UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
INGENIERÍA FORESTAL

Evaluación de los retornos económicos de la poda en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en un gradiente de productividades y en distintas intensidades de manejo en la Zona Centro-Sur de Chile

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción para otorgar al título profesional de Ingeniero/a Forestal

POR: Rolando Andrés Hidalgo Ramírez

Profesor Guía: Rosa Alzamora M

Marzo, 2025

Concepción, Chile

© 2025, Rolando Andrés Hidalgo Ramírez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento

Evaluación de los retornos económicos de la poda en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en un gradiente de productividades y en distintas intensidades de manejo en la Zona Centro-Sur de Chile

Profesor Guía

Rosa María Alzamora Mallea

Profesora Asociada

Ingeniero Forestal, PhD

Profesor Guía

Julio Becker Guaiquil

Profesor Asistente

Ingeniero Forestal, Mg

Elvis Gavilán Gutiérrez

Profesor Asistente

Profesor Guía

Matemático, Doctor

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN 1

II.METODOLOGÍA 10

2.1 Evaluación económica de la silvicultura 13

2.2 Indicadores económicos 13

2.3 Análisis de sensibilidad con Simulación Montecarlo 15

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 18

3.1 Inventario y estructura de las parcelas analizadas, distribución de árboles podados, volumen y número de árboles que entregaron troza podada 18

3.2 Distribución de volumen de producto podado. 34

3.3 Retornos económicos por la poda 39

3.4 Evaluación económica de los regímenes de manejo completos 41

3.5 Análisis de sensibilidad 43

IV.CONCLUSIONES 48

V.BIBLIOGRAFÍA 52

VI. APÉNDICE 58

DEDICATORIA

A mis padres, por brindarme su apoyo y amor incondicional durante todo mi proceso académico, enseñarme a siempre dar lo mejor de mí desde pequeño y estar ahí en todo momento para hacerme ver mi propio valor.

AGRADECIMIENTOS

A FSP Latam SpA. por proporcionarme la información necesaria para poder elaborar este trabajo.

Agradezco al Modelo Nacional de Simulación y a su equipo de profesionales por el valioso apoyo brindado a este estudio, así como por su permanente contribución en la entrega de herramientas tecnológicas que fortalecen la formación de nuevas generaciones de Ingenieros e Ingenieras Forestales.

Agradezco profundamente a mi profesora guía, la Dra. Rosa Alzamora Mallea, por su apoyo académico y brindarme distintas herramientas en mi formación profesional que me permitieron desarrollar mis habilidades dentro de las áreas de mayor interés para mi persona dentro de la carrera. Le agradezco por las oportunidades brindadas como su ayudante, ya que, gracias a ello pude tener experiencias que han sido de gran ayuda para mi crecimiento. Su dedicación y compromiso han sido fundamental en mi progreso.

Al profesor Julio Becker Guaiquil, por su apoyo en el proceso de taller profesional y la oportunidad brindada como su ayudante, agradezco su orientación en lo práctico y académico, ya que su visión y experiencia contribuyeron de forma significativa en mi formación profesional.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Costos de valores de manejos silviculturales. 16

Tabla 2. Valores de productos comercializados. 17

Tabla 3. Esquemas de manejo intensivos asignados a los rodales de los patrimonios estudiados (Empresa Aurora y Empresa Canteras). 30

Tabla 4. Historial silvícola de esquemas intensivos aplicados en patrimonio de Empresa Aurora. 30

Tabla 5. Historial silvícola de esquemas intensivos aplicados en patrimonio de Empresa Canteras. 31

Tabla 6. Alturas de poda alcanzadas con la silvicultura aplicada en Empresa Aurora. 33

Tabla 7. Alturas de poda alcanzadas con la silvicultura aplicada en la Empresa Canteras. 33

Tabla 8. Comparación de volumen JAS m3/ha esperado por simulaciones MNS versus volumen JAS m3/ha obtenido..... 35

Tabla 9. Comparación de volumen JAS m3/ha esperado por simulaciones MNS versus volumen JAS m3/ha obtenido..... 36

Tabla 10. Relación Costo Beneficio Actual para Empresa Aurora según Zonas de Crecimiento en la edad de rotación óptima..... 40

Tabla 11. Relación Costo Beneficio Actual para Empresa Canteras según Zonas de Crecimiento en la edad de rotación óptima. 40
Tabla 12. Comparación de valores de VPS USD/ha obtenidos mediante inventarios, versus simulación de esquema homólogo y 2 variantes. En Zonas de Crecimiento 1, 2, 4 y 6 para Patrimonio de Aurora. 41
Tabla 13. Comparación de valores de VPS USD/ha obtenidos mediante inventarios, versus simulación de esquema homólogo y 2 variantes. En Zonas de Crecimiento 4, 7 y 9, para Patrimonio de Canteras. 42
Tabla 14. Variables sensibilizadas con sus correspondientes distribuciones. ... 44
Tabla 15. Distribución de VPS, para inventarios reales del Patrimonio Aurora según Zonas de Crecimiento. 44
Tabla 16. Distribución de VPS, para inventarios reales del Patrimonio Canteras según Zonas de Crecimiento. 46

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Zonas de Crecimiento de los patrimonios estudiados, a) Zona de Crecimiento 1, b) Zona de Crecimiento 2, c) Zona de Crecimiento 4, d) Zona de Crecimiento 6, e) Zona de Crecimiento 7, f) Zona de Crecimiento 9. (Fuente simulador MNS) 11

Figura 2. Comparación de la distribución entre número de árboles podados versus número de árboles que entregaron al menos una primera troza podada de 2.65 m y SED ≥28 cm. 19

Figura 3. Comparación entre N° de árboles podados y N° de primeras trozas que alcanzaron un SED≥ 28 cm. 21

Figura 4. Comparación N° de árboles que entregaron una primera troza podada efectiva y el N° de primeras trozas con SED≥28cm. 22

Figura 5. Comparación del N° de árboles podados versus N° de árboles que entregaron una primera troza podada efectiva de 2.65m y SED≥28cm. 24

Figura 6. Comparación entre N° de árboles podados y N° de primeras trozas que alcanzaron un SED≥28cm. 25

Figura 7. Comparación entre N° de árboles con una primera troza podada efectiva y N° de primeras trozas con SED≥28cm. 26

Figura 8. Trayectoria real de volumen podado en patrimonio de Empresa Aurora, Zonas de Crecimiento 1, 2, 4 y 6. 37

Figura 9. Trayectoria real de volumen podado en patrimonio de Empresa Canteras, Zonas de Crecimiento 4, 7 y 9. 38

RESUMEN

Se evaluaron los retornos económicos de la poda en *Pinus radiata* D. Don en distintos niveles de productividad y manejo en la Zona Centro-Sur de Chile. Se analizó la distribución de árboles podados, su calidad, volumen de productos a la cosecha y retornos económicos según productividad y manejo. Se usaron datos de inventarios forestales con distintos escenarios de poda y raleo, evaluaciones económicas y análisis de sensibilidad mediante simulación Montecarlo. Los resultados indicaron que las Zonas de Crecimiento de alta productividad tuvieron mayores retornos económicos, mientras que en áreas de baja productividad estos fueron más variables y, en algunos casos, negativos. Se simularon esquemas homólogos (dos podas para Aurora y cuatro podas para Canteras). En Canteras, las Zonas de Crecimiento 4 y 7 pasaron de 2135.1 y 2122.7 USD/ha con manejo actual a 2978.9 y 2695.2 USD/ha con el esquema homólogo, evidenciando una subutilización del sitio. En Zonas de Crecimiento de baja productividad, como las Zonas de Crecimiento 1 y 2 del patrimonio Aurora, los retornos fueron bajos o negativos: de -243.4 y 136.7 USD/ha a -305.9 y 312.6 USD/ha con su esquema homólogo. No obstante, en la Zona de Crecimiento 2, la simulación de un esquema estructural elevó el retorno a 704.9 USD/ha. Este estudio resalta la importancia de ajustar las estrategias de poda y manejo según la productividad local para optimizar rendimientos volumétricos y sostenibilidad económica.

ABSTRACT

The economic returns of pruning in *Pinus radiata* D. Don were evaluated at different levels of productivity and management in the Central-Southern Zone of Chile. The distribution of pruned trees, their quality, harvested product volume, and economic returns according to productivity and management were analyzed. Forest inventory data were used under different pruning and thinning scenarios, along with economic evaluations and sensitivity analysis through Monte Carlo simulation. The results indicated that high-productivity Growth Zones had higher economic returns, while in low-productivity areas, returns were more variable and, in some cases, negative. Homologous pruning schemes were simulated (2 prunings for Aurora and 4 prunings for Canteras). In Canteras, Growth Zones 4 and 7 increased from 2135.1 and 2122.7 USD/ha under the current management to 2978.9 and 2695.2 USD/ha with the homologous scheme, indicating site underutilization. In low-productivity Growth Zones, such as Zones 1 and 2 of the Aurora estate, returns were low or negative: from -243.4 and 136.7 USD/ha to -305.9 and 312.6 USD/ha with their homologous scheme. However, in Growth Zone 2, the simulation of a structural management scheme increased the return to 704.9 USD/ha. This study highlights the importance of adjusting pruning and management strategies according to local productivity to optimize volumetric yields and economic sustainability.

I. INTRODUCCIÓN

Las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. en Chile son un componente significativo en la industria forestal del país, no solo por su extensión, ocupando 1.8 millones de hectáreas, que representan el 54,8% de la superficie de plantaciones forestales (INFOR, 2024). Sino también por su importancia en la economía, dado que representa el 97,2% de la producción nacional de madera aserrada (INFOR, 2024).

La silvicultura intensiva de pino radiata ha sido una práctica común en Nueva Zelanda desde mediados del siglo veinte, su éxito radica fundamentalmente en la obtención de productos de alta calidad, que en definitiva les han permitido obtener mayores retornos económicos en forma sostenida (Novoa, 2005; Alzamora y Apiolaza 2010; Niklitschek et al. 2024). Además, la silvicultura ha ido evolucionando desde una situación inicial caracterizada por la ausencia total o casi total de intervenciones, hasta la realidad actual con la aplicación de silvicultura intensiva (Gerding, 1991).

Desde hace más de una década, se desarrolla una silvicultura intensiva en Chile, producto de la búsqueda de mejores retornos económicos, y de la influencia que han ejercido sobre ellos los especialistas extranjeros que han visitado el país, durante el período 1980-2002. (Toro, 2004). Así, actualmente los árboles

establecidos tienen algún grado de mejoramiento genético, la propagación de plantas ha sido realizada sitio-específica (cutting, field cutting, clonal), se les practica preparación de suelo (subsolado, plata banda, casillas mecanizadas y manual), tienen algún grado de fertilización y control de malezas y se les ha realizado manejo, es decir, gran parte de las plantaciones han tenido podas y raleos (Alzamora y Apiolaza 2010; Meneses y Guzmán, 2000b).

Las aplicaciones simultáneas de raleo y poda son prácticas silvícolas comunes en plantaciones de pino radiata, y sus efectos separados sobre el crecimiento de los árboles y la calidad de la madera han sido bien estudiados, pero su efecto combinado aún no está claro (Fernández, 2017).

Las intervenciones menos intensas son de uno a dos raleos comerciales y las más intensas incluyen uno a dos raleos a desecho y dos comerciales. Estos raleos son normalmente por lo bajo y las densidades finales fluctúan entre 300 a 500 árboles por hectárea siendo un establecimiento inicial de alrededor de 1.600 a 2.500 árboles por hectárea. La extracción es solo de fustes y varía entre 30-70 $m3\ ha^{-1}$ en cada raleo comercial (Gerding, 1991).

El efecto positivo del raleo sobre el crecimiento en diámetro se atribuye a una reducción en la competencia por luz, agua y nutrientes (Smith 1997). Por otro lado, la reducción de niveles de competencia disminuye el riesgo de ataque de plagas tales como *Sirex noctilio* (Ferrere, 2015).

Un importante aspecto de la silvicultura es su capacidad para modelar el crecimiento, la forma y la productividad de los árboles de un rodal mediante la aplicación directa de diferentes intervenciones, que correctamente utilizadas pueden cambiar el patrón de crecimiento, y mejorar el valor de un rodal. Entre éstas, la poda es una de las más relevantes (Espinosa y Muñoz, 2017).

La poda es una de las técnicas culturales de mayor importancia a realizar en plantaciones destinadas a producir trozas podadas para maderas valiosas como los productos podados, y el valor de recuperación de dichas trozas depende en gran medida de la calidad de la poda. (Loewe, 2002).

Por otra parte, las podas buscan eliminar las ramas inferiores de árbol progresivamente hasta una cierta altura, por lo general no más allá de los 6 m. Estas ramas son las que menos aportan al crecimiento y a la actividad fotosintética (Dănescu, 2015). Craib (1939), analizó a detalle lo que es la poda y como ésta puede afectar la calidad del producto final. Fenton y Sutton (1968), reportan que las trozas más valiosas de *Pinus radiata* D. Don. son las dos primeras de cada árbol y que la silvicultura debiera tener como objetivo mejorar su calidad, con ese propósito sugirieron eliminar el raleo comercial, y mantener dos raleos de selección de baja intensidad a edad temprana, sin la obtención de rendimiento, y tres podas hasta alcanzar los 6 metros, así como disminuir la edad de rotación a los 25 años. Según Bown (1997), este ha sido el enfoque clásico a la silvicultura de pino en Chile a partir de la década de los 70, después de la

promulgación del DL 701 de 1974 de fomento a la forestación. Donde se ha visto un fuerte cambio hacia los regímenes orientados a la producción de madera libre de nudos.

Pero el objetivo más relevante de la poda por sus implicancias económicas y su efecto en el rodal y en el valor de los árboles, es maximizar la cantidad de madera libre de nudos (Espinosa y Muñoz, 2017). Lo anterior implica minimizar el diámetro que mantiene las cicatrices u oclusiones que deja la corta de las ramas, conocido como el diámetro de cilindro con defectos ó DCD (Meneses y Guzmán, 2000a).

El DCD se encuentra inversamente relacionado con la obtención de madera libre de nudos. La mayoría de los autores coinciden en que, para lograr un buen nivel de producción de madera libre de nudos, el DCD debe poseer una medida entre los 18 y 22 cm (Velasco, 1992). Velasco (1992), señala además que la principal desventaja de la poda radica en la alta inversión requerida, especialmente considerando el largo periodo de retorno asociado. Además, destaca que la poda de árboles es el tratamiento intermedio más costoso cuando se evalúa de manera individual. Esto dependerá del costo inicial de la poda, la tasa de interés aplicada a la inversión, la duración del período necesario para producir el volumen deseado de madera libre de nudos y el ingreso final obtenido por este tipo de madera. (Levican, 2005). En Nueva Zelanda la actualidad, cada vez son menos

las empresas que podan, y en parte esto es por el alto costo de mano de obra en las faenas de poda (Mason, 2023).

