

Capítulo 6

SISTEMAS SILVOPASTORALES CON PINO RADIATA (*Pinus radiata* D. Don.) EN LA ZONA CENTRO SUR DE CHILE

Alvaro Sotomayor¹, Alejandro Lucero², Arnoldo Villarroel²

RESUMEN

Las experiencias presentadas en este capítulo demuestran la factibilidad de uso de la especie *Pinus radiata* con fines silvopastorales. Se entregan antecedentes de producción de pradera bajo diversas situaciones y ambientes, junto con la producción forestal, en dos áreas geo-climáticas de Chile, zona centro sur, entre las regiones del Maule y Bio Bio, y zona húmeda de Chile, en la región de Los Ríos.

Con un diseño silvopastoral apropiado, que considere arreglos espaciales con espaciamientos iniciales amplios, que permiten el desarrollo de especies forrajeras al abrigo de la copa de los árboles, y con un manejo adecuado, tanto de los árboles con podas y raleos secuenciales en el tiempo, como de la pradera, con fertilización y siembra de leguminosas y gramíneas, se obtienen interesantes producciones de forraje en estos sistemas integrados de producción.

Se presenta además un análisis económico comparando un sistema silvopastoral con densidad inicial de establecimiento de 625 árb ha⁻¹ con tres tipos de praderas, con un sistema ganadero ovino sin árboles y con sistema forestal con densidad inicial de 1.600 árb ha⁻¹. Se demuestra en esta zona mediterránea de Chile que los sistemas silvopastorales entregan una mejor rentabilidad que los sistemas forestales y los ganaderos tradicionales sin árboles.

Como conclusión general se puede indicar que pino radiata presenta potencialidades para este uso en diversas situaciones, desde zonas semiáridas a zonas húmedas, siendo el sistema silvopastoral el preferido de los pequeños productores agroforestales, en desmedro de plantaciones con fines industriales a alta densidad.

Palabras claves: *Pinus radiata*, sistema silvopastoral, pequeños productores silvoagropecuarios, producción forrajera, animal y forestal.

SUMMARY

The experiences presented in this chapter demonstrate the feasibility of using *Pinus radiata* for silvopastoral purposes. Production of pastures under different situations and environments are presented, along with forest production, in two climatic geographical areas of Chile, south central

¹ Dr. Ciencias Forestales, Instituto Forestal (INFOR), Sede Bio Bio asotomay@infor.cl

² Instituto Forestal (INFOR), Sede Bio Bio

area between regions of Maule and Bio Bio, and wetland area of Chile, in the region of Los Rios.

With proper silvopastoral design, considering spatial arrangements with width initial spacing, allowing the development of forage species protected from tree crowns, and with proper management of both, trees with pruning and thinning sequential in time, and the pasture with fertilization and seeding of legumes and grasses, an interesting forage productions are obtained in these integrated systems.

In addition, an economic analysis is presented comparing a silvopastoral system with initial density setting 625 trees ha⁻¹, with three types of pastures, to a livestock system with sheep without trees, and a to forest system with initial density of 1,600 trees ha⁻¹. It is demonstrated that in a Mediterranean zone of Chile, silvopastoral systems give better returns than traditional livestock systems and forest systems.

As a general conclusion may be indicated that Radiata Pine has the potential for these systems in various climatic situations, from semi-arid to humid areas, and that silvopastoral systems are preferred by small producers in rural farms, at the expenses of high-density plantations with for industrial purposes.

Key words: *Pinus radiata*, silvopasture, small owners, forage, animal and forest production.

INTRODUCCIÓN

La cubierta forestal de Chile alcanza a 16,8 millones de hectáreas y está compuesta por 14,3 millones de hectáreas de bosques nativos y 2,5 millones de hectáreas de plantaciones forestales (INFOR, 2015). Las plantaciones forestales corresponden principalmente a *Pinus radiata*, con 1,47 millones de hectáreas, *Eucalyptus globulus* con 0,56 millones de hectáreas, *Eucalyptus nitens*, con 0,25 millones de hectáreas, y otras especies, con 0,22 millones de hectáreas. Entre estas últimas se cuentan varias especies como álamos (*Populus spp*), acacias (*Acacia spp*), atriplex (*Atriplex spp*), pino ponderosa (*Pinus ponderosa*), pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii*) y otras. El principal uso de la madera de las plantaciones es la producción celulosa y papel, madera aserrada, tableros y chapas, y remanufactura, dando origen a más de 6 mil millones de dólares americanos por retorno de exportaciones en el año 2014 (INFOR, 2015).

Los bosques en Chile están en manos privadas, solo unos 4 millones de hectáreas de bosques nativos, dentro de Parques Nacionales y Reservas Forestales, y una superficie marginal de plantaciones forestales son propiedad del Estado. Las grandes empresas forestales del país son dueñas de unos 1,7 millones de hectáreas de plantaciones y no más de un millón de bosques nativos y el Estado es también propietario de un millón adicional fuera del sistema de parques y reservas. En consecuencia parte importante de las plantaciones forestales y gran parte de los bosques nativos están en manos de pequeños y medianos propietarios forestales.

Los pequeños y medianos propietarios silvoagropecuarios dueños de tierras en áreas rurales de secano, con suelos de aptitud preferentemente forestal y ganadera, entre las regiones del O'Higgins por el norte y Los Lagos por el Sur, destinan gran parte de los suelos de sus propiedades a la actividad ganadera extensiva con ovinos y vacunos sobre praderas naturales sin manejo. Realizan también cultivos anuales, como trigo, cebada y otros cereales, sin mayor consideración de la capacidad de uso de los suelos. Esto ha conducido a que vastas extensiones

de suelos de clases capacidad de uso VI y VII (ganadera y forestal) se encuentran erosionados por sobretalajeo o por actividades de laboreo de suelos para siembra de cultivos, y con baja o nula protección de vegetación arbórea o arbustiva sobre estos. CIREN (2010) indica que más del 50% de los suelos de Chile se encuentran con algún grado de erosión, proporción que en regiones como Coquimbo, O'Higgins y Maule, sube a 82%, 53% y 49%, respectivamente.

El mejoramiento de la rentabilidad y sustentabilidad de los predios rurales debiera enfrentarse con innovaciones en materia de especies, productos y tecnologías de producción agropecuaria adecuadas, con el fin de mejorar la eficiencia productiva en los rubros tradicionales. Dentro de estas innovaciones es posible la incorporación de los sistemas agroforestales, que pueden integrar las componentes agrícolas, ganaderas y forestales en diferentes combinaciones de ellas, como los sistemas silvopastorales o los silvoagrícolas, que integran componentes forestales con componentes ganaderas o componentes agrícolas, respectivamente, dentro de un mismo espacio físico, y generan una positiva interacción entre las componentes involucradas.

Desde el punto de vista técnico, con la incorporación de árboles o arbustos en las unidades prediales destinadas a la ganadería tradicional y cultivos anuales, ordenados de acuerdo diseños silvopastorales o silvoagrícolas, o con el manejo de plantaciones establecidas con fines silvopastorales, se puede ayudar a incrementar la productividad de los sistemas de producción, principalmente en la producción de forraje y producción animal con ganado ovino o bovino (Sotomayor, 1989; Anderson *et al.*, 1988). Esto se logra por el mejoramiento de las condiciones ambientales locales dadas por la protección de los árboles a la pradera y los animales, disminuyendo la velocidad del viento, aumentando la temperatura ambiental y del suelo, incrementando humedad relativa, disminuyendo el déficit hídrico, y protegiendo al ganado de las lluvias y las bajas temperaturas, entre otros beneficios (Sotomayor y Teuber, 2011; Quam y Johnson, 1999; Sotomayor, 1990).

Los recursos forestales por su parte, al ser establecidos en asociación con praderas o cultivos, pueden también ser beneficiados por la introducción del ganado por control de la vegetación herbácea que compite por nutrientes y agua con las plantas jóvenes, esto también reduce el riesgo de incendios forestales. El reciclaje de nutrientes en el suelo se ve favorecido en estos sistemas integrados por la interacción de los sistemas radicales a distintas profundidades del suelo, las fertilizaciones que reciben las praderas y cultivos también favorecen a la cubierta arbórea y el mayor espaciamiento de los árboles en el ordenamiento agroforestal también favorece su desarrollo (Quam y Johnson, 1999). Otro aspecto ambiental importante que pueden propiciar los árboles dentro del sistema es la protección de los suelos frente al viento y las gotas de lluvia, por lo que es esperable una disminución de la erosión (Sotomayor y Cabrera, 2008).

