente ao cantão de Colta, província de Chimborazo, estão a ser realizados projectos de aproveitamento de Pinus radiata D. Don que requerem a quantificação de stocks volumétricos para a gestão ou comercialização de madeira. Esses são os motivos que motivaram investigar o fator de forma da espécie Pinus radiata por classes de diâmetro e estimar seu volume comercial de madeira fina e grossa para o plantio avaliado. Através de amostragem sistemática com instalação de parcelas circulares de 500m² com intensidade de 2% para recolha de informação dasométrica útil ao cálculo do factor de forma, sua categorização por classes de diâmetro e posterior estimativa do volume de madeira. Para estabelecer o fator de forma, foi utilizado o método Schiffel. Que se baseia na medição dos diâmetros na altura do peito e na metade da altura das árvores. A análise estatística dos dados confirmou que existe diferença significativa no fator de forma do Pinus radiata, entre as diferentes classes de diâmetro. O valor médio do fator de forma encontrado para o plantio em estudo foi de 0,69. É interessante mencionar que este valor é apoiado por pesquisas anteriores realizadas por outros especialistas na mesma espécie. Além disso, se este valor for arredondado, obtém-se 0,7, o que é consistente com o valor do fator de forma estabelecido pela legislação florestal equatoriana para esta espécie. Foi determinado que o volume comercial total da plantação em estudo é igual a 859,43 m³ e o volume comercial por

hectare é de 214,8 m³. Estimou-se que predominam na plantação árvores com classes de diâmetro inferiores a 20 cm, que representam mais de 70% do total. De acordo com esta análise, a plantação não foi manejada durante o seu crescimento e desenvolvimento.

Palavras-chave: Fator de forma; Plantação Florestal; Drone.

Introducción

La determinación de las existencias volumétricas es esencial para llevar a cabo la gestión forestal. Sin embargo, la gran diversidad estructural y de especies que caracterizan a la mayoría de las áreas boscosas del país, junto con las características morfológicas únicas de cada especie, hacen que estimar el volumen sea una tarea compleja para el gestor forestal (Vargas-Larreta et al., 2017). La medición directa del volumen en árboles en pie es difícil de realizar; por lo tanto, su estimación se lleva a cabo de manera indirecta mediante el uso de expresiones matemáticas, como las tablas volumétricas.

Un aspecto inicial a tener en cuenta en la elaboración de tablas de volumen es la variabilidad que muestran las variables necesarias para lograr una precisión aceptable, la cual depende de la morfología del árbol. Aunque a veces se puedan considerar como sinónimos, los términos "forma del árbol" y "ahusamiento" tienen significados distintos (Burkhart & Tomé, 2012). La forma se refiere a la estructura externa del árbol, mientras que el ahusamiento se refiere a la tasa de disminución del diámetro del fuste a medida que aumenta la altura fustal.

Para el análisis de la forma del fuste, se emplean procedimientos matemáticos y estadísticos que permiten describirlo de manera precisa (Vargas-Larreta et al., 2017). Algunos de estos métodos incluyen el uso de factores de forma, modelos de ahusamiento puro o sistemas compatibles de ahusamiento-volumen (Tlaxcala-Méndez et al., 2016).

El primer método implica obtener un valor de forma constante a partir de la relación entre el volumen del tronco y el volumen de un cilindro con el mismo diámetro y altura (Furlan Gama, Dos Santos, & Mura, 2010). El segundo método considera la variación del diámetro a lo largo del fuste, y su integración proporciona el volumen total y comercial (Bi, 2000). Mientras que el tercer método describe simultáneamente el perfil y el volumen del fuste (Valdez & Lazalde, 2008).

Considerando que las plantaciones forestales se establecen con el objetivo de ser utilizadas con fines industriales o comerciales, y generalmente están compuestas por especies forestales introducidas (Corporación de Promoción de Exportaciones e Inversiones, 2007). Estas plantaciones

son manejadas directamente por el ser humano con fines comerciales y están en condiciones de producir madera u otros productos. Es una práctica ampliamente empleada en la industria forestal (Óscar et al., 2018).

La determinación del factor de forma de los árboles es un aspecto crucial para valorar su productividad ya que permite una estimación más precisa del volumen de madera que se puede obtener de una determinada especie maderable (Subedi et al., 2021).