Los principales componentes que definen el DCD, son: el diámetro sobre muñón de las ramas podadas (OSM), definido como el mayor diámetro medido sobre las ramas podadas al momento de la poda; el diámetro sobre oclusión (DSO), definido como el diámetro máximo sobre la oclusión del muñón, la médula y la sinuosidad del fuste al momento de podar. La mantención de un DOS en podas sucesivas se logra con podas efectuadas a alturas determinadas, en estricta relación al diámetro del cilindro deseado (e.g. 20 cm) y al largo comercial determinado (e.g. 6 m). De este modo, las irregularidades quedarán confinadas en la zona de defectos, incluyendo cualquier ensanchamiento debido a la sinuosidad del fuste al momento de la poda (Barrios, 2004).

Las aplicaciones simultáneas de raleo y poda son prácticas comunes en la silvicultura intensiva de *Pinus radiata* D. Don. Sus efectos separados sobre el crecimiento de los árboles y la calidad de la madera han sido bien estudiados, pero su efecto combinado es complejo para fines de modelación (Fernández, 2017). Los principales problemas que han encontrado las empresas forestales, es la correcta aplicación y asignación de los regímenes silviculturales en las categorías de suelos respectivos, ya que actualmente una proporción importante de regímenes que incluyen poda se han usado en sitios medios, donde la aplicación de este tipo de silvicultura es más que discutible (Meneses y Guzmán,

2000b). De hecho, estos autores recomiendan que los regímenes intensivos con poda se apliquen en índices de sitio mayores a 29m.

Se hace necesario distinguir dos grupos generales de tratamientos aplicados en el país: tradicionales e intensivos. El primer caso se distingue principalmente por la aplicación de podas tardías y tres prácticas de raleos (generalmente con una orientación de ingresos anticipados a y no con una orientación silvicultural), y el segundo caso por la aplicación de podas a tiempo y raleos fundamentalmente con orientación silvicultural, lo que debería ser más rentable en escenarios de mercados competitivos (Meneses y Guzmán, 2000a).

Como se ha señalado, la importancia de realizar podas oportunas tiene no sólo efecto en el diámetro del cilindro defectuoso, sino también en el valor del bosque (Espinosa y Muñoz, 2017). El análisis de Todoroki (2006), indica que no hay una diferencia significativa en el porcentaje de conversión de madera libre de nudos en densidades de plantación de entre 800 y 1000 arb ha^{-1} para un mismo índice de sitio. Asimismo, no reportaría mayores beneficios una densidad inicial de 1000 arb ha^{-1}, siendo que con 800 arb ha^{-1} se obtendrían casi los mismos resultados.

En Nueva Zelanda se desarrolló un enfoque por el cual, se sacrificaba el volumen total de producción para aumentar el valor del volumen concentrado en productos podados. Los experimentos dirigidos a construir sistemas de apoyo a la toma de decisiones para estos regímenes silvícolas han proporcionado una gran cantidad de información sobre los impactos de la poda y el raleo en rodales con copas

relativamente abiertas (Mason, 2023). Así en 1970, se estableció el "Equipo del Proyecto del *Pinus radiata*" por iniciativa del Dr. W.R.J. Sutton. Sutton recopiló muchas líneas de investigación e implementó protocolos y algoritmos en un programa destinado a apoyar las decisiones de manejo intensivo de plantaciones. El simulador inicialmente se llamó "SILMOD", luego "STANDPAK" (Whiteside 1990), y ahora "FORECASTER".

En Chile, existe el Modelo Nacional de Simulación (MNS) el cual es un proyecto creado el año 1989 cuya misión es la construcción de un sistema integrado de inventarios forestales, modelos de crecimiento y rendimiento para apoyar la gestión sustentable y aumentar la rentabilidad de los recursos forestales. Los modelos desarrollados por el MNS han apoyado por más de 30 años la toma de decisiones a largo, mediano y corto plazo de empresas del sector forestal chileno. Una de sus herramientas con mayor desarrollo es el simulador INSIGNE, la cual permite proyectar el crecimiento y rendimiento de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. Este simulador es ampliamente utilizado en la investigación y gestión forestal en Chile, especialmente en la Zona Centro-Sur.

No obstante, aún entendiendo la tecnología silvícola para producir trozas podadas, y contando con simuladores que permiten proyectar distintos escenarios y probar una gran variedad de regímenes de silvicultura intensiva, sigue existiendo la pregunta respecto a la conveniencia económica de podar, dado que podar implica desembolsar del orden de 100-110 USD/ha por cada

intervención, y considerando que pueden hacerse entre dos a cuatro podas, resulta en una suma considerable en lo que respecta a manejo. Por ello es importante saber si el diferencial de valor en volumen entre trozas podadas y no podadas paga el costo de la poda, y deja retornos de ésta. Otro de los problemas, es por las dimensiones de las trozas, ya que no solo cuenta la condición de "podada", sino que también debe existir un diámetro mínimo (≥28 cm), para que vayan a los destinos que requieren trozas podadas; es decir para uso debobinable o madera aserrable clear. Así, se da el problema que la distribución de árboles podados por rodal no se relaciona con el número de árboles que efectivamente generan trozas podadas. Este problema puede deberse a múltiples factores, entre ellos la selección de los árboles para producir trozas podadas, la correcta selección de sitios para aplicar esquemas con poda, y, por último, la selección del esquema y su implementación correcta en cada sitio. Es por ello, que este trabajo de titulación apunta a dar respuesta a algunos de estos problemas, a través de casos reales de silvicultura intensiva de *Pinus radiata* D. Don. considerando un gradiente de sitios y condiciones de manejo.

Objetivos

Objetivo General: Evaluar los retornos económicos de la poda en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. en un gradiente de productividades y en distintas intensidades de manejo en la Zona Centro-Sur de Chile

Objetivo Específico 1: Evaluación de los resultados de la poda, número de trozas podadas, volumen, y calidad a la edad de cosecha en escenarios reales y simulados en patrimonios de dos empresas, Forestal Aurora SpA. cuyo patrimonio está ubicado en las regiones del Maule, Ñuble, Bio bío y La Araucanía, y Forestal Canteras SpA. cuyo patrimonio está ubicado en la Región de La Araucanía

Objetivo Específico 2: Evaluación económica del retorno de la inversión en podas, y de los regímenes de manejo usados por las dos empresas, y evaluar su sensibilidad a través de la simulación Montecarlo.

II.METODOLOGÍA

2.1 Información de inventario de las Empresas Forestal Aurora SpA. y Forestal Canteras SpA. (Administradas por la Empresa FSP Latam SpA)

Se utilizaron datos provenientes de inventarios de precosecha de patrimonios administrados por la empresa FSP Latam SpA, en predios de dos Empresas (Canteras y Aurora). El patrimonio de la empresa Aurora está ubicado en las Zonas de Crecimiento MNS 1, 2, 4 y 6, y el patrimonio de la Empresa Canteras Zonas de Crecimiento MNS 4, 7 y 9. En estos inventarios se registraron datos de DAP, altura total y altura de poda en 104 y 113 parcelas respectivamente, de 500 m^2. Estas parcelas se realizaron en plantaciones donde llevaron a cabo manejos intensivos, considerando dos o más podas y uno o más raleos, donde el objetivo fue obtener al menos dos trozas de 2.65 m de largo de madera libre de nudos.

2.2 Evaluación del Inventario actual

Figura 1. Zonas de Crecimiento de los patrimonios estudiados, a) Zona de Crecimiento 1, b) Zona de Crecimiento 2, c) Zona de Crecimiento 4, d) Zona de Crecimiento 6, e) Zona de Crecimiento 7, f) Zona de Crecimiento 9. (Fuente simulador MNS)

a)

b)

c)

d)

e)

f)

Las Zonas de Crecimiento varían en su geografía y por ende en sus condiciones edafoclimáticas por lo que la productividad en cada Zona de Crecimiento será distinta. La Zona de Crecimiento 1 se ubica entre el secano costero de la VI Región y el secano interior de la VII Región, la Zona de Crecimiento 2 se ubica principalmente en el secano costero de la VII Región, la Zona de Crecimiento 4 se ubica en el sector precordillerano en las Regiones VII, VIII y IX. La Zona de Crecimiento 6 se ubica en el sector costero de la VIII Región entre Colcura y Purén, la Zona de Crecimiento 7 se ubica en el secano interior, entre el Río Itata y Hualqui, la Zona de Crecimiento 9 se ubica en el sector costero de las Regiones IX y X. En cada Zona de Crecimiento, se presentan distintos índices de sitio para *Pinus radiata* D. Don siendo la Zona de Crecimiento 1 la que presenta menores índices de sitio variando entre 25 y 28m principalmente, luego en la Zona de Crecimiento 2 se presentan índices de sitio desde los 28 a los 30m, en la Zona de Crecimiento 4 se presentan índices de sitio desde los 28 a 31m y finalmente la Zona de Crecimiento que presenta mejores índices de sitio para el crecimiento de *Pinus radiata* D. Don en el patrimonio de la Empresa Aurora es la Zona de Crecimiento 6 con índices de sitio que van desde los 30 a 34m. Por otro lado, el patrimonio de la Empresa Canteras presenta, en general, mejores índices de sitio, la Zona de Crecimiento 4 mostrando índices de sitio de entre 28 y 32, la Zona de Crecimiento 7 varía entre los 30 y 34, y la Zona de Crecimiento 9 va desde los 31 a 34m. Se recopiló la información de 122 y 114 parcelas respectivamente en cada patrimonio.

2.1 Evaluación económica de la silvicultura.

El análisis financiero ofrece herramientas para guiar la toma de ciertas decisiones en la producción forestal, como, por ejemplo; cuánto pagar por un bosque; cuando cosecharlo; qué actividades silviculturales se justifican, con qué severidad, periodicidad, etc. (Klemperer, 1995). Además, la evaluación económica de los regímenes silviculturales, incluyendo la poda, se puede apoyar en el análisis de riesgo, lo que permite a los gestores forestales tomar decisiones más informadas y financieramente seguras (Acuña 2001).

2.2 Indicadores económicos.

Para cumplir con los objetivos planteados se realizó un análisis económico a nivel de rodal, empleando los indicadores de Valor Potencial del Suelo (VPS; USD/ha) y se analizó la sensibilidad de este indicador frente a posibles variaciones en los precios de mercado, costos variables y tasas de interés.

Davis y Johnson (1987), señalan que uno de los objetivos de la combinación óptima de intensidad y momento de cada actividad silvicultural, es la eficiencia económica, la cual se define como la selección del nivel de insumos y productos que maximizan el ingreso neto o el Valor Actual Neto (VAN; USD/ha) del proyecto.

El VAN es una buena herramienta para evaluar los resultados de un proyecto forestal de plantación, ya que en el flujo de caja se consideran todas las actividades contempladas dentro del régimen silvicultural. Además, a diferencia

de otros modelos, a través de la tasa de interés, se toma en cuenta el costo de oportunidad de no destinar el capital a la realización del mejor proyecto alternativo (Novoa, 2005). Además, a partir del VAN se generan otros indicadores de utilidad para la toma de decisiones, como la razón beneficio costo.

El Valor Actual Neto se estima mediante la siguiente expresión:

$$VAN = \sum_{t=1}^{n} \frac{I_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^{n} \frac{Ct}{(1+r)^t} \quad (1)$$

Donde:

I_t : Ingreso en el período *t* (USD/ha)
Ct : Costo en el período *t* (USD/ha)
r : Tasa de interés anual expresada en decimal

Otro indicador es el Valor Potencial del Suelo (VPS), enfoque desarrollado por el alemán Martin Faustmann en 1849, y que consiste en el valor actual de los retornos económicos provenientes de infinitas rotaciones (Levican, 2005). Representa el máximo valor a pagar por una hectárea de suelo desnudo, para estableces un bosque con fines de productivos. Permite comparar costos de oportunidad y destinar los recursos a la mejor alternativa reflejada por la tasa de descuento (Chang, 1984). Según Chacón (1995), define este indicador como el valor actual de una serie infinita de pagos que ocurren cada cierto número de periodos, el planteamiento matemático se presenta a continuación.

$$\mathrm{VPS} = \frac{\Sigma[\mathrm{V}(1+r)^{t-n} - \mathrm{C}(1+r)^{t-n}]\mathrm{Cr}}{(1+r)^{t}-1} - \mathrm{Co} - \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{r}} \quad (2)$$

Donde:

Co: Costos de establecimiento (USD/ha)

C: Costos de manejo (USD/ha)

V: Ingresos por raleos (USD/ha)

A: Costos de administración anual (USD/ha/año)

r: Tasa de interés anual expresada en decimal

Cr: Costo de reforestación (USD/ha)

2.3 Análisis de sensibilidad con Simulación Montecarlo.

Para proyectos forestales, que por su naturaleza se prolongan durante varios años, es útil considerar, por ejemplo, que tan sensible es un indicador como el VPS frente a cambios en los precios de los productos, en el volumen de éstos, o bien, en qué medida cambia el indicador ante fluctuaciones en los costos directos (Novoa, 2005). Existen varios métodos para analizar la sensibilidad de un proyecto, y para este estudio se empleó simulación Montecarlo, lo que permitió incorporar la incertidumbre asociada a las variables clave del modelo y explorar una amplia gama de escenarios posibles, el método consistió en asignar distribuciones probabilísticas específicas, tales como la distribución rectangular para costos de cosecha, tasa de interés y costos de transporte y carguío, se

aplicó distribución normal para precios de mercado del producto de mayor valor, en este caso el podado de 2,65 m y también para el volumen de este producto. Estas simulaciones reflejaron distintos escenarios posibles que permiten observar variaciones regulares, como posibles variaciones futuras, evaluando así el impacto en la variabilidad de los resultados. Si bien, las simulaciones Montecarlo se realizan comúnmente sobre el VAN, este estudio las aplicará sobre el VPS puesto que las tendencias de variabilidad son comparables (Dieter 2001).

Para la estimación del Valor Potencial del Suelo (VPS) y el análisis de sensibilidad, se consideraron los siguientes costos y valores de productos expresados en USD.

Tabla 1. Costos de valores de manejos silviculturales.

Costos de Establecimiento	**Valor USD/ha**
Establecimiento	900
Manejos silviculturales	**Valor USD/ha**
Raleo a desecho	98.7
Primera poda	155
Segunda poda	130.1
Tercera poda	123.1
Cuarta poda	105.2
Costos Variables	**Valor USD/m3**
Raleo comercial	6.7
Transporte y carguío	13.5
Cosecha	14.4

Tabla 2. Valores de productos comercializados.

Valor de Productos	Valor USD/m3
Podado 2.65	67.4
Aserrable 4.1	49.6
Aserrable 3.3	41.6
Pulpable	22.8

Se utilizó el software de libre acceso XLRisk análisis de sensibilidad integrado en para identificar las variables con mayor impacto en el VPS. Este análisis permitió definir cuáles factores contribuyen significativamente a la variabilidad del modelo, facilitando una priorización en la gestión de riesgos. El uso de XLRisk se justificó por las siguientes razones: su capacidad para definir distribuciones probabilísticas y configurar simulaciones de Montecarlo y la posibilidad de analizar resultados mediante histogramas, percentiles y métricas estadísticas que aportan información clave para la toma de decisiones.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados Objetivo Específico 1: Evaluación de los resultados de la poda, número de trozas podadas, volumen, y calidad a la edad de cosecha en escenarios reales y simulados.