Desde el punto de vista económico, los productores locales que incorporen estas tecnologías mixtas de producción en sus predios en vez sistemas forestales tradicionales con objetivo de producción maderera, podrán mantener un flujo de caja anual por la venta de animales (carne, lana) y productos de cultivos agrícolas intercalares, lo que les permitirá solventar los gastos propios del grupo familiar y del manejo de los bosques mientras estos maduran y entregan sus productos (Sotomayor, 1990). El manejo de los bosques a su vez, les entregará productos madereros intermedios, como madera para pulpa, leña, postes y otros, provenientes de raleos y podas, y finalmente productos de mayor valor, como madera libre de nudos, al terminar el turno de la plantación (Sotomayor y Cabrera, 2008). Es también un beneficio la valorización del predio al contar con una masa forestal. Los productores podrán así mejorar sus ingresos y condiciones de vida (Leslie *et al.*, 1998; Polla, 1998).

Beneficios ambientales adicionales de este sistema integrado de producción están dados por una mayor sustentabilidad; se controla la erosión y recupera suelos degradados, especialmente en zonas de laderas, se mejora y regula los cursos de agua, se favorece el paisaje y la vida silvestre, y se retiene CO₂ atmosférico.

EXPERIENCIAS PILOTOS Y DEMOSTRATIVAS DE MANEJO SILVOPASTORAL CON PEQUEÑOS PRODUCTORES EN LA ZONA TEMPLADA CENTRAL DE CHILE

Como se mencionó, la especie más plantada en Chile es el *Pinus radiata*, dada su plasticidad para adaptarse a diversos ambientes, desde zonas semiáridas con una precipitación anual de 450 mm en la zona central de Chile a zonas húmedas con más de 2.000 mm en la zona sur de Chile. Esto ha permitido que plantaciones de esta especie sean establecidas para el abastecimiento de materia prima de grandes conglomerados industriales forestales del país; plantas de celulosa y papel, aserraderos, industrias de tablero y de remanufactura (INFOR, 2013a). También ha sido utilizada la especie en programas de forestación implementados por el Gobierno en pequeñas y medianas propiedades agrícolas, utilizando instrumentos de fomento del Estado, con bonificaciones específicas para fomentar la forestación en suelos de aptitud preferentemente forestal, donde se consideran también incentivos para el establecimiento de sistemas silvopastorales, a través del Decreto Ley N° 701 de fomento forestal hasta el año 2012.

El Instituto Forestal desarrolló el Programa Agroforestal Nacional (PAN) entre los años 2002 y 2013 (INFOR, 2013b), con diversas fuentes de financiamientos, tanto del Ministerio de Agricultura como del Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), con el objetivo de generar información que permita evaluar la potencialidad de estos sistemas de producción integrada en el país y fomentar su uso preferentemente entre los pequeños productores silvoagropecuarios, donde el pino radiata ha sido utilizado profusamente en sistemas silvopastorales. A continuación se exponen algunos resultados de este programa en la zona templada.

Unidad Agroforestal Demostrativa Los Aromos, Comuna de Cauquenes, Región del Maule

- Material y Método

La Unidad Agroforestal Los Aromos se ubica en la comuna de Cauquenes en la región del Maule, 25 km al norte de la ciudad de Cauquenes. Esta unidad pertenece a la zona agroecológica de secano semiárido, en una ladera con exposición noreste. Las temperaturas oscilan en promedio entre una máxima media en enero de 29° C y una mínima media en julio de 4,9° C, con una media anual de 14,1 °C. El período libre heladas es de 259 días, con un promedio de 6 heladas por año, que pueden alcanzar hasta -7°C. La precipitación media anual es de 696 mm, con un déficit hídrico de 931 mm y un período seco de 7 meses (Peralta 1976).



Figura N° 1
SISTEMAS SILVOPASTORALES EN UNIDAD AGROFORESTAL LOS AROMOS

Diseño Estadístico: En esta unidad se establecieron dos ensayos silvopastorales con pino radiata el año 2003, con densidades iniciales T1: 500 arb ha⁻¹ y T2: 1.000 arb ha⁻¹; un sistema forestal con la misma especie T3: 1.250 arb ha⁻¹, como testigo forestal; y T4 área de pradera natural sin manejo como área testigo.

El diseño silvopastoral fue en fajas alternas, con dos hileras de plantación a 2 x 3 m y una separación entre estas de 14 m para la densidad de 500 arb ha⁻¹ árboles y de 7 m para la densidad de 1.000 arb ha⁻¹.

Se analizó la influencia de los árboles en la producción de la pradera, tanto pradera sembrada como pradera natural, comparada con un área de pradera natural sin árboles.

El sistema silvopastoral T2 fue raleado el año 2008 a una densidad aproximada de 614 arb ha⁻¹ y el año 2013 a 338 arb ha⁻¹, y podado en tres oportunidades; a los 4 años a una altura de 1,2 m, a los 6 años a 2,1 m y a los 8 años a 3.2 m de altura.

El tratamiento forestal T3 fue raleado el año 2013 a 520 arb ha⁻¹ y podado a los 5 años a 2,1 m de altura.

Evaluación de Parámetros Forestales: En T2 se utilizó un diseño de tres parcelas permanentes de 1.000 m² y en T3 parcela circular de 116,8 m², distribuidas al azar dentro de los tratamientos, en las cuales se midió altura total (H), diámetro a la altura del pecho (DAP), y Área Basal (AB).

En el análisis estadístico se emplearon Modelos Estadísticos Lineales Mixtos, para atender la falta de alguno(s) de los supuestos clásicos que requiere un análisis de varianza tradicional, como datos con distribución normal, independencia de los datos y heterogeneidad de varianza.

Para el análisis de las variables forestales se realizó un análisis longitudinal, evaluándose tratamiento, tiempo y la interacción tratamiento-tiempo.

El modelo de varianza utilizado para analizar las variables forestales, pratenses y animales, corresponde al modelo:

$$Y = \mu + T + t + (T * t) + E$$

Donde: μ = Constante
T = Tratamiento
t = Tiempo
E = Error

Para la evaluación estadística de los parámetros forestales, se utilizó el procedimiento PROC MIXED de SAS versión 9.3 (SAS Institute, 2003), y para la comparación entre tratamientos se utilizó el ajuste de LSMEANS de SAS.

Para el análisis estadístico de las variables forestales, se probaron cuatro modelos que ajustan varianzas heterogéneas: Modelo Heterocedástico (ARH (1)), de Simetría Compuesta (CS), de Simetría Compuesta Heterocedástica (CSH), y Modelo no Estructurado (UN).

Los cuatro modelos alcanzaron los criterios de convergencia requeridos por SAS. Para seleccionar el mejor modelo para cada variable, se utilizó el criterio de información de Akaike, seleccionando el que tenga el menor valor.

Evaluación de la Pradera: Para la evaluación de la pradera, se utilizó un diseño de parcelas distribuidas al azar, modificando su ubicación cada año.

Se utilizaron 3 jaulas de exclusión de 0,5 m² para cada tratamiento, donde se evaluó la pradera en materia seca (kg ha⁻¹ MS).

La materia seca, consiste en la materia generada por el secado del material pratense verde cortado en las jaulas de evaluación secado a 60°C en horno de secado hasta peso constante.

Las evaluaciones para determinar la producción de la pradera en materia seca, consistió en la toma de muestras a fines del periodo vegetativo, entre diciembre y enero de cada año, pesándose para determinar peso en verde.

Los resultados de los estudios de producción pratense fueron analizados estadísticamente a través de análisis de varianza, para comparar los promedios y la prueba de hipótesis específica utilizada fue LSD (*Least Significant Difference*), con un nivel de significancia del 5 %, utilizando la herramienta INFOSTAT ©.

- Resultados

Durante un periodo de 12 años de seguimiento de esta experiencia se han registrado los valores expuestos en el Cuadro N° 1, para el desarrollo de los árboles, y en el Cuadro N° 5, para la producción de la pradera.