Es importante tener en cuenta que el factor de forma puede variar según la especie de árbol, la edad, la ubicación geográfica y otros factores, por lo que es esencial determinarlo para cada especie en la zona específica donde se encuentre (Tenzin et al., 2017). Por ello se ha convertido en una herramienta fundamental para medir la producción y rendimiento de una superficie en términos de volumen de madera, tanto para una especie como para varias, lo que lo hace invaluable para valorar económicamente una masa forestal (Byrne & Reed, 1986). Actualmente se están llevando a cabo proyectos de aprovechamiento en la provincia de Chimborazo, específicamente en las zonas de Guamote, Riobamba y Guano. Previamente, se ha realizado un análisis y diagnóstico a nivel provincial, que reveló la existencia de alrededor de 1.200 hectáreas de bosque (Díaz, 2018).

Por lo indicado, son las razones que motivaron determinar el factor de forma de la especie *Pinus radiata* D. Don por clases diamétricas y estimar su volumen comercial de madera delgada y gruesa para la plantación evaluada.

Metodología

Localización

El área de estudio es un rodal coetáneo de la especie *Pinus radiata* D. Don, que se encuentra ubicado en la parroquia Sicalpa, cantón Colta a 20 minutos de la ciudad de Riobamba.

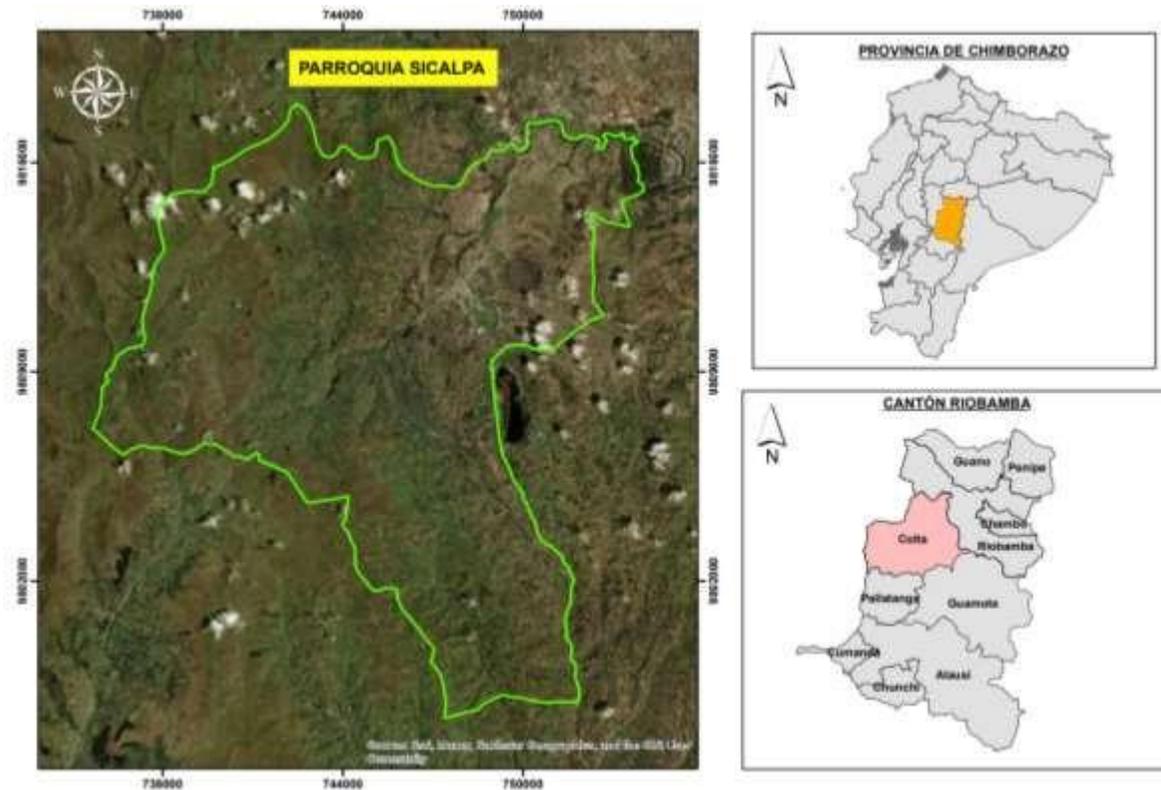


Figura 1: Ubicación parroquia Sicalpa

El área de la plantación en estudio está situada en un rango altitudinal que va desde los 3200 hasta los 3300 metros sobre el nivel del mar. La temperatura en la zona oscila entre los 10 y 13 grados Celsius, y la precipitación varía desde 1000 hasta 1500 mm al año (PDOT COLTA, 2018). La plantación de *Pinus radiata* abarca una superficie de 4,10 hectáreas y se categoriza dentro de la formación estepa Espinoza Montano Bajo (Sierra et al., 2012).