3.1 Inventario y estructura de las parcelas analizadas, distribución de árboles podados, volumen y número de árboles que entregaron troza podada.

Se realizó un análisis de los inventarios llevados a cabo en los predios de las Empresas Aurora y Canteras localizados en distintas Zonas de Crecimiento (definidas por el MNS). A continuación, se presenta la distribución de número de árboles podados por hectárea versus número de árboles que entregaron trozas podadas efectivas de 2.65 m de largo y mínimo 28 cm de diámetro menor de la troza (SED: small end diameter).

3.1.1 Patrimonio Empresa Aurora (Zonas de Crecimiento 1, 2, 4 y 6).

A continuación, en la Figura 2, se muestran el número de árboles que fueron podados por Zonas de Crecimiento (datos llevados a la hectárea), en comparación el número de árboles que entregaron una troza podada efectiva. Es posible ver que el número de árboles que fueron podados en los rodales ubicados en las distintas Zonas de Crecimiento del patrimonio Aurora no es igual al número

de árboles que producen una primera troza podada efectiva, pudiendo destacar los resultados más altos en los árboles ubicados en las Zonas de Crecimiento 2 y 6, donde un 66.9% y un 69.1% de los árboles podados produjeron una primera troza podada efectiva. Esto no fue así en los rodales ubicados en las Zonas de Crecimiento 1 y 4, en los cuales tan solo el 13.2% de los árboles produjeron una primera troza podada efectiva en la Zona de Crecimiento 1 y un 31.1% de los árboles en la Zona de Crecimiento 4. Además, se destaca la altura de poda mínima, promedio y máxima medida en los árboles de estas Zonas de Crecimiento.

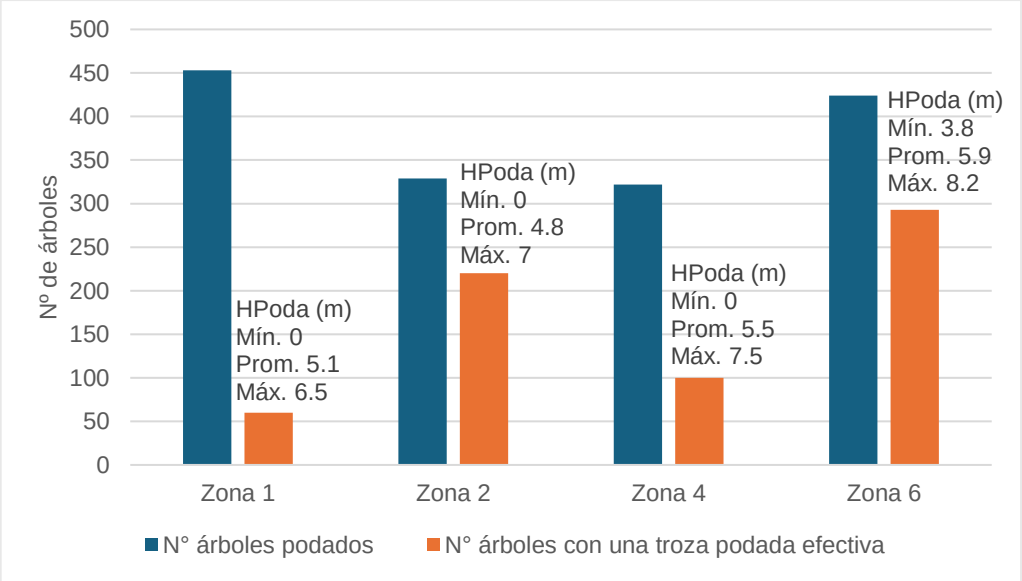


Figura 2. Comparación de la distribución entre número de árboles podados versus número de árboles que entregaron al menos una primera troza podada de 2.65 m y SED ≥28 cm.

En la Figura 3, se muestra el número de árboles que fueron podados (datos llevados a la hectárea), en comparación con el número de primeras trozas que alcanzaron un SED≥28cm, esto para analizar si existe un problema para alcanzar el diámetro necesario para la troza podada comercial de 2.65m de largo en los rodales estudiados según Zonas de Crecimiento. Algo importante a tomar en cuenta es que, si bien no todos los árboles podados alcanzaron troza podada efectiva en su primera sección, un número mayor a los que alcanzaron la troza podada efectiva, sí cumple con una primera troza con diámetro mínimo de 28 centímetros, para el caso del patrimonio de la Empresa Aurora esto es posible de ver en la Zonas de Crecimiento 4, donde un 68.3% de las primeras trozas alcanzaron el SED mínimo de 28 centímetros, en las Zonas de Crecimiento 2 y 6 las primeras trozas que cumplen con el diámetro mínimo de 28 centímetros son un 79.0% y 84.9% respectivamente.

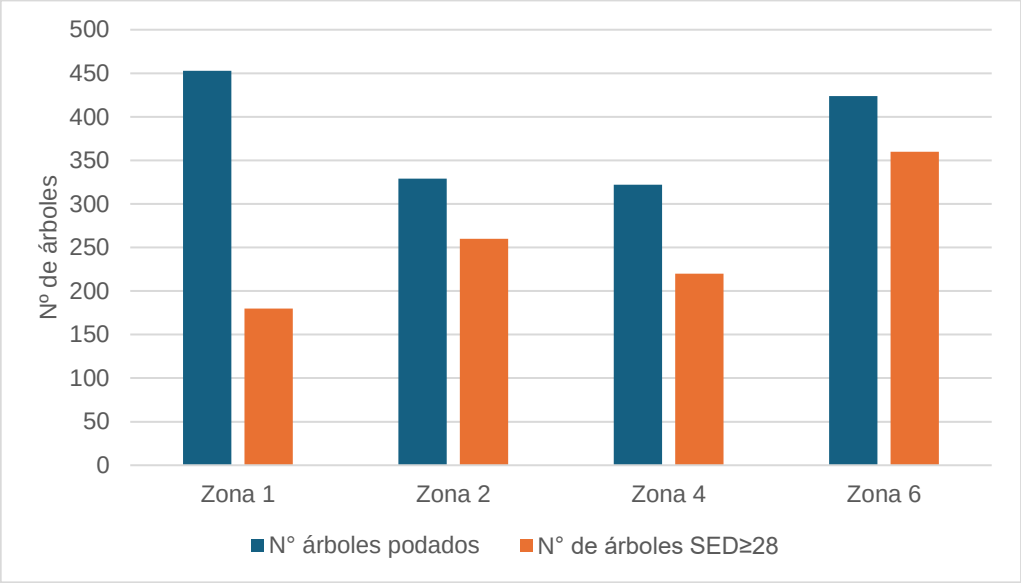


Figura 3. Comparación entre N° de árboles podados y N° de primeras trozas que alcanzaron un SED≥ 28 cm.

La Zona de Crecimiento 1 fue la que entregó menor porcentaje de primeras trozas que cumplen con el criterio de diámetro mínimo de 28 centímetros, siendo un 39.7% que cumplen con ese criterio. En el caso de las otras Zonas de Crecimiento, la obtención de un mayor número de primeras trozas que alcanzaron el diámetro mínimo de 28 centímetros respecto al número de primeras trozas que fueron clasificadas como producto podado comercial, daría indicios de que, en algunos casos, que la troza quede descartada para ser considerada troza podada comercial, no es por el diámetro.

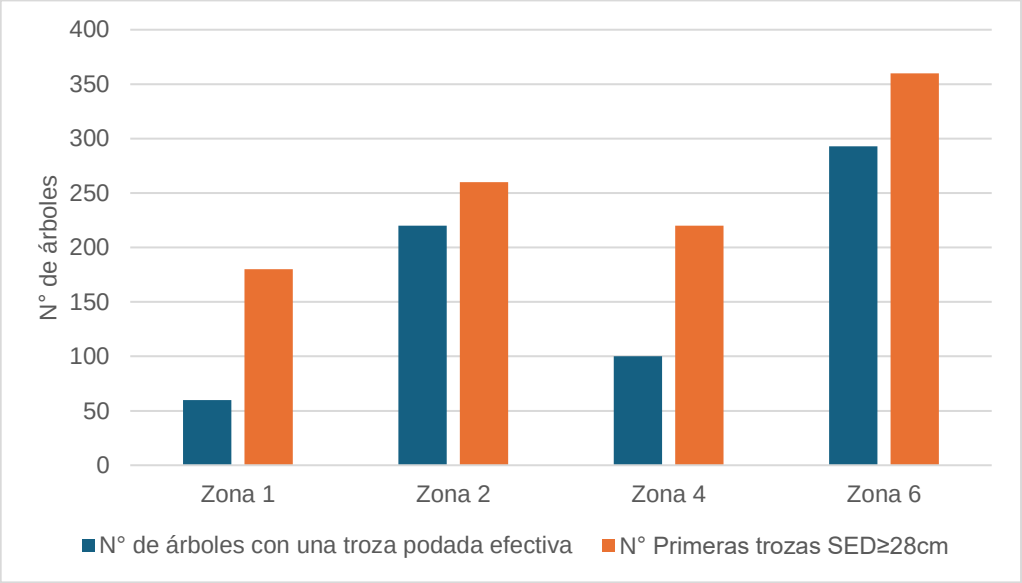


Figura 4. Comparación N° de árboles que entregaron una primera troza podada efectiva y el N° de primeras trozas con SED≥28cm.

En la Figura 4, se muestran los árboles que entregaron al menos una troza podada, en comparación con los árboles que alcanzaron el SED mínimo de 28cm en su primera troza, lo mínimo para ser clasificados como troza podada comercial. Se esperaría que, en el caso óptimo, el número de árboles que entregaron una primera troza podada comercial sea igual al número de primeras trozas que alcanzaron el SED mínimo de 28cm, dado que así se estaría obteniendo al menos una troza podada comercializable por cada árbol que alcanza el diámetro. Sin embargo, En la Zona de Crecimiento 1 solo un 33.3% de primeras trozas que cumplen con el criterio de SED≥28cm fueron consideradas como troza podada efectiva, en las Zonas de Crecimiento 2 y 6, un 84.6% y 81.4% de las primeras trozas que cumplen con el criterio de SED mínimo

de 28 centímetros fueron considerados troza podada efectiva, y en la Zona de Crecimiento 4, un 50% de primeras trozas que cumplen con este criterio fueron considerados troza podada efectiva.

3.1.2 Patrimonio Empresa Canteras (Zonas de Crecimiento 4,7 y 9).

A continuación, en la Figura 5, se muestran cuántos árboles fueron podados por parcela (datos llevados a la hectárea), en comparación con el número de árboles que entregaron una troza podada efectiva en el patrimonio de la Empresa Canteras, la relación de árboles podados y árboles que entregaron una primera troza podada efectiva fue mayor en los rodales ubicados en las Zonas de Crecimiento 4 y 7, alcanzando un 77.8% de árboles con una primera troza podada efectiva en la Zona de Crecimiento 4 y un 65.5% para la Zona de Crecimiento 7, los resultados menores para este patrimonio se encontraron en la Zona de Crecimiento 9 donde un 44.7% de los árboles podados alcanzaron una primera troza podada efectiva. Además, se destaca la altura de poda mínima, promedio y máxima medida en los árboles de estas Zonas de Crecimiento.

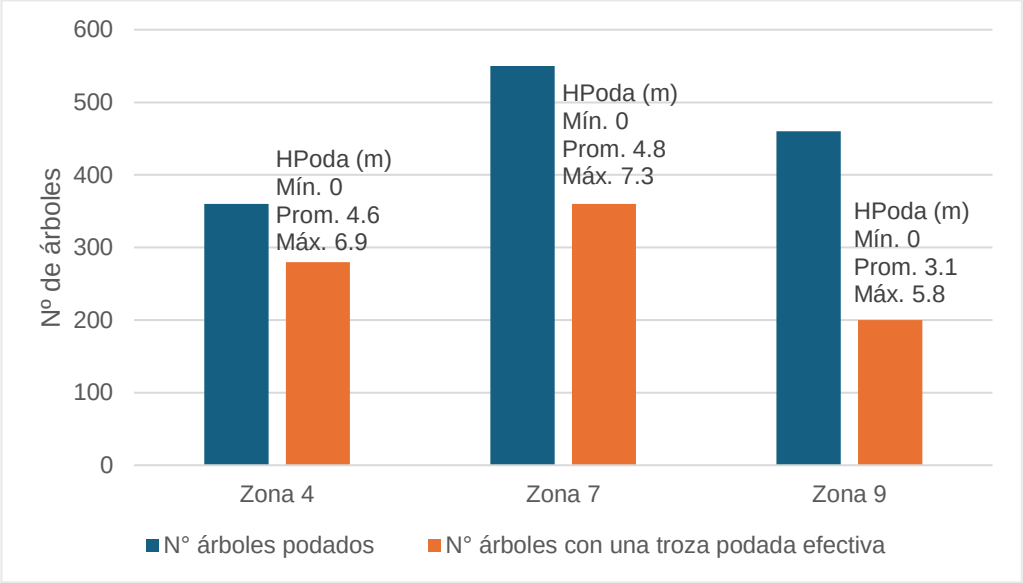


Figura 5. Comparación del N° de árboles podados versus N° de árboles que entregaron una primera troza podada efectiva de 2.65m y SED≥28cm.

En la Figura 6, se muestran el número de árboles que fueron podados por parcela (datos llevados a hectáreas), en comparación con el número de primeras trozas que alcanzaron un SED≥28. En la Zona de Crecimiento 4, un 88.9% de primeras trozas alcanzaron un SED≥28cm, en la Zona de Crecimiento 7, un 66.7%, y en la Zona de Crecimiento 9 un 60.9% de primeras trozas fueron capaces de cumplir con esta condición mínima de SED.