Cuadro N° 1
RESULTADOS MEDIOS DE LOS PARÁMETROS FORESTALES, ± ERROR STANDARD, EN SISTEMA SILVOPASTORAL, AÑOS 2008 A 2015, COMUNA DE CAUQUENES, CHILE.

Año	DAP (cm)		AB (m ² ha ⁻¹)		H (m)	
	T2	T3	T2	T3	T2	T3
2008	8,2±0,27	6,9±0,46	3,4±0,18	5,1±1,01	5,4±0,36	4,7± 0,26
2009	10,4±0,29	8,7±0,53	5,4±0,32	8,1±1,42	6,1±0,33	5,6±0,46
2013	16,6±0,09	13,6±0,45	9,4±0,43	17,1±2,11	12,0±0,39	10,8±0,69
2014	18,3±0,12	15,2±0,27	11,3±0,48	18,4±2,75	14,6±0,65	12,5±0,94
2015	19,53±0,15	16,6±0,44	12,9±0,62	24,7±2,59	17,7±0,27	13,4±0,27

Del análisis estadístico de los parámetros forestales, se puede apreciar que en el DAP, evaluado entre los años 2008 y 2015, se encuentra diferencias significativas para el efecto tiempo, tratamiento y tratamiento*tiempo (Cuadro N° 2).

Cuadro N° 2
RESULTADOS DEL MODELO UN PARA DAP

Efecto	GL	DF	F-Valor	Pr>F
Tiempo	4	82,7	623,73	<0,0001
Tratamiento	1	89,9	89,91	<0,0001
Tiempo*Tratamiento	4	82,7	5,46	0,0006

En DAP se observan árboles más desarrollados en T2 producto de un mayor espaciamiento original en el tratamiento silvopastoral en relación al testigo forestal.

En el Cuadro N° 3 se observa que todos los efectos testeados (tiempo, tratamiento e interacción) son significativos en la respuesta generada por la variable AB, siendo el tratamiento T3-Forestal el que presenta un valor superior para el AB respecto al tratamiento T2-Silvopastoral, a través del tiempo.

El mayor valor para el tratamiento forestal, se debe principalmente al factor de mayor densidad inicial, el cual también se mantiene al momento de la evaluación el año 2015.

Cuadro N° 3
RESULTADOS DEL MODELO UN PARA AB

Efecto	GL	DF	F-Valor	Pr>F
Tiempo	4	79,2	417,40	<0,0001
Tratamiento	1	82,3	85,99	<0,0001
Tiempo*Tratamiento	4	79,2	14,14	<0,0001

En relación a la altura (H), durante los primeros años no se observaron diferencias significativas, pero se observa que tanto el efecto del tiempo así como de los tratamientos es significativo (Cuadro N° 4).

No obstante, la interacción tiempo*tratamiento no es significativo. Siendo el tratamiento SSP el que presenta un valor superior para la altura respecto al tratamiento Forestal, a través del tiempo.

El año 2013, cuando se realizó un raleo en ambos tratamientos, se comenzaron a observar diferencias significativas a favor del sistema silvopastoral, producto de un mejor desarrollo de los árboles seleccionados después del raleo.

Cuadro N° 4
RESULTADOS DEL MODELO UN PARA H

Efecto	GL	DF	F-Valor	Pr>F
Tiempo	4	55,8	558,64	<0,0001
Tratamiento	1	50,6	24,57	<0,0001
Tiempo*Tratamiento	4	55,8	1,68	0,1666

En cuanto a la producción pratense, en el Cuadro N° 5 se exponen los resultados de mediciones realizadas entre los años 2006 y 2015.

De los resultados expuestos, se observa en las dos primeras temporadas de evaluación de la pradera (2006-2007 a 2007-2008) que al establecer praderas sembradas con fertilización en tratamiento silvopastoral T2 se aumentó significativamente la productividad de la pradera, en relación a tratamiento testigo y tratamiento silvopastoral con 500 árboles por hectárea con pradera natural, y sin fertilización.

Cuando se comparan los tratamientos y temporadas solo con pradera natural, entre las temporadas 2008-2009 y 2010-2011 la productividad es muy baja y no existieron diferencias significativas entre los tratamientos silvopastorales, y solo existieron diferencias en temporada 2009-2010 en relación al testigo.

Para la temporada 2012-2013 cuando nuevamente se estableció pradera sembrada, no se observa diferencias entre los tratamientos silvopastorales, y sí entre estos en relación a testigo con pradera natural.

En la temporada 2013-2014 se observan diferencias entre los tres tratamientos, con una mayor productividad en T2, y en la última temporada de evaluación no existen diferencias significativas entre tratamientos, al no haberse fertilizado, dado lo cual se produjo una naturalización de la pradera.

No se han apreciado hasta ahora respuestas claras en relación a la densidad forestal, dado el uso de diferentes tipos de praderas establecidas en las temporadas de evaluación, que han impedido obtener una secuencia clara en el tiempo.

Sin embargo, se aprecia la importancia del establecimiento de praderas sembradas con leguminosas, encontrándose en todas las temporadas de evaluación que cuando se establecieron las leguminosas se produjo diferencias significativas en relación el tratamiento testigo con pradera natural.

Cuadro N° 5
PRODUCCIÓN PRATENSE, TANTO PRADERA SEMBRADA COMO NATURAL, EN SISTEMAS SILVOPASTORALES Y ÁREA TESTIGO SIN INFLUENCIA ARBÓREA, COMUNA DE CAUQUENES, CHILE

Temporada	T1	T2	T3
	(kg ha ⁻¹ MS) ± E.E.		
2006-2007	1333 ^{b#} ± 133	3920 ^{a*} ± 424	1813 ^{b#} ± 490
2007-2008	1600 ^{b#} ± 31	4760 ^{a*} ± 100	1810 ^{b#} ± 212
2008-2009	756 ^{a#} ± 77	851 ^{a#} ± 114	648 ^{a#} ± 308
2009-2010	930 ^{ab#} ± 89	1531 ^{a#} ± 153	835 ^{b#} ± 177
2010-2011	839 ^{a#} ± 307	1189 ^{a#} ± 281	835 ^{a#} ± 31
2012-2013	4306 ^{a*} ± 857	3781 ^{a*} ± 547	837 ^{b#} ± 345
2013-2014	1035 ^{b*} ± 42	2473 ^{a*} ± 127	565 ^{c#} ± 49
2014-2015	1087 ^{a#} ± 359	1340 ^{a#} ± 455	1007 ^{a#} ± 496

*: Pradera sembrada con trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum*), trébol balanza (*Trifolium michelianum*), hualputra (*Medicago polymorpha*), y gramíneas naturales.

#: Pradera natural, sin fertilización

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05), por temporada de evaluación y tratamiento

Unidad Agroforestal Demostrativa Los Álamos, Provincia de Arauco, Región de Bio Bio

- Material y Método

Esta Unidad Silvopastoral se estableció en la comuna de Los Álamos, Provincia de Arauco, Región del Bio Bio, en una superficie de 1,3 ha. La unidad ocupa un terreno plano con leves lomajes de poca pendiente, menor al 10%, característico de las terrazas marinas de la zona de la provincia de Arauco. El suelo se presenta como un suelo ondulado a quebrado, de terrazas marinas, profundo, franco arcilloso en la superficie a arcilloso denso en profundidad. (Peralta 1976).

La comuna de Los Álamos, se ubica dentro de la zona Agro-clima Concepción, que corresponde a un área costera. El régimen térmico se caracteriza por una temperatura media anual de 13,2 °C, con una máxima media en el mes de enero de 25,1 °C y una mínima media en el mes de julio de 5 °C. Este clima tiene un período de 7 meses libre de heladas. El régimen hídrico, indica una precipitación anual de 1.330 mm (Peralta 1976).