Métodos

En la investigación se aplicaron los métodos: documental, observacional y de campo, definidas para recopilar información de variables dasométricas y posterior estimación del factor de forma y volumen de madera (Calvache, 2016).

Procedimiento de muestreo y medición de variables

Se realizó un muestreo sistemático con una intensidad del 2%. Después, se determinó con precisión el área de la plantación utilizando un sistema de posicionamiento global (GPS) y un vehículo aéreo

no tripulado (UAV). Luego, se registraron todos los árboles con un diámetro a la altura del pecho (DAP) de 10 cm o más en el área estudiada. Se llevó a cabo un tratamiento silvicultural que implicó la limpieza de los troncos para evitar cualquier distorsión en las mediciones de secciones transversales a lo largo de la altura comercial, junto con la medición de la altura total de los árboles.

Mediciones de diámetros y alturas

Se realizó mediciones en los árboles en cada parcela (Figura 2). Para determinar el diámetro a la altura del pecho (DAP), se tomaron medidas a una altura de 1,30 metros. En cuanto a las alturas, se registraron mediciones de todos los árboles, incluyendo lecturas a la mitad de su altura. Estos datos son esenciales para calcular el factor de forma utilizando el método de Schiffel y, en última instancia, determinar el volumen comercial de la plantación (Mejía, 2013).