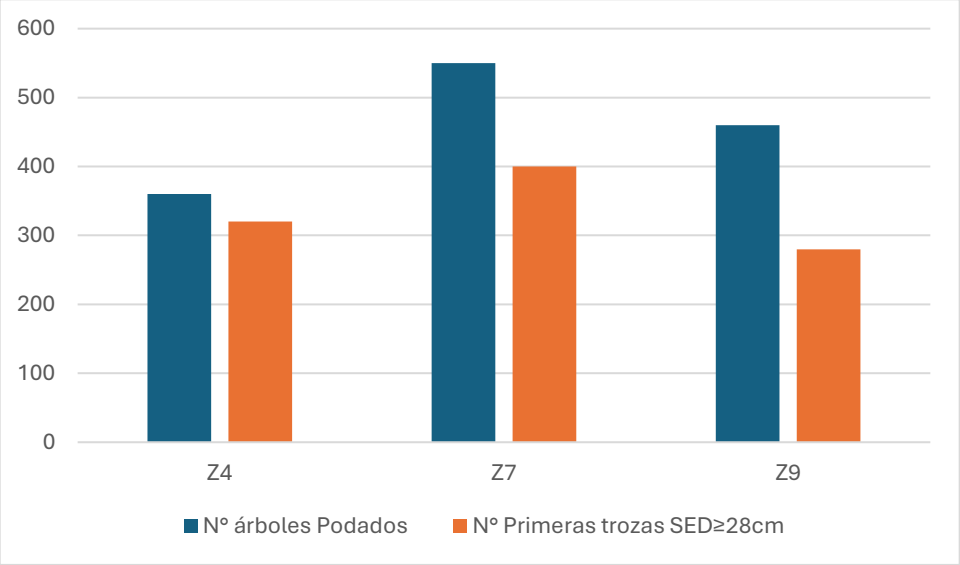


Figura 6. Comparación entre N° de árboles podados y N° de primeras trozas que alcanzaron un SED≥28cm.

En la Figura 7, se muestran los árboles que entregaron una primera troza podada factible de comercializar, en comparación con el número de primeras trozas por árbol que alcanzaron el SED mínimo de 28cm en el patrimonio de la Empresa Canteras, en la Zona de Crecimiento 4, un 87.5% de las primeras trozas que cumplen con el criterio mínimo de SED≥28cm fue considerado troza podada comercializable, en la Zona de Crecimiento 7 un 90% de las primeras trozas que alcanzaron el SED≥28cm fue considerada troza podada efectiva, mientras que en la Zona de Crecimiento 9 un 71.4% de las primeras trozas que alcanzaron el SED≥28cm, fueron consideradas trozas podadas efectivas.

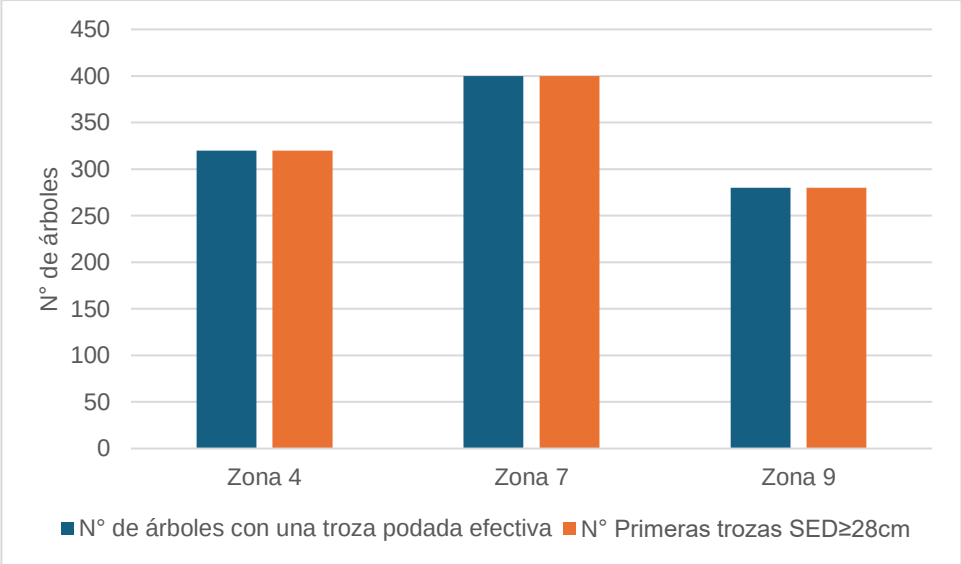


Figura 7. Comparación entre N° de árboles con una primera troza podada efectiva y N° de primeras trozas con SED≥28cm.

En los rodales estudiados se practicó actividad de poda a todos los árboles, sin embargo, el resultado en los inventarios de precosecha demostró que el manejo realizado, considerando podas y raleos, no logró entregar como mínimo una troza podada factible de comercializar en todos los árboles que fueron podados, aun así, es posible destacar ciertas peculiaridades y diferencias que se obtuvieron entre rodales de las distintas Zonas de Crecimiento. Como la diferencia entre la obtención de troza podada efectiva y el número de primeras trozas que cumplieron con el criterio mínimo de SED≥28cm, ya que permite observar que en el caso de algunos árboles, que su primera troza quede descartada para ser considerada troza podada comercializable no es porque la primera troza no alcance el diámetro, por lo que se debe analizar la actividad de poda, ya que, si se realizó poda, y las trozas cumplen con el diámetro, deberían ser aptos para ser calificados como troza podada comercializable, sin embargo terminan siendo descartados por distintos motivos como no cumplir con la altura de poda necesaria, o tener un DCD demasiado alto, y por ello pasan a ser clasificados como troza nudosa de 4.1m o 3.3m. Esto puede deberse a imprecisiones en el manejo intensivo de los bosques, donde es de crucial importancia cumplir con los tiempos estipulados para cada actividad, debido a que un retraso de un año o incluso de medio año en Zonas de Crecimiento demasiado productivas, puede repercutir en un crecimiento desmedido del DCD, lo que dejaría de inmediato muchas trozas fuera de la categoría de troza podada comercial y por ende tendría que clasificarse en la categoría de aserrable nudoso. Esto es apoyado por

Meneses y Guzmán (2000) sobre que existiría una subutilización de los sitios tanto buenos como medios como consecuencia de la aplicación de regímenes silviculturales inadecuados, sin embargo, es posible alcanzar valores razonables de índice de troza podada en los sitios medios y buenos si se lleva a cabo una silvicultura caracterizada por no solo la aplicación temprana de las podas, sino que cumplir con la calendarización de estas (5,6 y 7 años) y raleos a tiempo, es decir, el primer raleo junto a la primera poda, y el segundo como mucho a los 10 años, pero cumpliendo con la totalidad de árboles que deben ser raleados, sin dejar árboles en pie que puedan competir con los árboles podados. Finalmente, la densidad final de entre 450 y 550 árboles por hectárea de los rodales estudiados estaría siendo demasiado alta para obtener los PLI esperados por troza, y podría ser factible probar densidades finales de entre 300 y 350 árboles para concentrar y potenciar el crecimiento de los árboles podados que quedarán en pie hasta el final de la rotación.

3.2 Esquemas aplicados versus Esquemas simulados.

Se analizaron los inventarios de pre cosecha de los rodales en los cuales se practicaron esquemas intensivos con poda, para ello, se distinguen dos esquemas de manejo principales, los cuales son Intensivo 1 e Intensivo 2, el primero considera cuatro podas, y este fue aplicado principalmente en el patrimonio de la Empresa Canteras, por otro lado el esquema Intensivo 2, considera dos podas y fue aplicado principalmente en el patrimonio de la Empresa Aurora, además se analizó el historial silvícola de ambos patrimonios para comprobar si el esquema destinado a esos rodales se llevó a cabo de la manera planeada en un inicio, esto en un principio para poder entender la obtención de volúmenes inferiores a los esperados según simulaciones MNS de los mismos esquemas de manejo, ya que, se debe tener en consideración que atrasos en las actividades silvícolas puede llevar a no obtener los resultados esperados por éstas.

A continuación, en la Tabla 3, se presentan los esquemas de manejo intensivos que se aplicaron en los rodales destinados a manejo intensivo de *Pinus radiata* D Don. De ambos patrimonios, de la Empresa Aurora y Empresa Canteras.

Tabla 3. Esquemas de manejo intensivos asignados a los rodales de los patrimonios estudiados (Empresa Aurora y Empresa Canteras).

Esquema	Intervención	Edad	Altura final (m)	arb/ha
Densidad				1100
Intensivo 1	Raleo 1	4-5		700
	Poda 1	4-5		
	Poda 2	5-6		
	Poda 3	6-7		
	Poda 4	7-8	5.5	
	Raleo 2	8-10		450
Intensivo 2	Poda 1	5		700
	Raleo 1	5		700
	Poda 2	6	3.5	450
	Raleo 2	8-9		450

En las Tablas 4 y 5, se muestran los historiales silvícolas de los rodales pertenecientes a cada Empresa.

Tabla 4. Historial silvícola de esquemas intensivos aplicados en patrimonio de Empresa Aurora.

I.S.	Esquema	Plantación	Poda 1	Poda 2	Poda 3	R.D. 1	R.C. 1	R.C 2	Densidad Final
28	Intensivo 2	2004	6	8		10		12	411
25	Intensivo 2	2004	6	8		10		12	263
28	Intensivo 2	2004	6	8					467
28	Intensivo 2	2004	6	8					329
28	Intensivo 2	2004	6	7		10			596
31	Intensivo 2	2004	6	7		10			409
28	Intensivo 2	2004	6	8		9			430
34	Intensivo 2	2007	5	7		7			500
28	Intensivo 2	2004	6	8		9			327
28	Intensivo 2	2004	6	7					313
28	Intensivo 2	2004	6	7		10			331

31	Intensivo 2	2004	6	7				11	370
28	Intensivo 2	2008	8	8		8			508
28	Intensivo 2	2009	7	7		7			485
31	Intensivo 2	2008	8	8		7			907
31	Intensivo 2	2008	8			8			470
31	Intensivo 1	2000		7	9			12	453
31	Intensivo 1	2001	6	8	9	6	13	13	425
31	Intensivo 1	2001	6	8	8	6		11	400
31	Intensivo 1	2002	6	7	8	6	12		431
28	Intensivo 1	2003	6	7	9	5			408
31	Intensivo 2	2008	6			6		10	455
31	Intensivo 2	2008	6			6		11	392
28	Intensivo 2	2008	6			6		10	492
31	Intensivo 2	2008	6			6	11	11	408
34	Intensivo 2	2008	5	6		6	11	11	492
34	Intensivo 2	2009	6			6	10	10	441
31	Intensivo 2	2014	6			6	9		665
25	Intensivo 2	2008	6			7		11	588
22	Intensivo 2	1998		10				11	434
31	Intensivo 2	2007	5	7		6		13	466
28	Intensivo 2	2002	8	9				13	293

Tabla 5. Historial silvícola de esquemas intensivos aplicados en patrimonio de Empresa Canteras.

I.S.	Esquema	Plantación	Poda 1	Poda 2	Poda 3	Poda 4	R.D.	R.C.	Densidad Final
29	Intensivo 1	2003	6	7	9		8	10	380
32	Intensivo 1	2000		8	9			11	410
30	Intensivo 1	2003	6	8	8		5	11	418
32	Intensivo 1	2002	6	7	7		5	10	363
31	Intensivo 1	2000	7	7	9			11	406
32	Intensivo 1	2004	6	6	7		5		373
32	Intensivo 1	2001	6	7	8	9		10	453
33	Intensivo 1	2004	6	6	7	8	5		387
32	Intensivo 1	2004	5	6	7	8	5		403
33	Intensivo 1	2004	6	6	7		5		404
34	Intensivo 1	2002	6	7	7		5	10	478
33	Intensivo 1	2004	6	6	7				438
31	Intensivo 1	2004	6	6	7	8			393
31	Intensivo 1	2001	6	6	8			10	465
30	Intensivo 1	2002	6	7	7		5	10	484
30	Intensivo 1	2003	6	7	7	8	9	9	399
31	Intensivo 1	2003	6	6	7		9	9	343

En el patrimonio de la Empresa Aurora, en el 71% de los árboles, la poda se comenzó a los 6 años, en lugar de a los 4-5 del esquema planteado para esos árboles, en el 22% de los árboles, la poda se comenzó pasados los 7 años de la plantación, por otro lado, en el patrimonio de la Empresa Canteras, en el 94% de los árboles, la primera poda se realizó a los 6 años. En ambos esquemas intensivos el primer raleo debe realizarse junto con la primera poda, cosa que ocurrió solo en un 38% de los casos en el patrimonio de la Empresa Aurora, y un 47% de los árboles medidos en el patrimonio de la Empresa Canteras. En el patrimonio estudiado de la Empresa Aurora el 25% de los árboles en los que se tenía planificada una segunda poda, esta no se realizó, mientras que, en el patrimonio de la Empresa Canteras, en el 18% de los árboles que se tenía planificado una tercera poda, esta se realizó con atrasos de 1 año. Las imprecisiones en la silvicultura dada en algunos casos podrían explicar por qué el rendimiento de los rodales fue inferior al esperado.

También se estudió la altura de poda que se logró alcanzar en ambos patrimonios, esto es importante para verificar si los largos de las trozas podadas en los árboles alcanzan para el criterio de la troza podada comercial. En las Tablas 6 y 7 se muestran las alturas de poda que fueron alcanzadas en cada caso, con la silvicultura practicada.

Tabla 6. Alturas de poda alcanzadas con la silvicultura aplicada en Empresa Aurora.

Rangos de altura (m)	Porcentaje (%)			
	Zona 1	Zona 2	Zona 4	Zona 6
0	3.8	11.8	6.1	0
0.1 - 2.9	4.6	2.7	6.4	0
3 - 5.3	13.2	11.6	13.2	18.7
+5.3	78.4	73.9	74.3	81.3

Tabla 7. Alturas de poda alcanzadas con la silvicultura aplicada en la Empresa Canteras.

Rangos de altura (m)	Porcentaje (%)		
	Zona 4	Zona 7	Zona 9
0	9.1	4.3	23.4
0.1 - 2.9	5.6	6.8	9.1
3 - 5.3	34.1	42.6	65.2
+5.3	51.2	46.3	2.3

La altura de poda obtenida en los árboles de la Empresa Aurora y la Empresa Canteras fue variable según las Zonas de Crecimiento. Es posible apreciar que en el 11.8% de los árboles medidos en la Zona de Crecimiento 2 en el patrimonio de Empresa Aurora y en un 23.4% de los árboles medidos en la Zona de Crecimiento 9 en el patrimonio de la Empresa Canteras, la altura de poda medida es de 0m, lo que daría a entender que la poda no se habría realizado en aquellos árboles, a pesar de que la poda sí estaba planificada para estos árboles. La altura de poda fue inferior a 3m en un 12.5% de los árboles medidos en la Zona de Crecimiento 4 y en un 14.5% en la Zona de Crecimiento 2 en el patrimonio medido de la Empresa Aurora y en un 32.5% de los árboles medidos en la Zona de

Crecimiento 9 en el caso de la Empresa Canteras. Por otro lado, la altura de poda superior a 3m se alcanzaría en más de un 80% de los árboles en el patrimonio medido de la Empresa Aurora en todas las Zonas de Crecimiento, al igual que en el patrimonio de la Empresa Canteras en las Zonas de Crecimiento 4 y 7, mientras que en la Zona de Crecimiento 9 el 67.5% de los árboles superó los 3m de altura de poda.

3.2 Volumen de producto podado.

Se comparó el volumen podado obtenido en la realidad con las simulaciones MNS del esquema homólogo para cada Zona de Crecimiento y patrimonio, es decir, el esquema de dos podas para el patrimonio de Aurora y el esquema de cuatro podas para el patrimonio de Canteras, con la finalidad de poder cuantificar la diferencia entre lo esperado y lo obtenido en la realidad en el volumen podado en metros cúbicos por hectárea a la edad determinada de 23 años.

