

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
INGENIERIA FORESTAL



**EVALUACION ECONOMICA DE ESQUEMAS DE MANEJO DE
PINUS RADIATA (D. DON) CON ARBOLES SEGUIDORES, EN LA
REGION DEL BIOBIO.**

Por

CARLOS ANIBAL CARRASCO MANRIQUEZ

**HABILITACION PROFESIONAL
PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO FORESTAL**

CONCEPCION CHILE

2017

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
INGENIERIA FORESTAL

**EVALUACION ECONOMICA DE ESQUEMAS DE MANEJO DE
PINUS RADIATA (D. DON) CON ARBOLES SEGUIDORES, EN LA
REGION DEL BIOBIO.**

Por

CARLOS ANIBAL CARRASCO MANRIQUEZ

HABILITACION PROESIONAL
PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO FORESTAL

CONCEPCION CHILE

2017

**EVALUACION ECONOMICA DE ESQUEMAS DE MANEJO DE
PINUS RADIATA (D. DON) CON ARBOLES SEGUIDORES, EN LA
REGION DEL BIOBIO.**

Profesor Patrocinante

Rosa Alzamora Mallea
Profesor Asistente
Ingeniero Forestal, Dra.

Profesor Patrocinante

Julio Becker Guaiquil
Colaborador Académico
Ingeniero Forestal, M Sc.

Calificación de la Memoria de Título:

Rosa Alzamora Mallea : 5,8 (cinco coma ocho)

Julio Becker Guaiquil : 5,8 (cinco coma ocho)

*“El trabajo más productivo, es el que sale
de un hombre contento”*

Victor Pauchet

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a Dios, por todos los caminos, oportunidades y personas que presentó en mi vida a lo largo de mi vida universitaria. Gracias por su fortaleza y sabiduría, que fueron fundamentales a la hora de mi formación como un profesional.

En segundo lugar, quiero agradecer al Modelo Nacional de Simulación (M.N.S) y los ingenieros que ahí trabajan por brindarme apoyo y enseñanzas durante mi práctica profesional y en el desarrollo de este trabajo. Es un gran equipo de profesionales y realizan un trabajo importantísimo para el sector forestal productivo.

Académicamente, es imposible dejar de mencionar a dos grandes personas que marcaron mi estadía en la Udec. La tía María Isabel, una amiga, confidente, una segunda mamá que me oriento a lo largo de toda la carrera a ser mejor persona, a alcanzar mis objetivos y a no flaquear. Nunca olvidaré cada segundo de su valioso tiempo que invirtió en mí, fue un ángel caído del cielo. Otra persona importantísima para mí, fue mi profesora jefa Ramy (como le dicen los amigos), un ejemplo de sencillez y humildad, a pesar de ser una gran persona y una excelente profesional.

INDICE MATERIAS

CAPITULO	PAGINA
I. RESUMEN.....	1
II. ABSTRACT.....	2
III. INTRODUCCION.....	3
IV. METODOLOGIA.....	6
4.1 Simulaciones.....	6
4.2 Esquemas de manejo para arboles seguidores de <i>Pinus radiata</i> (<i>D.Don</i>).....	6
4.3 Productos objetivos (mercado).....	7
4.4 Zona de crecimiento e Indice de sitio.....	8
4.5 Costos de producción y precios de productos troza.....	10
4.5.1 Precios de los productos por troza.....	11
4.6 Indicadores económicos.....	12
4.6.1 Valor Potencial del Suelo.....	12
4.6.2 Valor Actual Neto.....	13
4.6.3 Valor Actual Equivalente.....	13

V. RESULTADOS.....	15
5.1 Desempeño en volumen de los esquemas de manejos con y sin árboles seguidores.....	15
5.2 Desempeño económico de los esquemas de manejo con y sin árboles seguidores.....	17
VI. DISCUSION.....	19
VII. CONCLUSION.....	21
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	23

INDICE DE TABLAS

TABLA N°	PAGINA
<u>En el texto</u>	
1. Esquemas de manejos intensivos utilizados en la VIII Región, en las zonas de crecimiento 4, 6 y 7.....	4
2. Actividades silvícolas evaluadas por años según su esquema de manejo...	7
3. Programación de las podas y raleos según su esquema de manejo.....	7
4. Productos considerados en el análisis.....	8
5. Costos por actividades silvícolas.....	10
6. Costos de raleo comercial, cosecha y transporte	11
7. Precios de los productos troza (US\$/m ³).....	11

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	PAGINA
<u>En el texto</u>	
1. Zonas de crecimiento de <i>Pinus radiata</i>	8
2. Volumen total de productos para cada régimen de manejo, en los diferentes índices de sitios a la edad de 22 años.....	15
3. Volumen total por productos para cada régimen de manejo, en los diferentes índices de sitios a la edad de 22 años	16
4. Comparación a partir de la Renta del Suelo (US\$/ha/año) según cada régimen de manejo a la edad óptima de rotación.....	17
5. Comparación del Valor Anual equivalente (US\$/ha/año) según cada régimen de manejo a la edad optima de rotación.....	18

I. RESUMEN

El manejo dirigido a plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don), se genera con el objetivo de producir madera aserrada de alta calidad. Para esto, las actividades silviculturales de poda y raleo se tornan fundamentales al momento de diseñar productos de trozas de alta calidad para la industria del aserrío y manufactura. En esta línea de análisis, el presente estudio evaluó y comparó la eficiencia productiva y económica del manejo con árboles seguidores (C/S) y sin seguidores (S/S), con el objetivo de apoyar la toma de decisiones en el ámbito silvícola. La herramienta utilizada para realizar este ejercicio correspondió al M.N.S, la cual permitió proyectar el comportamiento de la plantación de *P. radiata*, desde su establecimiento hasta la cosecha.