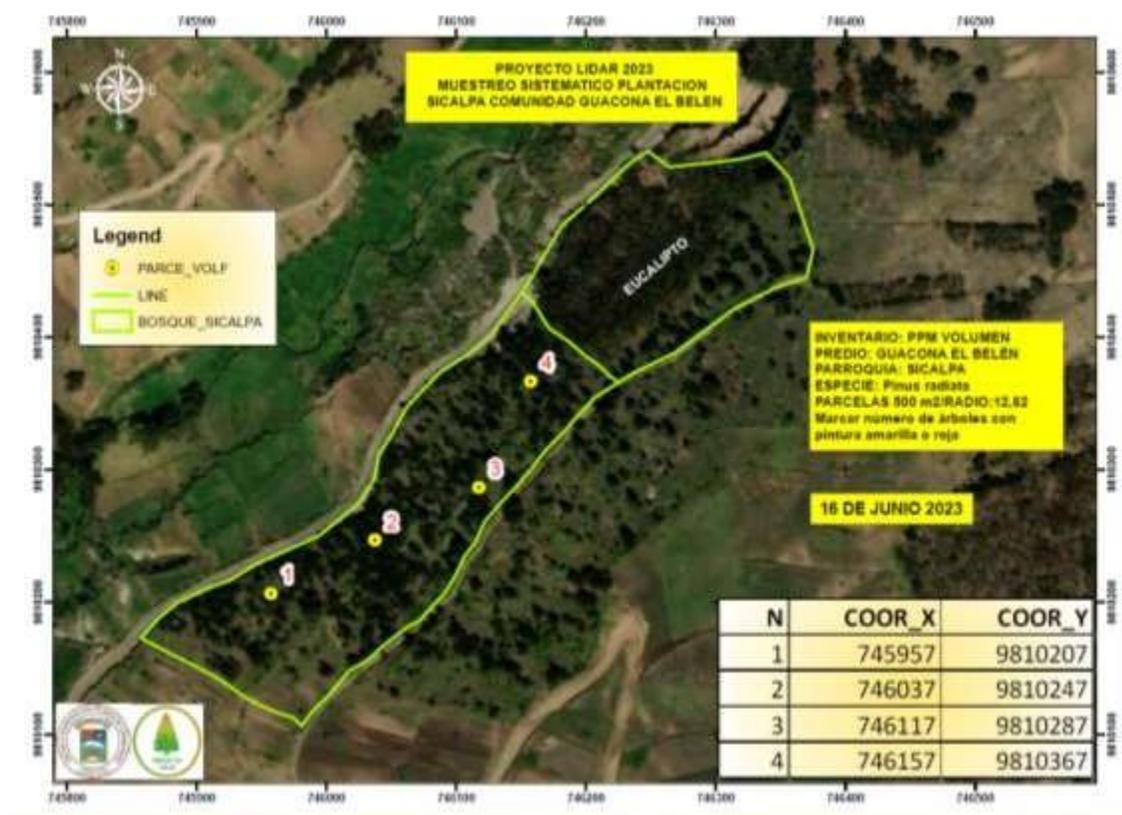


Figura 2: Distribución de parcelas mediante muestreo sistemático

Distribución por clases diamétricas

Las clases diamétricas se determinaron utilizando los diámetros encontrados durante el muestreo. Este proceso se realizó teniendo en cuenta la representatividad de los datos recolectados. Se buscó que las clases diamétricas abarcaran un amplio espectro de tamaños de árboles, desde los más pequeños hasta los más grandes, con el objetivo de permitir una caracterización dasométrica de la masa forestal (González *et al.*, 2017).

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

Tabla 1: Criterios para la generación de clases diamétricas

Cálculo de factor de forma por el método Schiffel

Después de establecer las clases diamétricas, se procedió a calcular el factor de forma utilizando la metodología de Schiffel. Esta técnica, ampliamente empleada en silvicultura y estudios forestales, se basa en la medición de los diámetros mencionados anteriormente (Prodan, 1997).

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

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.

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 (Hernández *et al.*, 2013).

$$AB = \frac{\pi}{4000} * DAP^2$$



Donde:

AB: área basal

DAP: diámetro a la altura del pecho en cm

4000: factor de conversión de cm a m

Cálculo del volumen comercial de toda la plantación

Se utilizó la siguiente fórmula para calcular el volumen comercial de la plantación además del factor de forma (Zamora y Pando, 2004).

$$Vc = \frac{\pi}{4} DAP^2 * h * f$$

Donde:

Vc: volumen comercial

DAP: diámetro a la altura del pecho

h: Altura

f: Factor de forma calculado

Una vez obtenido el volumen total de la plantación, se procedió a clasificar la madera en dos categorías: delgada y gruesa, teniendo en cuenta la totalidad del área de la plantación de 4 hectáreas. Para finalizar, se realizó 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 de muestreo relativo.

Resultados

Distribución por clases diamétricas

En la tabla 2. 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).

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

Tabla 2. Cálculo de clases diamétricas por método de Sturges

El total de observaciones fue de 166, lo que significa que se midió y se registraron datos de 166 árboles de *Pinus radiata* en la muestra estudiada. La columna "V. máximo" representa el diámetro máximo medido a 1,30 metros de altura del suelo, con un valor máximo registrado de 40 centímetros. La columna "V. mínimo" muestra el diámetro mínimo medido a 1,30 metros del suelo, con un valor mínimo registrado de 5 centímetros.

En este estudio, la amplitud de clase asignada fue de 5 centímetros, lo que resultó en un total de 7 clases diamétricas.

N°	Clases Diamétricas (cm)	FA	FR	F.A. A	F.R. A
1	5-10	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%
		166	100.00%		

Tabla 3. Clases diamétricas de *Pinus radiata*

En cuanto al establecimiento de clases diamétricas en una plantación forestal, Chasquero (2019) destaca que esta clasificación es una herramienta de gran utilidad en la planificación del manejo forestal. Proporciona estimaciones del volumen maderable por clase diamétrica, lo que implica una predicción implícita. Además, revela la estructura del rodal según las diferentes clases diamétricas, lo que permite definir los tratamientos silvícolas que pueden aplicarse. Esto es importante, ya que el tamaño de los diámetros influye en el uso industrial de la madera y en el precio de los productos obtenidos.

Además, la distribución diamétrica desempeña 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.