Tabla 8. Comparación de volumen JAS m3/ha esperado por simulaciones MNS versus volumen JAS m3/ha obtenido.

Zona de Crecimiento	Volumen Podado Esperado por Simulación m^3/ha	Volumen Podado Obtenido en la realidad m^3/ha	Porcentaje de Volumen Obtenido respecto del Esperado (%)
1	76.9	28.8	37.5
2	113.4	58.2	51.3
4	152.3	27.1	17.8
6	184.6	69.5	37.6

En el caso de las Zonas de Crecimiento 2 y 6, fue donde se obtuvieron los resultados más cercanos a lo esperado por las simulaciones MNS en cuanto a volumen podado, alcanzando un 51.3% y 69.5%, mientras que las Zonas de Crecimiento 1 y 4, presentaron muy bajos resultados de volumen podado comparado al esperado por las simulaciones MNS llegando a un 37.5% y 17.8% respectivamente.

En la Tabla 9. Se muestra el volumen podado obtenido en el patrimonio de la Empresa Canteras según Zonas de Crecimiento comparado con las simulaciones MNS, ambos a la edad de 23 años.

Tabla 9. Comparación de volumen JAS m3/ha esperado por simulaciones MNS versus volumen JAS m3/ha obtenido.

Zona de Crecimiento	Volumen Podado Esperado por Simulación m^3/ha	Volumen Podado Obtenido en la realidad m^3/ha	Porcentaje de Volumen Obtenido respecto del Esperado (%)
4	152.3	99.7	65.5
7	178.3	112.5	63.1
9	182.4	33.9	18.6

En el caso de las Zonas de Crecimiento 4 y 7 fue donde se obtuvo los resultados más cercanos a los esperados por las simulaciones MNS, alcanzando un 65.5% y 63.1%, mientras que la Zona de Crecimiento 9 presentó muy bajo rendimiento comparado al esperado por las simulaciones MNS, alcanzando tan solo un 18.6%

3.2.1 Patrimonio Aurora (Zonas de Crecimiento 1, 2, 4 y 6).

Distribución de volumen podado obtenido en los rodales ubicados en las distintas Zonas de Crecimiento correspondiente al patrimonio de la Empresa Aurora

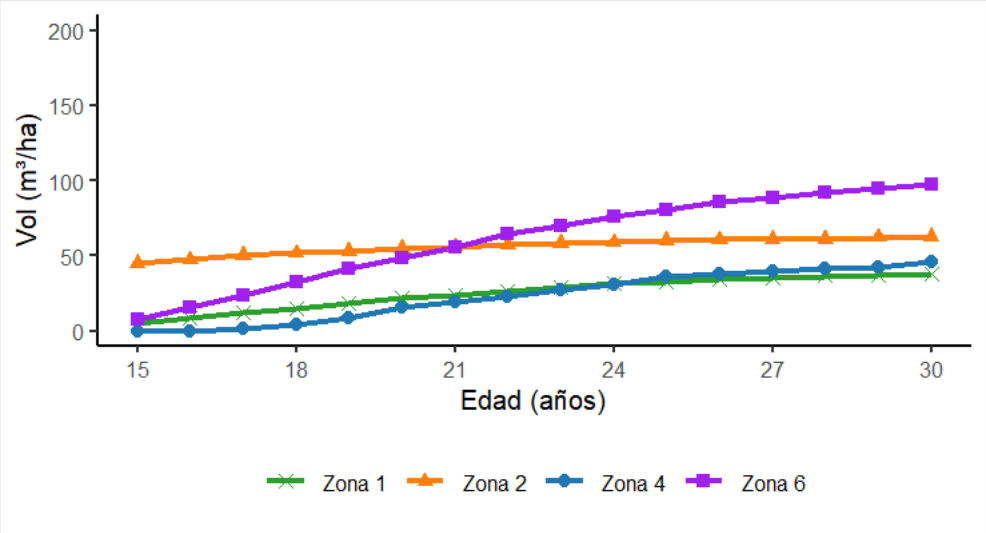


Figura 8. Trayectoria real de volumen podado en patrimonio de Empresa Aurora, Zonas de Crecimiento 1, 2, 4 y 6.

3.2.2 Patrimonio Canteras (Zonas de Crecimiento 4, 7 y 9).

Distribución de volumen podado obtenido en los rodales ubicados en las distintas Zonas de Crecimiento correspondiente al patrimonio de la Empresa Canteras.

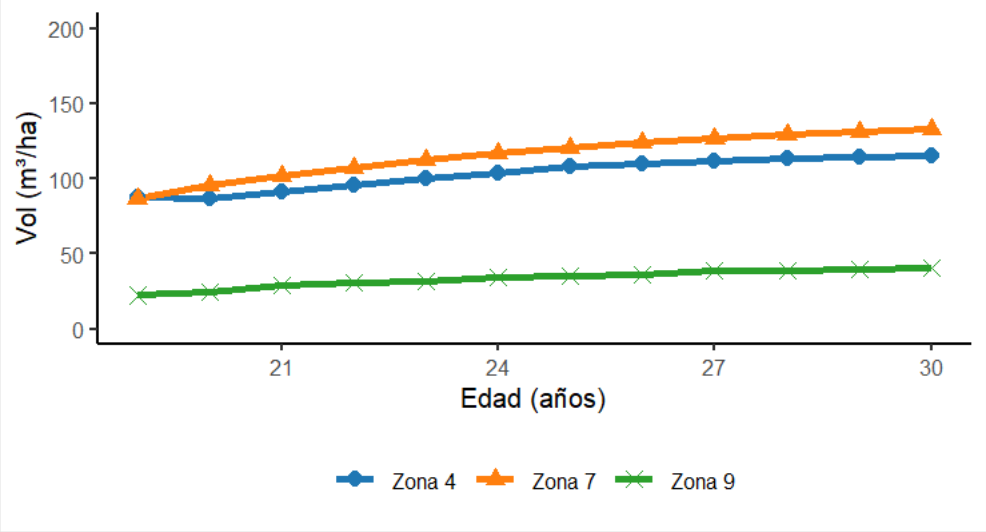


Figura 9. Trayectoria real de volumen podado en patrimonio de Empresa Canteras, Zonas de Crecimiento 4, 7 y 9.

En la mayoría de los casos no se obtuvieron los resultados esperados en volumen de producto podado, ya que, de la totalidad de árboles podados se esperaba al menos el retorno de una troza podada de cada uno de los árboles, y aun en Zonas de Crecimiento consideradas buenas para el crecimiento de la especie, por ejemplo, las Zonas de Crecimiento 4 y 6, no se obtuvo el rendimiento total esperado en volumen podado.

Resultados del Objetivo Específico 2: Evaluación económica del retorno de la inversión en podas, y de los regímenes de manejo usados por las dos empresas, y evaluar su sensibilidad a través de la simulación Montecarlo.

3.3 Retornos económicos por la poda.

Para este análisis, se utilizó la Relación Beneficio/Costo, la cual expresa la ganancia en términos de la inversión realizada en la silvicultura con poda y el volumen de producto podado obtenido para la venta. El producto de mayor valor obtenido en la silvicultura de los rodales estudiados es el podado de 2.65m. el cual cuenta con un precio de mercado de alrededor de 67.4 USD/m3 según las estadísticas de precios forestales publicadas por el INFOR para el último trimestre del año 2024. El segundo producto de mayor valor es el aserrable nudoso de 4.1m. el cual cuenta con un valor de 49.6 USD/m3. La ganancia es la diferencia entre estos valores, lo cual es 17.8 USD/m3 que se gana por producto

podado. Tomando en cuenta el volumen total de producto podado obtenido y considerando los costos de cada oportunidad de poda, se puede obtener un indicador de relación del beneficio obtenido versus los costos.

Tabla 10. Relación Costo Beneficio Actual para Empresa Aurora según Zonas de Crecimiento en la edad de rotación óptima.

Razón Beneficio/Costo				
	Zona 1	Zona 2	Zona 4	Zona 6
Actual	0.44 (24)	0.88 (19)	0.66 (25)	1.23 (24)

En el caso de la Empresa Aurora, la relación costo beneficio actual en las Zonas de Crecimiento 1, 2 y 4 no permite obtener el retorno económico realizado en las podas, solo en la Zona 6.

Tabla 11. Relación Costo Beneficio Actual para Empresa Canteras según Zonas de Crecimiento en la edad de rotación óptima.

Razón Beneficio/Costo			
	Zona 4	Zona 7	Zona 9
Actual	1.17 (19)	1.34 (21)	0.88 (20)

En el caso de la Empresa Canteras, actualmente en las Zonas de Crecimiento 4 y 7 sí se obtiene beneficio de la inversión realizada en poda, no así en la Zona

de Crecimiento 9, donde no se llegan a cubrir completamente los costos de la poda.

3.4 Evaluación económica de los regímenes de manejo.

Se evaluaron los resultados económicos de la silvicultura actual en términos de VPS, además se hicieron simulaciones del esquema de manejo homólogo en cada caso (dos podas para el patrimonio Aurora, y cuatro podas para el patrimonio Canteras), además se probó también el esquema de cuatro podas en el patrimonio de la Empresa Aurora y el esquema de dos podas en el patrimonio de la Empresa Canteras, y en ambos casos se probó el esquema de manejo estructural, esto con el fin de evaluar el desempeño de distintos esquemas de manejo en las Zonas de Crecimiento estudiadas.

Tabla 12. Comparación de valores de VPS USD/ha obtenidos mediante inventarios, versus simulación de esquema homólogo y 2 variantes. En Zonas de Crecimiento 1, 2, 4 y 6 para Patrimonio de Aurora.

Zonas de Crecimiento	Aurora Esquema Real (2 Podas)	Simulación A. (homólogo)	Simulación B. (4 Podas)	Simulación C. (Estructural, sin Poda)
	USD/ha			
Zona 1	-243.4 (24)	-305.9 (24)	-885.4 (24)	-38.9 (23)
Zona 2	136.7 (19)	312.6 (22)	-84.7 (23)	704.9 (21)
Zona 4	-661.3 (25)	2043.8 (19)	1425.5 (20)	2470.3 (19)
Zona 6	925.4 (24)	3426.8 (20)	461.0 (18)	3773.0 (19)

La evaluación de los regímenes de manejo en el patrimonio de la Empresa Aurora revela que el esquema de manejo estructural es el más rentable en todas las Zonas de Crecimiento evaluadas, con los mayores valores de VPS y menor riesgo financiero. Las Zonas de Crecimiento 4 y 6 responden mejor a un manejo estructural o de dos podas, mientras que las podas intensivas muestran los resultados más bajos de VPS. En la Zona de Crecimiento 1, todos los esquemas presentan rentabilidad negativa, indicando condiciones poco favorables para la inversión en podas. La Zona de Crecimiento 6 muestra el mejor desempeño global, con un VPS de hasta 3773,0 USD/ha en el esquema estructural. Estos resultados sugieren que la aplicación de un buen manejo estructural optimizado permite maximizar la rentabilidad y minimizar los riesgos económicos en el desarrollo de plantaciones de *Pinus radiata* D Don.

Tabla 13. Comparación de valores de VPS USD/ha obtenidos mediante inventarios, versus simulación de esquema homólogo y 2 variantes. En Zonas de Crecimiento 4, 7 y 9, para Patrimonio de Canteras.

Zonas de Crecimiento	Canteras Esquema Real (4 podas)	Simulación A. (homólogo)	Simulación B. (2 podas)	Simulación C. (Estructural, sin poda)
	USD/ha			
Zona 4	2135.1 (19)	2978.9 (19)	1808.7 (19)	1787.3 (19)
Zona 7	2122.7 (21)	2695.2 (20)	1802.4 (21)	1550.4 (21)
Zona 9	-309.5 (20)	3320.2 (19)	2660.8 (20)	1875.0 (20)

Por otro lado, en el patrimonio de Canteras se muestra que el manejo real ha sido eficiente en las Zonas 4 y 7, pero presenta pérdidas en la Zona 9 con un VPS de -309.5 USD/ha. El esquema de cuatro podas es la opción más rentable en todas las Zonas de Crecimiento estudiadas para este patrimonio, alcanzando el mayor VPS en la Zona 9 con 3320.2 USD/ha. Los esquemas de dos podas y de manejo estructural, presentan menores retornos, especialmente en la Zona 7 y 9. Estos resultados sugieren que un manejo intensivo de cuatro podas maximiza la rentabilidad en las Zonas de Crecimiento 4, 7 y 9, siendo especialmente clave en sitios donde la gestión real ha sido menos eficiente.

3.5 Análisis de sensibilidad mediante Simulación Montecarlo.

El análisis de sensibilidad se realizó evaluando cómo los cambios en las variables de entrada, como los costos operativos, la intensidad y periodicidad de la poda, los volúmenes de productos y los precios de mercado, afectaban los resultados del modelo. Este enfoque permitió identificar las variables con mayor impacto en los retornos económicos, reflejados en los valores de VPS. Además, se emplearon histogramas y métricas estadísticas, como percentiles y medias, para interpretar los resultados obtenidos a través de la simulación Montecarlo, facilitando la toma de decisiones fundamentadas en los niveles de riesgo y beneficio asociados a diferentes escenarios de manejo.

Tabla 14. Variables sensibilizadas con sus correspondientes distribuciones.

Variables sensibilizadas	**Distribución aplicada a la variable**
Tasa de descuento	Uniforme
Costos de establecimiento	Triangular
Costos cosecha	Uniforme
Costos transporte y carguío	Uniforme
Volumen producto podado	Normal
Precio de los productos	Triangular

Tabla 15. Distribución de VPS, para inventarios reales del Patrimonio Aurora según Zonas de Crecimiento.

USD/ha	Zona 1	Zona 2	Zona 4	Zona 6
Media	-812.24	-247.28	-1034.88	228.01
Mediana	-835.78	-273.42	-1051.38	186.46
Mínimo	-1698.44	-1290.23	-1682.28	-1047.21
Máximo	327.50	1099.88	-168.60	1839.18
Dispersión				
Desv. est.	301.48	359.54	235.37	465.81
Simetría	0.38	0.37	0.38	0.38
Kurtosis	2.83	2.77	2.82	2.68
Percentiles %				
5	-1264.89	-787.82	-1385.75	-461.90
25	-1036.71	-516.18	-1209.11	-125.05
50	**-835.78**	**-273.42**	**-1051.38**	**186.46**
75	-614.91	-8.97	-883.31	539.94
95	-273.54	397.28	-607.93	1057.93

En la Tabla 15 se muestran los resultados del análisis de sensibilidad hecho a partir de inventarios reales del patrimonio de la Empresa Aurora en las Zonas de Crecimiento 1, 2, 4 y 6. El análisis de sensibilidad mediante simulación Montecarlo resultó en que la distribución del VPS, en las diferentes Zonas de Crecimiento presenta una marcada variabilidad, con valores promedios negativos

en las Zonas de Crecimiento 1, 2 y 4, mientras que en la Zona de Crecimiento 6 se observa un valor positivo con una media de 228.01 USD/ha. La dispersión de los datos es considerablemente mayor en la Zona de Crecimiento 6, ya que tiene una desviación estándar de 465.81. Los percentiles refuerzan esta tendencia, evidenciando que en la Zona de Crecimiento 6, dada la variabilidad de las variables sensibilizadas, el VPS esperado al 50% de probabilidad de ocurrencia, es de 186.46 (USD/ha), valor positivo pero inferior al valor efectivamente obtenido de VPS (925.4 USD/ha).

