



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
INGENIERIA FORESTAL

**Evaluación de propuestas de manejo silvícola de *Pinus radiata* D.DON para  
la producción de trozas podadas y no podadas en sitios de productividad  
baja a media**

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

POR: Emmanuel Esteban Leal Marimán

Profesor Guía: Rosa Alzamora Mallea

Enero, 2026

Concepción, Chile

© 2026, Emmanuel Esteban Leal Marimán

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

**Evaluación de propuestas de manejo silvícola de *Pinus radiata* D.DON para  
la producción de trozas podadas y no podadas en sitios de productividad  
baja a media**



Profesor Guía

---

Rosa María Alzamora Mallea

Profesora Asociada

Ingeniero Forestal, PhD



Profesor Guía

---

Julio Cesar Becker Guaiquil

Profesor asistente

Ingeniero Forestal, Magíster

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme las fuerzas y la inteligencia que necesitaba para lograr mis metas, le dedico la gloria a él. A mis padres por confiar en mi en todo momento y darme su incondicional apoyo, por enseñarme a valerme por mi mismo, a resistir las adversidades y dar todo de mí. A mi mismo por tener el valor de seguir adelante y esforzarme en este camino.

## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradezco sinceramente a mi profesora guía, la Dra Rosa Alzamora Mallea, por su inmensa ayuda y disponibilidad para encaminarme en este proceso académico, por brindarme siempre su sinceridad y el enfoque profesional necesario en cada revisión, también por su compromiso y dedicación que fueron muy importantes para mí, tanto en este proceso como en cada una de sus clases que me permitieron generar habilidades para mi formación profesional, destaco sobre todo su comprensión y disposición para brindar ayuda y conocimiento a los estudiantes, muchas gracias.

Le agradezco al profesor, Julio Becker Guaiquil, por brindarme su sincero apoyo, ofreciéndome su conocimiento y experiencia en este proceso para basar este trabajo de titulación de forma profesional, por ayudarme a conseguir los datos del mercado forestal que necesitaba y por su compromiso en taller profesional que me proporciono habilidades y nuevos puntos de vista que enriquecen mi formación profesional.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	X
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>I.INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. METODOLOGÍA</b> .....	7
2.1 Área de estudio .....	7
2.2 Modelo nacional de simulación (MNS).....	8
2.3 Antecedentes de la aplicación de propuestas de manejo en sitios bajos y medios .....	8
2.4 Diseño de propuestas de manejo silvícola .....	9
2.5 Análisis de rentabilidad .....	10
2.5.1 Valor potencial del suelo (VPS).....	10
2.5.2 Razón beneficio y costo (Razón b/c).....	11
<b>III. RESULTADOS y DISCUSIÓN</b> .....	13
3.1 Propuestas de manejo silvícola.....	13
3.2 Costos de las actividades silviculturales y precio de productos. ....	15
3.3 Volumen obtenido de manejos aserrables sin poda propuestos. ....	17
3.4 Volumen obtenido de manejos aserrables con poda propuestos.....	19
3.5 Volumen obtenido en propuesta sin manejo silvicultural.....	22
3.6 Proporción de productos del volumen total obtenido .....	24
3.7 Análisis de efectividad de la poda. ....	32
3.8 Evaluación económica del valor potencial del suelo. ....	35
3.9 Rentabilidad de la poda .....	38
<b>IV.CONCLUSIONES</b> .....	40
<b>V.BIBLIOGRAFÍA</b> .....	41

## ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Esquemas de manejos aserrables sin poda o extensivos propuestos, con densidad inicial de 1100 (arb/ha) con diferentes actividades, intensidad y frecuencia. ....	13
Tabla 2. Esquemas de manejo aserrables con poda o intensivos propuestos, cada uno consta de una densidad inicial de 1100 (arb/ha). ....	14
Tabla 3. Costos de valores de manejos. Fuente: SERFONAC LTDA . ....	15
Tabla 4. Dimensión y valor de productos asignados a obtener. ....	16
Tabla 5. Volumen por producto obtenido de los manejos extensivos propuestos y su edad optima de cosecha, al aplicar diferente establecimiento inicial en IS 24 .....	17
Tabla 6. Volumen por producto obtenido de los manejos extensivos propuestos y su edad optima de cosecha, al aplicar diferente establecimiento inicial en IS 29. ....	18
Tabla 7. Volumen por producto obtenido de los esquemas extensivos propuestos y su edad optima de rotación al aplicar diferente establecimiento inicial en IS 32. ...	19
Tabla 8. Volumen por producto obtenido de los esquemas intensivos propuestos y su edad optima de cosecha al aplicar diferente establecimiento inicial en IS 24. .	20
Tabla 9. Volumen por producto obtenido de los esquemas intensivos propuestos y su edad optima de cosecha al aplicar diferente establecimiento inicial en IS 29. .	20
Tabla 10. Volumen por producto obtenido de los esquemas intensivos propuestos y su edad optima de cosecha al aplicar diferente establecimiento inicial en IS 32. .	21
Tabla 11. Volumen por producto al no aplicar manejo silvícola, en dos diferentes tipos de establecimiento inicial en IS 24. ....	22
Tabla 12. Volumen por producto al no aplicar ningún manejo silvícola, en dos diferentes tipos de establecimiento inicial en IS 29. ....	22
Tabla 13. Volumen por producto al no aplicar ningún manejo silvícola, en dos diferentes tipos de establecimiento inicial en IS 32. ....	23

Tabla 14. Efectividad de podas de manejos intensivos propuestos, en calidad de sitio baja (IS 24), con dos diferentes establecimientos iniciales. ....	33
Tabla 15. Efectividad de podas de manejos intensivos propuestos, en calidad de sitio media (IS 29), con dos diferentes establecimientos iniciales. ....	34
Tabla 16. Efectividad de podas de manejos intensivos propuestos, en calidad de sitio alta (IS 32), con dos diferentes establecimientos iniciales. ....	35
Tabla 17. Valor potencial del suelo en manejos extensivos. ....	35
Tabla 18. Valor potencial del suelo en manejos intensivos. ....	36
Tabla 19. Valor potencial del suelo al no aplicar manejo silvicultural. ....	36
Tabla 20. Razón beneficio costo de los manejos intensivos propuestos aplicados en tres niveles de calidad de sitio con diferentes establecimientos. ....	38

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Porcentajes de volumen por productos del total obtenido de los esquemas aserrables sin poda propuestos en IS 24 con diferente establecimiento inicial.....	24
Figura 2. Porcentajes de volumen por productos del total obtenido de los esquemas aserrables sin poda propuestos en IS 29 con diferente establecimiento inicial.....	25
Figura 3. Porcentajes de volumen por producto del total obtenido de los esquemas aserrables sin poda propuestos en IS 32 con diferente establecimiento inicial.....	26
Figura 4. Porcentajes de volumen por producto del total obtenido de los esquemas aserrables con poda propuestos en IS 24 con diferente establecimiento inicial. ..	27
Figura 5. Porcentajes de volumen por producto del total obtenido de los esquemas aserrables con poda propuestos en IS 29 con diferente establecimiento inicial. ..	28
Figura 6. Porcentajes de volumen por producto del total obtenido de los esquemas aserrables con poda propuestos en IS 32 con diferente establecimiento inicial. ..	29
Figura 7. Porcentajes de volumen por producto del total obtenido de no aplicar manejo silvícola en IS 24 con diferente establecimiento inicial. ....	30
Figura 8. Porcentajes de volumen por producto del total obtenido de no aplicar manejo silvícola en IS 29 con diferente establecimiento inicial. ....	31
Figura 9. Porcentajes de volumen por producto del total obtenido de no aplicar manejo silvícola en IS 32 con diferente establecimiento inicial. ....	32

## RESUMEN

El empleo de manejos silvícolas en plantaciones de *Pinus radiata* D.DON en Chile es un pilar de la producción maderera, por lo que una asignación ineficiente de estos supone un riesgo a la rentabilidad. Este trabajo de investigación tuvo como objetivo generar y evaluar propuestas de manejo silvícola para la producción de trozas podadas y no podadas en sitios de productividad baja a media. El estudio se llevó a cabo mediante la simulación de esquemas de manejos a través del modelo nacional de simulación (MNS), concentrándose en sitios con índices de sitio (IS) 24,29 y 32, utilizando el valor potencial del suelo como indicador económico.

Los resultados revelaron que en sitios de baja productividad (IS 24), los esquemas intensivos no se justifican económicamente, siendo preferible la asignación de esquemas de manejo extensivos logrando obtener en estos aproximadamente (1.200 US\$/ha). Por otro lado, en sitios de calidad alta (IS  $\geq 32$ ) el esquema intensivo (4) fue altamente rentable, logrando un valor de (3.857 US\$/ha) y un 100% de efectividad de podas. Los sitios de calidad media (IS 29) representaron el umbral mínimo donde la actividad de poda aún resulta viable para garantizar la producción de madera de alto valor, sin embargo, económicamente es más rentable aplicar manejos extensivos, logrando aproximadamente entre 2.700 y 2.900 (US\$/ha), es por esto que se recomienda asignar regímenes silvícolas de manera diferenciada, priorizando la intensidad solo cuando el potencial del sitio asegure la recuperación de la inversión en el largo plazo.

## ABSTRACT

The use of silvicultural management in *Pinus radiata* D. DON plantations in Chile is a pillar of timber production; therefore, an inefficient allocation of these practices poses a risk to profitability. This research aimed to generate and evaluate silvicultural management proposals for the production of pruned and unpruned logs in low to medium productivity sites. The study was conducted by simulating management schemes using the National Simulation Model (MNS), focusing on sites with Site Indices (IS) of 24, 29, and 32, using the potential value of the land as an economic indicator.

The results revealed that in low-productivity sites (IS 24), intensive schemes are not economically justified, with the allocation of extensive management schemes being preferable, achieving approximately 1,200 USD/ha. On the other hand, in high-quality sites (IS  $\geq$  32), intensive scheme 4 was highly profitable, achieving an value of 3,857 USD/ha and 100% pruning effectiveness. Medium-quality sites (IS 29) represented the minimum threshold where pruning remains viable to guarantee high-value timber production; however, it is economically more profitable to apply extensive management, achieving approximately between 2,700 and 2,900 USD/ha. Consequently, it is recommended to allocate silvicultural regimes in a differentiated manner, prioritizing intensity only when the site potential ensures the recovery of investment in the long term.

## I.INTRODUCCIÓN

La especie *Pinus Radiata* D. Don fue introducida al país a principios del siglo XIX, esta se caracteriza por su rápido crecimiento y capacidad de colonizar suelos degradados (Ipinza, 2023). Actualmente las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don tienen una gran relevancia en la industria forestal, ya que, de las 2.276.766 hectáreas de plantaciones forestales existentes en Chile, 1.243.575 hectáreas (equivalentes al 54,7%) corresponden a esta especie (INFOR, 2024). Este predominio demuestra no solo su extensión significativa, sino también su papel central como pilar de la producción maderera nacional.

Los principales productos que se pueden obtener son trozas podadas libre de nudos, trozas aserrables, productos pulpables y astillas, dependiendo del objetivo final de producción se emplean diversas técnicas y regímenes silviculturales. Según Davel et al. (2015) el manejo de plantaciones consiste en la organización y programación, tanto espacial como temporalmente, de las intervenciones silvícolas que se aplican al bosque con el propósito de alcanzar un objetivo específico. Meneses & Guzmán (2000a) Resaltan la importancia de la estrecha relación existente entre los productos finales y el régimen silvicultural aplicado.

La silvicultura aplicada en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en el país ha experimentado una evolución significativa, pasando de un manejo prácticamente nulo es decir sin intervenciones, a la implementación de esquemas intensivos

(Gerding, 1991). Los regímenes menos intensivos o extensivos están destinados a la producción ya sea de madera pulpable o madera aserrada, generalmente se caracteriza por llevar a cabo raleos comerciales, los cuales corresponden a una intervención intermedia para extraer árboles jóvenes cuya madera ya tiene valor comercial, esta práctica permite generar retornos intermedios durante el ciclo de desarrollo del bosque antes de la cosecha final (Quiroz & Steenbuck, 2001). Los regímenes intensivos están destinados principalmente a la producción de trozas podadas libres de nudos, este régimen involucra la aplicación de podas y raleos a desecho que se enfoca en eliminar árboles mal formados que favorecen la formación de trozas de calidad (Gerding, 1991).