Desde el punto de vista productivo, este estudio reveló mediante el volumen total que el manejo (S/S) mostró ventajas en todos los sitios evaluados en comparación al manejo (C/S). En el IS30 obtuvo 187 m³/ha, en el IS32 obtuvo 282,7 m³/ha, en el IS34 obtuvo 336,3 m³/ha y en el IS36 obtuvo 384,9 m³/ha. Aunque en términos volumétricos se observó el efecto de inversión de dominancia, éste fue marginal, en todo el orden de productos.

Desde el punto de vista económico, el manejo más rentable según los supuestos y precios utilizados en este estudio corresponde al manejo C/S, debido a que en todos los sitios evaluados alcanza un mayor VPS. En el IS30 obtuvo 626,38 US\$/ha a la edad de 23 años, en el IS32 obtuvo 1.795,75 US\$/ha a la edad de 22 años, en el IS34 obtuvo 2.683,45 US\$/ha a la edad de 21 años y en el IS36 obtuvo 3.500,25 US\$/ha a la edad de 21 años.

Por lo tanto, el manejo con árboles seguidores, es una alternativa factible desde el punto de vista productivo y económico para las empresas forestales chilenas, debido a que su producción no se limita solo a trozas de alto valor, sino a una variada gama de productos forestales, los cuales le permiten satisfacer sus necesidades productivas internas, sobre todo de tipo pulpable, mediante intervenciones de raleo.

II. ABSTRACT

The management directed to plantations of *Pinus radiata* (D. Don), is generated with the objective of producing high quality sawn timber. For this, silvicultural activities of pruning and thinning become essential when designing products of high quality logs for the sawmilling and manufacturing industry. In this line of analysis, the present study evaluated and compared the productive and economic efficiency of management with followers (C/S) and without followers (S/S), with the objective of supporting decision making in the forestry field. The tool used to perform this exercise corresponded to M.N.S, which allowed to project the behavior of *Pinus radiata* planting, from its establishment to the harvest.

From a productive point of view, this study revealed, through the total volume, that management (S/S) showed advantages in all evaluated sites compared to management (C/S). In IS30 it obtained 187 m³/ha, in IS32 it obtained 282, 7 m³/ha, in IS34 it obtained 336, 3 m³ / ha and in IS36 it obtained 384, 9 m³/ha. Although the dominance inversion effect was observed in volumetric terms, it was marginal in the whole order of products.

From the economic point of view, the most profitable management according to the assumptions and prices used in this study corresponds to the C/S management, due to the fact that in all the evaluated sites it reaches a higher VPS. In the IS30 obtained 626, 38 US \$/ha at the age of 23, in the IS32 obtained 1.795,75 US\$/ha at the age of 22, in the IS34 obtained 2.683,45 US \$/ha at the age of 21 and in the IS36 obtained 3.500,25 US \$/ha at the age of 21 years.

Therefore, management with follower trees is a feasible alternative from the productive and economic point of view for Chilean forestry companies, because its production is not limited only to high-value logs, but to a wide range of products forestry, which allow it to satisfy its internal productive needs, especially of pulpable type, through thinning interventions.

III. INTRODUCCION

En la actualidad, Chile posee 15,7 millones de hectáreas de bosques, de las cuales 2,4 millones, correspondientes (15% del total) son bosques plantados (INFOR 2013a). El sector forestal a nivel país, se ha establecido como el segundo exportador de recursos naturales, siendo desplazado solo por la minería, todo esto avalado, por US\$ 5.714 millones de ingresos obtenido el 2013 producto de las exportaciones (INFOR 2013b). Por ende, esta actividad contribuye con el 3,0 % del PIB nacional (Banco Central 2001, 2006 y 2011).

Un 47,3 % corresponde a productos madereros derivados de la especie de *Pinus radiata* (D.Don), los cuales son destinados a exportación. Este género ha sido introducido en el país, debido a las condiciones edáficas y climáticas similares a su país de origen (Estados Unidos, California). Gerding y Schlatter (1995), indican que esta planta leñosa se extiende desde la zona central, específicamente desde el meridiano 33° hasta el 41° latitud sur. El porcentaje de superficie de bosques plantados con esta especie alcanza el 68% de las plantaciones forestales, convirtiéndose en el principal sostenedor de las empresas forestales chilenas (CONAF 2015).

El manejo silvícola de las plantaciones de *Pinus radiata*, ha ido en constante evolución. En una etapa inicial, no existía presencia de intervenciones silvícolas, pero en la actualidad esto ha tomado un giro diferente debido a la aplicación en la mayoría de las empresas, de la silvicultura intensiva que considera podas y raleos (Leyton 1986).

Según Innovum Fundación Chile (2015), las empresas forestales como Forestal Mininco S.A, Bosques Arauco y la empresa Masisa aplican esquemas de manejos que corresponden a manejos estándares empleados para plantaciones de pino radiata a nivel nacional, en donde dependiendo de la zona de crecimiento, se realizaron encuestas a los principales productores de cada zona, para identificar los diferentes esquemas según el propósito final de producción.

Tabla 1. Esquemas de manejos intensivos utilizados en la VIII Región, en las zonas de crecimiento 4, 6 y 7.

Actividades silvícolas	Intensivo 1	Intensivo 2	Multipropósito	Pulpable
Índice de sitio	32	29	26	23
Densidad inicial	1250	1250	1250	
Poda 1	5 años/700/2m	5 años/700/2m	6 años/500/2m	
Poda 2	6 años/450/4m	6 años/450/4.5m	8 años/500/4.5m	
Poda 3	7 años/450/5.5m	7 años/700/5.5m		
Raleo a desecho	5 años/700	5 años/700	11 años/450	8 años/700
Raleo comercial	10 años/400	10 años/450		

Fuente: Innovam Fundación Chile. Fuerza laboral de la Industria Forestal Chilena (2015-2030). Diagnóstico y recomendaciones. 2015.

