UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y FORESTALES

ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES

Validación preliminar de un método para estimar la productividad en plantaciones de *Pinus radiata*

Pasantía para obtener el título de Técnico Superior Forestal

ANDRES LIMPIAS IRIARTE

COCHABAMBA – BOLIVIA

2026

RESUMEN

Validación preliminar de un método para estimar la productividad en plantaciones de *Pinus radiata*. Para el valle interandino de Cochabamba se ha propuesto un método de estimación de productividad basado en el índice de sitio para plantaciones de *Pinus radiata* D. Don; sin embargo, este no ha sido validado hasta la fecha. El objetivo del presente estudio fue validar preliminarmente dicho método, comparando la productividad estimada mediante el índice de sitio con el incremento medio anual volumétrico (IMAV). Se establecieron parcelas temporales de muestreo de 400 m² y se recopiló información de parcelas levantadas por terceros, obteniéndose datos de nueve rodales distribuidos en seis municipios. Se registraron variables como diámetro, altura dominante y edad de las plantaciones. La productividad estimada se determinó mediante el método propuesto por Limachi & Guzmán (2009), mientras que el IMAV fue calculado a partir del volumen por hectárea y la edad del rodal. La concordancia entre ambos enfoques fue evaluada mediante el Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE). Los resultados mostraron un MAPE de 52,17 %; al excluir dos rodales con comportamiento extremo, este se redujo a 23,06 %, lo que sugiere una mayor concordancia del método bajo condiciones más homogéneas. Asimismo, se determinó que una intensidad de muestreo aproximada del 5,4 % permitiría estimar el volumen por hectárea con un error admisible del 15 %. Se concluye que el método constituye una herramienta práctica para obtener estimaciones rápidas de productividad; sin embargo, factores como la pendiente del terreno podrían influir en su precisión, por lo que se requieren ajustes metodológicos y una validación más amplia antes de su aplicación general.

Palabras Clave: productividad forestal, *Pinus radiata*, incremento medio anual volumétrico, índice de sitio, valle interandino de Cochabamba.

ABSTRACT

Preliminary Validation of a Productivity Estimation Method for *Pinus radiata* Plantations.

A productivity estimation method based on the site index has been proposed for *Pinus radiata* D. Don plantations in the inter-Andean valley of Cochabamba; however, it has not been validated to date. The objective of this study was to conduct a preliminary validation of this method by comparing productivity estimated from the site index with the Mean Annual Increment (MAI). Temporary sample plots of 400 m² were established, and data from plots previously surveyed by third parties were compiled, resulting in information from nine forest stands distributed across six municipalities. Variables including diameter, dominant height, and stand age were recorded. Estimated productivity was determined using the method proposed by Limachi and Guzmán (2009), while MAI was calculated from stand volume per hectare and stand age. Agreement between both approaches was assessed using the Mean Absolute Percentage Error (MAPE). The results showed a MAPE of 52.17%; after excluding two stands with extreme values, the error decreased to 23.06%, suggesting better agreement under more homogeneous conditions. In addition, a sampling intensity of approximately 5.4% was found to be sufficient to estimate stand volume per hectare with an allowable error of 15%. The proposed method represents a practical tool for rapid productivity estimation; however, factors such as terrain slope may affect its accuracy. Therefore, methodological refinements and broader validation are required before the method can be recommended for general application.

Key words: forest productivity, *Pinus radiata*, mean annual volume increment, site index, Cochabamba Inter-Andean valley.

I. INTRODUCCIÓN

La productividad de las plantaciones forestales constituye un parámetro fundamental para la planificación silvícola, la toma de decisiones y la evaluación del desempeño de distintas alternativas de manejo (Alvarado & Juergens, 2014). El establecimiento de plantaciones forestales en Bolivia ha cobrado relevancia durante las últimas décadas por su potencial para la producción sostenible de madera, generación de ingresos rurales y la restauración de ecosistemas degradados (Vargas-Claros, 2019). Las plantaciones de Pino, especialmente de Pino radiata (*Pinus radiata* D. Don) constituyen un componente esencial para el valle interandino de Cochabamba por su rápido crecimiento y buena adaptación a las condiciones locales (Guzmán et al., 2012).

A pesar de su importancia, la información disponible sobre el crecimiento y productividad de *Pinus radiata* en Bolivia continúa siendo limitada. Esta situación dificulta la generación de herramientas técnicas confiables para apoyar la planificación y el manejo de las plantaciones. En consecuencia, surge la necesidad de evaluar y contrastar los métodos de estimación existentes, especialmente aquellos desarrollados para condiciones locales (Guzmán et al., 2012; Limachi & Guzmán, 2009b; Rojas & Medrano, 1996).

Entre estas herramientas se encuentra el método de estimación de productividad basado en el índice de sitio propuesto por Limachi y Guzmán (2009), el cual permite proyectar la productividad de las plantaciones a partir de la altura dominante y la edad del rodal. Sin embargo, hasta la fecha no se dispone de estudios que contrasten sus resultados con estimaciones independientes derivadas de variables dendrométricas medidas directamente en las plantaciones.

En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo validar de manera preliminar el método de estimación de productividad basado en el índice de sitio utilizado en plantaciones de *Pinus radiata* del valle interandino de Cochabamba, mediante la comparación de sus resultados con el incremento medio anual volumétrico (IMAV) estimado a partir de mediciones independientes de diámetro a la altura del pecho (DAP), densidad de árboles y edad de las plantaciones. Asimismo, se realizó una evaluación exploratoria del tamaño de muestra

requerido para estimar el volumen por hectárea en función de la variabilidad observada en los rodales evaluados.