Diseño Estadístico: En esta unidad se estableció un sistema silvopastoral con la especie *Pinus radiata* el año 2008, bajo un diseño de sistema de bloques al azar, probándose 5 densidades de plantación para analizar el efecto de estas en la producción de forraje con fines de alimentación animal. Las plantaciones se realizaron en base a hileras dobles de plantación, establecidas a 2 m en la línea y 3 m entre líneas de plantación, y separadas de las siguientes dos líneas desde 6 a 18 m, conformado cinco tratamientos silvopastorales;

T1: 1.111 arb ha⁻¹; T2: 833 arb ha⁻¹; T3: 666 arb ha⁻¹; T4: 555 arb ha⁻¹ y T5: 454 arb ha⁻¹. Junto con evaluar el componente forestal, se evalúa el comportamiento de la pradera, tanto natural como sembrada entre las dos líneas de plantación.

Evaluación de Parámetros Forestales: Para la evaluación de los parámetros forestales se utilizó un diseño de tres parcelas permanentes de superficie variable según el diseño y densidad de los tratamientos, en ellas se midió altura total (H), diámetro a la altura del pecho (DAP), área basal (AB) y cobertura de copa (CC%). Para el análisis estadístico se trabajó con Modelos Estadísticos Lineales Mixtos, para atender la falta de alguno(s) de los supuestos clásicos que requiere un análisis de varianza tradicional, como datos con distribución normal, independencia de los datos y heterogeneidad de varianza. Para el análisis de las variables forestales se realizó un análisis longitudinal, evaluándose tratamiento, tiempo y la interacción tratamiento-tiempo. El modelo de varianza utilizado para analizar las variables forestales, prateras y animales, corresponde a:

$$Y = \mu + T + t + (T * t) + E$$

Dónde: μ = Constante

T = Tratamiento

t = Tiempo

E = Error.

Para la evaluación estadística de los parámetros forestales, se utilizó el procedimiento PROC MIXED de SAS versión 9.3 (SAS Institute, 2003), y para la comparación entre tratamientos se utilizó el ajuste de LSMEANS de SAS.

La determinación del porcentaje de cobertura, para cada uno de los tratamientos y sus repeticiones, se efectuó a través del método indirecto con fotografías hemisféricas. Este método consistió en tomar fotografías con una cámara digital a una altura fija, instalada sobre un trípode nivelado y dotada con lente *fish-eye*, el cual posee un campo de visión de 180°, obteniendo una fotografía que registra la posición, tamaño y forma de las aberturas o claros que existen en el dosel. Con estos datos se transforma esta fotografía en un “mapa de posiciones” de las aberturas del dosel con el cenit en el centro, y que posteriormente son analizadas a través de un software computacional.

Se tomó un total de 15 fotografías hemisféricas, ubicadas en el centro de cada uno de los tratamientos y sus respectivas repeticiones. Estas fotografías fueron tomadas en ausencia de luz directa de sol, con el lente mirando directamente hacia el dosel de copas (90°) y con la parte superior de la cámara orientada hacia el norte a través de la utilización de una brújula marca Suunto. Una vez tomadas estas fotografías, se realizó el cálculo de la cobertura para cada tratamiento y sus repeticiones, fueron analizadas con el software *Gap Light Analyzer*.

Evaluación de la Pradera: Se utilizó un diseño de parcelas distribuidas al azar, modificando su ubicación cada año, con 3 jaulas de exclusión de 0,5 m² para cada tratamiento, donde se evaluó la pradera en materia seca (kg ha⁻¹ MS). La materia seca consiste en la materia verde cortada en las jaulas de evaluación y secado a 60°C en horno de secado hasta peso constante. La evaluación para determinar la producción de la pradera en materia seca consistió en la toma de muestras a fines del periodo vegetativo,

entre diciembre y enero de cada año, pesándose para determinar peso en verde. Los resultados de los estudios de producción pratense fueron analizados estadísticamente a través de análisis de varianza, para comparar los promedios, y la prueba de hipótesis específica utilizada fue LSD (*Least Significant Difference*), con un nivel de significancia del 5 %, utilizando la herramienta estadística INFOSTAT ©



Figura N° 2
SISTEMAS SILVOPASTORALES EN UNIDAD AGROFORESTAL LOS ÁLAMOS

- Resultados

En el seguimiento de esta experiencia se han registrado los valores expuestos en el Cuadro N° 6, para el desarrollo de los árboles, y en el Cuadro N° 10, para la producción de la pradera.

Cuadro N° 6

RESULTADOS MEDIOS DE LOS PARÁMETROS FORESTALES ± ERROR STANDARD POR TRATAMIENTO, AÑOS 2013 A 2015, COMUNA DE LOS ALAMOS, CHILE

Tratamiento	2013			2014			2015		
	DAP (cm)	AB (m ² ha ⁻¹)	H (m)	DAP (cm)	AB (m ² ha ⁻¹)	H (m)	DAP (cm)	AB (m ² ha ⁻¹)	H (m)
T1	11,0 ± 0,89	8,3 ± 1,26	5,3 ± 0,38	16,1 ± 0,90	17,5 ± 1,84	7,7 ± 0,61	19,3 ± 0,72	25,3 ± 1,65	10,2 ± 0,64
T2	11,8 ± 0,49	7,6 ± 1,25	5,6 ± 0,26	17,5 ± 0,25	15,5 ± 1,79	8,5 ± 0,36	20,8 ± 0,36	22,0 ± 2,71	11,0 ± 0,35
T3	10,7 ± 1,14	5,9 ± 1,3	5,2 ± 0,41	15,8 ± 1,18	12,5 ± 2,2	7,6 ± 0,51	19,3 ± 1,14	18,3 ± 2,94	9,9 ± 0,55
T4	11,8 ± 0,39	5,1 ± 0,76	5,7 ± 0,24	17,1 ± 0,36	10,5 ± 1,25	8,1 ± 0,60	20,8 ± 0,28	15,4 ± 1,59	10,5 ± 0,19
T5	11,4 ± 0,66	4,4 ± 0,87	5,6 ± 0,38	16,4 ± 0,72	8,9 ± 1,5	8,0 ± 0,60	20,2 ± 0,74	13,6 ± 2,20	10,3 ± 0,71

Al analizar el comportamiento de DAP y H entre los años 2013 y 2015 (Cuadro N° 7), se observa que solo el efecto del tiempo es significativo y los efectos del tratamiento y la interacción tiempo*tratamiento no son significativos. Lo anterior se debe a que aún los árboles han tenido suficiente espacio para su desarrollo, no detectándose efecto competencia

Cuadro N° 7
RESULTADOS DEL MODELO UN PARA DAP

Efecto	GL	DF	F-Valor	Pr>F
Tiempo	2	142	2.583,27	<0,0001
Tratamiento	4	142	1,11	0,3550
Tiempo*Tratamiento	8	142	0,85	0,5572

En cuanto al AB, se observa que tanto el efecto del tiempo como del tratamiento y de la interacción tiempo*tratamiento son significativos (Cuadro N° 8). Esto se explica por la diferencia en el factor densidad entre los tratamientos, que fluctúan entre 454 y 1.111 arb ha⁻¹. En el tiempo el tratamiento T1 es significativamente superior en AB en relación a los tratamientos T4 y T5. A su vez, el tratamiento T2 es significativamente superior al tratamiento T5, no encontrándose diferencias entre T1 y T2 y T3, ni entre T4 y T5.

Cuadro N° 8
RESULTADOS DEL MODELO UN PARA AB

Efecto	GL	DF	F-Valor	Pr>F
Tiempo	2	10	272,60	<0,0001
Tratamiento	4	10	3,84	0,0383
Tiempo*Tratamiento	8	10	4,26	0,0180

Para la cobertura de copa (%), medida en base a la metodología de fotos hemisféricas, también se encontraron diferencias significativas para los efectos tiempo, tratamiento y la interacción tiempo*tratamiento (Cuadro N° 9 y Figura N° 3). Esta variable es una de las más significativas en su influencia en la producción de la pradera (Sotomayor *et al.*, 2011).