Se establece que en los esquemas intensivos 1 y 2, se utilizan árboles seguidores, debido a que son sitios de media y alta productividad, que presentan un gran potencial de crecimiento, obteniendo al final de la rotación trozas de alta calidad. Para el caso de manejo multipropósito, se realiza un manejo tradicional en donde se podan todos los árboles en pie. Cabe destacar que en el esquema pulpable, se realiza un sólo raleo, que es a desecho a los 8 años. Estos manejos fueron realizados en base a los requerimientos y necesidades tanto de grandes empresas, inversionistas, autoridades, consultores forestales, corredores de seguros, pequeños y medianos empresarios, entre otros.

Para poder proyectar un esquema de manejo silvícola a futuro, se ha desarrollado un modelo de simulación (M.N.S) para la especie de *Pinus radiata*, desde 1989 a la fecha, denominada “SIMULADOR INSIGNE” la cual tiene como objetivo principal proyectar y calcular los rendimientos volumétricos de una plantación desde su establecimiento hasta la cosecha final. Mediante las diferentes alternativas de simulación, se analizan diferentes escenarios que permiten proyectar y evaluar las propuestas de manejo silvícola que maximizan la renta del suelo. Esto último se refiere, a la madurez financiera de los bosques, y al objetivo de maximizar la oferta y rentabilidad de los productos, con un valor de riesgo mínimo (Simuladores 2017).

En la actualidad, las empresas pertenecientes al rubro forestal chileno, han trabajado en nuevas técnicas de manejo, una de estas consiste en dejar árboles seguidores en esquemas con poda. Esto corresponde a árboles que no se retiran en el raleo que se hace en conjunto con la poda. Estos árboles no se podan y se espera de 1 a 2 años para extraerlos en raleos comerciales. Sutton y Crowe (1975), señalan que la poda hasta un 40 % no influye en la dominancia del árbol, pero si supera esta cifra los arboles pierden dominancia. Por lo tanto, este manejo no tendría un efecto negativo al final de la rotación, Umaña (2014) sostiene que es perjudicial mantener esta técnica, debido a que al no poseer poda pasan a dominar sobre los podados en un fenómeno denominado “Inversión de Dominancia”.

Para definir la intensidad y oportunidad de cada actividad silvícola, el ente evaluador debe definir previamente los objetivos de cada tipo de manejo, para así justificar sus decisiones. Davis y Johnson (1987) sugieren que conocer a ciencia exacta la eficiencia económica permite maximizar el ingreso neto o el valor neto del proyecto al final de la rotación. Estas variables previamente mencionadas, dependen de diversos factores como calidad de sitio, el mercado de los productos y de los intereses de los propietarios que manejan el bosque.

El objetivo general del estudio, consiste en evaluar económicamente esquemas de manejo de *Pinus radiata* con árboles seguidores, en la Región del Biobío. De los cuales se desprenden tres objetivos específicos.

- a) Caracterizar los esquemas de manejo con árboles seguidores.
- b) Evaluar el desempeño en volumen de productos de los esquemas de manejo con árboles seguidores.
- c) Evaluar y comparar el desempeño económico de los esquemas de manejo con árboles seguidores.

Por lo tanto, los objetivos específicos anteriormente señalados, se concretan mediante un ejercicio basado en simulación, el cual permite explorar y evaluar el efecto tanto en volumen, como en valor económico, obteniendo así los resultados del análisis de los

diferentes esquemas de manejo con arboles seguidores en bosques plantados de *Pinus radiata*.

IV. METODOLOGIA

4.1 Simulaciones

El estudio se realizó mediante el simulador, ubicado en la Facultad de Ciencias Forestal Udec, el cual es conocido actualmente como Modelo Nacional de Simulación de *Pinus radiata* (Simulador INSIGNE) y de *Eucalyptus globulus* y *nitens* (Simulador EUCASIM), el cual permite proyectar el rendimiento de la plantación desde su etapa inicial hasta la cosecha final, permitiendo simular diferentes tipos de manejos silvícolas. Se define el esquema de manejo según el producto que se desea generar al final de la rotación, el cual siempre está en estrecha relación con el retorno económico que se genera al final de este proceso.

Se realizaron cuatro simulaciones por cada esquema de manejo. Donde un manejo considera árboles seguidores y el otro no. Así, las prácticas de establecimiento se encuentran en igualdad de condiciones (control de malezas, fertilización y número de plantas por hectárea), y las diferencias se establecen para ambos esquemas a partir de las intervenciones de raleos y podas.

4.2 Esquemas de manejo para arboles seguidores de *Pinus radiata* (D.Don).

Con seguidores (ESQUEMA I): incluye fertilización, control de maleza, podas, un raleo a desecho y otro comercial. En este caso, a partir de la segunda poda, no se podan todos los individuos, solo los seleccionados. En la tercera poda se realiza lo mismo. Es una técnica nueva usada en Chile, que no posee estudios previos, está siendo aplicada operativamente en el patrimonio de Forestal Mininco S.A (Tabla 1).

Sin seguidores (ESQUEMA II): se utiliza el mismo manejo silvícola que en el esquema anterior, pero se diferencia, debido a que en la segunda y tercera poda, se poda la totalidad de los individuos en pie. Este manejo intensivo, es el que se ocupa comúnmente para las plantaciones de pino, por las forestales chilenas, debido a que con este manejo se obtienen trozas de buena calidad.

A continuación, se presenta en forma detallada los dos esquemas de manejos evaluados.

Tabla 2. Actividades silvícolas evaluadas por años según su esquema de manejo.

Actividades Silvícolas	Esquema I	Esquema II
Control de maleza	0	0
Fertilización	0	0
Poda 1	5	5
Poda 2	6	6
Poda 3	7	7
Raleo 1	5	5
Raleo 2	10	10

Tabla 3. Programación de las podas y raleos según su esquema de manejo.