Los resultados de la presente pasantía contribuirán a generar información técnica sobre el desempeño del método evaluado, identificar sus principales limitaciones y proporcionar criterios preliminares para mejorar su aplicación en futuras evaluaciones de productividad. De esta manera, se busca aportar al fortalecimiento de la gestión forestal, la planificación de nuevas plantaciones y el desarrollo de herramientas de apoyo para propietarios y técnicos de las Unidades Forestales Municipales (UFM).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

- ✓ Validar preliminarmente el método de estimación de la productividad basado en el índice de sitio utilizado actualmente en plantaciones de *Pinus radiata* del valle interandino de Cochabamba, comparando sus resultados con el incremento medio anual volumétrico (IMAV), estimado a partir de variables dendrométricas independientes.

1.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Obtener información dendrométrica y dendrocronológica de plantaciones de *Pinus radiata* mediante el levantamiento de parcelas temporales de muestreo y la recopilación de datos procedentes de parcelas establecidas por terceros.
- ✓ Estimar de manera exploratoria el número de parcelas muestrales requeridas para la estimación del volumen por hectárea en función de la variabilidad observada, el error admisible y el nivel de confianza establecido.
- ✓ Comparar la productividad estimada mediante el método basado en índice de sitio con el incremento medio anual volumétrico (IMAV), cuantificando la diferencia entre ambos mediante indicadores de error porcentual.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN 1

1.1 Objetivos 2

1.1.1 Objetivo general 2

1.1.2 Objetivos específicos 2

II. REVISIÓN DE LITERATURA 3

2.1 Antecedentes 3

2.1.1 Generalidades 3

2.1.2 Pinus radiata en Cochabamba 3

2.1.3 Regiones del departamento de Cochabamba 4

2.1.4 Estimación de la productividad mediante el índice de sitio 4

2.2 Fundamentos teóricos 5

2.2.1 Productividad forestal 5

2.2.2 Sitio 5

2.2.3 Índice de sitio 6

2.2.4 Muestreo 7

2.2.5 Parcelas temporales de muestreo 7

2.2.6 Intensidad de muestreo 7

2.2.10 Diámetro 8

2.2.11 Volumen 9

2.2.12 Dendrocronología 9

2.2.13 Incremento medio anual 10

2.2.14 Validación 10

III. METODOLOGÍA 11

3.1 Área de Estudio 11

3.2 Materiales 12
3.2.1 Materiales de campo 13
3.2.2 Materiales de gabinete 14
3.3 Metodología 14
3.3.1 Método evaluado 14
3.3.2 Metodología de validación 15
3.3.3 Selección de rodales 16
3.3.4 Delimitación de parcelas 16
3.3.5 Intensidad de muestreo 17
3.3.6 Ubicación de las parcelas en campo 18
3.3.7 Establecimiento de las parcelas temporales de muestreo 18
3.3.8 Radio de las parcelas 18
3.3.9 Criterios de selección de árboles 18
3.3.10 Relación de la altura dominante 19
3.3.11 Medición de variables dasométricas para la validación 20
3.3.12 Edad del rodal 20
3.3.13 Dendrocronología 20
3.3.14 Índice de sitio 21
3.3.15 Estimación de productividad 21
3.3.16 Calculo del volumen individual 22
3.3.17 Calculo del IMAV 22
3.3.18 Evaluación de la concordancia entre la productividad estimada y el IMAV 23
3.3.19 Evaluación exploratoria del tamaño de muestra requerido 23
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 25
4.1 Características de los rodales evaluados 25

4.2 Productividad estimada y observada (IMAV) 26
4.3 Comparación entre productividad estimada y observada (IMAV) 26
4.4 Evaluación exploratoria del tamaño de muestra requerido 29
4.5 Discusión 30
V. CONCLUSIONES 32
VI. RECOMENDACIONES 34
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 35
VIII. ANEXOS 40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Productividad en base a la calidad e índice de sitio* 5
Tabla 2. *Materiales de Campo* 13
Tabla 3. *Materiales de Gabinete* 14
Tabla 4. *Estimación de productividad en base al índice de sitio* 22
Tabla 5. *Detalle de los rodales evaluados* 25
Tabla 6. *Diferencias entre edad consultada y observada* 25
Tabla 7. *Productividad estimada y observada* 26
Tabla 8. *Errores porcentuales absolutos (APE) entre productividad estimada y observada* 26
Tabla 9. Número *de parcelas necesarias y su correspondiente error admisible* 29
Tabla 10. Número *de parcelas necesarias para distintos tamaños de rodal* 29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. *Distribución espacial de los rodales evaluados* 11
Figura 2. *Altitud de los rodales evaluados* 12
Figura 3. *Resumen metodológico* 15
Figura 4. *Esquema de los criterios de selección dentro de las parcelas* 19
Figura 5. *Errores porcentuales absolutos (APE) por rodal* 27
Figura 6. *Gráfica 1:1 de la productividad estimada y observada (IMAV)* 27
Figura 7. *Concordancia entre la estimación de productividad y el IMAV* 28
Figura 8. *Relación entre el APE y la pendiente del terreno* 28
Figura 9. *Ubicación de las 15 parcelas del rodal 9 (Tolata)* 29