La diferencia entre ambos regímenes es principalmente que aquellas trozas obtenidas de los manejos extensivos tienden a ser de menor calidad resultado de una mayor proporción de madera estructural, mientras que por otro lado los manejos intensivos producen trozas de mayor calidad, las cuales se suelen vender a un mayor precio. Bown (1997) Señala que no existe un régimen estándar y único que pueda utilizarse en cualquier situación y que para determinar cuál es el régimen óptimo para una situación dada, se debe contar primeramente con un simulador para poder predecir los efectos de las intervenciones por tipo de producto y conocer los objetivos de la producción además de analizar la factibilidad técnica y financiera de realizarlos.

Para obtener mejores resultados en las plantaciones forestales se implementan diversas tecnologías silvícolas, las cuales involucran técnicas de establecimiento

como la fertilización, el control de malezas, mejoramiento genético y la preparación de suelos (Mead, 2013). Así como también intervenciones silvícolas como las podas y raleos, las cuales varían según su oportunidad, frecuencia e intensidad (Bown, 1997). Las podas poseen una diversidad de objetivos, pero el principal es la obtención de madera libre de nudos, según Meneses & Guzmán (2000b) se detecta que la producción se potencia con la aplicación de podas tempranas y frecuentes. Los raleos permiten mejorar el crecimiento de los árboles remanentes, siendo su objetivo lograr el mayor diámetro posible a la edad de cosecha. En cuanto a la densidad, Mason (2023) establece que tiene un efecto significativo sobre múltiples aspectos, en los cuales se destacan las tasas de crecimiento, mortalidad, conformación del fuste y propiedades de la madera, así como también otras variables como la estabilidad frente al viento y la competencia con la vegetación competidora existente.

Las estrategias de silvicultura temprana en el establecimiento junto con las de intervenciones silvícolas en la silvicultura intermedia, permiten una mayor productividad, de esta manera con la introducción de más tecnología aumenta la producción, no obstante, cabe mencionar que no en todas las condiciones edafoclimáticas las prácticas de establecimiento e intervenciones intensivas tienen efectos económicos positivos, por lo que es fundamental realizar evaluaciones e análisis detallados antes de aplicar estas prácticas. Estudios realizados en Chile han evidenciado que la productividad es sensible a la disponibilidad de agua en el suelo durante el periodo de crecimiento vegetativo y al periodo libre de heladas (Schlatter y Gerding 1999; Álvarez et al., 2013; Ojeda et al., 2018).

Se debe tener en cuenta que existen factores que limitan el crecimiento y que no son posibles de eliminar o reducir lo suficiente para asegurar una rentabilidad positiva mínima. En múltiples de estos casos, se tratan de suelos que no deberían destinarse a plantaciones forestales (Meneses & Guzmán, 2000a).

En Chile en el año 2000 se alertaba sobre la deficiente asignación de regímenes silviculturales, enfatizando una mala utilización de los sitios por lo que muchos no lograban su máximo valor potencial (Meneses & Guzmán, 2000a). La reducción de estos desvíos en la asignación de los regímenes de manejo y el mejor cumplimiento tanto en la oportunidad de las podas como en los raleos generan mayor rentabilidad (Niklitschek et al., 2024). En Nueva Zelanda el enfoque silvicultural se ha basado en priorizar la calidad de la madera aumentando el valor de la inversión en plantaciones podadas, sacrificando la producción volumétrica. Sin embargo, en los últimos años el enfoque se ha estado orientando cada vez más a regímenes estructurales para la producción de madera de uso para la construcción, ya que suelen requerir una menor inversión por árbol, donde se prioriza, la rigidez y estabilidad de la madera (aunque se requiere mayor investigación sobre los factores que influyen en estos), también se prioriza la producción de volumen, con buenos retornos financieros una vez que la madera alcanza el módulo de elasticidad mínimo requerido que es de 8 Gpa (Mason, 2023).

Existen diversos criterios para asignar el tipo de manejo a implementar, como la topografía, índice de sitio, accesibilidad al predio, el estado inicial de la plantación y las distancias entre la ubicación del predio y los poderes de compra existentes en

el mercado cercano disponible, de los criterios mencionados se destaca principalmente el Índice de sitio. Se recomienda emplear una silvicultura específica dada las condiciones de cada sitio, de esta manera se puede anticipar y mitigar pérdidas en la productividad del rodal y mejorar su rentabilidad (Toro, 2004).

Un tema de relevancia a tener en consideración es el cambio climático, ya que su efecto eventualmente provocaría que cambien los probables escenarios a futuro, por ende, muchos sitios sufrirían una disminución en su calidad. Proyecciones realizadas en el país bajo este escenario demuestran que dependiendo de la zona, se observarían caídas importantes en el índice de sitio como resultado de las mayores temperaturas y menores precipitaciones (Niklitschek et al., 2024).

Los criterios financieros aplicados a las plantaciones, para evaluar su rentabilidad como el valor potencial del suelo, provocan la necesidad de buscar los mejores sitios para establecer la especie *Pinus radiata* D. DON, maximizando la rentabilidad a través de la producción de madera (volumen y calidad) y minimizando los costos de producción (Gerding, 1991). Se discute, en que niveles de índices de sitio es conveniente aplicar regímenes intensivos orientados a obtener trozas de alto valor, según Meneses & Guzmán (2000b) los mejores sitios para estos manejos son iguales o mayores a 32 metros, siendo 29 metros el índice de sitio mínimo posible con el que se logra obtener trozas podadas, aunque cabe recalcar que se detecta una situación con menor potencial de producción de estas.

En este trabajo de titulación se busca evaluar y dar respuesta de hasta qué nivel de índice de sitio resulta rentable la realización de la poda, se pondrá a prueba la teoría de que el índice mínimo para realizarlo es de 29 metros, implementando propuestas de manejo silvícola, evaluándolos en sitios considerados de calidad media y baja, para de esta manera determinar cuándo termina siendo más económicamente factible el cambiar de régimen y aplicar otro tipo de manejo.

En base a la información presentada se establecen los siguientes objetivos:

**Objetivo general:**

- Evaluar propuestas de esquemas de manejo de *Pinus radiata* D. DON para la producción de trozas podadas y no podadas en sitios de productividad baja a media.

**Objetivos específicos:**

- Revisar antecedentes de propuestas de manejo de *Pinus radiata* D. DON creciendo en sitios de mediana y baja calidad.
- Realizar propuestas de manejo para producir madera sólida en base a plantaciones de *Pinus radiata* D. DON.
- Evaluar en términos volumétricos y económicos las propuestas de manejo para producir madera sólida.

## II. METODOLOGÍA

### 2.1 Área de estudio

Los objetivos establecidos se evaluaron bajo escenario de simulación, a través del simulador insigne versión académica, este consta con la zona de crecimiento 1, la cual presenta múltiples variaciones geográficas, climáticas y edáficas que influyen directamente en su productividad. La zona de crecimiento 1 se ubica entre el secano costero de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins (VI Región) y el secano interior de la Región del Maule (VII Región).



Figura 1. Zona de Crecimiento 1, Fuente (Modelo nacional de simulación)

## **2.2 Modelo nacional de simulación (MNS)**

Es una herramienta capaz de predecir con un alto nivel de detalle el desarrollo de las plantaciones desde el momento de su establecimiento hasta el momento de la cosecha final. El MNS se utilizó para evaluar diversos tipos de manejos para la obtención de trozas podadas y no podadas. Se ingresaron datos de silvicultura temprana para el establecimiento y posteriormente se probaron diferentes esquemas de manejo en diferentes niveles de índice de sitio con el fin de proyectar el volumen de los productos podados y no podados, lo cual permitió realizar la toma de decisiones necesarias, como por ejemplo el saber si es conveniente o no llevar a cabo intervenciones silvícolas (poda y raleo). Esta información permitió el planificar y determinar el manejo más eficiente en cada situación.

## **2.3 Antecedentes de la aplicación de propuestas de manejo en sitios bajos y medios**

Para determinar cuál es el rango de valores de índices de sitio (IS) que se consideran de calidad baja y media, se consultó la perspectiva y experiencia de profesionales conocedores del tema que ya han trabajado con empresas forestales. Se determinó que índices de sitio menores a 24 metros ( $IS \leq 24$ ) se consideran bajos y aquellos entre 24 y 29 metros se consideran medios en términos generales.

J.C. Becker (comunicación personal 22 de julio, 2025)

Generalmente en los mejores sitios ( $IS > 29$ ) se implementan esquemas de manejos intensivos para producir trozas podadas, estos sitios altos se utilizaron con fines de comparación con los sitios bajos y medios. En los sitios de productividad media se suele realizar una poda de hasta 3 metros de altura, además de un raleo comercial, estas actividades se llevan a cabo para la producción de trozas principalmente aserrables (Niklitschek et al., 2024). En sitios de calidad baja según Meneses & Guzmán (2000b), la situación es completamente desfavorable para la producción de madera clear, por ende, suele destinarse a trozas aserrables y pulpables, las actividades por lo general incluyen un raleo temprano a desecho y ausencia de fertilización.

## **2.4 Diseño de propuestas de manejo silvícola**

Para la elaboración de los esquemas de manejos se consideraron múltiples factores, uno de ellos fue la ya mencionada calidad del sitio, esta se utilizó para determinar la capacidad de respuesta de la plantación ante las propuestas de manejo de intervención silvícola, mientras mejor sea la calidad del sitio, mayor es la capacidad para producir productos de calidad.

Otro factor es el tipo de propietario, ya que a diferencia de las grandes empresas, otros tipos de propietarios no suelen producir trozas libres de nudos eliminando la realización de podas en los regímenes de manejo, independiente de la calidad de los sitios, estas diferencias se deben principalmente al mayor costo financiero de esta operación y menor conocimiento (Niklitschek et al., 2024).

Por último, se consideró los poderes de compra, donde la decisión de la asignación de esquemas de manejo obedece primeramente a la necesidad de abastecer de madera a la industria más cercana al predio, la cual no necesariamente corresponde a los productos que maximizan la renta del suelo (Niklitschek et al., 2024). Cabe mencionar que para que los manejos fueran estrictamente comparables se asumió la existencia de todos los poderes de compra de los productos generados por los esquemas propuestos.

## **2.5 Análisis de rentabilidad**

La eficiencia silvícola de un predio en un sitio específico se refleja económicamente por medio de la renta del suelo, según Meneses & Guzmán (2000a) en el ámbito forestal la manera clásica de determinar la renta es por medio del Valor Potencial del Suelo (VPS), el cual representa el precio máximo a pagar por un suelo al dedicarlo manera indefinida al cultivo forestal, posteriormente la renta es la capitalización de este precio.