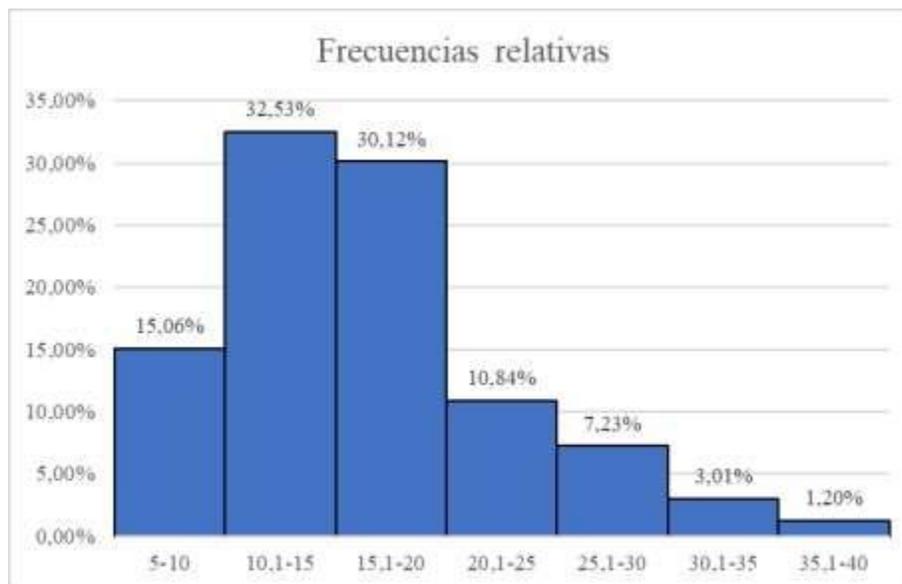


Figura 4. Tabla de frecuencias por clases diamétricas

Se evidencia que la mayoría de los árboles se encuentran dentro de las clases diamétricas de 10 a 20 cm. Este detalle sugiere que la plantación no ha sido manejada durante su desarrollo. Lo que implica ausencia de aplicación de prácticas silviculturales necesarias para promover un crecimiento optimista.

Factor de forma por método de Schiffel por clase diamétrica

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) 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, 2015), 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, se obtiene un valor de 0,69.

N°	Clases Diamétricas (cm)	Frecuencia	Fact. forma
1	5-10	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
Total		166	0,69

Tabla 4. Factor de forma (Schiffel) en función de las clases diamétricas

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) quien obtuvo un resultado de 0,70-0,72. No obstante, en un estudio realizado por (Diaz, 2018) 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) 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.*, 1867) 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, 2015). Por otro lado, (Olivar *et al.*, 2013) señala que las variaciones de factor de forma pueden estar relacionado con factores medioambientales como calidad de suelo, clima, competencia y calidad de sitio.

Madera gruesa y madera delgada en función de las clases diamétricas

Nº	Clases Diamétricas cm.	Frecuencia	Fact. forma	Tipo de madera	Fact. forma promedio
1	5-10	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	
Total		166	0,69		0,69

Tabla 5. Madera gruesa y delgada

La clasificación de la madera en categorías como "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 5 ilustra que las clases diamétricas en el rango de 5 a 25 cm corresponden a la categoría 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 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 6 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 madera dentro de cada rango de diámetro y en el conjunto de la muestra. Es así como, del total de la muestra analizada en este estudio, el 88,55 % de los árboles corresponde a la categoría madera delgada, mientras que tan solo el 11,45 % corresponde a la categoría de madera gruesa.

Clases		Frecuencia	Fact. forma	Tipo de Madera	Porcentaje parcial	Total
Nº	Diamétricas cm.					
1	5-10	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 %	
Total		166	0,69			100,00 %

Tabla 6. Porcentajes de árboles correspondientes a madera delgada y gruesa del total de la muestra

De acuerdo con (Merino, 2010) 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, se enfoca a un manejo sostenible del recurso forestal.

Análisis estadístico de las clases diamétricas

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 por lo tanto los datos, se distribuyen de manera normal en los conjuntos de datos analizados.

Análisis de varianza

El Análisis de la Varianza (ANOVA) es fundamental para comprender si existen diferencias significativas entre las diferentes clases diamétricas de la plantación de *P. radiata* en la parroquia Sicalpa en términos de factor de forma. Tomando en cuenta las hipótesis planteadas, procedemos a interpretar los resultados.

Variable	N	R ²	R ² 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			

Tabla 7. F.F: Análisis de varianza de factor de forma de *Pinus radiata*

En la tabla 7 se observa que el valor de R² 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 R² 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. 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 ($p\text{-valor} < 0,0001$), 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 se concluye que existe al menos una diferencia significativa en el factor de forma de *P. radiata* entre las clases diamétricas para la plantación evaluada.

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

N°	Clases diamétricas	Medias			
1	5-10	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

Tabla 8. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La tabla 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.

Según la prueba de Tukey al 5% de significancia se reporta cuatro grupos de medias, la clase diamétrica "5-10" con una media de 0,48 con el menor valor perteneciente al grupo (A), en cambio la clase "35,1-40" con una media de 0,87, pertenecientes al grupo D (Tabla 8).

Volumen total de la plantación

Ha	Volumen m ³ /ha
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%
Error	13,69%
Superficie	4 ha
Volumen Total	859,4 m³

Tabla 9. Cálculo del volumen total de la plantación de *Pinus radiata*

La Tabla 9 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 (20 %). Se calculó el promedio del volumen de madera por hectárea proyectado, dando un valor de 214,85 m³.