Además, los valores de la curtosis cercanos a 3, indican una distribución cercana a la normal, lo cual es reafirmado por el cercano valor entre la media y la mediana. Los valores de asimetría (o sesgo) sugieren una leve asimetría positiva, es decir que la distribución es más larga en el lado derecho de su pico que en el izquierdo. En general, estos resultados sugieren que la Zona de Crecimiento 6 presenta mejor desempeño en términos de su fortaleza ante condiciones económicas cambiantes, ello en comparación con las demás Zonas de Crecimiento analizadas en el patrimonio de Aurora.

Los resultados del análisis de sensibilidad en las Zonas de Crecimiento 1, 2 y 4 ya eran negativos, por lo que los valores de VPS resultantes de la simulación Montecarlo eran esperables.

Tabla 16. Distribución de VPS, para inventarios reales del Patrimonio Canteras según Zonas de Crecimiento.

USD/ha	Zona 4	Zona 7	Zona 9
Media	1692.40	1987.52	-356.28
Mediana	1625.30	1915.62	-387.58
Mínimo	-474.10	-222.89	-1350.83
Máximo	4564.73	5098.16	979.96
Dispersión			
Desv. est.	746.44	788.21	368.42
Sesgo	0.43	0.43	0.41
Kurtosis	2.90	2.82	2.90
Percentiles %			
5	600.87	829.21	-900.45
25	1134.42	1402.71	-624.01
50	**1625.30**	**1915.62**	**-387.58**
75	2190.68	2517.32	-119.83
95	3028.41	3400.27	304.25

En la Tabla 16 se muestran los resultados del análisis de sensibilidad hecho a partir de inventarios reales del patrimonio de la Empresa Canteras en las Zonas de Crecimiento 4, 7 y 9. Los resultados obtenidos en el patrimonio de la Empresa Canteras muestran una clara diferencia en la rentabilidad del suelo entre las Zonas de Crecimiento analizadas. Mientras que las Zonas de Crecimiento 4 y 7 presentan un VPS positivo, con medias de 1692.40 y 1987.52 USD/ha respectivamente, la Zona de Crecimiento 9 evidencia un VPS promedio negativo de -356.28 USD/ha, lo que sugiere una menor viabilidad económica. La dispersión de los datos es mayor en la Zona de Crecimiento 7 (desviación estándar de 788.21) y su VPS esperado al 50% de probabilidad de ocurrencia es de 1917.62 USD/ha, mientras que en la Zona de Crecimiento 4 el valor esperado

al 50% de ocurrencia es de 1625.30 USD/ha y posee una desviación de 746.44, por otro lado, en la Zona de Crecimiento 9 la variabilidad es menor (desviación estándar de 368.42), pero con valores predominantemente negativos, con un valor esperado al 50% de probabilidad de ocurrencia de -387.58 USD/ha. Los percentiles refuerzan esta tendencia, destacando que en las Zonas de Crecimiento 4 y 7 la mayoría de los valores son positivos, pero su valor esperado al 50% de ocurrencia si bien es positivo, es inferior al valor efectivamente obtenido (2135.1 USD/ha y 2122.7 USD/ha respectivamente), mientras que en la Zona de Crecimiento 9 los valores negativos predominan, pero si bien su valor esperado al 50% de ocurrencia es negativo, es menor al obtenido efectivamente (-309.5 USD/ha). En términos de dispersión, la asimetría positiva en todas las Zonas de Crecimiento indica la presencia de valores altos atípicos, aunque la curtosis cercana a 3 sugiere que no hay una concentración extrema de valores en torno a la media. En general, estos resultados evidencian que las Zonas de Crecimiento 4 y 7 presentan mejores condiciones económicas para la inversión en poda, mientras que la Zona de Crecimiento 9 enfrenta un escenario más adverso, posiblemente influenciado por factores ambientales, de mercado o de manejo silvícola.

IV.CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos demuestran que, la realización de podas no implica que los árboles podados entregan trozas podadas factibles de comercializar como producto podado. Los factores que influyen en este resultado van desde las características edafoclimáticas (Zona de Crecimiento), la tecnología silvícola aplicada, y la rigurosidad con que se hacen las prácticas en el terreno. Para los casos analizados, los 3 factores influirían, pero con más ponderación, el régimen silvícola, ya que la Zona de Crecimiento 6, tiene potencial para generar mayores volúmenes podados y retornos económicos, que los observados en este estudio (Peters, 2013).

2. Una observación relevante fue la variabilidad en los resultados entre las distintas Zonas de Crecimiento. Los rodales ubicados en las Zonas de Crecimiento 4, 6, 7 y 9 mostraron una mayor proporción de árboles con al menos una troza podada efectiva en comparación con las Zonas 1 y 2. Esto puede atribuirse a las condiciones edafoclimáticas más favorables en las primeras, las cuales permiten un mejor desarrollo y crecimiento continuo de las plantaciones. Sin embargo, el número de árboles capaces

de entregar dos trozas podadas de 2,65m fue mínimo en todas las Zonas, lo que hace resaltar la necesidad de una silvicultura más específica al sitio.

3. Aunque varias primeras trozas cumplieron con el diámetro mínimo (SED≥28cm), gran parte de estas fueron descartadas como troza podada debido a no alcanzar el largo necesario de altura de poda o presentar un diámetro con defecto (DCD) demasiado alto. Este resultado sugiere que las imprecisiones en la ejecución del manejo intensivo, como retrasos en las actividades de poda o raleo, impactan negativamente en la calidad final de las trozas. En Zonas de alta productividad, incluso un retraso de medio a un año puede provocar un crecimiento excesivo del DCD, relegando las trozas a categorías de menor valor comercial, como "aserrable nudoso".

4. Es importante considerar la correcta selección de los rodales y Zonas de Crecimiento donde se llevará a cabo la actividad de manejo intensivo y el número de podas a realizar en aquellos rodales, no puede haber 1 o 2 esquemas únicos para todas las Zonas de Crecimiento, debido a que, si se aplica un esquema que considere tres o cuatro podas, se estaría realizando una inversión demasiado alta en la actividad de poda, por lo que, si se seleccionan rodales ubicados en sitios no muy productivos, posiblemente no se logre obtener el retorno esperado tanto en volumen

podado como en inversión económica, a pesar de que se realice el esquema de forma adecuada. Por lo que habría que considerar realizar otro tipo de manejo, o disminuir la poda a solo dos oportunidades. Por otro lado, si se selecciona un sitio adecuado para llevar a cabo un manejo intensivo con tres o cuatro podas, se debe cerciorar de que estas se realicen en los plazos designados y no sufrir retrasos en los tiempos que se deben realizar las actividades, ya que, de ocurrir existe una gran probabilidad de que la inversión realizada en aquellos rodales no logre retornarse por existir una degradación de las trozas a una de menor valor. Por último, además de la correcta periodicidad en las actividades silvícolas, se debe asegurar, que la intensidad y calidad de estas, sean correctas, dado que, si se aplica el número de podas estipulado, pero no se podan todos los árboles, o no se alcanza la altura de poda necesaria, no se estaría cumpliendo el objetivo de ese manejo (Meneses 2000b).

5. Se recomienda realizar análisis económicos aislados para las podas, ya que, a nivel de regímenes completos, la rentabilidad pura de la poda puede quedar invisibilizada por la rentabilidad de los productos no podados, que siempre van a estar presentes en los regímenes de *Pinus radiata* D. Don.

6. En las Zonas de Crecimiento 1,2, y 4 se recomienda evaluar una silvicultura con una poda para alcanzar una troza basal de 2.65m, y

enfocar el tramo del fuste comprendido entre 3 a 11m en trozas aserrables para uso estructural. La propuesta de los raleos acompañantes es un tema que merece otro estudio.

V.BIBLIOGRAFÍA

Acuña Carmona, Eduardo. (2001). Evaluación del rendimiento económico de los regímenes silviculturales de pino radiata, basado en el análisis de riesgo.

Alzamora, R. M., & Apiolaza, L. A. (2010). A hedonic approach to value Pinus radiata log traits for appearance-grade lumber production. Forest Science, 56(3), 281-289.

Aguilar, R. A. L. (2005). Evaluación económica de esquemas de manejo intensivos en *Pinus radiata* D. Don, en dos calidades de sitio en la VIII Región.

Barrios A. 2004. Determinación del diámetro del cilindro central defectuoso en trozas podadas de pino radiata (*Pinus radiata* D. Don), mediante atenuación de radiación gamma. Tesis Ingeniero Forestal. Santiago, Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 123 p

Canada, J. 1980. Intermediate economic analysis for management and engineering. Estados Unidos. North Carolina State University. p. 430

Chacón, I. 1995. Decisiones económico-financieras en el manejo forestal. Universidad de Talca, Talca. Chile. 248 p.

Chang, S.J. 1984. Determination of the optimal rotation: A theoretical analysis. For. Ecol. Management 8: pp. 137 – 147.

Craib, I. J. (1939). Thinning, pruning and management studies on the main exotic conifers grown in South Africa. Science Bulletin No. 196, Pretoria: Department of Agriculture and Forestry.

Davis LS, KN Johnson, PS Bettinger, TE Howard. 2001. Forest Management. 4th Edition. New York, USA. McGraw-Hill. 804 p.

Davis, L., K. Johnson. 1987. Forest management. 3rd ed. McGraw-Hill, New York. 790 p.

Dieter, M. 2001. Land expectation values for spruce and beech calculated with Monte Carlo modelling techniques. Forest policy and economics, 2(2), 157-166.

Epuyao, J. 2003. Comparación del aprovechamiento y calidad de madera aserrada de *Pinus radiata* D. Don, entre dos tipos de trozas podadas

Espinosa Bancalari, M. (Ed.), Acuña C., E. (Ed.), García Sandoval, J., et al. (2017). Silvicultura de bosques plantados con fines productivos. 1a.ed. Concepción, Chile: Universidad de Concepción.

Fenton, R.T. and Sutton, W.R.J. (1968). "Silvicultural proposals for radiata pine on high quality sites". New Zealand Journal of Forestry. 220-228.

Fernández MP, Basauri J, Madariaga C, Menéndez-Miguélez M, Olea R, Zubizarreta Gerendiain A. (2017). Effects of thinning and pruning on stem and crown characteristics of radiata pine (*Pinus radiata* D. Don). iForest 10: 383-390.

Gavilán, Elvis, Alzamora, Rosa M., Apiolaza, Luis A., Sáez, Katia, Elissetche, Juan Pedro, & Pinto, Antonio. (2023). Modelling the influence of radiata pine log variables on structural lumber production. Maderas. Ciencia y tecnología, 25, 2.

Gerding, V. (1991). Manejo de las plantaciones de. Bosque, 12(2), 3-10.

Klemperer, D.W. 1995. An approach to analyzing risky forestry costs. XX IUFRO World Congress 6-12 August 1995. Tempere, Finland.

Levican Aguilar, R. A. 2005. Evaluación económica de esquemas de manejo intensivos en *Pinus radiata* D. Don, en dos calidades de sitio en la VIII Región

Loewe Muñoz, V., & González Ortega, M. (2002). Técnicas de poda para producir maderas duras de alta calidad y valor.

Mason. E. 2023. Impacts of tending on attributes of radiata pine trees and stands in New Zealand – a review.

Meneses V., M., Guzmán M. S. (2000a). Análisis de la eficiencia de la silvicultura destinada a la obtención de madera libre de nudos en plantaciones de pino radiata en Chile. Bosque, v.21, n.2. páginas 085-093.

Meneses, M.; S. Guzmán. (2000b). Productividad y eficiencia en la producción forestal basada en plantaciones de pino radiata. Bosque (Chile) 21(2): 3-11

Nicholson, W. 2001. Microeconomía intermedia y sus aplicaciones. Trad. por Mildred Ciociano. 8ª ed. Colombia, Mc Graw-Hill. p. 602

Novoa Ansorena, R. (2005). Evaluación económica de cuatro regímenes silviculturales intensivos en plantaciones experimentales de *Pinus radiata* D. Don Fundo Jauja, Comuna de Collipulli (IX Región). Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales.

Ojeda Briones, H. A. (2018). Efecto de la intensidad de poda y disponibilidad de recursos hídricos del sitio en el crecimiento de *Pinus radiata* D. Don.

Park, J. 1989. Pruned Log Index (PLI). N.Z. J. For. Sci. Rotorua. New Zealand 19(1): pp 41-53.

Peters Nario, R., Aguirre, A., & Jobet Jarpa, M. (2013). Manual 14: Compendio de tablas auxiliares para el manejo de plantaciones de pino insigne.

Poblete Hernández, P., Gysling Caselli, J., Álvarez González, V., Bañados, M., Carlos, J., Kahler González, C., ... & Baeza Rocha, D. (2023). Anuario forestal 2023.

Schmoldt, D.L.; Occeña, L.G.; Abbott, L.A.; Gupta, N.K. 1993. Nondestructive evaluation of hardwood logs: CT scanning, machine vision and data utilization. Nondestructive Testing and Evaluation 15: 279-309.

Smith DM, BC Larson, MJ Kelty, PMS Ashton. 1997. The Practice of Silviculture: Applied Forest Ecology (9th Edition). New York, USA. Wiley and Sons. 537 p.

Toro Vergara, Jorge. (2004). Alternativas silvícolas para aumentar la rentabilidad de las plantaciones forestales. *Bosque (Valdivia)*, *25*(2), 101-113.

Todoroki C, A Gordon, M Van Der Colff. 2006. Estimating rotation age for producing *clearwood* at specific levels. New Zealand Journal of Forestry Science 36(2/3): 232-245

Velasco, J. 1992. Rendimiento de madera aserrada libre de nudos en trozas podadas *de Pinus radiata* D. Don. Tesis Ing. Forestal. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 74 p.