### **2.5.1 Valor potencial del suelo (VPS)**

Es un enfoque creado en 1849 por el tasador alemán Martin Faustmann, Según Chacón (1995) se define como el valor actual de una serie infinita de pagos constantes que ocurren cada cierto número de periodos, dicho de otra manera, es

el valor actual de los beneficios netos de las rotaciones futuras planificadas bajo un esquema de manejo determinado. Se utilizó el VPS como indicador económico de la rentabilidad de los procesos tecnológicos propuestos.

$$VPS = \frac{\sum_{n=0}^t [V(1+r)^{t-n} - C(1+r)^{t-n}] - Cr}{(1+r)^t - 1} - Co - \frac{A}{r}$$

donde:

***VPS*** es el valor potencial del suelo (US\$/ha)

***Co*** es costo de establecimiento de la primera plantación

***Cr*** es costo de establecimiento de las siguientes plantaciones

***V(t)*** es ingresos por corta final

***r*** es Tasa de Interés (8%)

***A*** es costo de administración anual

***t*** es turno de rotación

## **2.5.2 Razón beneficio y costo (Razón b/c)**

Se define como la razón de los beneficios y los costos asociados a un proyecto, para su calculo se requiere que ambos se encuentren en unidades comunes (US\$/ha), además se deben trasladar todos los flujos efectivos a una misma unidad de tiempo (valor presente). El propósito de este indicador es determinar la conveniencia de un proyecto a partir de los costos y beneficios que se derivan de él (Aguilera, 2017).

$$\text{Razón } (b/c) = \frac{\text{Beneficios}_t * (1 + i)^{-t}}{\text{Costos}_t * (1 + i)^{-t}}$$

donde:

**Beneficios<sub>t</sub>** es el ingreso generado en el año *t* (venta de madera podada en edad optima de rotación)

**Costos<sub>t</sub>** son los costos incurridos en el año *t* (costos de poda en edad que se aplicó)

*i* es la tasa de interés (8%)

$(1 + i)^{-t}$  es el factor de actualización (convierte un valor futuro en su equivalente presente)

### III. RESULTADOS y DISCUSIÓN

#### 3.1 Propuestas de manejo silvícola

Se realizó la creación de propuestas de manejo silvícola para producir madera sólida en plantaciones de *Pinus radiata* en las tres calidades de sitio previamente descritas, utilizando un índice de sitio de 24 m para evaluar los sitios bajos, IS 29 para sitios medios y IS 32 para los sitios altos. Las propuestas de manejo constan de 4 manejos aserrables sin poda para producir madera aserrada y 4 manejos aserrables con poda para madera libre de defectos (Clear), además se evaluó una propuesta en la cual no se realizó ningún manejo para obtener madera pulpable, esto con el objetivo de comparar con los otros y de esta manera determinar cuál de todos estos tipos de manejo conviene aplicar en las determinadas calidad de sitio.

Tabla 1. Esquemas de manejos aserrables sin poda o extensivos propuestos, con densidad inicial de 1100 (arb/ha) con diferentes actividades, intensidad y frecuencia.

Actividades	Esquema extensivo 1	Esquema extensivo 2	Esquema extensivo 3	Esquema extensivo 4
Poda 1 Poda 2 Poda 3	Sin poda	Sin poda	Sin poda	Sin poda
Raleo desecho	-	-	5 años/ 610 arb	5 años/ 640 arb
Raleo comercial 1	13 años / 570 arb	8 años/ 670 arb	13 años/ 390 arb	-
Raleo comercial 2	-	13 años/ 510 arb	-	-

Los manejos “extensivos”, no produjeron madera libre de nudos ya que no se aplicaron podas, esto es beneficioso para ahorrar el costo de su aplicación, lo cual es ideal en sitios que no tienen la capacidad de generar trozas podadas, obteniendo madera aserrada y pulpable del empleo de raleos comerciales y raleos a desecho.

Tabla 2. Esquemas de manejo aserrables con poda o intensivos propuestos, cada uno consta de una densidad inicial de 1100 (arb/ha).

Actividades	Esquema intensivo 1	Esquema intensivo 2	Esquema intensivo 3	Esquema intensivo 4
Poda 1	5 años / 360 arb / 3 m	5 años / 500arb / 3 m	5 años / 550 arb / 3 m	5 años / 450 arb / 2,6 m
Poda 2			6 años / 550 arb / 5,5 m	6 años / 450 arb / 3,6 m
Poda 3				7 años / 450 arb / 5,5 m
Raleo desecho	5 años / 500 arb	5 años / 500 arb	5 años / 550 arb	5 años / 450 arb

Los manejos “intensivos” propuestos constan con diferentes altura, intensidad y frecuencia de poda. Se decidió aplicar solamente raleos a desecho ya que los raleos comerciales al ser cortas intermedias no lograban el diámetro mínimo para obtener trozas podadas, obteniendo estas menores ganancias a nivel económico. Teniendo en consideración que en los manejos intensivos es necesario evaluar la efectividad de las podas realizadas, se decidió el podar todos los árboles remanentes del raleo, para un análisis de mayor precisión, solo se dejó ajeno a este objetivo el manejo intensivo 1 con el objeto de comparar con el manejo intensivo 2.

Estos manejos presentan mejores resultados en sitios considerados buenos ya que estos tienen una mayor capacidad para producir trozas podadas generando

ganancias. Ahora cabe mencionar que la efectividad de la aplicación de las podas debió ser evaluada de forma aislada para calcular su rentabilidad y así determinar si es conveniente o no su utilización.

### 3.2 Costos de las actividades silviculturales y precio de productos.

Una vez generadas las propuestas de manejo, se procedió a determinar los costos correspondientes de las actividades aplicadas tanto en la silvicultura temprana con el establecimiento de las plantaciones, como en la silvicultura intermedia que involucra las actividades de podas y raleos, estos costos fueron posteriormente utilizados con el fin de calcular el Valor potencial del suelo.

Tabla 3. Costos de valores de manejos. Fuente: SERFONAC LTDA.

<b>Costos de establecimiento (Empresas)</b>		<b>Valor USD/ha</b>
Roce	\$	476
Plantación (1100 arb/ha)	\$	108
Plantación (1400 arb/ha)	\$	138
Control de maleza	\$	59
Fertilización productiva	\$	64
<b>Costos de establecimiento (Otros propietarios)</b>		<b>Valor USD/ha</b>
Roce	\$	127
Plantación (1100 arb/ha)	\$	195
Plantación (1400 arb/ha)	\$	228
Control de maleza	\$	221
<b>Manejos silviculturales</b>		<b>Valor USD/m3</b>
Raleo a desecho	\$	99
Primera poda	\$	155
Segunda poda	\$	130
Tercera poda	\$	123
<b>Costos variables</b>		<b>Valor USD/m3</b>
Raleo comercial	\$	7
Cosecha	\$	8
Transporte	\$	10

En la tabla 3, se presentan los costos de dos diferentes establecimientos iniciales los cuales contienen diferentes actividades y dos densidades iniciales, donde la densidad inicial de 1100 arb/ha se utilizó para evaluar manejos extensivos e intensivos y la densidad inicial de 1400 arb/ha se empleó para evaluar una propuesta sin manejo silvicultural. El primer establecimiento es el ideal que consta con la aplicación de roce, 3 controles de malezas (CM 123) y una fertilización (F), este tiene un mayor costo el cual generalmente pueden pagar las empresas forestales, el segundo establecimiento consta de roce y un solo control de maleza (CM 1) que generalmente lo pueden costear otros tipos de propietarios, los costos de manejos silviculturales y los variables se emplean en todos los manejos propuestos.

Tabla 4. Dimensión y valor de productos asignados a obtener.

<b>Productos</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>D. mínimo (cm)</b>	<b>Podado</b>	<b>(US\$/m<sup>3</sup>)</b>
Producto podado (Clear)	2,65	28	si	\$ 90
Producto aserrado con nudos (Aserr 1)	4,1	24	no	\$ 62
Productos aserrables con nudos (Aserr 2)	3,3	16	no	\$ 56
Producto pulpable	2,44	8	no	\$ 24

La tabla 4, presenta la creación del esquema de trozado introducido en el simulador para proceder a realizar la evaluación volumétrica y económica de los manejos propuestos, se contempla que los productos de mayor calidad como el producto de

madera libre de nudos (clear) y el aserrable largo de 24 cm de diámetro mínimo, son los que poseen un valor de precio mayor en el mercado.

### 3.3 Volumen obtenido de manejos aserrables sin poda propuestos.

Los manejos aserrables sin poda o extensivos, se deciden utilizar cuando no se tiene la tecnología para aplicar podas o resulta muy costoso podar, otro caso es cuando se cuenta con un poder seguro de compra aserrable y pulpable, ya que el aplicar este tipo de manejo tiende a proporcionar un mayor volumen de estos tipos de productos.

Tabla 5. Volumen por producto obtenido de los manejos extensivos propuestos y su edad óptima de cosecha, al aplicar diferente establecimiento inicial en IS 24.

MANEJO EXTENSIVO (IS 24)												
ESQUEMAS	Volumen (m <sup>3</sup> /ha) al aplicar CM (123) + F						Volumen (m <sup>3</sup> /ha) al aplicar CM (1)					
	Vol.Clear (28 cm)	Vol.Aserr (24 cm)	Vol.Aserr (16 cm)	Vol.Pulpa (8 cm)	Vol. Total	Edad de cosecha	Vol.Clear (28 cm)	Vol.Aserr (24 cm)	Vol.Aserr (16 cm)	Vol.Pulpa (8 cm)	Vol. Total	Edad de cosecha
EXT 1	0	123,1	120,5	63,8	307,4	21	0	75,3	112	58,4	245,7	21
EXT 2	0	120,5	113,6	56,7	290,8	21	0	113,6	119,2	56,9	289,7	24
EXT 3	0	134,2	90,2	41,3	265,7	21	0	135,3	88	42,8	266,1	24
EXT 4	0	129,2	127,5	67,7	324,4	21	0	78,1	117,7	61,8	257,6	21

En los manejos extensivos propuestos en calidad de sitio baja (IS 24), el que mayor volumen produjo al aplicar el establecimiento ideal, fue el manejo u esquema (4) con una edad óptima de rotación de 21 años y el que menor volumen total entregó fue el esquema (3) que se cosecha a la misma edad. En el caso de aplicar establecimiento no ideal se obtuvo mayor volumen en el manejo (2) con edad de rotación de 24 años y menor volumen en el esquema (1) a los 21 años. Como se

observa en este tipo de establecimiento se obtiene menor cantidad de volumen por productos y se debe esperar 3 años más para cosechar.

Tabla 6. Volumen por producto obtenido de los manejos extensivos propuestos y su edad optima de cosecha, al aplicar diferente establecimiento inicial en IS 29.

MANEJO EXTENSIVO (IS 29)												
ESQUEMAS	Volumen (m <sup>3</sup> /ha) de productos al aplicar CM (123) + F						Volumen (m <sup>3</sup> /ha) de productos al aplicar CM (1)					
	Vol.Clear (28 cm)	Vol.Aserr (24 cm)	Vol.Aserr (16 cm)	Vol.Pulpa (8 cm)	Vol. Total	Edad de cosecha	Vol.Clear (28 cm)	Vol.Aserr (24 cm)	Vol.Aserr (16 cm)	Vol.Pulpa (8 cm)	Vol. Total	Edad de cosecha
EXT 1	0	185,5	147,8	68,2	401,5	19	0	151	139,1	67,9	358	20
EXT 2	0	187,7	128,6	62,1	378,4	19	0	143,7	135,5	56,7	335,9	20
EXT 3	0	192	104,4	46,5	342,9	19	0	138,1	100,9	42,7	281,7	19
EXT 4	0	196,6	157,2	72,7	426,5	19	0	158,2	144,1	75,2	377,5	20

En la calidad de sitio media (IS 29), los manejos aplicados en condiciones de establecimiento inicial ideal, el esquema que resulto tener mayor volumen fue el (4) con 426,5 (m<sup>3</sup>/ha) a los 19 años, en el escenario de aplicar un establecimiento deficiente, el mayor volumen también se obtuvo con el esquema (4) que entrego 377,5 (m<sup>3</sup>/ha) pero a una edad de 20 años de rotación, es decir se atrasa un año la edad optima de rotación y se obtienen 49 (m<sup>3</sup>/ha) menos.

Se observo que en ambos escenarios el esquema que genero menor cantidad de volumen total fue el esquema (3) el cual produjo menor cantidad de volumen de producto pulpable y aserrable corto de diámetro mínimo 16 cm, lo cual indica que las actividades silvícolas que se propusieron en este manejo, es decir dos raleos comerciales no son recomendables de realizar.

Tabla 7. Volumen por producto obtenido de los esquemas extensivos propuestos y su edad optima de rotación al aplicar diferente establecimiento inicial en IS 32.