Por último, la plantación abarca una superficie total de 4 hectáreas, y el volumen total estimado de madera es de 859,4 m³.

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 m³ y el volumen comercial por hectárea es de 214,8 m³. Se estimó que en la plantación predominan los árboles dentro de las clases diamétricas inferiores a 20 cm, las cuales representan más del 70% del total. Según este análisis, la plantación no fue manejada durante su crecimiento y desarrollo.

Referencias

- ACOSAFORST. (2008). Norma de Madera Aserrada de Pino Radiata (*Pinus radiata* D. Don). Asociación Chilena de la Madera A.G. Santiago, Chile.
- Antillanca, A., García, O., & Vidal, F. (2017). Dendrología de pino radiata (*Pinus radiata* D. Don). Universidad de Chile.
- Bi, H. (2000). Growth and Yield Models for Radiata Pine Plantations in New Zealand. CABI Publishing.
- Burkhart, H. E., & Tomé, M. (2012). Modeling Forest Trees and Stands. Springer Science & Business Media.
- Byrne, J., & Reed, D. (1986). Forest Stand Dynamics. McGraw-Hill.
- Calvache, M. (2016). Introducción a la silvicultura tropical. Editorial Universidad de Córdoba.
- Chasquero, C. (2019). Planificación forestal: fundamentos y aplicaciones. Universidad de Santiago de Compostela.
- Corporación de Promoción de Exportaciones e Inversiones. (2007). Plan de negocios para la exportación de madera aserrada de pino radiata a Estados Unidos.
- Corvalan, M., & Hernandez, P. (2014). Manual técnico del semillero. Editorial Universitaria.
- Díaz, J. (2018). Estudio técnico económico de la madera para construcción en la Región Metropolitana. Universidad de Chile.
- Espinoza, A., Vilcapaza, P., Espinoza, J., & Serrudo, A. (1867). Compendio de la legislación forestal boliviana. Imprenta del Estado.
- Furlan Gama, J., Dos Santos, C. L., & Mura, L. A. (2010). Inventário florestal. Editora UFLA.
- González, J., Soler, C., & García, F. (2017). Gestión de bosques y medio natural. Mundi-Prensa.

- Hernández, E., Sánchez, M., & Rivas, E. (2013). Manual de prácticas de topografía forestal. Universidad Autónoma Chapingo.
- Lozano, J., & Bonilla, A. (2022). Evaluación de factores de forma y volumen en rodales de *Pinus patula* Schltdl. et Cham. en diferentes condiciones edafoclimáticas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Mejía, M. (2013). Determinación de la densidad y factor de forma en *Pinus caribaea* Mor. var. *Hondurensis* Barret y Golfari. Universidad Autónoma Chapingo.
- Merino, A. (2010). Manual de selvicultura. McGraw-Hill Interamericana.
- Olivar, J., Abella, A., & Piqué, M. (2013). Métodos de estudio de la vegetación. Omega.
- Prodan, M. (1997). Elementos de dendrometría y planificación forestal. Limusa.
- Sierra, R., Mendieta, J., & Mendoza, A. (2012). Geografía del Ecuador. Editorial Abya-Yala.
- Subedi, R., Khanal, B., & Bhusal, P. (2021). Estimation of biomass and carbon stock in community forest using non-destructive method: A case study from mid-hill of Nepal. *Forest Ecology and Management*, 482, 118872.
- Tenzin, S., Wangdi, T., & Lham, D. (2017). Forest carbon stocks and fluxes in a range of forest types in Bhutan. *Forest Ecology and Management*, 402, 28-35.
- Tlaxcala-Méndez, E., Álvarez-González, J., & Rojo-Alboreca, A. (2016). Herramientas para la estimación del volumen en masas forestales. Mundi-Prensa.
- Uranga, C. (2015). Introducción a la selvicultura. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Navarra.
- Valdez, R., & Lazalde, J. (2008). Manejo y aprovechamiento forestal sustentable. McGraw-Hill.
- Vargas-Larreta, B., Hernández-Díaz, J., & Corral-Rivas, J. (2017). Análisis de estructuras y composición florística de una comunidad de pino-encino en Michoacán, México. *Madera y Bosques*, 23(1), 135-144.
- Zamora, L., & Pando, V. (2004). Dendrometría: técnicas de medición en árboles forestales. Universidad de Valladolid.