Cuadro N° 9
COBERTURA DE COPA POR TRATAMIENTO AÑO 2015

Tratamiento	Año 2015 (%)
T1: 6 m	68,06
T2: 9 m	47,89
T3: 12 m	42,83
T4: 15 m	32,41
T5: 18 m	31,92

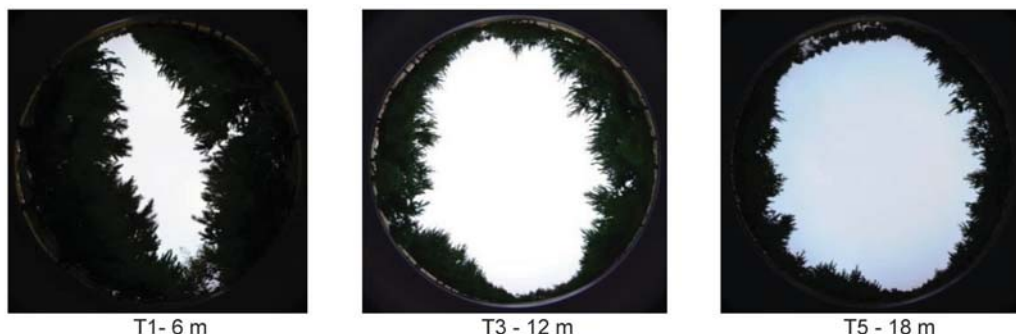


Figura N° 3

FOTOS HEMISFÉRICAS DE COBERTURA DE COPA, SEGÚN TRATAMIENTO Y DENSIDAD AÑO 2015

Se aprecia claramente el efecto de la densidad en la cobertura de copa, lo que de acuerdo a Sotomayor *et al.* (2011) tiene una directa influencia en la productividad de la pradera por efecto de competencia y sombreamiento.

Cuadro N° 10

PRODUCCIÓN PRADERA ± ERROR ESTANDAR POR TEMPORADA

Tratamiento	2012-2013		2013-2014	
	(kg ha ⁻¹ MS)			
T1: 6 m	3.202,7 ^a	± 427,4	1.640,7 ^a	± 422,1
T2: 9 m	3.409,3 ^a	± 1.115,1	2.040,0 ^a	± 1.036,6
T3: 12 m	4.247,3 ^a	± 916,2	1.221,0 ^a	± 587,3
T4: 15 m	4.732,7 ^a	± 1.747,3	1.866,7 ^a	± 625,3
T5: 18 m	3.876,0 ^a	± 1.074,1	1.180,0 ^a	± 472,9

*Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Los tres primeros años desde el establecimiento del sistema silvopastoral se mantuvo la pradera natural sin un uso intensivo para permitir el crecimiento de los pinos, excluyéndose de animales para que no fueran afectados por ramoneo. La pradera fue establecida durante la primavera del año 2012, y estuvo compuesta por trébol rosado (*Trifolium pratense* L.) y gramíneas naturales de la zona, y fertilizada con superfosfato triple.

Durante la temporada 2013-2014 se mantuvo la pradera y no se fertilizó, originando una naturalización de la pradera con más presencia de gramíneas anuales y pérdida de trébol, originando una disminución de la producción (Cuadro N° 10).

En la primera temporada 2012 - 2013 no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, en términos de producción de materia seca, aunque se puede observar que en los tratamientos más amplios, entre 12 a 18 m, hubo una mayor producción de la pradera con trébol rosado entre fajas de árboles, producto de un mayor espaciamiento y consecuentemente menor sombreamiento entre fajas de árboles. Lo anterior significa que a la edad de 5 años

del sistema, los árboles aun no originan un efecto por sombreamiento y competencia sobre el desarrollo de la pradera.

En la temporada siguiente, 2013-2014, tampoco se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos y se puede observar que aún no hay una tendencia clara en cuanto a productividad de la pradera y tratamientos.

Solo se observan diferencias entre temporadas. Esto puede ser atribuido a un mal manejo de la pradera, al no haberse fertilizado originando su naturalización con presencia mayor de gramíneas que trébol rosado.

- Conclusiones

Los resultados expuestos sobre implementación de sistemas silvopastorales con pino radiata en dos situaciones de la zona central de Chile, indican la factibilidad de establecer sistema silvopastorales con esta especie en predios de pequeños agricultores.

En estas experiencias, con la introducción de árboles en predios privados ordenados bajo diseños silvopastorales, la producción de praderas con especies sembradas adecuadamente y con fertilización, conduce a rendimientos adecuados para la zona. Cuando se trabajó con praderas naturales sin fertilización las producciones fueron bajas, pero normales para una pradera natural en las zonas evaluadas.

También se puede concluir la importancia de adoptar espaciamientos amplios al momento de establecer la plantación con objetivos silvopastorales, recomendándose espaciamientos superiores a 10 m entre hileras de plantación para obtener una mayor producción pratense y, además, manejar la cobertura de copa con intervenciones oportunas de poda y raleo, y así alargar el periodo de producción pastoral evitando un sombreamiento excesivo que afecte el desarrollo de la pradera.

Para los productores que adoptan un sistema silvopastoral, junto con la producción pratense con fines de producción animal, se suma la posibilidad de obtener producciones madereras del componente arbóreo, el cual debe ser manejado con podas y raleos para obtener trozos libres de nudos o defectos, que obtienen un mejor precio de mercado (Cuadro N° 6), lo que les permite una real diversificación de la producción predial.

EXPERIENCIAS DE MANEJO SILVOPASTORAL EN ZONAS HÚMEDAS DEL SUR DE CHILE

La Universidad Austral de Chile (UACH, 1988) analizó, entre los años 1975 y 2001, el comportamiento de sistemas silvopastorales con *Pinus radiata* en la zona húmeda del sur de Chile, en el predio Huape Tres Esteros, de su propiedad, cercano a Valdivia en la región de Los Ríos.

- Material y Método

El predio Huape Tres Esteros está ubicado 15 km al norte de la ciudad de Valdivia, región de Los Ríos, Chile.

Esta zona se caracteriza por poseer suelos rojo arcillosos de la cordillera de la costa y

las variables climáticas registradas en el sector corresponden a una temperatura media anual de 12,4 °C, una mínima media de 7,35 °C en junio y una máxima media de 18,15 °C en enero. La humedad relativa promedio es de 85,2%, y la precipitación anual media anual es de 2.609 mm (Peñaloza *et al.*, 1985).

Los sistemas evaluados consisten en plantaciones de pino radiata de dos densidades, 260 y 500 arb ha⁻¹ y con un diseño del sistema de bloques completos al azar. Los tratamientos evaluados fueron:

TR: Pradera natural y pino a 260 arb ha⁻¹

FR: Pradera natural fertilizada con pino a 260 arb ha⁻¹

RR: Pradera natural regenerada y pino a 260 arb ha⁻¹

TD: Pradera natural y pino a 500 arb ha⁻¹

FD: Pradera natural fertilizada y pino a 500 arb ha⁻¹

RD: Pradera natural regenerada y pino a 500 arb ha⁻¹

La fertilización se realizó con 50 kg ha⁻¹ de urea, 435 kg ha⁻¹ de superfosfato triple (en dos dosis, otoño y primavera) y 100 kg ha⁻¹ de sulfato de potasio (en dos dosis, otoño y primavera).

La regeneración de la pradera se obtuvo con resiembra de *Trifolium subterraneum*, *Lolium perenne* y *Lolium multiflorum*.

Para el análisis estadístico se utilizó un análisis de varianza tradicional y el test de Tukey.

La evaluación de materia seca (kg ha⁻¹ MS) se efectuó mediante corte y pesaje de material extraído verde de jaulas de exclusión de 0,25 m², con 10 mediciones por tratamiento. Las muestras se pesaron en verde y luego se secaron en estufas a 60 °C por 48 h, para obtener la materia seca.

- Resultados

Los resultados fueron obtenidos en base a mediciones realizadas entre abril de 1982 y mayo de 1984, en la plantación silvopastoral con *Pinus radiata* de 10 y 11 años de edad (García, 1985; Peñaloza y Hervé, 1985).

En los resultados se puede apreciar que tanto la pradera mejorada con fertilización como la regenerada obtuvieron una mayor productividad que la pradera natural (Cuadro N° 11).

Cuando esta pradera es analizada con el efecto árbol, en el primer año no se obtienen diferencias entre los tratamientos, estas diferencias se aprecian en el año 2, con una mayor productividad asociada a una menor densidad de la plantación.