Actividades silvícolas	Esquema I	Esquema II
Densidad inicial	1250	1250
Poda 1	5 años/700/2 m	5 años/700/2 m
Poda 2	6 años/400/4 m	6 años/700/4,5 m
Poda 3	7 años/400/5,5 m	7 años/700/5,5 m
Raleo a desecho	5 años/700 árboles	5 años/700 árboles
Raleo comercial	10 años/400 árboles	10 años/400 árboles

4.3 Productos objetivos (mercado).

La información que viene a continuación corresponde a los productos y sus dimensiones con los que trabaja Forestal Mininco S.A.

Tabla 4. Productos considerados en el análisis.

Producto	Podado	No podado	Largo (m)	Diámetro menor y mayor (cm)
Clear A	Podado	-	5,3	28-99
Clear B	Podado	-	2,65	28-99
Industrial 1	-	No podado	5	24-99
Industrial 2	-	No podado	4,1	24-99
Industrial 3	-	No podado	4,1	18-22
Industrial 4	-	No podado	3,45	19-99
Pulpa	-	No podado	2,44	08-45

4.4 Zona de crecimiento e Índice de sitio.

Se analizaron estas dos variables, para definir los productos a producir y posteriormente elaborar las estrategias para lograrlos. Pudiendo dilucidar a partir de estas, las características y limitaciones presentes, en cuanto al desempeño físico como también el económico.

Zonas de crecimiento de *Pinus radiata*: estas zonas fueron definidas en 1990, por el proyecto “Modelo Nacional de simulación *Pinus insignis*”, en función de la productividad del área basal.

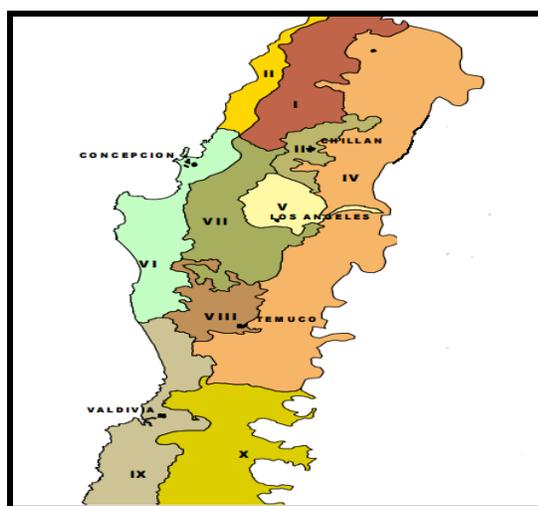


FIGURA 1. Zonas de crecimiento de *Pinus radiata*. (Fuente: Modelo Nacional de Simulación).

A partir de este mapa con sus respectivas zonas, se ha podido proyectar el comportamiento de las plantaciones de la zona centro - sur, en especies como *P.radiata* y *Eucalyptus globulus* y *nitens* (bosques plantados) de las grandes empresas forestales chilenas como Forestal Arauco S.A, Forestal Mininco S.A y Masisa S.A.

La zona de crecimiento a utilizar corresponde a la Zona VI, que según Modelo Nacional de Simulación de *Pino insigne*, M.N.S (2017), comprende el sector costero de la Región del Biobío (Colcura-Purén), específicamente entre la faja costera que comienza en el sur del río Itata ($36^{\circ} 30'$ latitud sur) hasta la ribera norte del río Imperial ($38^{\circ} 45'$ latitud sur). Esta vertiente occidental de la cordillera de la costa, posee un suelo formado por sedimentos marinos (principalmente arcillas y tobas finas), los cuales son ricos en minerales y nutrientes esenciales, tanto como para las especies de *Pinus radiata* como *Eucalyptus globulus*.

Índice de sitio. Corresponde al promedio de altura de los 100 árboles más altos a la edad de 20 años. Es el criterio más importante para decidir qué régimen de manejo se va a utilizar. Establece, la capacidad de reacción de la plantación frente a algún tipo de manejo, por lo tanto mientras sea más efectiva, mayor será la capacidad de generar productos de alta calidad.

Para índices de sitio ≥ 29 , se realiza un manejo intensivo, que genera madera libre de nudos permitiendo obtener trozas de alta calidad. Estos sitios alcanzan valores de altura hasta 40 metros o más. En la zona sur, esta cifra alcanza su máximo, pero en la zona centro- norte, este dato puede ser menor. Para índices de sitios ≤ 29 , se destina a madera pulpable, debido a que su rentabilidad al final de la rotación no es favorable. Esto puede ser observado en terreno, debido a que la altura puede descender hasta los 15 metros, producto de que los suelos que predominan bajo esta condición son de diversa naturaleza y con baja potencialidad productiva, situación que es completamente desfavorable para la producción de madera clear (Gerding 1991, Meneses y Guzmán 2000).

De estas zonas el mejor rendimiento lo obtiene la Zona VI, por ende, esta fue la elegida para poder generar las simulaciones de los diferentes sitios a evaluar. Para este estudio se utilizaron no solo índices de sitios de alta productividad, sino que también sitios de media alta productividad, para hacer más representativos los cambios en cada sitio. Los

diferentes índices que se utilizaron para el esquema I, así también como para el II, fueron IS30, IS32, IS34, IS36.

Las simulaciones generadas entregaron datos volumétricos de productos por troza, para cada índice de sitio. Con estos datos generados, se procedió a realizar análisis comparativo para cada uno de estos sitios (volumen/producto) para posteriormente generar las evaluaciones de tipo económicas para los dos esquemas de manejo, anteriormente señalados.

4.5 Costos de producción y precios de productos troza.

Los costos de establecimiento, manejo y cosecha; sí como los precios de los productos, fueron proveídos por la empresa forestal MININCO.

A continuación se muestran las siguientes tablas, en donde están definidos los costos por cada actividad en el manejo silvícola, desde el establecimiento hasta la cosecha final, identificando además, el año en que se realizó cada intervención.

Tabla 5. Costos por actividades silvícolas.