MANEJO EXTENSIVO (IS 32)												
ESQUEMAS	Volumen (m <sup>3</sup> /ha) de productos al aplicar CM (123) + F						Volumen (m <sup>3</sup> /ha) de productos al aplicar CM (1)					
	Vol.Clear (28 cm)	Vol.Aserr (24 cm)	Vol.Aserr (16 cm)	Vol.Pulpa (8 cm)	Vol. Total	Edad de cosecha	Vol.Clear (28 cm)	Vol.Aserr (24 cm)	Vol.Aserr (16 cm)	Vol.Pulpa (8 cm)	Vol. Total	Edad de cosecha
EXT 1	0	208,8	162,9	72,9	444,6	18	0	184,6	160	74,2	418,8	19
EXT 2	0	208	147,2	60,5	415,7	18	0	195,3	136	61,6	392,9	19
EXT 3	0	223,1	104,2	48,6	375,9	18	0	200,4	111,5	44,4	356,3	19
EXT 4	0	231,9	165	76,2	473,1	18	0	194,6	169,6	78,7	442,9	19

En la calidad de sitio alta (IS 32), nuevamente como en las demás calidades de sitio el que mayor volumen total obtuvo fue el esquema (4) y el que menor cantidad de volumen produjo fue el esquema (3) a los 18 y 19 años respectivamente. Se observó que a medida que mejoraba la calidad del sitio se incrementaba la cantidad de volumen producido por producto y disminuía la edad de rotación óptima para cosechar, además en todos los casos el volumen fue menor al aplicar un establecimiento deficiente y la edad de cosecha se aplazó.

### 3.4 Volumen obtenido de manejos aserrables con poda propuestos.

Los esquemas aserrables con poda o intensivos, son recomendables cuando se tiene un poder de compra seguro de madera libre de nudos y una calidad de sitio suficientemente buena que permita generar tales trozas podadas, esto sabiendo que implica un manejo intensivo que involucra costos de poda y raleos, pero aun así el beneficio vale esta inversión. En este contexto se esperó obtener volumen de productos podados y productos aserrables .

Tabla 8. Volumen por producto obtenido de los esquemas intensivos propuestos y su edad optima de cosecha al aplicar diferente establecimiento inicial en IS 24.

MANEJO INTENSIVO (IS 24)												
ESQUEMAS	Volumen (m <sup>3</sup> /ha) de productos al aplicar CM (123) + F						Volumen (m <sup>3</sup> /ha) de productos al aplicar CM (1)					
	Vol.Clear (28 cm)	Vol.Aserr (24 cm)	Vol.Aserr (16 cm)	Vol.Pulpa (8 cm)	Vol. Total	Edad de cosecha	Vol.Clear (28 cm)	Vol.Aserr (24 cm)	Vol.Aserr (16 cm)	Vol.Pulpa (8 cm)	Vol. Total	Edad de cosecha
INT 1	31,3	62,9	90	47	231,2	21	20,9	43,6	88,5	50,3	203,3	23
INT 2	32,4	72,2	97	51,9	253,5	21	20,7	48	89,9	51,8	210,4	24
INT 3	52,2	53,8	102,4	59,9	268,3	23	19,8	47,1	94	58,9	219,8	24
INT 4	61,4	60,8	95,5	49,8	267,5	23	28,5	39,7	83	50,2	201,4	23

Se observo que para manejos intensivos en calidad de sitio bajo los valores de volumen total obtenidos disminuyen en comparación con los manejos extensivos, siendo el mayor de estos 268,5 (m<sup>3</sup>/ha) producidos en el esquema (3) a la edad de 23 años al aplicar un buen establecimiento y si este es deficiente el mejor esquema es el (3) con 219,8 (m<sup>3</sup>/ha) a los 24 años, en ambos escenarios el peor esquema fue el (1) donde se obtuvieron 54,4 (m<sup>3</sup>/ha) y 29,3 (m<sup>3</sup>/ha) menos que en los mejores esquemas pero con una rotación más corta, 21 y 23 años respectivamente.

Tabla 9. Volumen por producto obtenido de los esquemas intensivos propuestos y su edad optima de cosecha al aplicar diferente establecimiento inicial en IS 29.

MANEJO INTENSIVO (IS 29)												
ESQUEMAS	Volumen (m <sup>3</sup> /ha) de productos al aplicar CM (123) + F						Volumen (m <sup>3</sup> /ha) de productos al aplicar CM (1)					
	Vol.Clear (28 cm)	Vol.Aserr (24 cm)	Vol.Aserr (16 cm)	Vol.Pulpa (8 cm)	Vol. Total	Edad de cosecha	Vol.Clear (28 cm)	Vol.Aserr (24 cm)	Vol.Aserr (16 cm)	Vol.Pulpa (8 cm)	Vol. Total	Edad de cosecha
INT 1	49,7	149,8	121,6	53,2	374,3	19	40	122,8	109,3	58	330,1	21
INT 2	48,9	147,6	120,7	52,7	369,9	19	43,5	127,7	121,7	53	345,9	22
INT 3	83	108,4	123,2	66,3	380,9	20	63,2	80,2	132,6	56,5	332,5	23
INT 4	91,8	113,5	115,1	51,4	371,8	20	64,2	79,9	125	51,6	320,7	21

En la calidad de sitio medio, en los manejos aplicados en establecimiento ideal, se mantiene la tendencia de que el esquema (3) el cual produce mayor volumen de productos aserrables cortos y pulpables es el que generan mayor cantidad de volumen total, por otro lado, esta tendencia cambio al aplicar el establecimiento no ideal, ya que el esquema (2) que produjo mayor volumen de productos aserrables largos y cortos de 24 y 16 cm de diámetro mínimo respectivamente, fue el esquema de mayor volumen total. Sin embargo, ambos casos presentan una edad de rotación más larga que en otros manejos con 20 y 22 años respectivamente.

Tabla 10. Volumen por producto obtenido de los esquemas intensivos propuestos y su edad optima de cosecha al aplicar diferente establecimiento inicial en IS 32.

MANEJO INTENSIVO (IS 32)												
ESQUEMAS	Volumen (m <sup>3</sup> /ha) de productos al aplicar CM (123) + F						Volumen (m <sup>3</sup> /ha) de productos al aplicar CM (1)					
	Vol.Clear (28 cm)	Vol.Aserr (24 cm)	Vol.Aserr (16 cm)	Vol.Pulpa (8 cm)	Vol. Total	Edad de cosecha	Vol.Clear (28 cm)	Vol.Aserr (24 cm)	Vol.Aserr (16 cm)	Vol.Pulpa (8 cm)	Vol. Total	Edad de cosecha
INT 1	52,4	183,3	129,3	55,5	420,5	18	52,5	177,1	131,4	54,4	415,4	20
INT 2	51,8	173,7	135,6	55,7	416,8	18	46,7	150,5	125,6	60	382,8	19
INT 3	96,2	125,1	148	64,8	434,1	19	79,8	107,4	143	65,4	395,6	20
INT 4	100,7	129,8	118,3	55	403,8	18	84,5	107,3	112,4	54,2	358,4	19

En manejos intensivos aplicados en calidad de sitio buena, se vuelve a repetir la tendencia mencionada, siendo el manejo de mayor volumen total el esquema (3) a los 19 años el cual también fue el mejor en cuanto a volumen obtenido en las tres calidades de sitios cuando se aplicó un establecimiento ideal, en el escenario de aplicar un establecimiento no ideal el mayor volumen se obtuvo en el esquema (1) a una edad de rotación de 20 años, se observó que bajo este escenario el esquema que produce mayor volumen total fue variando según la calidad del sitio.

### 3.5 Volumen obtenido en propuesta sin manejo silvicultural

La propuesta de no aplicar ningún tipo de manejo silvícola es recomendable en los casos en los cuales la calidad de sitio es baja y el único poder de compra disponible es el producto pulpable.

Tabla 11. Volumen por producto al no aplicar manejo silvícola, en dos diferentes tipos de establecimiento inicial en IS 24.

SIN MANEJO (IS 24)												
ESQUEMAS	Volumen (m <sup>3</sup> /ha) al aplicar CM (123) + F						Volumen (m <sup>3</sup> /ha) al aplicar CM (1)					
	Vol.Clear (28 cm)	Vol.Aserr (24 cm)	Vol.Aserr (16 cm)	Vol.Pulpa (8 cm)	Vol. Total	Edad de cosecha	Vol.Clear (28 cm)	Vol.Aserr (24 cm)	Vol.Aserr (16 cm)	Vol.Pulpa (8 cm)	Vol. Total	Edad de cosecha
Pulpable	0	111,4	172,7	102,5	386,6	23	0	70,3	138,2	103,6	312,1	23

Al no aplicar manejo silvícola se obtuvo una mayor cantidad de volumen total que en los manejos extensivos e intensivos, en la situación de establecimiento inicial ideal resulto 62,2 (m<sup>3</sup>/ha) y 101,1 (m<sup>3</sup>/ha) más que en los otros tipos de manejo, adicionalmente la edad de rotación optima fue dos años antes que el manejo extensivo y a la misma edad que el manejo intensivo. Ahora al aplicar un establecimiento deficiente el volumen total resulto ser 22,4 (m<sup>3</sup>/ha) y 79,5 (m<sup>3</sup>/ha) mayor y la edad de cosecha fue un año antes que los otros tipos de manejo.

Tabla 12. Volumen por producto al no aplicar ningún manejo silvícola, en dos diferentes tipos de establecimiento inicial en IS 29.

SIN MANEJO (IS 29)												
ESQUEMAS	Volumen (m <sup>3</sup> /ha) al aplicar CM (123) + F						Volumen (m <sup>3</sup> /ha) al aplicar CM (1)					
	Vol.Clear (28 cm)	Vol.Aserr (24 cm)	Vol.Aserr (16 cm)	Vol.Pulpa (8 cm)	Vol. Total	Edad de cosecha	Vol.Clear (28 cm)	Vol.Aserr (24 cm)	Vol.Aserr (16 cm)	Vol.Pulpa (8 cm)	Vol. Total	Edad de cosecha
Pulpable	0	144,5	189	109,8	443,3	19	0	128,8	180,6	110,1	419,5	21

En la calidad de sitio medio, para el escenario de establecimiento ideal se obtuvo 16,8 (m<sup>3</sup>/ha) y 49,3 (m<sup>3</sup>/ha) más que los manejos extensivos e intensivos, la edad de cosecha fue a los 19 años, la misma que el manejo extensivo y un año antes que el manejo intensivo. En el escenario de establecimiento inicial deficiente resultó ser 42 (m<sup>3</sup>/ha) y 73,6 (m<sup>3</sup>/ha) mayor, con una edad óptima de rotación a los 21 años es decir se corta la plantación un año después que el manejo extensivo y un año antes que el manejo intensivo.

Tabla 13. Volumen por producto al no aplicar ningún manejo silvícola, en dos diferentes tipos de establecimiento inicial en IS 32.

SIN MANEJO (IS 32)												
ESQUEMAS	Volumen (m <sup>3</sup> /ha) de productos al aplicar CM (123) + F						Volumen (m <sup>3</sup> /ha) al aplicar CM (1)					
	Vol.Clear (28 cm)	Vol.Aserr (24 cm)	Vol.Aserr (16 cm)	Vol.Pulpa (8 cm)	Vol. Total	Edad de cosecha	Vol.Clear (28 cm)	Vol.Aserr (24 cm)	Vol.Aserr (16 cm)	Vol.Pulpa (8 cm)	Vol. Total	Edad de cosecha
Pulpable	0	191	223,5	114,8	529,3	19	0	166,7	207,9	117,4	492	20

En la calidad de sitio alta, en el primer escenario resultó ser mayor 56,2 (m<sup>3</sup>/ha) y 105,7 (m<sup>3</sup>/ha) en comparación con los otros manejos esto debido a que este genera una mayor cantidad de volumen pulpable y aserrable corto, la edad de rotación fue a los 19 años siendo un año después tanto en los esquemas extensivos e intensivos. En el segundo escenario se generó 49,1 (m<sup>3</sup>/ha) y 76,6 (m<sup>3</sup>/ha) más con una edad de cosecha de 20 años, siendo un año después que en el manejo extensivo y a la misma edad en el manejo intensivo.