West, G.G. (1997). STANDPAK evaluation of the effects of site, silviculture, and genetics on mean log age and the proportion of juvenile wood. New Zealand Journal of Forestry Science, 27, 324-342

Whiteside, I.D. (1990). STANDPAK modelling system for radiata pine. In R.N. James and G.L. Tarlton (Eds). New Approaches to Spacing and Thinning in Plantation Forestry: Proceedings of a IUFRO Symposium held at the Forest

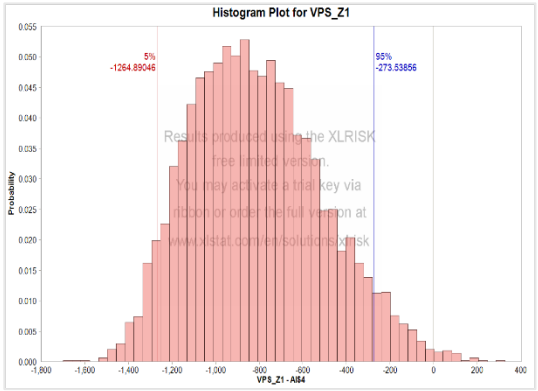
Research Institute, Rotorua, New Zealand, 10-14 April 1989. [Forest Research Institute Bulletin, 151, 106-110]. Rotorua, New Zealand: Forest Research Institute.

Whiteside, I.D., West, G.G., & Knowles, R.L. (1997). Use of Standpak for evaluating radiata pine management at the stand level. [Forest Research Institute Bulletin No 154, 14 pp.] Rotorua, New Zealand: Forest Research Institute

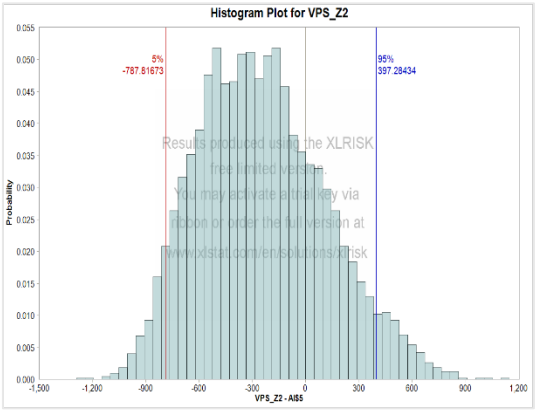
VI. APÉNDICE

Apéndice 1. Histogramas del análisis de sensibilidad para inventarios reales del patrimonio de Aurora (Zonas de Crecimiento 1, 2, 4 y 6)

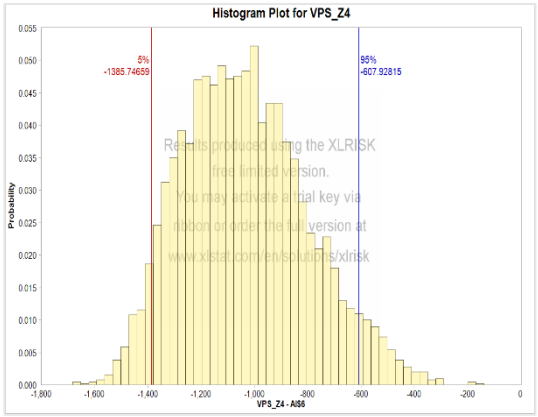
a)



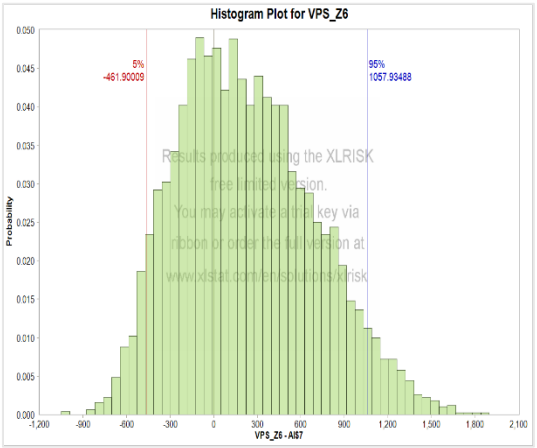
b)



c)

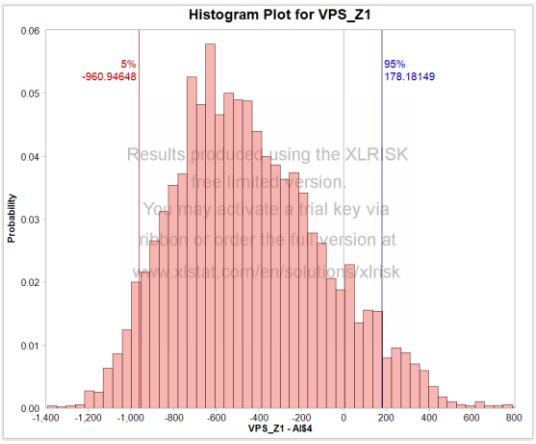


d)

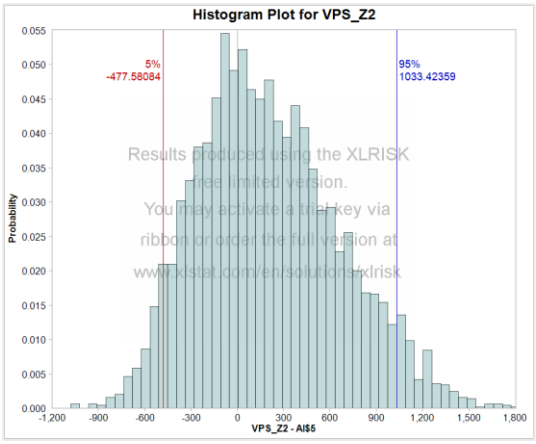


Apéndice 2. Histogramas del análisis de sensibilidad para simulaciones MNS en esquema de manejo de dos podas en Zonas de Crecimiento 1, 2, 4 y 6.

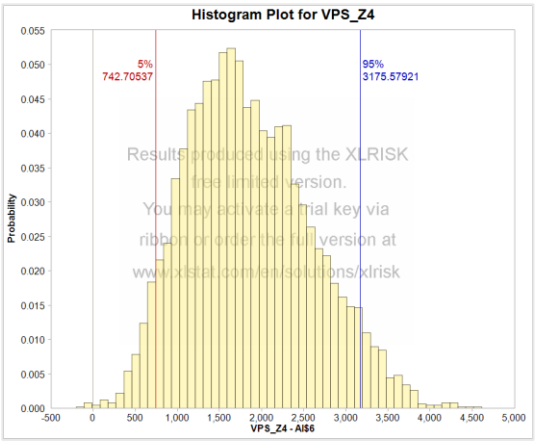
a)



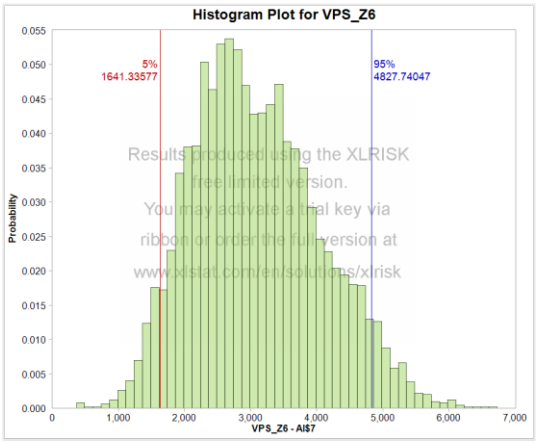
b)



c)

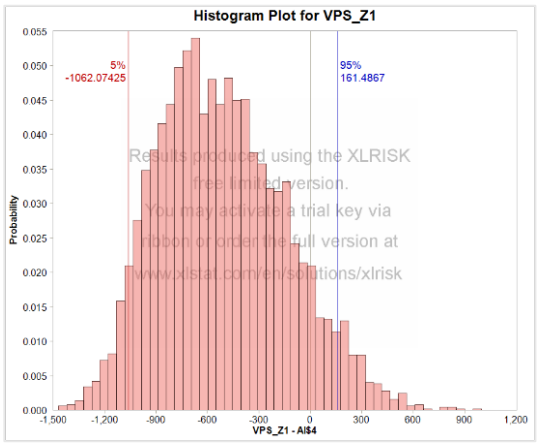


d)

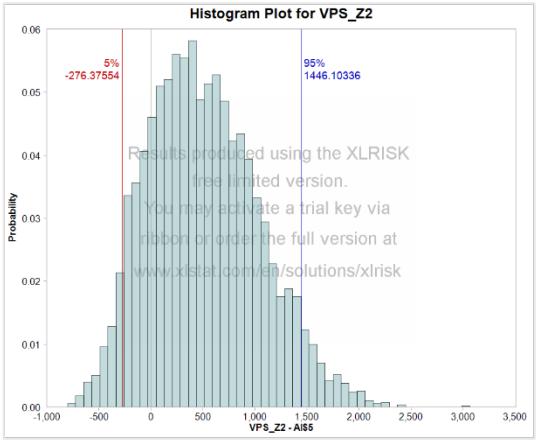


Apéndice 3. Histogramas del análisis de sensibilidad para simulaciones MNS en esquema de manejo de cuatro podas en Zonas de Crecimiento 1, 2, 4 y 6.

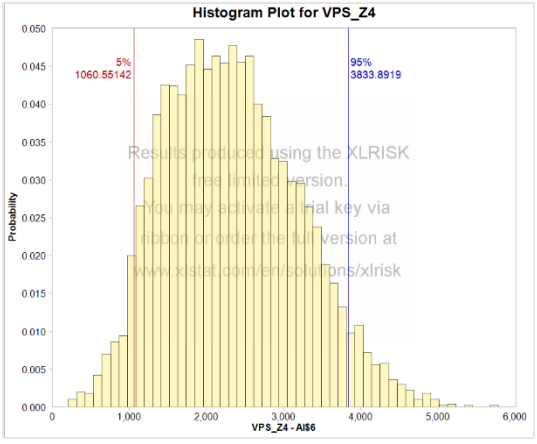
a)



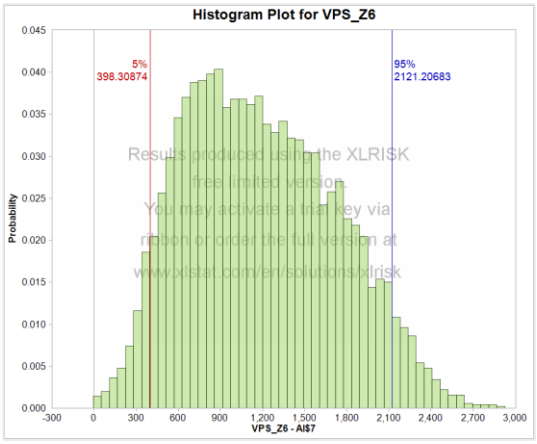
b)



c)

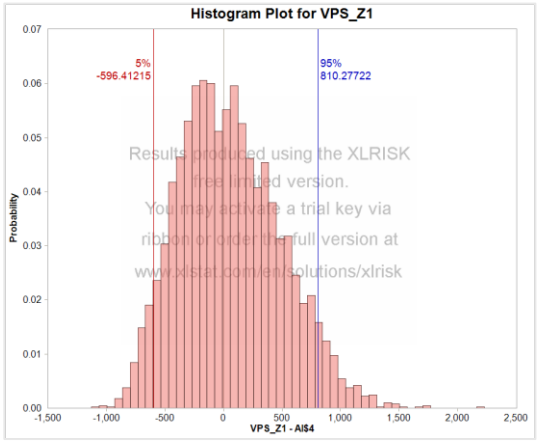


d)

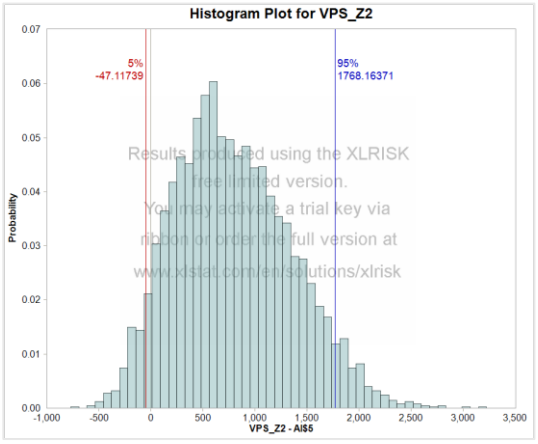


Apéndice 4. Histogramas del análisis de sensibilidad para simulaciones MNS en esquema de manejo estructural en Zonas de Crecimiento 1, 2, 4 y 6.

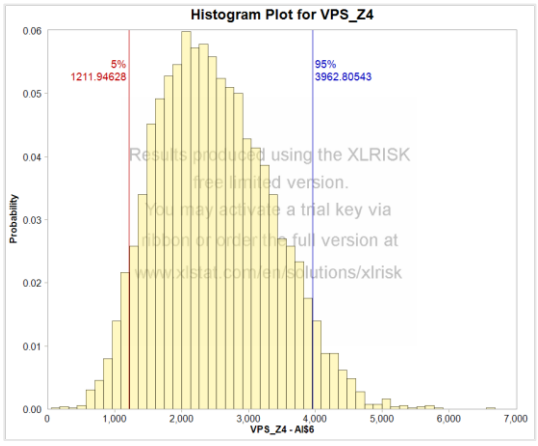
a)



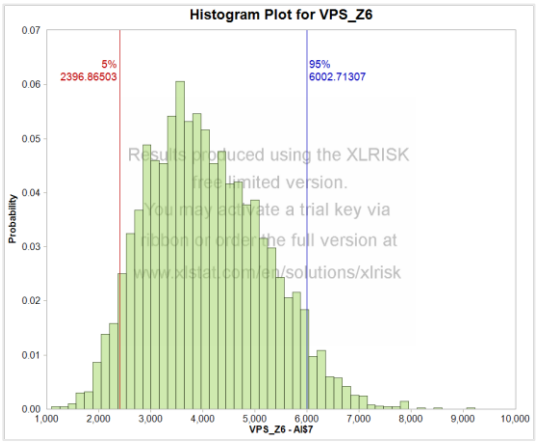
b)



c)

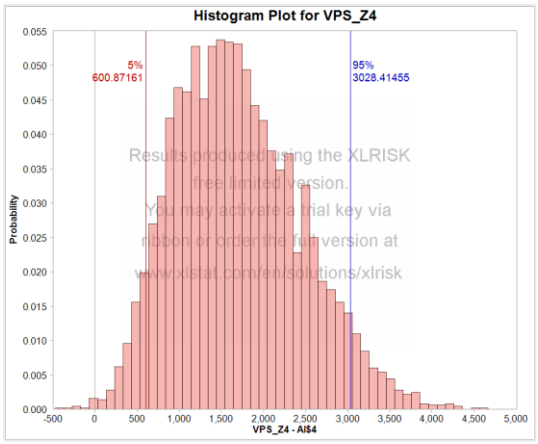


d)

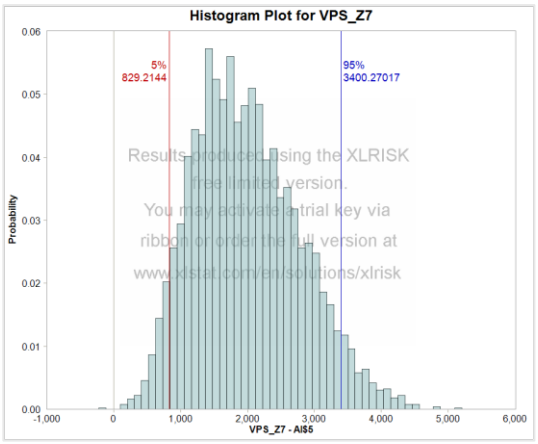


Apéndice 5. Histogramas del análisis de sensibilidad para inventarios reales del patrimonio de Canteras (Zonas de Crecimiento 4, 7 y 9)