Actividades silvícolas	Esquema I		Esquema II	
	Año	Costos (US\$/ha)	Año	Costos (US\$/ha)
Establecimiento	0	301	0	301
Control de malezas	0	130	0	130
Fertilizantes	0	21	0	21
Poda 1	5	244	5	244
Poda 2	6	153	6	251
Poda 3	7	144	7	251
Raleo a desecho	5	90	5	90
Raleo comercial	10		10	

Tabla 6. Costos de raleo comercial, cosecha y transporte.

Actividad	Esquema I		Esquema II	
	Año	Costos (US\$/m ³)	Año	Costos (US\$/m ³)
Raleo				
comercial	10	14,7	10	14,7
Cosecha		12,4		12,4
Transporte		15,2		15,2

4.5.1 Precios de los productos por troza.

Los precios con los que se comercian los productos son obtenidos a partir de cada troza de *Pinus radiata*, por Forestal Mininco S.A. Los precios de los productos Clear A y B, varían según la edad de cosecha, ya que está en función del valor de recuperación al final de la rotación (Villarroel 2017).

Tabla 7. Precios de los productos troza (US\$/m³).

Edad	Clear	Clear	Industrial	Industrial	Industrial	Industrial	Pulpa
	A	B	1	2	3	4	
20	73	58	44,1	48,1	50,5	53,4	25,5
21	77	61	44,1	48,1	50,5	53,7	25,5
22	79	62	44,1	48,1	50,5	54,0	25,5
23	82	63	44,1	48,1	50,5	54,3	25,5
24	85	64	44,1	48,1	50,5	54,5	25,5
25	88	66	44,1	48,1	50,5	54,8	25,5
26	90	67	44,1	48,1	50,5	55,1	25,5
27	93	68	44,1	48,1	50,5	55,4	25,5
28	94	68	44,1	48,1	50,5	55,7	25,5
29	96	69	44,1	48,1	50,5	56,0	25,5
30	98	69	44,1	48,1	50,5	56,3	25,5

4.6 Indicadores económicos.

Para conocer la mejor opción de régimen, se deben evaluar todos los costos e ingresos, que han sido ejecutados desde el establecimiento de la especie, hasta la venta final de productos, y estimar un indicador de rentabilidad descontada, que en este caso fue el Valor Potencial del Suelo (VPS).

4.6.1 Valor Potencial del Suelo

Según Chang (1984), el VPS es un indicador clásico dentro de los criterios de inversión en proyectos forestales. Fue desarrollado por Faustmann en 1849, durante la búsqueda de un indicador adecuado para la determinación de la edad de rotación óptima para rodales coetáneos. El VPS se representa con la siguiente fórmula:

$$VPS = \frac{P(t) * Q(t) - \sum_j SC_j * (1+i)^{t-j} - C}{(1+i)^t - 1} - C_o - \frac{a}{i}$$

Donde;

t : Turno de rotación (años).

$P(t)$: Valor de la madera en pie en la edad de rotación t (\$/m³).

$Q(t)$: Rendimiento del rodal a la edad t (m³/ha).

SC_j : Costos silvícolas (podas, raleos, fertilización, entre otros) a la edad j (\$/ha).

C : Costo de reforestación (\$/ha).

C_o : Costo de forestación (\$/ha).

a : Costo de administración anual.

i : Tasa de interés anual expresada en decimal.

Al expresar el VPS como pagos periódicos anuales a perpetuidad, se obtiene la renta del suelo (RS), la forma de calcularlo es multiplicando el VPS por la tasa de interés.

4.6.2 Valor Actual Neto.

Es el indicador más ampliamente conocido en análisis financiero, consiste en el valor presente descontado de los ingresos y costos en el tiempo. Tiene como ventaja el considerar todo el horizonte de planificación del proyecto forestal y el costo de capital para una rotación (Gutiérrez 1985). El criterio de este indicador consiste en obtener la diferencia entre los valores actualizados de los beneficios y los valores actualizados de los costos, y dado que los primeros se anotan con signo positivo y los segundos con signo negativo, la decisión es buena si $VAN > 0$ y mala si $VAN < 0$ (Chacón 1995).

$$VAN = \frac{P(t) * Q(t) - \sum_j SC_j * (1+i)^{t-j}}{(1+i)^t} - C_o - A * \frac{(1+i)^t - 1}{(1+i)^t * i}$$

Donde;

t : Turno de rotación (años).

$P(t)$: Valor de la madera en pie en la edad de rotación t (\$/m³).

$Q(t)$: Rendimiento del rodal a la edad t (m³/ha).

SC_j : Costos silvícolas (podas, raleos, fertilización, entre otros) a la edad j (\$/ha).

C : Costo de reforestación (\$/ha).

C_o : Costo de forestación (\$/ha).

A : Costo de administración anual.

i : Tasa de interés anual expresada en decimal.

4.6.3 Valor Actual Equivalente.

Convierte un Valor Actual Neto (VAN), en una expresión anual. En este estudio, esta fórmula se utilizó para comparar los esquemas de manejo con y sin seguidores a una misma edad, siendo más específico, a su edad óptima de rotación.

$$VAE = VAN \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

Donde;

VAE: Valor Anual Equivalente (US\$/ha/año).

VAN: Valor Actual Neto (US\$/ha).

i: Interés (%).

n: Años de rotación óptima del VAN.

V. RESULTADOS

5.1 Desempeño en volumen de los esquemas de manejos con y sin árboles seguidores.

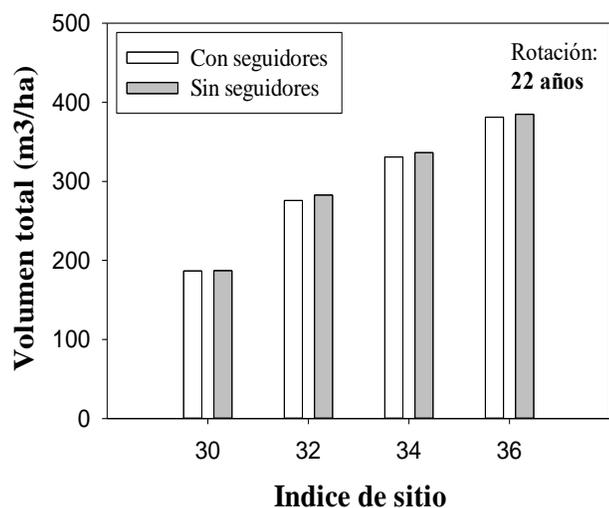


FIGURA 2. Volumen total de productos para cada régimen de manejo, en los diferentes índices de sitios a la edad de 22 años.