### 3.6 Proporción de productos del volumen total obtenido

Como el objetivo de este trabajo de investigación es generar las mejores propuestas de manejo silvícola para producir madera libre de defectos y madera aserrada estructural se evaluó la proporción por tipo de productos, para determinar cuales cumplen de mejor manera con el objetivo establecido, se consideró nuevamente dos establecimientos iniciales diferentes para identificar de esta manera como se comporta la proporción en ambos escenarios en las tres calidades de sitio definidas.

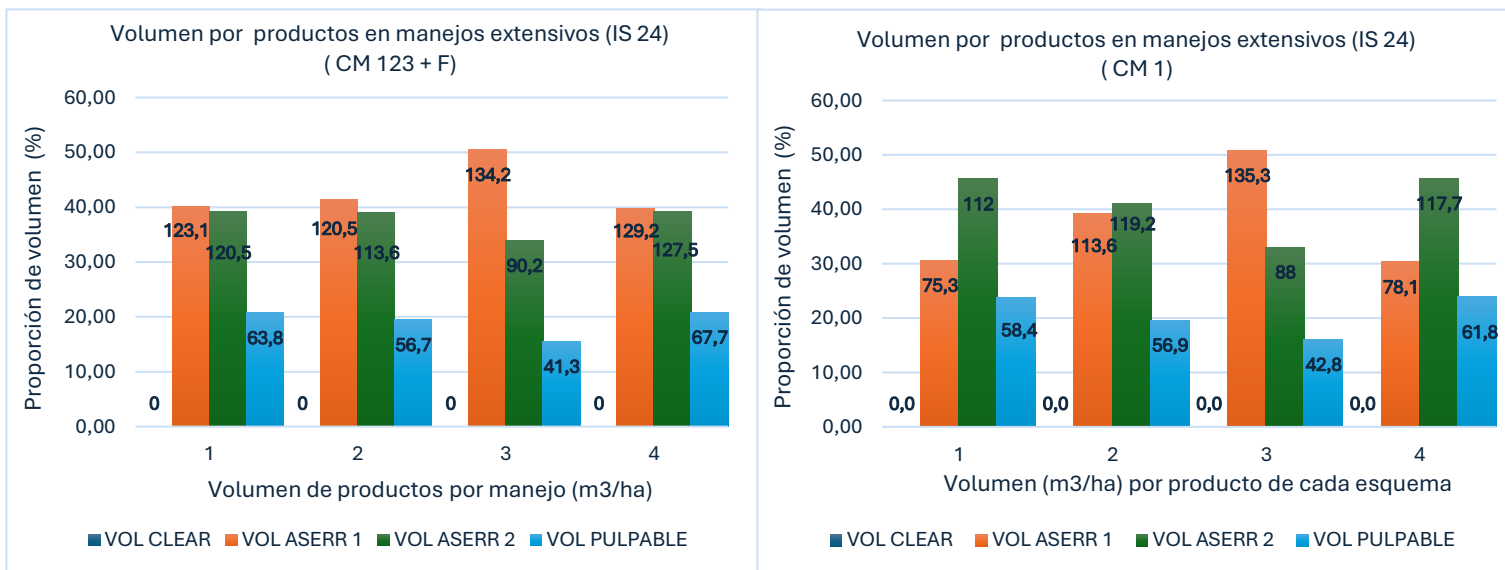


Figura 1. Porcentajes de volumen por productos del total obtenido de los esquemas aserrables sin poda propuestos en IS 24 con diferente establecimiento inicial.

Anteriormente se dictaminó que, en el primer escenario el manejo extensivo con mayor volumen obtenido fue el (4), ahora al evaluar la proporción de volumen por

producto, se observó que este presenta el mayor contenido de volumen pulpable con mas del 20% del volumen total, por ende, no cumple con el objetivo, por lo cual en este contexto el mejor esquema es el (3) ya que ofrece un mayor contenido de volumen aserrable estructural con un 50% y además apenas un 15% de pulpable. En el segundo escenario el manejo de mayor volumen fue el (2) en este caso es uno de los que menos proporción de volumen pulpable produjo y a la vez produce de forma equilibrada tanto volumen aserrable “largo” y “corto” ambos con aproximadamente 40%, por lo cual cumple con el objetivo.

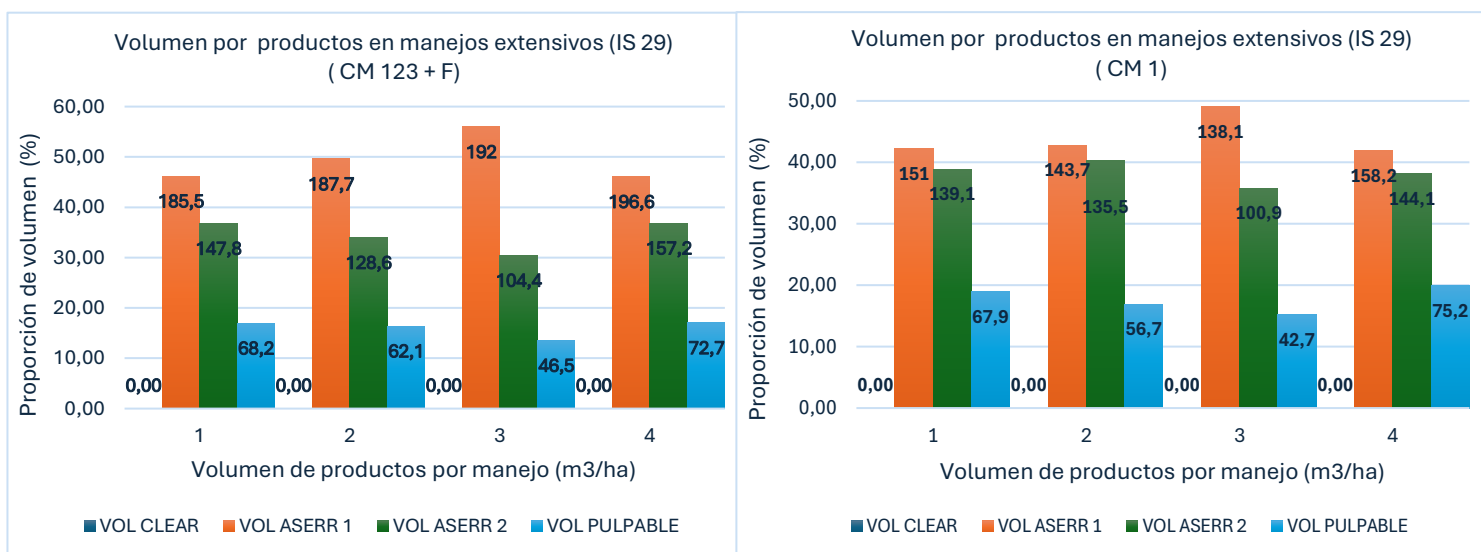


Figura 2. Porcentajes de volumen por productos del total obtenido de los esquemas aserrables sin poda propuestos en IS 29 con diferente establecimiento inicial.

En la calidad de sitio media, vuelve a ser evidente que el manejo extensivo (4) que resultado producir la mayor cantidad de volumen total en ambos escenarios de

establecimiento inicial fue también el que mayor proporción de volumen pulpable produjo siendo un 17% y 19% del volumen total. Se determino que el manejo que mejor cumplen el objetivo de producir madera aserrable al aplicar manejos extensivos en ambos casos es el (3) produciendo 55% y 49% de madera aserrada estructural y menor porcentaje pulpable con un 15% y 14% correspondientemente en cada uno de los escenarios mencionados.

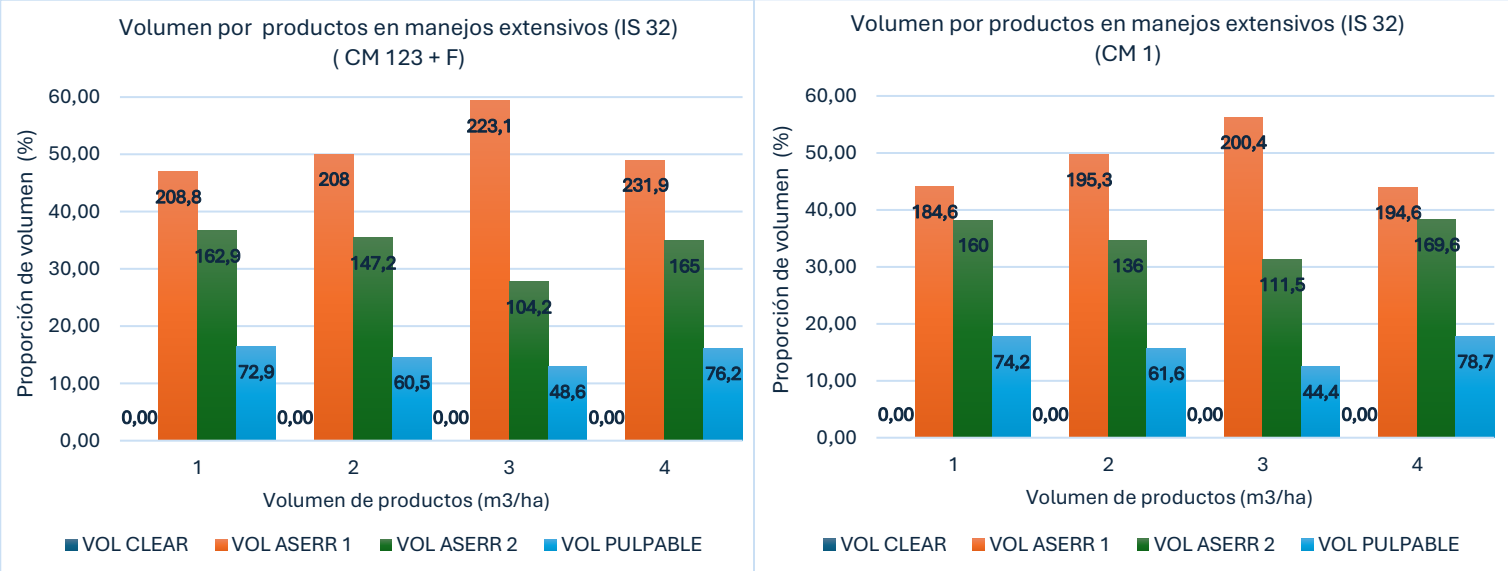


Figura 3. Porcentajes de volumen por producto del total obtenido de los esquemas aserrables sin poda propuestos en IS 32 con diferente establecimiento inicial.

En los sitios de calidad alta , el manejo (4) de mayor volumen en ambos escenarios es el que generó la más alta proporción de volumen pulpable junto con el manejo (1), por ende, para cumplir el objetivo propuesto el esquema más recomendable es

el (3) a pesar de que este produjo el menor contenido de volumen total, es el que resulto en una menor proporción pulpable con un 12% en ambos establecimientos, más del 50% en madera aserrable larga y en cuanto madera aserrable corta generó entre un 27% y 31 % en los respectivos escenarios de establecimientos.

