



LOS SISTEMAS AGROFORESTALES EN CHILE



Instituto Forestal
2016



LOS SISTEMAS AGROFORESTALES EN CHILE

Editores:

Álvaro Sotomayor G.¹

Santiago Barros A.²

Instituto Forestal
2016

¹ Ingeniero Forestal. MSc. Dr. Gerente Sede Bio Bio. Instituto Forestal, Chile. asotomay@infor.cl

² Ingeniero Forestal. Gerencia de Investigación y Desarrollo. Instituto Forestal, Chile. sbarros@infor.cl



INFOR

Instituto Forestal

Sucre 2397 Ñuñoa

Santiago, Chile

F. 56 2 223667115

WWW.INFOR.CL

ISBN N° 978-956-318-122-7

Se autoriza la reproducción parcial de esta publicación siempre y cuando se efectúe la cita correspondiente:

Sotomayor, A. y Barros, S. (Eds.), 2016. Los Sistemas Agroforestales en Chile, Instituto Forestal, Chile. p. 458

ÍNDICE

PRÓLOGO	05
I.- INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS AGROFORESTALES	
Capítulo 1	09
Introducción a los Sistemas Agroforestales y las Interacciones entre sus Componentes. Álvaro Sotomayor	
II.- ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS	
Capítulo 2	57
Formaciones Nativas y Plantaciones Forestales de Especies del Género <i>Prosopis</i> . Marlene Gonzalez y Santiago Barros.	
Capítulo 3	83
Sistemas Productivos con Rumiantes Menores en la Región de Coquimbo. Raúl Meneses.	
Capítulo 4	91
<i>Acacia saligna</i> (Labill) H. Wendl. Un Recurso Forrajero con Potencial Alimentario Humano. Patricio Rojas.	
Capítulo 5	101
El Espinal de Chile Mediterráneo: Un Sistema Silvopastoral, Cultural, Productivo y Sustentable. Carlos Ovalle, Alejandro Lucero, Fernando Fernández, Viviana Barahona y Soledad Espinoza.	
III.- ZONAS TEMPLADAS Y HÚMEDAS	
Capítulo 6	119
Sistemas Silvopastorales con Pino Radiata (<i>Pinus radiata D. Don.</i>) en la zona centro sur de Chile. Alvaro Sotomayor, Alejandro Lucero y Arnoldo Villarroel.	
Capítulo 7	145
Sistemas Agroforestales con Especies de Alto Valor. Verónica Loewe y Claudia Delard.	
IV.- ZONAS FRÍAS DE LA PATAGONIA	
Capítulo 8	183
Sistemas Silvopastorales con Coníferas de Zonas Frías. Region de Aysén, Chile. Alvaro Sotomayor, Ivan Moya, Jaime Salinas, Osvaldo Teuber y Bernardo Acuña.	
Capítulo 9	209
Cortinas Cortavientos y su Impacto en la Producción Agropecuaria de la Región de Aysén. Osvaldo Teuber, Álvaro Sotomayor, Iván Moya y Jaime Salinas.	

Capítulo 10	231
Manejo Silvopastoral en Renovales Coetáneos de <i>Nothofagus antarctica</i> (G.Forst.) Oerst. (Ñire) en la Región de Aysén, Chile. Jaime Salinas.	
Capítulo 11	245
Raleo en Bosque de Ñire (<i>Nothofagus antarctica</i> (Forster) Oerst.) para un Aprovechamiento Multipropósito. Juan Carlos Cisternas	
Capítulo 12	253
Bases Ecológicas para Implementar un Sistema Silvopastoral en Bosques de Lengua (<i>Nothofagus pumilio</i>) En la Región de Aysén. Laura Sánchez Jardón	
Capítulo 13	267
Sistemas Silvopastorales en Bosques de <i>Nothofagus antarctica</i> (G.Forst.) Oerst. y <i>Nothofagus pumilio</i> (Poepp. & Endl.) Krasser en la Patagonia Sur de Chile. Máximo Alonso, Andreas Schmidt y Harald Schmidt.	
V.- COTRIBUCIÓN SOCIAL, ECONÓMICA Y AMBIENTAL	
Capítulo 14	297
Sistemas Agroforestales y su Contribución Social, Económica y Ambiental en Chile. Alvaro Sotomayor.	
Capítulo 15	317
Relación de los Sistema Silvopastorales con el Cambio Climático y la Potencial Captura de Carbono. Francis Dube, Miguel Espinosa, Neal Stolpe y Erick Zagal.	
Capítulo 16	337
Sistemas Agroforestales como Prácticas de Conservación de la Biodiversidad. Protección de Riberas y Cursos de Agua o Biofiltros. Alejandro Lucero, Alvaro Sotomayor y Arnoldo Villarroel.	
Capítulo 17	357
Perspectivas de los Productos Forestales No Madereros (PFNM) en Chile. Gerardo Valdebenito.	
Capítulo 18	405
Productos Forestales No Madereros (PFNM) en la Región de Aysén. Jaime Salinas y Claudia Gómez.	
VI.- EXPERIENCIAS DE FOMENTO	
Capítulo 19	419
Resultados de Programa Agroforestal Nacional en el Fomento a la Implementación de Sistemas Agroforestales en Chile: una Alternativa para la Sustentabilidad de la Agricultura Familiar Campesina. Alvaro Sotomayor, Alejandro Lucero, Jaime Salinas, Paola Jofré, David Arcena y Renato Coda.	
Capítulo 20	441
Programa de Fomento Agroforestal en la Provincia de Palena, Región de Los Lagos. Jaime Salinas, Álvaro Sotomayor, Bernardo Acuña y Luis Barrales.	