El volumen total corresponde a la suma de los productos Clear A, Clear B, Industrial 1, 2, 3, 4 y Pulpa a la edad de 22 años. Se puede observar que no existen mayores diferencias entre ambos esquemas a nivel de volumen. Pero desde el índice de sitio 32, 34 y 36 se observa un leve aumento en el esquema sin seguidores. Esto señala que a nivel de rodal no se observa un comportamiento de inversión de dominancia. Por lo tanto, a medida que mejora el sitio así mismo lo hará su valor volumétrico total en ambas condiciones.

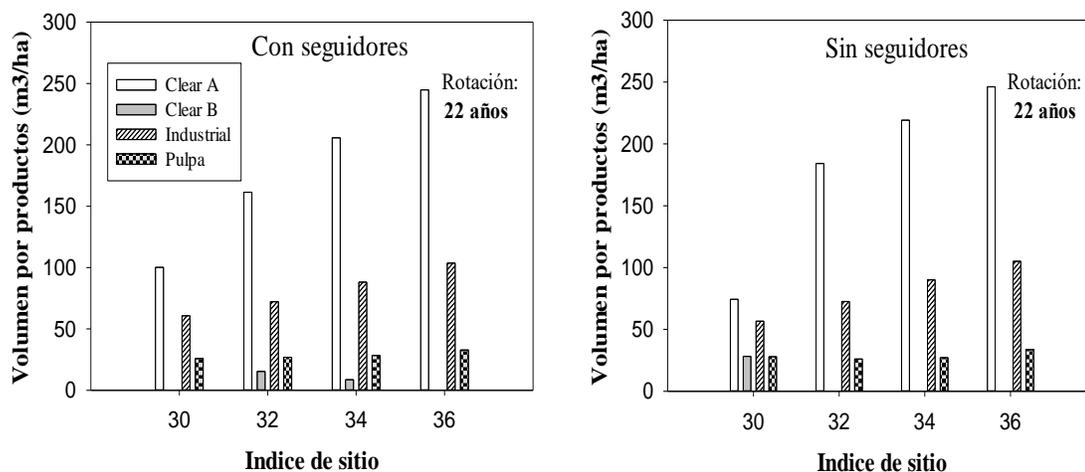


FIGURA 3. Volumen total por productos para cada régimen de manejo, en los diferentes índices de sitios a la edad de 22 años.

En la Figura 3, se compararon los volúmenes por productos en ambos esquemas de manejo, para desglosar en forma más detallada el comportamiento volumétrico según su régimen. La tendencia indica que a mejor índice de sitio aumenta el volumen de cada producto. El que alcanza un leve aumento en valores volumétricos corresponde al régimen sin seguidores en los productos Clear A, Industrial y Pulpa. Aunque ocurre lo contrario con el producto Clear B, debido a que solo posee volumen en el sitio 30 de media productividad, en cambio alcanza valores más altos en los sitios 32 y 34 con árboles seguidores.

5.2 Desempeño económico de los esquemas de manejo con y sin árboles seguidores.

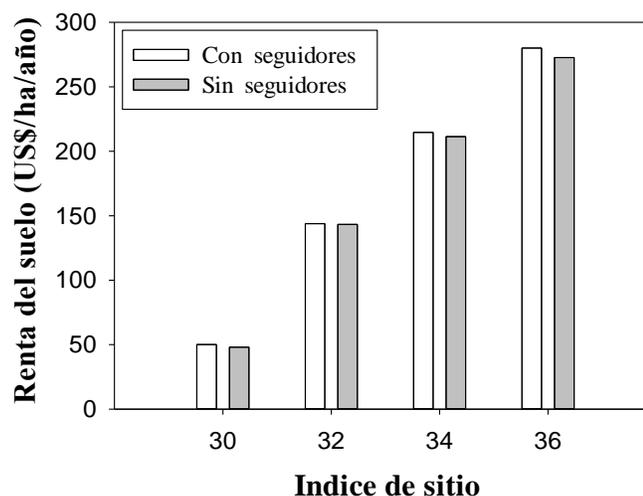


FIGURA 4. Comparación a partir de la Renta del Suelo (US\$/ha/año) según cada régimen de manejo a la edad óptima de rotación.

En la Figura 4, los sitios comparados en esas cuatro condiciones son similares, solo cambia su esquema de manejo, por lo tanto, cada esquema fue evaluado en forma particular según su índice de sitio y edad óptima de rotación. Para conocer su renta del suelo fue multiplicado por una tasa de interés del 8%. Por lo tanto para el mejor esquema tecnológico silvicultural observado corresponde al con seguidores, alcanzando los siguientes valores, en el IS 30 obtuvo 50,11 US\$/ha/año a la edad de 23 años, el IS 32 obtuvo 143,87 US\$/ha/año a la edad de 22 años, el IS 34 obtuvo 214,68 US\$/ha/año a la edad de 21 años y el IS36 obtuvo 280,67 US\$/ha/año a la edad de 21 años. Por lo tanto, estos serían los precios máximos a pagar por el suelo, si este se dedica continuamente para el cultivo de *Pinus radiata*.