Cuadro N° 11
PRODUCTIVIDAD DE PRADERA NATURAL BAJO DOS DENSIDADES SILVOPASTORALES
CON Y SIN MÉTODOS DE MEJORAMIENTO

Tratamiento	Productividad Pradera (t ha ⁻¹ MS)	
	Año 1	Año 2
Mejoramiento de la Pradera		
Pradera natural	1,57 ^b	1,46 ^c
Pradera natural fertilizada	4,30 ^a	2,00 ^b
Pradera natural fertilizada y regenerada	3,92 ^a	2,43 ^a
Densidad Plantación		
Silvopastoral con 260 arb ha ⁻¹	3,43 ^a	2,14 ^a
Silvopastoral con 500 arb ha ⁻¹	3,10 ^a	1,72 ^b

(García, 1985)

*Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) por año de evaluación y tratamiento.

- Conclusiones

Los resultados de este estudio permiten concluir que el sistema silvopastoral con menor densidad permite una mayor producción praterense en ambas temporadas, aunque en la primera temporada no hubo diferencias significativas. También se puede concluir la conveniencia de utilizar fertilización sobre la pradera natural y, cuando es necesario, de su regeneración, para obtener una mayor producción en relación a una pradera natural.

ANÁLISIS ECONÓMICO DE UN SISTEMA SILVOPASTORAL CON PINO RADIATA Y GANADO OVINO EN LA ZONA MEDITERRÁNEA COSTERA CENTRAL DE CHILE

La información proporcionada en este punto se basa en trabajos efectuados por Sotomayor y Cabrera (2008) y Rodríguez (1998), enfocados en el análisis económico de sistemas silvopastorales con pino radiata, efectuados en el Centro Experimental Forestal Tanumé de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), ubicado en la comuna de Pichilemu, provincia de Cardenal Caro, región de O'Higgins (34°15' LS y 74°49' LO), en un área correspondiente a secano costero.

Material y Método

La zona se caracteriza por presentar 8 meses secos, una precipitación media anual de 704 mm concentrada entre los meses de mayo-agosto, influencia marina que produce abundantes neblinas costeras y temperatura media mínima de 8,6°C y media anual de 11,6°C.

El sistema silvopastoral integra plantaciones de pino radiata con tres tipos de praderas; pradera sembrada (PS) compuesta por Trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum*) y falaris (*Phalaris aquatica* cv *sirosa* y cv *steptanera*), pradera natural mejorada (PM) con fertilización, y pradera natural (PN) sin fertilización; y ganado ovino.

- **Tratamientos**

Sistemas Silvopastorales:

T1: Sistema Silvopastoral (PS 625)

Pino radiata plantado 625 árb ha⁻¹ en conglomerados de 4 plantas a 2 x 2 m, espaciados a 6 m entre ellos.

Pradera sembrada pastoreada con ganado ovino, la cual se describe en los tratamientos ganaderos.

El componente forestal tuvo tres raleos y tres podas para llegar a una densidad final esperada de 200 árb ha⁻¹, podados a 7 m de altura.

T2: Sistema Silvopastoral (PM 625)

Pinus radiata 625 árb ha⁻¹ en conglomerados de 4 plantas a 2 x 2 m, espaciados a 6 m entre ellos.

Pradera natural mejorada con fertilización pastoreada con ganado ovino, la cual se describe en los tratamientos ganaderos.

El componente forestal tuvo tres raleos y tres podas para llegar a una densidad final esperada de 200 árb ha⁻¹, podados a 7 m de altura.

T3: Sistema Silvopastoral (PN 625)

Pino radiata 625 árb ha⁻¹ en conglomerados de 4 plantas a 2 x 2 m, espaciados a 6 m entre ellos.

Pradera natural (PN) sin fertilización pastoreada con ganado ovino, la cual se describe en los tratamientos ganaderos.

El componente forestal tuvo tres raleos y tres podas para llegar a una densidad final esperada de 200 árb ha⁻¹, podados a 7 m de altura.

Sistema Forestal:

T4: Sistema Forestal (Testigo)

Pino radiata a 1.600 árb ha⁻¹, espaciamiento de 2 x 3 m, con manejo en base a dos raleos y dos podas, para llegar a una densidad final esperada de 500 árb ha⁻¹ podados a 4,1 m de altura. Sin uso pastoral.

Sistemas Ganaderos sin Árboles:

T5: Sistema Pastoral con Pradera Sembrada (PS) y Ganado Ovino.

Este sistema se estableció el año 1985 con una proyección de 24 años y corresponde a la siembra de una pradera de trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum*) y falaris (*Phalaris tuberosa*) para producción ovina.

La faena de siembra ocurre en el año 0 y la fertilización se realizó durante todos los años de uso ganadero con ovinos.

Las faenas relacionadas con la componente ganadera se mantienen por todo el período y consisten en el transporte del ganado, su pesaje mensual, manejo pastoral, aplicación de productos veterinarios y de vitaminas.

El ganado ovino fue introducido al inicio de la temporada, en el mes de octubre, retirado entre los meses de febrero-marzo, dependiendo de la disponibilidad de forraje, y pesado al inicio y al final de la temporada, para todos los tratamientos silvopastorales y ganaderos.

T6: Sistema Pastoral con Pradera Mejorada (PM) y Ganado Ovino.

Este sistema se estableció el año 1986 con una proyección de 23 años y corresponde a la mantención y mejoramiento de una pradera natural para uso por ganado ovino.

En este caso el mejoramiento de la pradera se realizó mediante fertilización cada tres años durante el período de uso ganadero.

Las faenas relacionadas con la componente ganadera consisten en el transporte del ganado, su pesaje en mensual, cuidados, aplicación de productos veterinarios y de vitaminas, por todo el período.

T7: Sistema Pastoral (PN) Pradera Natural (PN) y Ganado Ovino.

En este sistema no se incurrió en costos para establecimiento o manejo de la pradera, dado que se trabajó con una pradera natural, y solo se tuvo los costos de manejo ganadero con ovinos, como transporte del ganado, su pesaje mensual, manejo pastoral y aplicación de productos veterinarios y vitaminas.

- Diseño Experimental

Evaluación de los Parámetros Forestales

Para evaluación del componente forestal fueron instaladas tres parcelas por tratamiento, con un diseño al azar, para cada tratamiento con presencia de árboles (T1, T2, T3y T4).

Los parámetros forestales evaluados fueron Diámetro a la Altura del Pecho (DAP, cm), Área Basal (AB, $m^2 ha^{-1}$) y Altura Total (H, m).

Las parcelas de evaluación utilizadas para los sistemas silvopastorales fueron parcelas circulares de 907 m² y para el testigo forestal parcelas circulares de 314 m².

Los resultados de los estudios de producción forestal, pratense y animal fueron analizados estadísticamente a través de análisis de varianza, para comparar los promedios, y la prueba de hipótesis específica utilizada fue LSD (*Least Significant Difference*), con un nivel de significancia del 5 %.

Para la evaluación estadística de los parámetros forestales, se utilizó el procedimiento PROC MIXED de SAS versión 9.3 (SAS Institute, 2003), para la comparación entre tratamientos se utilizó el ajuste de LSMEANS de SAS.

Evaluación de la Producción de la Pradera

Se utilizó un diseño de parcelas distribuidas al azar, modificando su ubicación cada año. Se utilizaron 3 jaulas de exclusión de 0,5 m² para cada tratamiento, donde se evaluó la pradera en materia seca por hectárea (kg ha⁻¹ MS).

La materia seca consiste en la materia generada por el secado del material pratense verde cortado en las jaulas de evaluación y secado a 60 °C en horno de secado hasta peso constante.

Las evaluaciones para determinar la curva de crecimiento de la pradera en materia seca, consistieron en la toma de muestras seriadas, cada 30 días, entre octubre y febrero de cada temporada, pesándose para determinar peso en verde.

Evaluación de la Producción Animal

La evaluación de la productividad animal (incremento en peso vivo en kilogramos) dentro de los tratamientos ganaderos y silvopastorales, se efectuó ingresando un número variables de animales de acuerdo a la capacidad de carga de cada año, midiendo su peso al ingreso y al final de la temporada de producción.

Se utilizaron ovinos de la raza *suffolk down*, que es una raza de ovinos multipropósito, criada por su carne y lana.

Se utilizó un sistema de engorda animal, con el ingreso de estos en el mes de octubre de cada año y su retiro entre febrero-marzo, según la condición de la pradera. Los animales fueron pesados al inicio y al final de la temporada en el predio para determinar incremento en peso vivo.