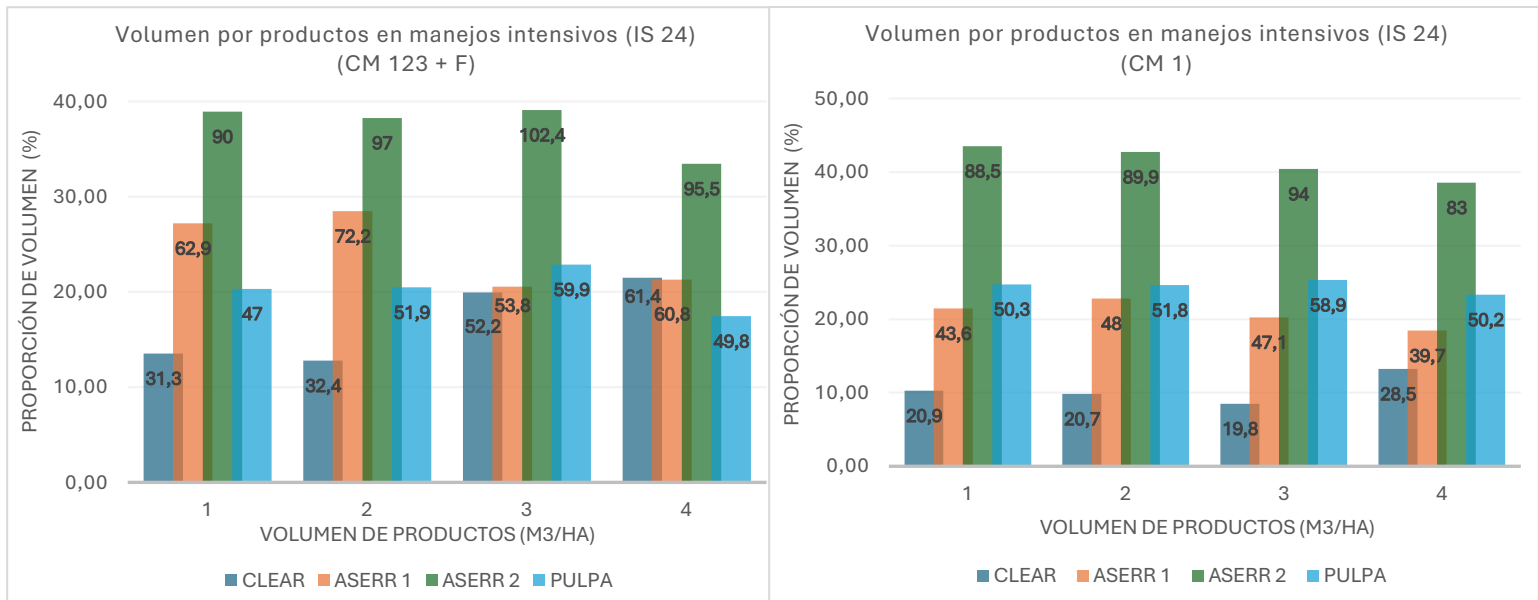


Figura 4. Porcentajes de volumen por producto del total obtenido de los esquemas aserrables con poda propuestos en IS 24 con diferente establecimiento inicial.

En los manejos intensivos a diferencia de los extensivos se puede obtener tanto trozas podadas que son las de mayor valor en el mercado, como trozas aserrables, en el caso de calidad de sitio bajo, en la anterior evaluación de volumen producido en el escenario de establecimiento ideal el que mayor volumen total generó fue el esquema (3), este consta de una proporción alta de madera podada y aserrable,

pero fue el que más alta proporción de producto pulpable produjo (23%), se determinó que el óptimo recomendable paso a ser el esquema (4) que entrego sobre el 20% de proporción de madera libre de nudos y 17% de pulpable. En el escenario no ideal de establecimiento el mejor esquema fue el (1) que, si bien no fue el que mayor volumen podado produjo, el diferencial al comparar con los demás esquemas de manejo es de apenas 2%, además a nivel general es el más equilibrado entre productos podados con un 10 % y la sumatoria de ambos aserrables con un 65%.

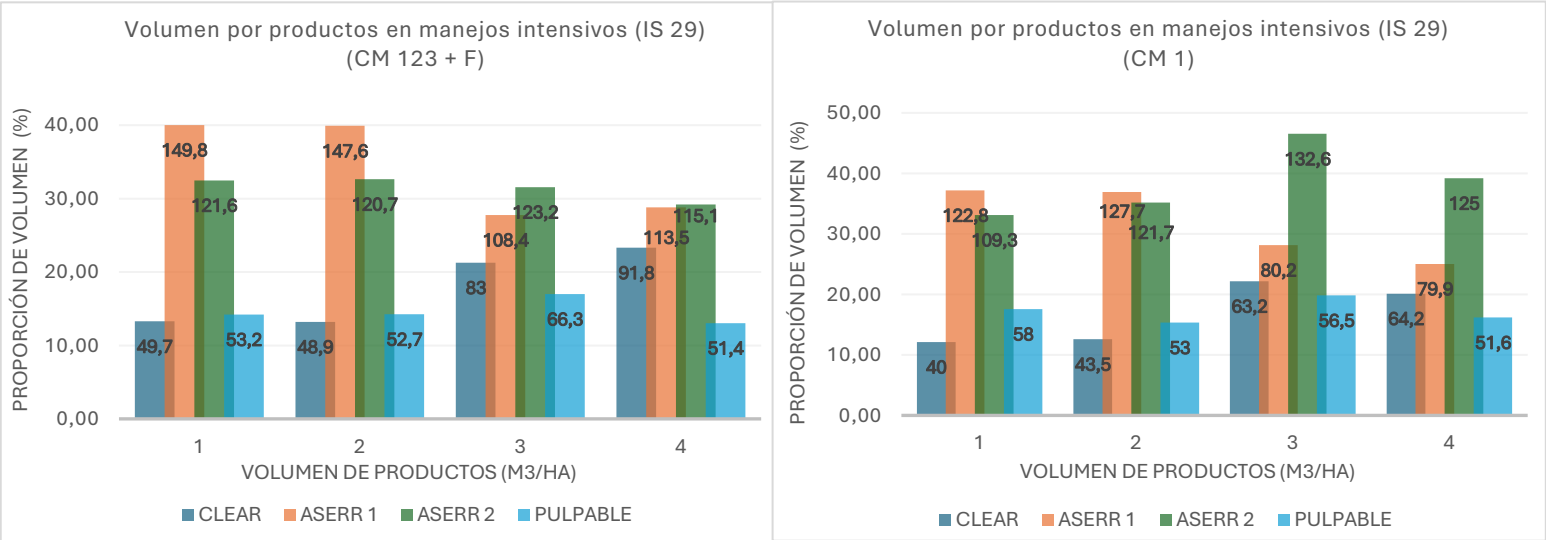


Figura 5. Porcentajes de volumen por producto del total obtenido de los esquemas aserrables con poda propuestos en IS 29 con diferente establecimiento inicial.

En la calidad de sitio media, es evidente una mejora en el volumen producido, sin embargo, la distribución del volumen por producto es variable, en el establecimiento ideal el manejo de mayor volumen de madera libre de nudos y menor contenido

pulpable es el esquema (4) sin embargo produce 10 % menos de madera aserrable largo, en comparación a otros esquemas, por lo cual termina no siendo beneficioso, considerando esto los esquema (1 y 2) se presentan como una opción mas segura, por su alta proporción de madera aserrable. En el establecimiento no ideal las proporciones de volumen están desequilibradas, el manejo (3) fue que entrego mayor volumen podado, pero a la vez fue el de mayor volumen pulpable, lo cual dificulta cumplir el objetivo.

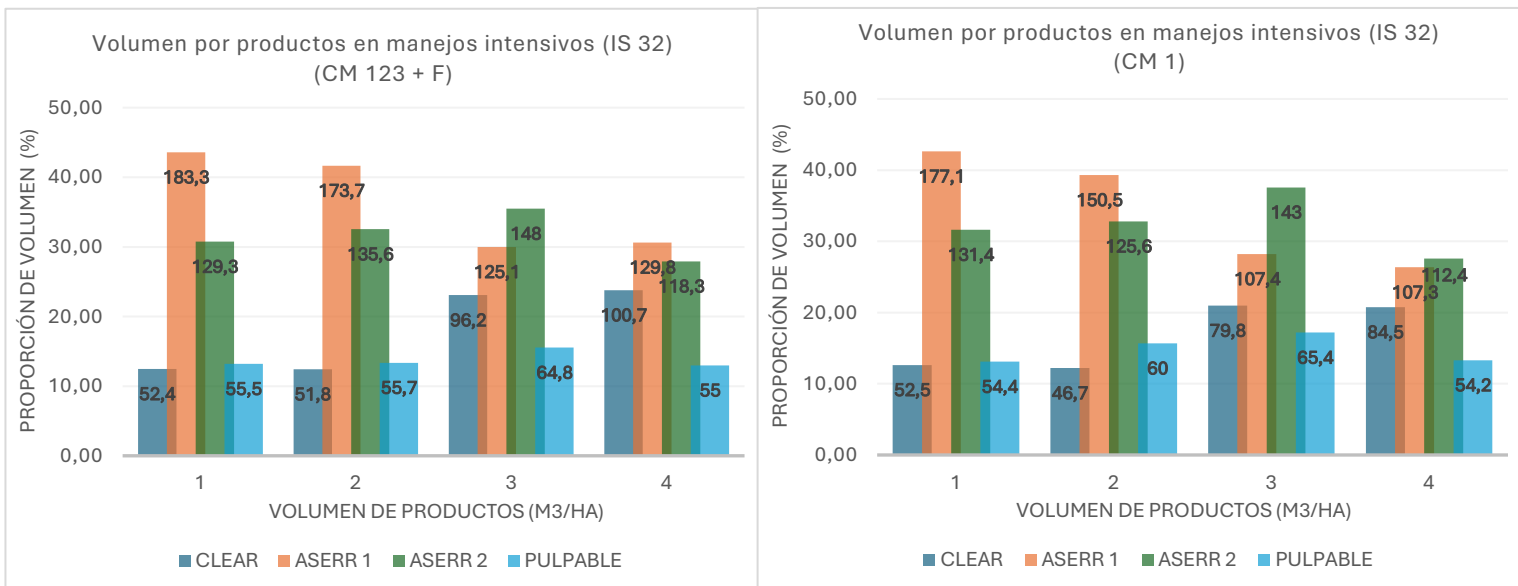


Figura 6. Porcentajes de volumen por producto del total obtenido de los esquemas aserrables con poda propuestos en IS 32 con diferente establecimiento inicial.

En la calidad de sitio alta, se vuelve mas evidente una tendencia en ambos escenarios, concretamente en el manejo (3) y es el hecho de que cuanto mayor sea el contenido de madera libre nudos la distribución de madera aserrable se vuelve

mas desequilibrada produciendo un 5 y 10 % más de aserrable corto que aserrable largo y además a la vez produce mayor contenido de madera pulpable que los otros manejos, esto oscureció el hecho de producir en mayor medida madera podada, convirtiéndole en un manejo ineficiente y no recomendable, por lo cual el manejo recomendado para cumplir el objetivo establecido seria el manejo (1) que generó menor contenido pulpable y madera aserrable de forma equilibrada en ambos establecimientos iniciales.

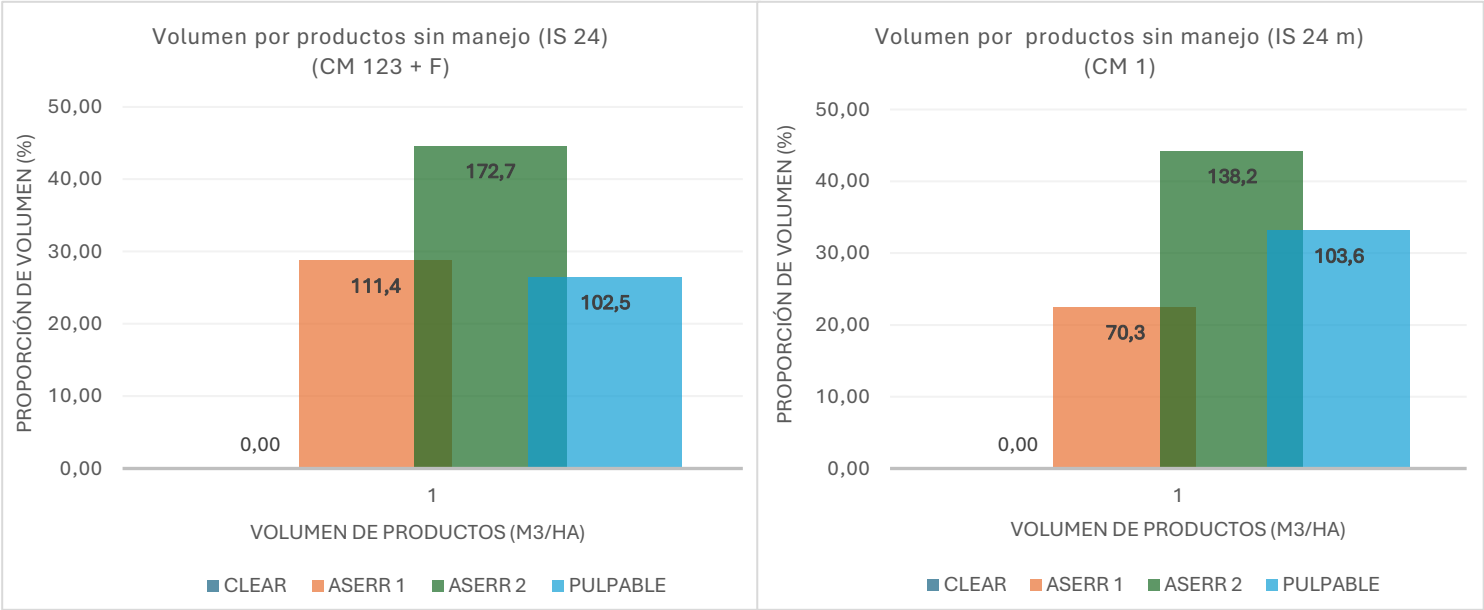


Figura 7. Porcentajes de volumen por producto del total obtenido de no aplicar manejo silvícola en IS 24 con diferente establecimiento inicial.