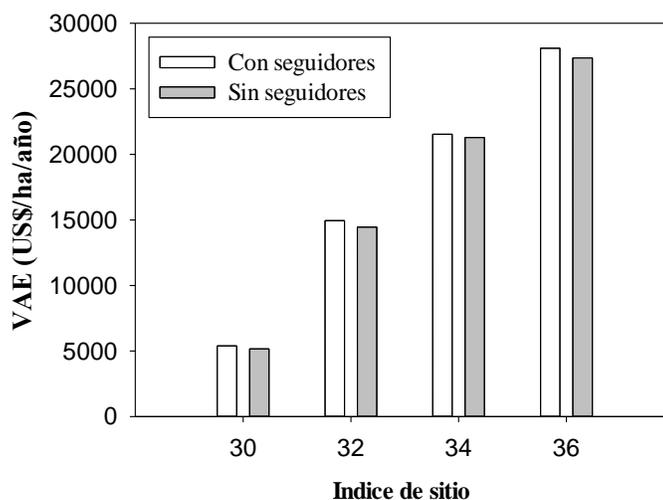


FIGURA 5. Comparación del Valor Anual equivalente (US\$/ha/año) según cada régimen de manejo a la edad óptima de rotación.

En la Figura 5, al igual que en la anterior, se observa que aunque poseen ambos esquemas la misma condición de raleos y calidad de sus productos, existe una leve superioridad en el manejo con arboles seguidores, esto quiere decir que este régimen genera un mayor ingreso neto anual y esta diferencia la generan los costos de las segunda y tercera poda. Para conocer este valor, se procedió a multiplicar el valor actual neto (valor presente, descontando ingresos y costos) por una tasa de interés del 8%. Como se refiere a diferentes sitios, se agrupó por su sitio y edad óptima de rotación, a continuación se menciona el esquema con seguidores, el que obtuvo el mejor rendimiento. Para el IS30, se obtuvo 5,197, 70 US\$/ha/año a los 23 años, para el IS32 se obtuvo 14,654, 44 US\$/ha/año a los 22 años, para el IS34 21,503, 37 se obtuvo US\$/ha/año a los 21 años y para el IS36 se obtuvo 28,049, 90 US\$/ha/año a la edad de 21 años.

VI. DISCUSION

Los resultados productivos, de volumen total, volumen aserrable y aserrable podado indicaron que el manejo sin seguidores (S/S) fue marginalmente mejor que el con seguidores (C/S). En el IS32 el manejo S/S obtuvo un 2,41% más de volumen total, en comparación al manejo C/S. En el IS34 el manejo S/S obtuvo un 1,64% más de volumen total, en comparación al manejo C/S. En el IS36 el manejo S/S obtuvo un 0,95% más de volumen total, en comparación al manejo C/S. Esto quiere decir que, al contrario de lo que se esperaba, en los diferentes sitios no se observó un efecto relevante de inversión de dominancia. Más aun, en el mejor sitio (IS36), el diferencial de volumen entre manejos fue el menor de todos (0,95%).

Una de las posibles razones de los resultados antes descritos, es lo señalado por Sutton y Crowe (1975). Estos autores indican que las podas realizadas al árbol, aplicadas en un rango inferior al 50 % de su área foliar, no afecta el crecimiento a nivel diamétrico, lo cual además está en concordancia con Nielsen y Pinkard (2003) y Schoelzke (2003). En cambio en el IS30 ocurrió un efecto contrario, pero muy reducido, en donde el manejo con seguidores fue superior en un 0,2 % en comparación al manejo sin seguidores. Por lo tanto, en IS<30, sí se observaría el posible efecto de inversión de dominancia.

Por otra parte, desde el punto de vista de eficiencia económica, el manejo con árboles seguidores, fue superior que el manejo sin seguidores, en todos los sitios analizados. Así, en el IS30 el manejo C/S obtuvo un 2,10 % más de VPS (US\$/ha), en comparación al manejo S/S. En el IS32 el manejo C/S obtuvo un 0,27 % más de VPS, en comparación al manejo S/S. En el IS34 el manejo C/S obtuvo un 1,54 % más de VPS, en comparación al manejo S/S. En el IS36 el manejo C/S obtuvo un 2,63 % más de VPS, en comparación al manejo S/S.

Las tendencias económicas descritas, se explicarían por la tecnología silvícola aplicada, la cual fue realizada según la programación que le corresponde a un modelo de manejo

intensivo con raleos comerciales. Por otra parte Meneses y Guzmán (2000), indican que el manejo con seguidores no maximiza la Renta del Suelo (US\$/ha/año) cuando el fin es producir trozas aserrables, podadas y no podadas, de alto valor. Sin embargo, en el caso de las empresas forestales chilenas, que están verticalmente integradas, su objetivo de producción no se concentra solamente en madera sólida, sino que también en la producción de fibra, para cual se requiere aplicar raleos comerciales. A pesar de ello, este estudio no mostró mayores diferencias entre la producción de madera clear para el manejo C/S y S/S; así para los sitios 30, 32, 34 y 36 las diferencias porcentuales en volumen podado entre manejo S/S y C/S fueron; 2,3%, 4,0%, 2,2% y 0,6%, respectivamente.

Antes estos valores, el manejo con seguidores resultaría ser una alternativa pertinente y eficiente desde el punto de vista económico.

Los resultados que se esperaban, antes de correr las simulaciones, eran que el manejo con seguidores generara una menor eficiencia económica por el efecto de la inversión de dominancia; no obstante, los resultados económicos demostraron lo contrario. Así mismo, al generarse diferencias marginales en términos de volumen, entre manejo C/S y manejo S/S, se comprueba que los esquemas con seguidores serían pertinentes puesto que se controlan de modo tal, que la inversión de dominancia no se concreta al punto de generar pérdidas económicas.

Este resultado se basaría en que la inversión de dominancia no se manifestó al nivel que se esperaba, y además está el hecho de que la reducción de costos en poda, por la menor proporción de árboles podados, influyó fuertemente en el flujo descontado de costos, debido a que el mayor diferencial de costos se da a los 6 años (en los primeros momentos del flujo).