Simulación para Obtención de Productos Forestales

Para la determinación de la productividad forestal en los tratamientos a los 24 años según productos a obtener, por categoría de calidad, dimensión y precio, se utilizó el Simulador Radiata®, utilizándose la siguiente descripción de productos (Cuadro N° 12).

Cuadro N° 12
ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN FORESTAL Y SU VALOR
SEGÚN CALIDAD Y DIMENSIÓN DE PRODUCTOS

Producto	Calidad Troza	Largo Troza (m)	Diámetro Mínimo Troza (cm)	Precio* (U\$ m ⁻³)
P1	Podada	2,80	36	60
P2	Podada	2,80	32	55
P3	Aserrable sin poda	3,25	32	50
P4	Aserrable sin poda	3,25	24	45
P5	Aserrable sin poda	3,25	18	35
P6	Aserrable sin poda	3,25	14	30
P7	Pulpable	2,44	10	20
P8	Leña	2,44	6	10

*Precios año 2008, valor puesto planta industrial.

En la Figura N° 4 se muestran los parámetros forestales al momento de la cosecha, es decir a los 24 años, estos responden a los principios habituales de un manejo silvícola de plantaciones de rápido crecimiento a bajas y altas densidades, los mayores diámetros medios se obtuvieron en los tratamientos silvopastorales con valores de 50 a 52 cm, en tanto que el tratamiento forestal alcanza a 41 cm, situación que responde a la densidad de la plantación.

El área basal por hectárea, variable muy ligada a la densidad, muestra los mayores valores en el tratamiento forestal, producto de la mayor cantidad de árboles por unidad de superficie. La altura por su parte, no fue influenciada por la densidad, lo cual indica que los tratamientos fueron instalados en una calidad de sitio homogénea.

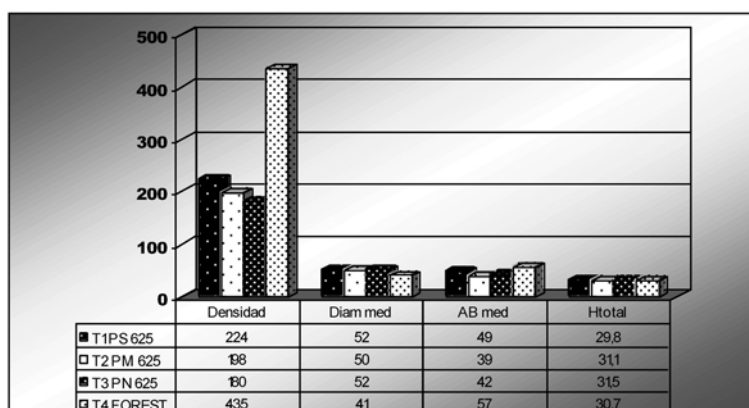


Figura N° 4
PARÁMETROS FORESTALES DE LAS PLANTACIONES
SILVOPASTORALES Y FORESTAL A LOS 24 AÑOS DE EDAD

Resultados

- Producción Animal

En cuadro N° 13 se expone la producción de carne ovina por tratamiento y año. En este se puede apreciar que la producción de carne en los sistemas silvopastorales se mantuvo hasta el año 10 de producción, tratamiento T1, dado que producto del sombreamiento producto del desarrollo de las copas, se redujo la producción de materia seca pratense, no justificándose la introducción de ganado para una producción adecuada.

Cuadro N° 13
VOLUMEN POR TRATAMIENTO SEGÚN TIPO DE PRODUCTO
FORESTAL AL MOMENTO DE LA COSECHA

Sistema Productivo	Produccion de carne ovina, por sistema productivo y año (kg peso vivo)																			
	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
T1: Silvopastoral 625-PS			5,9	919,6	-7,5	220,7	706,0	90,7	-119,5	562,7										
T2: Silvopastoral 625-PM				643,1	231,9	0,0	29,7	327,7												
T3: Silvopastoral 625-PN				450,0	150,0	0,0	25,0	50,0												
T4: Testigo Forestal 1600																				
T5: Ganadero con pradera sembrada	69,6	963,6	348,1	256,7	628,5	1479,1	1371,4	987,2	69,6	963,6	348,1	256,7	628,5	1479,1	1371,4	987,2	69,6	963,6	348,1	256,7
T6: Ganadero con pradera mejorada	84,7	70,7	113,9	414,2	239,4	84,7	70,7	113,9	414,2	239,4	84,7	70,7	113,9	414,2	239,4	84,7	70,7	113,9	414,2	239,4
T7: Ganadero con pradera natural	65,5	60,8	0,0	201,6	-5,0	120,6	66,7	92,7	380,2	235,3	65,5	60,8	0,0	201,6	-5	120,6	66,7	92,7	380,2	235,3

Por el contrario, en los sistemas ganaderos sin árboles, la producción ganadera se mantuvo en el tiempo, con una mayor producción en sistema con pradera sembrada.

- Producción Forestal

La mayor productividad forestal, en términos de volumen total, la entrega el tratamiento forestal, con 479,5 m³ ha⁻¹, *versus* una productividad similar entre los tratamientos silvopastorales de 390 m³ ha⁻¹ (Cuadro N° 14). La diferencia se produce en cuanto a la calidad de los productos obtenidos y a la distribución de estos productos en la producción total.

Cuadro N° 14
VOLUMEN POR TRATAMIENTO
SEGÚN TIPO DE PRODUCTO FORESTAL AL MOMENTO DE LA COSECHA

Producto	Calidad	T1		T2		T3		T4	
		(m ³ ha ⁻¹)	(%)	(m ³ ha ⁻¹)	(%)	(m ³ ha ⁻¹)	(%)	(m ³ ha ⁻¹)	(%)
P1	Podado	120,7	30,95	122,2	31,58	131,0	33,68	4,0	0,83
P2	Podado	27,2	6,97	25,1	6,49	17,0	4,37	11,5	2,40
P3	Aserrable sin poda	82,2	21,08	85,5	22,10	95,0	24,43	9,4	1,96
P4	Aserrable sin poda	95,1	24,38	87,7	22,67	87,3	22,45	201,1	41,94
P5	Aserrable sin poda	37,6	9,64	37,8	9,77	32,5	8,36	153,6	32,03
P6	Aserrable sin poda	13,2	3,38	15,1	3,90	14,0	3,60	54,6	11,39
P7	Pulpable	10,2	2,62	9,9	2,56	8,8	2,26	33,4	6,97
P8	Leña	3,8	0,97	3,6	0,93	3,3	0,85	11,9	2,48
Total		390	100,0	386,9	100,0	388,9	100,0	479,5	100,0

(Fuente: Sotomayor y Cabrera, 2008)

Los productos podados (P1 y P2), que son los que tienen un mayor precio, entregan entre 37 y 38% del volumen total en los tratamientos silvopastorales, versus solo un 3,2 % en el testigo forestal. En el sistema forestal el volumen mayor se concentra en las calidades P4 y P5, que son productos intermedios en cuanto al valor, lo cual incide en la rentabilidad final del sistema.

Evaluación Económica

La evaluación económica de los tratamientos considera todos los ingresos obtenidos por la componente animal y la componente forestal durante toda la rotación de los tratamientos, más la bonificación forestal otorgada por el DL.701 de fomento forestal del año 1974, y los costos involucrados en cada uno de los tratamientos evaluados.

El estudio de Sotomayor y Cabrera fue efectuado en el año 2008, razón por la que considera también los incentivos que entregaba el Estado hasta el año 2012 para incentivar la forestación en suelos de aptitud preferentemente forestal, a través de las bonificaciones que otorgaba el D.L. 701 de fomento forestal del año 1974.

Los resultados de la evaluación económica que se exponen en el Cuadro N° 15 indican que los mejores resultados en cuanto a rentabilidad se obtienen en aquellos tratamientos donde participa la componente forestal.

Los mayores valores de los indicadores económicos, VAN y TIR, se encontraron en los tratamientos silvopastorales T2 y T3, y luego en el tratamiento forestal T4, sin diferencias significativas entre ellos. La menor rentabilidad en tanto, corresponde a tratamientos ganaderos con ovinos sin la presencia de la componente forestal, y en especial en aquellos donde participa la componente pradera sembrada, lo cual es similar para el caso silvopastoral T1.