En el caso de no incurrir en manejos silviculturales, se observo en la calidad de sitio baja que en ambos escenarios se alcanzaron altos niveles de volumen pulpable con

valores sobre el 20% y 30 % del volumen total respectivo, lo cual es negativo para cumplir el objetivo deseado, pero por otro lado el alto nivel de volumen total lo posiciona como una opción en este tipo de sitios de mala calidad y también como se había mencionado anteriormente este manejo se vuelve útil en caso de que el único poder de compra disponible requiera productos pulpables.

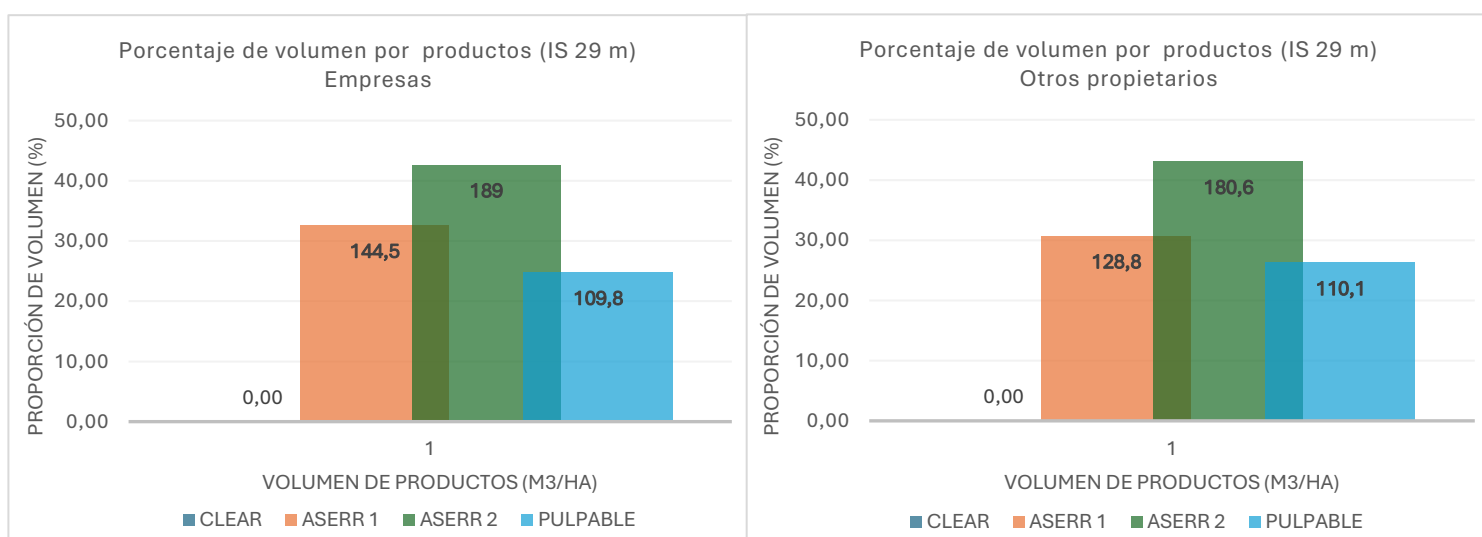


Figura 8. Porcentajes de volumen por producto del total obtenido de no aplicar manejo silvícola en IS 29 con diferente establecimiento inicial.

En la calidad media, las proporciones de volumen son similares en ambos escenarios de establecimiento (CM 123 + F) y (CM 1), con sobre el 40 % de aserrable corto, 30% de aserrable largo y sobre el 20% de madera pulpable

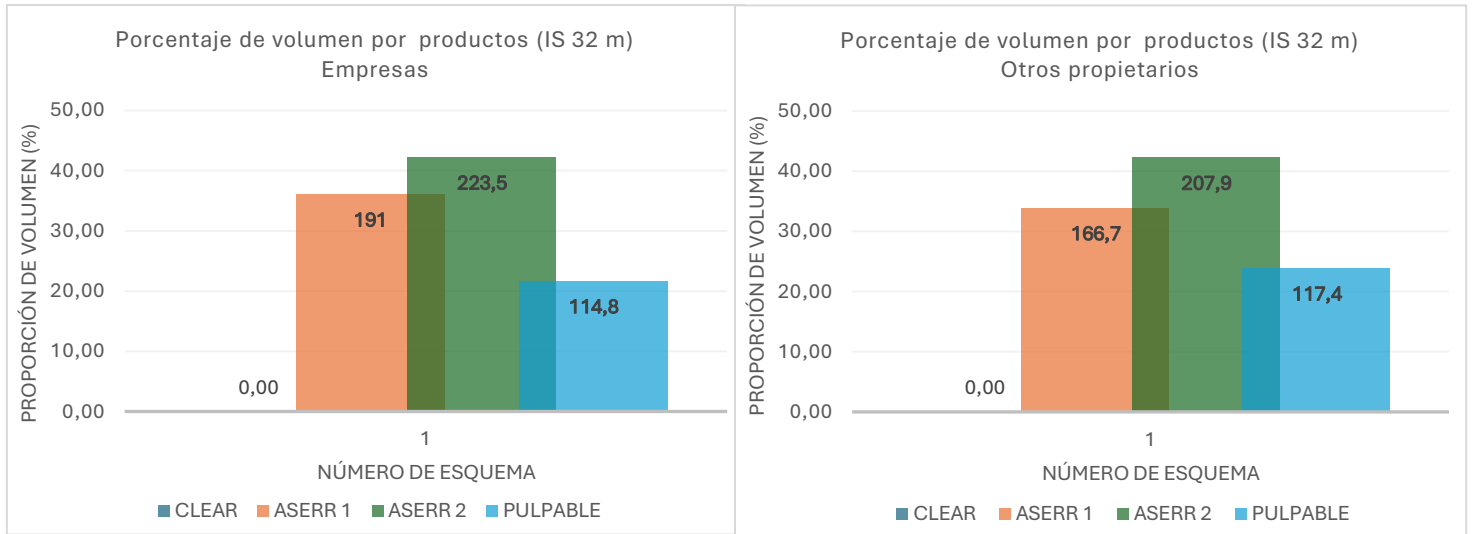


Figura 9. Porcentajes de volumen por producto del total obtenido de no aplicar manejo silvícola en IS 32 con diferente establecimiento inicial.

En sitios de buena calidad se observó que la distribución de la proporción de volúmenes fue igual que en los sitios medios, también se evidencio que presenta un menor contenido de volumen pulpable que en sitios de calidad baja, por lo cual resulto evidente que el no aplicar manejo silvicultural es más recomendable en los sitios evaluados de (IS 24).

### 3.7 Análisis de efectividad de la poda.

Para poder evaluar en mayor profundidad la conveniencia de los manejos intensivos propuestos se realizó este análisis con el fin de poder determinar si las podas realizadas produjeron con eficiencia la cantidad de trozas de madera libre de nudos esperadas. En el caso de los esquemas (1 y 2) que constan con solo una poda con una altura de poda de hasta 3 m, se espera que de los árboles podados se obtenga

al menos una troza podada, ahora para los esquemas (3 y 4) que contienen 2 y 3 podas respectivamente hasta una altura de poda de 5,5 m se esperan al menos dos trozas podadas por árbol. Para la determinación de la efectividad completa de las podas se establecieron dos parámetros, uno dictamina que para considerar un esquema aceptable este debe alcanzar las trozas esperadas en al menos el 80% de los árboles podados, el otro parámetro define que aquellos esquemas que logren menos del 50% son ineficientes.

Tabla 14. Efectividad de podas de manejos intensivos propuestos, en calidad de sitio baja (IS 24), con dos diferentes establecimientos iniciales.

<b>Trozas podadas (IS 24)</b>						
ESQUEMAS	Empresas			Otros propietarios		
	T. esperadas	T. obtenidas	% T. podadas	T. esperadas	T. obtenidas	% T. podadas
INT 1	479	142	29,65	476	0	0,00
INT 2	478	144	30,13	475	99	20,84
INT 3	1036	488	47,10	1036	97	9,36
INT 4	870	536	61,61	435	137	31,49

En el nivel de calidad de índice de sitio bajo, se obtuvo que en el escenario de establecimiento ideal el esquema con mayor porcentaje de efectividad fue el (4), cumpliendo con un 61% de los árboles podados, en el escenario no ideal el esquema (1) no alcanzó a obtener las trozas esperadas por árbol, esto debido a que no se podaron todos los árboles remanentes del raleo aplicado, lo cual provocó el fenómeno de inversión de dominancia el cual su concepto básico es que los árboles acompañantes no podados compiten con los podados, en cuanto a los demás esquemas estos generaron menos del 50% de efectividad, por lo cual se

consideraron ineficientes, se contempló que este bajo nivel de porcentaje fue debido a que la mayoría de los árboles no lograron alcanzar el diámetro mínimo del producto podado el cual es de 28 cm esto quiere decir que la silvicultura aplicada no resultó conveniente en este nivel de sitio, por lo que se determinó que un (IS 24) no es apto para la aplicación de podas.

Tabla 15. Efectividad de podas de manejos intensivos propuestos, en calidad de sitio media (IS 29), con dos diferentes establecimientos iniciales.

<b>Trozas podadas (IS 29)</b>						
ESQUEMAS	Empresas			Otros propietarios		
	T. esperadas	T. obtenidas	% T. podadas	T. esperadas	T. obtenidas	% T. podadas
INT 1	481	198	41,16	479	164	34,24
INT 2	479	197	41,13	480	174	36,25
INT 3	1044	730	69,92	1042	552	52,98
INT 4	962	770	80,04	954	560	58,70

En los sitios de calidad media el esquema (4) al aplicar el establecimiento ideal logro alcanzar el 80 % de efectividad siendo aceptable para la producción de trozas libres de nudos, se observó además que los esquemas que contienen solo una poda resultaron deficientes obteniendo menos del 50% de efectividad en ambos escenarios de establecimiento.

Tabla 16. Efectividad de podas de manejos intensivos propuestos, en calidad de sitio alta (IS 32), con dos diferentes establecimientos iniciales.

<b>Trozadas podadas (IS 32)</b>						
ESQUEMAS	Empresas			Otros propietarios		
	T. esperadas	T. obtenidas	% T. podadas	T. esperadas	T. obtenidas	% T. podadas
INT 1	483	203	42,03	478	202	42,26
INT 2	481	203	42,20	482	187	38,80
INT 3	1048	406	38,74	1044	696	66,67
INT 4	876	876	100	874	712	81,46

En sitios de calidad alta el esquema de manejo (4) en el cual se aplican 3 podas resulto ser eficiente en ambos escenarios de establecimiento con un 100 y 81% de efectividad, en el caso del esquema (2) resulto ser que los árboles podados no alcanzaron el diámetro mínimo de 28 cm, obteniéndose solo una de las dos trozas esperadas por árbol.

### 3.8 Evaluación económica del valor potencial del suelo.

Para evaluar económicamente la aplicación de estas propuestas de manejo se procedió a calcular el valor potencial del suelo, por tipo de manejo en las tres calidades de sitio y en los dos escenarios de establecimiento realizados.