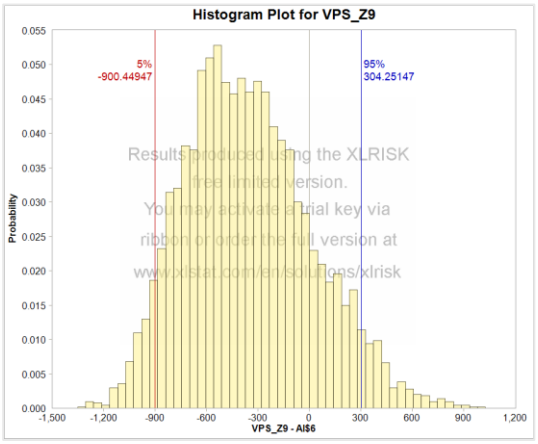
a)



b)

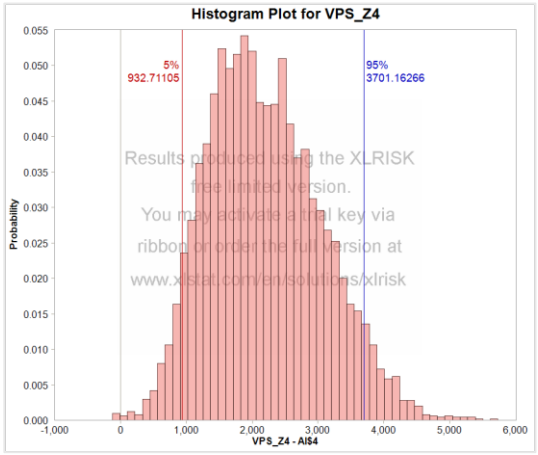


c)

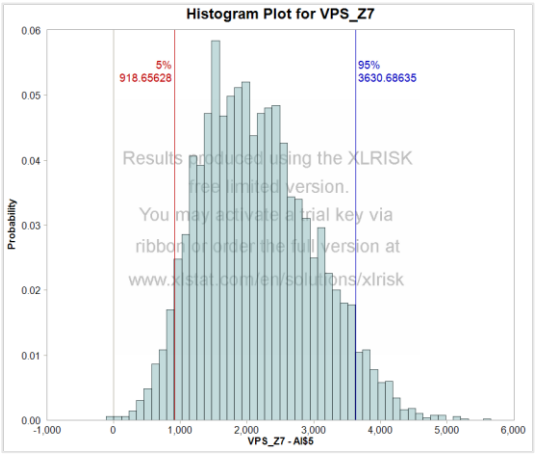


Apéndice 6. Histogramas del análisis de sensibilidad para simulaciones MNS en esquema de manejo de cuatro podas (homólogo) en Zonas de Crecimiento 4, 7 y 9

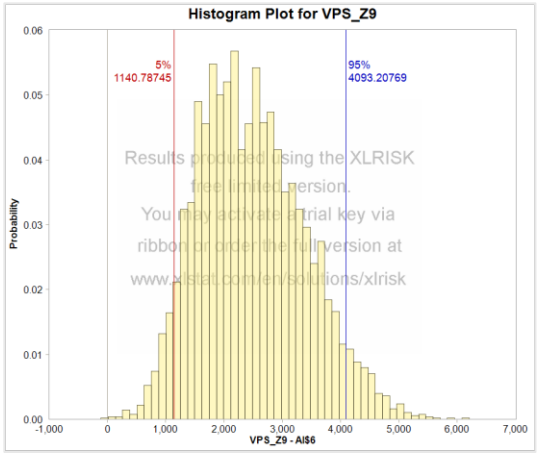
a)



b)

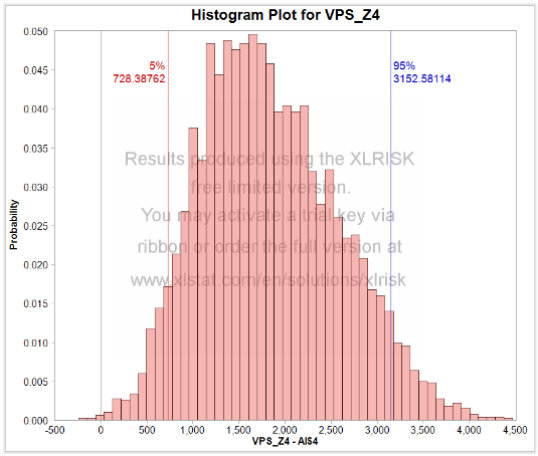


c)

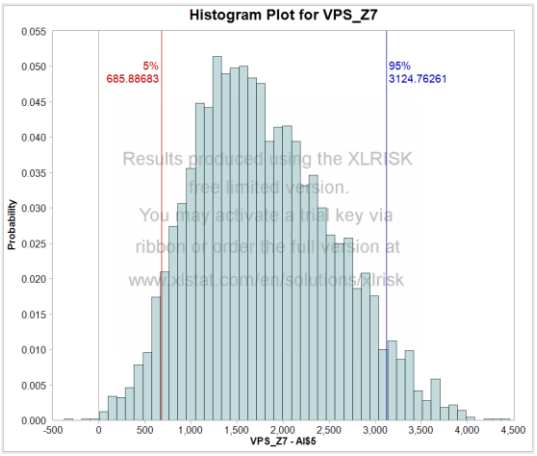


Apéndice 7. Histogramas del análisis de sensibilidad para simulaciones MNS en esquema de manejo de dos podas en Zonas de Crecimiento 4, 7 y 9

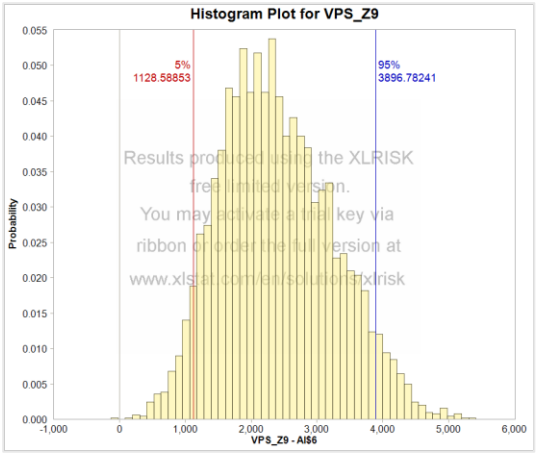
a)



b)

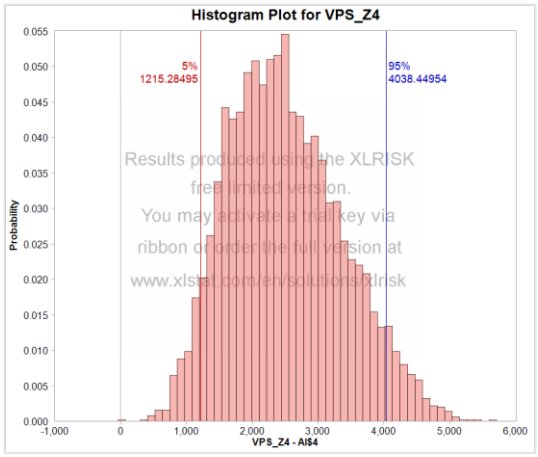


c)

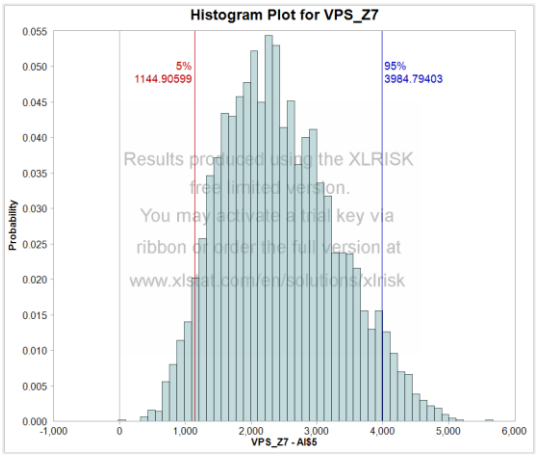


Apéndice 8. Histogramas del análisis de sensibilidad para simulaciones MNS en esquema de manejo estructural en Zonas de Crecimiento 4, 7 y 9

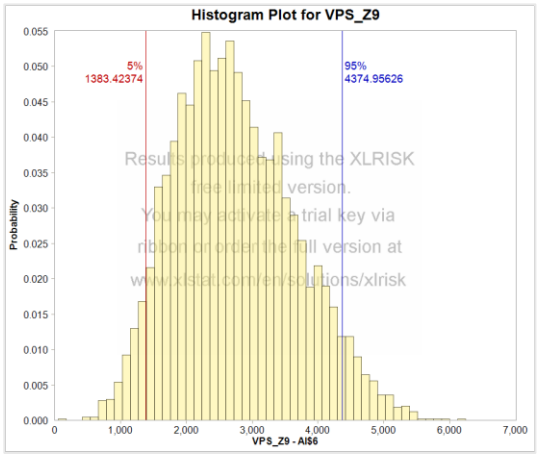
a)



b)



c)



Apéndice 9. Distribución de VPS, para inventarios simulados de árboles en las Zonas de Crecimiento, a) Zona 1, b) Zona 2, c) Zona 4, d) Zona 6. Simulación para esquema de manejo de dos podas (homólogo).

USD/ha	Zona 1	Zona 2	Zona 4	Zona 6
Media	-446.92	202.78	1849.35	3087.97
Mediana	-486.48	160.54	1775.98	2987.46
Mínimo	-1390.85	-1078.72	-203.15	367.65
Máximo	791.57	1773.86	4519.66	6606.16
Dispersión				
Desv. est.	347.04	456.88	739.81	965.23
Sesgo	0.43	0.38	0.38	0.38
Kurtosis	2.84	2.78	2.78	2.77
Percentiles %				
5	-960.95	-477.58	742.71	1641.34
25	-701.23	-128.66	1299.32	2369.96
50	-486.48	160.54	1775.98	2987.46
75	-220.54	500.34	2336.95	3720.36
95	178.18	1033.42	3175.58	4827.74

Apéndice 10. Distribución de VPS, para inventarios simulados de árboles en las Zonas de Crecimiento, a) Zona 1, b) Zona 2, c) Zona 4, d) Zona 6. Simulación para esquema de manejo de cuatro podas

USD/ha	Zona 1	Zona 2	Zona 4	Zona 6
Media	-513.13	507.77	2330.85	1188.91
Mediana	-544.43	462.48	2273.14	1143.32
Mínimo	-1467.95	-799.33	210.33	-6.41
Máximo	948.43	3063.69	5671.12	2869.56
Dispersión				
Desv. est.	372.82	531.07	862.33	536.59
Sesgo	0.39	0.40	0.36	0.31
Kurtosis	2.81	2.88	2.75	2.39
Percentiles %				
5	-1062.07	-276.38	1060.55	398.31
25	-789.67	113.92	1667.98	763.59
50	-544.43	462.48	2273.14	1143.32
75	-261.66	862.48	2914.50	1573.90
95	161.49	1446.10	3833.89	2121.21

Apéndice 11. Distribución de VPS, para inventarios simulados de árboles en las Zonas de Crecimiento, a) Zona 1, b) Zona 2, c) Zona 4, d) Zona 6. Simulación para esquema de manejo estructural

USD/ha	Zona 1	Zona 2	Zona 4	Zona 6
Media	56.38	789.26	2489.07	4059.37
Mediana	18.30	739.07	2422.59	3952.71
Mínimo	-1125.07	-770.26	51.61	1089.38
Máximo	2162.32	3147.88	6555.53	9071.40
Dispersión				
Desv. est.	432.18	557.53	852.71	1123.79
Sesgo	0.40	0.38	0.38	0.38
Kurtosis	2.90	2.83	2.91	2.81
Percentiles %				
5	-596.41	-47.12	1211.95	2396.87
25	-262.93	377.34	1846.95	3209.66
50	18.30	739.07	2422.59	3952.71
75	348.34	1163.75	3072.82	4829.33
95	810.28	1768.16	3962.81	6002.71

Apéndice 12. Distribución de VPS, para inventarios simulados de árboles en las Zonas de Crecimiento, a) Zona 4, b) Zona 7, c) Zona 9. Simulación para esquema de manejo de cuatro podas (homólogo).

USD/ha	Zona 4	Zona 7	Zona 9
Media	2192.03	2153.21	2478.14
Mediana	2110.97	2076.75	2402.67
Mínimo	-124.57	-110.99	-111.24
Máximo	5616.73	5547.54	6078.86
Dispersión			
Desv. est.	856.20	844.50	909.34
Sesgo	0.39	0.40	0.39
Kurtosis	2.86	2.82	2.82
Percentiles %			
5	932.71	918.66	1140.79
25	1547.12	1515.53	1798.67
50	2110.97	2076.75	2402.67
75	2767.16	2718.17	3088.72
95	3701.16	3630.69	4093.21

Apéndice 13. Distribución de VPS, para inventarios simulados de árboles en las Zonas de Crecimiento, a) Zona 4, b) Zona 7, c) Zona 9. Simulación para esquema de manejo de dos podas.

USD/ha	Zona 4	Zona 7	Zona 9
Media	1835.59	1788.94	2390.53
Mediana	1761.58	1711.64	2313.51
Mínimo	-238.87	-373.41	-128.36
Máximo	4372.15	4365.45	5302.95
Dispersión			
Desv. est.	743.36	747.45	849.38
Sesgo	0.35	0.36	0.34
Kurtosis	2.73	2.69	2.73
Percentiles %			
5	728.39	685.89	1128.59
25	1283.82	1235.19	1768.07
50	1761.58	1711.64	2313.51
75	2334.77	2293.40	2963.79
95	3152.58	3124.76	3896.78

Apéndice 14. Distribución de VPS, para inventarios simulados de árboles en las Zonas de Crecimiento, a) Zona 4, b) Zona 7, c) Zona 9. Simulación para esquema de manejo de estructural.

USD/ha	Zona 4	Zona 7	Zona 9
Media	2499.79	2423.13	2739.84
Mediana	2424.50	2342.52	2657.33
Mínimo	-39.02	-18.49	58.42
Máximo	5597.76	5561.21	6117.18
Dispersión			
Desv. est.	858.19	864.53	913.43
Sesgo	0.37	0.36	0.38
Kurtosis	2.72	2.67	2.76
Percentiles %			
5	1215.28	1144.91	1383.42
25	1854.71	1772.76	2066.44
50	2424.50	2342.52	2657.33
75	3063.15	2995.31	3357.61
95	4038.45	3984.79	4374.96