Cuadro N° 15
EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS TRATAMIENTOS

Tratamientos	Indicadores Económicos	
	VAN (10%)	TIR (%)
T1: Silvopastoral 625-PS	73,75	12,40
T2: Silvopastoral 625-PM	148,38	16,20
T3: Silvopastoral 625-PN	141,94	16,16
T4: Testigo Forestal 1600	108,34	15,50
T5: Ganadero con pradera sembrada	-180,59	Indet.
T6: Ganadero con pradera mejorada	-49,26	Indet.
T7: Ganadero con pradera natural	0,84	10,45

(Fuente: Sotomayor y Cabrera, 2008)

VAN: Valor Actual Neto, calculado con tasa de descuento del 10%

TIR: Tasa Interna de Retorno

Conclusiones

Los resultados entregados en este estudio, indican que los mejores resultados se obtuvieron cuando participa la componente forestal, es decir sistemas silvopastorales y forestal. Las mayores rentabilidades se obtuvieron en el sistema silvopastoral con pradera natural manejada T2 (TIR 16,2%), silvopastoral con pradera natural T3 (TIR 16,0%), y luego con sistema forestal puro T4 (TIR 15,5%).

Por el contrario, en todos los sistemas ganaderos las rentabilidades fueron inferiores a los sistemas silvopastorales, o negativas, y principalmente cuando participa la pradera sembrada con leguminosas y gramíneas. Esto se debe principalmente al alto costo de la fertilización que una pradera sembrada con trébol subterráneo y falaris requiere para su desarrollo, y además por las escasas precipitaciones en primavera-verano de la zona que no entregan la suficiente disponibilidad de agua para el desarrollo productivo de este tipo de praderas.

CONCLUSIONES GENERALES

El análisis de los sistemas silvopastorales con pino radiata expuestos permite concluir que estos son una interesante alternativa para los pequeños propietarios de suelos de secano en la zona centro-sur de Chile, dado que son los sistemas mejor evaluados en cuanto a rentabilidad y, además, desde el punto de vista productivo y social tienen diversa ventajas.

- Los propietarios pueden obtener ingresos anuales de la producción animal y de cultivos anuales establecidos en los espacios intercalares en el sistema silvopastoral, percibiendo así recursos monetarios para sustentar su régimen de vida mientras el componente forestal madura para su cosecha.
- El manejo forestal con podas y raleos entrega a los propietarios productos forestales intermedios de menor dimensión para destinarlos a la venta de metros ruma, trozas para postes y polines, y leña.
- Aunque en este capítulo no fueron evaluados, se pueden obtener además productos forestales no madereros, como son los hongos comestibles, que tienen una interesante demanda en Chile (Chung *et al.*, 2011), y otros.
- Al final de la rotación del componente forestal se obtienen productos forestales de una alta calidad debido al manejo de los bosques, como trozas podadas de mayor valor para chapas y madera aserrada libre de nudos, además de trozas para madera aserrada con nudos firmes.
- El componente forestal en el sistema ofrece además protección de los suelos contra la erosión y beneficios ambientales que favorecen tanto a la pradera y los animales como a los propietarios, reduciendo vientos y morigerando temperaturas extremas.

Los resultados obtenidos en el Programa Agroforestal Nacional (Capítulo 17) y la evaluación realizada en este capítulo, hacen recomendable fomentar la forestación con fines diferentes a los que han sido tradicionales desde 1974, que han sido eminentemente con fines

industriales madereros, impulsando la aplicación sistemas silvopastorales que son del interés de los pequeños propietarios silvoagropecuarios, dado que estos sistemas de producción integrados les permiten mantener su sistema productivo tradicional ganadero o agrícola, obteniendo productos para la alimentación del grupo familiar e ingresos anuales por venta de animales y productos agrícolas, y a más plazo ingresos interesantes provenientes del componente forestal.

Estas prácticas ayudan a que los propietarios se mantengan en sus tierras y no se vean obligados a venderlas por bajos ingresos, y evitan la migración a las ciudades, con las conocidas consecuencias de pobreza y de pérdida de su sistema cultural agrícola (Sotomayor *et al.*, 2009).

REFERENCIAS

Anderson, G. W.; Moore, R. W. and Jenkins, P. J., 1988. The integration of pasture, livestock and widely-spaced pine in South West Western Australia. *Agroforest Syst*, 6: 195-211.

Chung, P.; Sotomayor, A. y Lucero, A., 2011. Diagnóstico del impacto de los productos forestales no madereros (PFNM) en el ingreso y alimentación de los pequeños propietarios en la Región del Bio Bio, Chile. En *Actas III Seminario Investigación y Desarrollo en la Pequeña Propiedad: Avances de la Agroforestería en Chile*. INFOR, Concepción, Chile.

CIREN, 2010. Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile. Publicación N° 138, CIREN, Santiago, Chile. 281p.

García, C., 1985. Distintas alternativas de mejoramiento de praderas bajo un sistema de Silvopastoreo. Tesis Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile. 67 p.

INFOR, 2013a. El Sector Forestal Chileno 2013. Boletín Estadístico N° 140 Instituto Forestal, Chile, 2013. 140 p.

INFOR, 2013b. Informe Final Programa Agroforestal Nacional (PAN). Instituto Forestal, Chile.

INFOR, 2015. Anuario Forestal 2015. Boletín Estadístico N° 150. Instituto Forestal, Chile. 161 p.

Leslie, B.; Knowles, R. y Moore, R., 1998. Silvopastoreo con *Pinus radiata* en Zonas Frías. En: *Compilación de Resultados en Diversos Ensayos de Modelos Silvopastorales en Chile y en el Extranjero*.

Peñaloza, R.; Hervé, M. and Sobarzo, L., 1985. Applied research on multiple land use through silvopasture systems in Southern Chile. *Agroforest Syst*, 3:59-77.

Peralta, M., 1976. Uso, clasificación y conservación de suelos. Servicio Agrícola y Ganadero, Chile. 340 p.

Polla, C., 1998. Estrategias de Acción en el Tema Silvopastoreo. En: *Actas Seminario Manejo Silvopastoral, Trabajo N°8*, Young. Uruguay.

Quam, V. and Johnson. L., 1999. Windbreaks for Livestock Operations. University of Nebraska Cooperative Extension EC 94-1766-X.

Rodriguez, M., 1998. Evaluación Económica del Sistema Silvopastoral Pino/Oveja Presente en el Centro Experimental Forestal Tanumé CONAF, VI Región. Memoria Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

SAS Institute Inc., 2003. Proceedings of the Twenty-Eight Annual SAS Users Group International Conference. Cary, NC.

Sotomayor, A., 1989. Sistemas Silvopastorales y su Manejo. *Chile Agrícola*, (156):203-206.

Sotomayor, A., 1990. Sistemas Silvopastorales y su Manejo. *Chile Agrícola*, (157):203-206.

Sotomayor, A. y Cabrera, C., 2008. Análisis de un sistema silvopastoral con *Pinus radiata* D.Don. asociado con ganado ovino en la zona mediterránea costera de Chile. Ciencia e Investigación Forestal, Vol. 14 (2). Pp: 269-286

Sotomayor, A.; Lucero, A.; Grosse, H.; Bello, A. y Soto, H., 2009. Análisis agroforestal de la pequeña propiedad agrícola en las regiones del Bio Bio y La Araucanía. Ciencia e Investigación Forestal, Vol. 15 (3). Pp: 355-382.

Sotomayor, A. y Teuber, O., 2011. Evaluación del efecto de los arboles manejados bajo ordenamiento silvopastoral en los parámetros climáticos del sitio, en relación a un manejo ganadero sin árboles. Ciencia e Investigación Forestal Vol. 17 N° 1, Abril 2011.Pp. 23-40.

Sotomayor, A.; Teuber, O.; Moya, I. y Almonacid, P., 2011. Productividad Animal en un sistema silvopastoral con la especie *Pinus contorta* Doug. Ex Loud., en relación a un manejo ganadero sin árboles en la Región de Aysén, Chile. Ciencia e Investigación Forestal Vol. 17 N° 2, Agosto 2011.Pp. 139-152.

UACH, 1988. Uso silvopastoral en las áreas marginales de la Décima Región. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 300 p.