Tabla 17. Valor potencial del suelo en manejos extensivos.

<b>MANEJOS EXTENSIVOS</b>						
ESQUEMAS	VPS (US\$/ha) (IS 24)		VPS (US\$/ha) (IS 29)		VPS (US\$/ha) (IS 32)	
	Empresa	Otr.prop	Empresa	Otr.prop	Empresa	Otr.prop
EXT 1	\$ 1.232	\$ 936	\$ 2.921	\$ 2.343	\$ 3.926	\$ 3.392
EXT 2	\$ 1.182	\$ 916	\$ 2.862	\$ 2.351	\$ 3.890	\$ 3.506
EXT 3	\$ 1.087	\$ 901	\$ 2.714	\$ 2.156	\$ 3.747	\$ 3.250
EXT 4	\$ 1.205	\$ 895	\$ 2.910	\$ 2.296	\$ 3.953	\$ 3.368

Tabla 18. Valor potencial del suelo en manejos intensivos.

<b>MANEJOS INTENSIVOS</b>						
ESQUEMAS	VPS (US\$/ha) (IS 24)		VPS (US\$/ha) (IS 29)		VPS (US\$/ha) (IS 32)	
	Empresa	Otr.prop	Empresa	Otr.prop	Empresa	Otr.prop
INT 1	\$ 540	\$ 234	\$ 2.781	\$ 1.851	\$ 3.852	\$ 3.216
INT 2	\$ 725	\$ 172	\$ 2.725	\$ 1.783	\$ 3.767	\$ 3.132
INT 3	\$ 455	\$ 90	\$ 2.455	\$ 1.363	\$ 3.584	\$ 2.903
INT 4	\$ 491	\$ 82	\$ 2.491	\$ 1.718	\$ 3.857	\$ 2.992

Tabla 19. Valor potencial del suelo al no aplicar manejo silvicultural.

<b>SIN MANEJO</b>						
ESQUEMA	VPS (US\$/ha) (IS 24)		VPS (US\$/ha) (IS 29)		VPS (US\$/ha) (IS 32)	
	Empresa	Otr.prop	Empresa	Otr.prop	Empresa	Otr.prop
NINGUNO	\$ 957	\$ 674	\$ 2.564	\$ 1.994	\$ 3.533	\$ 3.002

Se obtuvo que en los tres tipos de manejo el valor de potencial del suelo aumento a medida que aumento el nivel de índice de sitio notándose en manejos extensivos un diferencial al pasar de calidad baja a media de 1700 y 1400 US\$/ha según el establecimiento aplicado y de 1000 a 1100 US\$/ha el pasar de calidad media a alta, los mejores esquemas de manejo extensivos en términos económicos variaron según la calidad de sitio, resultando en sitios bajos y medios mas rentable aplicar solo 1 raleo comercial y en sitios buenos aplicar solo 1 raleo a desecho. En los manejos intensivos la ganancia de pasar de un IS 24 a IS 29 fue de a próximamente 2000 US\$/ha en todos los esquemas al aplicar establecimiento ideal y 1600 US\$/ha

en el no ideal, los mejores esquemas en sitios bajos y medios fue el aplicar 1 poda (esquemas 1 y 2) y en sitios buenos lo mas rentable es aplicar 3 o 1 poda según el establecimiento inicial. Finalmente, al comparar los manejos extensivos e intensivos con la propuesta de no aplicar manejo silvícola resulto ser que los manejos extensivos son los más rentables en los sitios bajos y medios, además se contempló que en estos sitios es más rentable dejar las plantaciones sin manejo que aplicar manejos intensivos, por otro lado, en los sitios de buena calidad, los manejos intensivos alcanzaron la rentabilidad de los manejos extensivos y el no aplicar ningún manejo se volvió menos rentable.

Por otro lado se observó en todos los manejos que siempre resulto un mayor valor de VPS al aplicar el establecimiento inicial ideal, el cual puede llegar a ser pagado generalmente solo por las empresas forestales, debido a que suele ser más costoso, pero esta inversión se ve reflejada posteriormente con una diferencial de VPS que llega hasta 310 US\$/ha en sitios bajos, 614 US\$/ha en sitios medios, 585 US\$/ha en sitios altos, esto para los manejos extensivos concretamente en el manejo extensivo (4), en manejos intensivos la diferencia máxima entre establecimientos fue de 553 US\$/ha, 1092 US\$/ha y 865 US\$/ha, en las respectivas calidades de sitio en orden de peor a mejor calidad, en este mismo orden los esquema de manejo que presentaron este máximo diferencial de VPS fueron los esquemas (2, 3 y 4), la menor diferencia entre establecimientos se vio al no aplicar ningún manejo con 283 US\$/ha en sitios bajos, 570 US\$/ha en sitios medios y 531 US\$/ha en sitios altos.

### 3.9 Rentabilidad de la poda

Este análisis se realizó para evaluar económicamente las podas, ya que el VPS resulto ser positivo en todos los esquemas de manejo intensivo, pero eso no quiere decir que la poda haya sido rentable por si sola, por esto se aplicó la razón beneficio costo, el cual es un análisis aislado del valor presente del costo de las podas y el diferencial existente entre el precio del producto podado y el aserrable largo, ya que si no se poda igual se puede sacar una ganancia por otro producto, por ende el diferencial de precios es el beneficio por si aplicar podas y este se usa sobre el volumen podado a la edad de cosecha, si el resultado de la razón b/c es mayor a 1 la poda es rentable y si es menor a 1 quiere decir que la poda no se pagó.

Tabla 20. Razón beneficio costo de los manejos intensivos propuestos aplicados en tres niveles de calidad de sitio con diferentes establecimientos.

ESQUEMAS	Razón b/c (IS 24)		Razón b/c (IS 29)		Razón b/c (IS 32)	
	Empresas	Otros propietarios	Empresas	Otros propietarios	Empresas	Otros propietarios
INT 1	1,65	0,94	2,86	2,11	2,24	1,88
INT 2	1,71	0,87	3,01	2,12	2,21	1,85
INT 3	1,33	0,47	2,66	1,61	2,05	1,64
INT 4	1,13	0,52	2,13	1,38	1,81	1,36

Del análisis de rentabilidad de poda evaluado con la razón beneficio y costo, se obtuvo que, en todos los manejos propuestos aplicados en las tres calidades de sitios evaluadas, el resultado fue mayor que 1 por ende la poda es rentable y se paga por si sola, solamente en el escenario de establecimiento inicial no ideal el

resultado fue menor a 1, por lo cual en la calidad de sitio baja es recomendable invertir en un mejor establecimiento inicial, ahora cabe mencionar que en el caso de que el producto podado baje de precio en el mercado u el precio de producto aserrable suba, esto es susceptible a no ser rentable para un sitio (IS 24) independiente de si se aplique o no un establecimiento ideal.

En síntesis, los resultados obtenidos en esta investigación subrayan la importancia de alinear las expectativas de productividad con las realidades biofísicas de los sitios de calidad media a baja. La discusión ha permitido evidenciar que, si bien la producción de madera podada es técnicamente factible en estos contextos, su justificación económica se debilita frente a esquemas de manejo más simplificados cuando los costos silviculturales no se ven compensados por un incremento proporcional en el valor del producto final. Este hallazgo es crítico, ya que desafía la tendencia tradicional de aplicar recetas silvícolas uniformes sin considerar la especificidad del sitio. Al integrar los indicadores de Valor Potencial del Suelo y la Razón Beneficio-Costo, se hace evidente que la gestión forestal en Chile debe transitar hacia una precisión mayor, donde la toma de decisiones sea dinámica y responda a escenarios de precios realistas. En última instancia, este estudio proporciona una hoja de ruta técnica que valida la necesidad de diversificar las estrategias de manejo para *Pinus radiata*. El éxito de las futuras plantaciones en suelos de menor aptitud no dependerá de maximizar el volumen a cualquier costo, sino de implementar una silvicultura resiliente y eficiente que garantice la sostenibilidad financiera de los propietarios forestales en un mercado global cada vez más competitivo.

## IV.CONCLUSIONES

Al llevar a cabo la evaluación de las propuestas de manejo silvícola, se concluye que, en sitios de productividad baja a media, la viabilidad de los esquemas de manejo intensivos (con podas) está estrictamente condicionada a la reducción de los costos operativos y al acceso a mercados con primas de precio por madera clara. Mientras que en sitios de alta productividad el crecimiento compensa la inversión, en sitios marginales la rentabilidad es altamente sensible a las fluctuaciones de precio, lo que sugiere que para pequeños y medianos propietarios los manejos aserrables sin poda o pulperos representan una opción de menor riesgo financiero ante la incertidumbre del mercado.

Finalmente, el análisis demuestra que el VPS es el indicador más robusto para diferenciar la eficiencia de las propuestas silvícolas en el tiempo. Se determina que las propuestas que optimizan la densidad inicial y minimizan las intervenciones de poda en sitios de clase de sitio 24 o inferiores logran un equilibrio superior entre la inversión inicial y el retorno final. Por tanto, la selección del esquema de manejo no debe basarse únicamente en el volumen total obtenido, sino en la capacidad de cada sitio para generar flujos de caja positivos bajo una tasa de descuento específica.

## V.BIBLIOGRAFÍA

Aguilera Díaz, A. (2017). El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. *Cofin habana*, 11(2), 322-343.

Álvarez, J., Allen, H., Albaugh, T., Stape, J., Bullock, B., & Song, C. (2013). Factors influencing the growth of radiata pine plantations in Chile. *Forestry*, 86(1), 13-26.

Bown, I. (1997). Retrospectiva de la Silvicultura de Pino Radiata. Santiago, UCH. 8 p. *Chile Forestal, Documento Técnico*, 104.

Chacón, I. (1995). Decisiones económico–financieras en el manejo forestal. Universidad de Talca. 248 p.

Davel, M., Caballe, G., Gonda, H., Chauchard, L. M., Sbrancia, R., & Bulgarelli, L. (2015). Los tratamientos silvícolas.

Gerding, V. (1991). Manejo de las plantaciones de *Pinus radiata* D. DON en Chile. *Bosque*, 12(2), 3-10.

Ipinza, R. (2023). Pino radiata y el milagro de la recuperación de los suelos en Chile <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28437.70889>

Mason, E. G. (2023). Impacts of tending on attributes of radiata pine trees and stands in New Zealand – a review. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 53. <https://doi.org/10.33494/nzjfs532023x178x>

Mead, D. J. (2013). *Sustainable management of Pinus radiata plantations*.

Meneses, M., & Guzman, S. (2000a). Productividad y eficiencia en la producción forestal basadas en las plantaciones de pino radiata. *Bosque*, 21(2), 3-11.

Meneses, M., & Guzmán, S. (2000b). Análisis de la eficiencia de la silvicultura destinada a la obtención de madera libre de nudos en plantaciones de pino radiata en Chile. *Bosque*, 21(2), 85-93.

- Niklitschek, M., Labbé, R., Rubilar, R., Droppelmann, F., Trincado, G., & Almonacid, N. (2024). Estrategia de adaptación al cambio climático en plantaciones de *Pinus radiata*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27888.88322>
- Poblete Hernández, P., Kahler González, C., Bañados M., J., et al (2024). Anuario forestal 2024. INFOR. <https://doi.org/10.52904/20>
- Ojeda, H., Rubilar, R. A., Montes, C., Cancino, J., & Espinosa, M. (2018). Leaf area and growth of Chilean radiata pine plantations after thinning across a water stress gradient. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 48(1), 10.
- Quiroz Marchant, I., & Steenbuck, D. (2001). Tratamientos intermedios y técnicas de manejo.
- Schlatter, J., & Gerding, V. (1999). Productividad en el ejemplo de seis sitios característicos de la VIII Región con *Pinus radiata* D. Don. *Bosque*, 20(1), 65-77.
- Toro Vergara, J. (2004). Alternativas silvícolas para aumentar la rentabilidad de las plantaciones forestales. *Bosque (Valdivia)*, 25(2), 101-113.