VII. CONCLUSION

El presente ejercicio de proyección y evaluación del manejo con árboles seguidores, fue para conocer cómo impacta esta nueva técnica silvícola en las empresas forestales chilenas, debido a que no existe literatura documentada al respecto. Así las principales conclusiones que se derivan del estudio son:

Desde el punto de vista de volumen total este estudio reveló que el manejo sin seguidores mostró ventajas en todos los sitios evaluados. En el IS30 obtuvo 187 m³/ha, en el IS32 obtuvo 282,7 m³/ha, en el IS34 obtuvo 336,3 m³/ha y en el IS36 obtuvo 384,9 m³/ha. Aunque en términos volumétricos se observó el efecto de inversión de dominancia, éste fue marginal, en todo el orden de productos.

Desde el punto de vista económico, el manejo más rentable bajo los supuestos y precios utilizados en este trabajo corresponde al manejo C/S, debido a que en los diferentes sitios alcanza un mayor VPS. En el IS30 obtuvo 626,38 US\$/ha a la edad de 23 años, en el IS32 obtuvo 1.795,75 US\$/ha a la edad de 22 años, en el IS34 obtuvo 2.683,45 US\$/ha a la edad de 21 años y en el IS36 obtuvo 3.500,25 US\$/ha a la edad de 21 años.

El manejo con seguidores es una alternativa que presenta ventajas productivas y económicas para empresas forestales chilenas, que no solo se dedican a la producción de trozas de alto valor; sino a una variada gama de productos forestales, debido a que mediante el manejo C/S dichas empresas pueden satisfacer sus diferentes necesidades productivas, sobre todo de trozas pulpables, a partir de las intervenciones de raleo.

La herramienta de simulación utilizada en este estudio (M.N.S), permitió evaluar y comparar la eficiencia productiva y económica del manejo C/S y S/S; cumpliendo así su aporte para apoyar la toma de decisiones en el ámbito silvícola.

Es necesario realizar más estudios para precisar la relación sitio-edad en la cual se minimiza el efecto de inversión de dominancia.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. Banco Central de Chile. 2001. Matriz de Insumo Producto de la economía Chile. En Nueva Base de Medición de la Economía Chilena 1996. Gobierno de Chile. Santiago de Chile, 14 p.
2. Banco Central de Chile. 2006. Cuentas Nacionales de Chile. En Compilación de referencia 2003. Gobierno de Chile. Santiago de Chile 11 p.
3. Banco Central de Chile. 2011. Cuentas Nacionales de Chile. En Compilación de referencia 2008. Gobierno de Chile. Santiago de Chile. 8 p.
4. CONAF 2015. Plantaciones Forestales: Superficie Anual Forestada y Reforestada. Citado el 14/06/2017. Disponible en: <http://www.conaf.cl/nuestros-bosques/plantaciones-forestales/>
5. Chacón I. 1985. Decisiones Económico – Financieras en el Manejo Forestal. Editorial Universidad de Talca. 248 p.
6. Chang S. 1984. Determination of the optimal rotation age: A theoretical analysis. For. Ecol. Management 8: pp 137 – 147.
7. Davis L., Jonson K. 1987. Forest Management. Editorial Mc Graw-Hill. 729 p.
8. Gerding V. 1991. Manejo de las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Chile. Revista Bosque 12(2): 3-10.
9. Gerding V., Schlatter J. E. 1995. Variables y factores del sitio de importancia para la productividad de *Pinus radiata* D. Don en Chile. Revista Bosque, 16(2): 39-56.
10. Gutiérrez F. 1985. Decisiones financieras y costo del dinero en economías inflacionarias. Editorial Norma. Colombia. 250 p.
11. INFOR. 2013a. “Anuario Forestal 2013”, Boletín Estadístico N ° 140. Concepción, Chile. Diciembre 2013.

12. INFOR. 2013b. “Exportaciones forestales chilenas, Instituto Forestal, Área de Información y Análisis Estratégico Forestal”, Boletín Estadístico N ° 142, Concepción, Chile. Diciembre 2013.
13. Innovum Fundación Chile. 2015. Fuerza laboral de la Industria Forestal Chilena 2015-2030. Diagnóstico y recomendaciones. Centro de Innovación en Capital Humano, para la Corporación Chilena de la Madera CORMA. Concepción, Enero-Octubre de 2014.
14. Meneses M., Guzmán S. 2000. "Productividad y eficiencia en la producción forestal basadas en las plantaciones de pino radiata." Revista Bosque 21 (2) (2000): 3-11.
15. Neilsen A., Pinkard E. 2003. Effects of green pruning on growth of *Pinus radiata*. Canadian Journal of Forest Research 33 (2): 2067-2073.
16. Leyton J. 1986. “El fomento de la actividad forestal y su impacto sobre el desarrollo rural en Chile” en el Desarrollo Frutícola y Forestal en Chile y sus derivaciones sociales. Estudios e informes de la CEPAL N°57. Santiago, Chile.
17. Simuladores. 2017. Modelo Nacional de Simulación (M.N.S). Simulador INSIGNE. “Proyectando nuestros bosques a futuro”. Introducción. Citado el 12/06/2017. Disponible en: <http://simulador.cl/index.php?module=intro>
18. Schoelzke D. 2003. La poda en una plantación de *Pinus elliottii*. Revista de Ciencias Forestales Quebracho N° 10 (2013): 26-38.
19. Sutton W.R.J. & Crowe J.B. 1975. Selective pruning of radiata pine. New Zealand Journal of Forestry Science N°5(2): 171–195.
20. Umaña J. 2014. Manejo forestal. Cuándo seleccionar árboles. Citado el 12/06/2017. Disponible en: http://eagon.cl/web/?wpfb_dl=1
21. Villarroel M. 2017. Efecto de la altura de tocón en la distribución de productos y en el retorno económico de plantaciones de *Pinus radiata*, a la edad de cosecha,

en la Región del Bio Bio. Memoria de Título. Universidad de Concepción.
Facultad de Ciencias Forestales. Concepción, Chile.