PROLOGO

Chile continental, a través de sus 4.000 km entre los 17°30' y los 56°30' LS, es un país de grandes contrastes climáticos, desde las zonas áridas del norte del país en donde las precipitaciones son prácticamente nulas, como en el Desierto de Atacama que es el más seco del mundo, hasta las zonas templadas y templadas frías del sur, donde las precipitaciones pueden superar los 5.000 milímetros anuales en algunos sectores y hay abundancia de grandes lagos, ríos y glaciares. A lo largo de esta amplia gama climática se deben desarrollar las actividades agrícolas, ganaderas y forestales del país, adecuándolas en cuanto a especies vegetales y razas animales a emplear, y tecnologías a aplicar a las variadas situaciones ambientales imperantes.

En materia de recursos forestales, aun bajo la diversidad de climas que caracteriza al territorio nacional, existen bosques nativos y plantaciones forestales en prácticamente todo el país, con recursos escasos y localizados en las zonas áridas y semiáridas del norte, pero extensos, diversos y económicamente valiosos hacia la zona sur. Algo similar ocurre con las actividades agrícolas y pecuarias, aunque estas encuentran también limitaciones ambientales en las zonas más frías australes.

Los recursos forestales en el país están constituidos por 14,3 millones de hectáreas de bosques nativos, clasificados en 12 tipos forestales según las especies que predominan en ellos, y 2,5 millones de hectáreas de plantaciones forestales, principalmente de *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*, pero en las cuales participan también otras especies, como *Prosopis tamarugo*, *Prosopis alba*, *Prosopis chilensis*, *Acacia saligna* y otras en las regiones del norte, y *Pinus ponderosa*, *Pinus contorta*, *Pinus sylvestris* y *Pseudotsuga menziesii* y otras en las regiones más frías del sur.

Gran parte de la superficie de bosque nativo está bajo régimen de conservación dentro del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado o es considerada como bosques de protección de suelos y aguas en áreas de propiedad privada, pero una parte también de la superficie cubierta por estos recursos forestales es considerada como bosques comerciales, que deben ser puestos bajo manejo sostenible e incorporados a la producción, parte importante de ellos en manos de pequeños y medianos propietarios. Sin embargo, los bosques nativos en la actualidad tienen una participación muy marginal en la producción de madera, solo alrededor del 1% de la corta anual de trozas industriales proviene de ellos, aunque proveen la mayor parte de los aproximadamente 10 millones de metros cúbicos de madera que anualmente se extraen para leña en la zona sur del país.

Las plantaciones forestales en tanto cubren la casi totalidad de los requerimientos de materia prima de la desarrollada industria forestal chilena. La industria de celulosa y papel, madera aserrada y remanufactura, y tableros, está basada en este recurso, satisface las demandas internas y genera más de US\$ 6 mil millones en retornos por exportaciones de estos productos a diversos mercados del exterior.

En el desarrollo del sector agropecuario chileno, desde la época de la Colonia hasta mediados del siglo XX, los bosques eran cortados o eliminados por incendios para despejar los terrenos para cultivos o crianza de ganado, dado que los árboles eran considerados un estorbo para la producción agrícola y pecuaria. Varios millones de hectáreas de bosques fueron

cortadas o quemadas, se perdieron valiosos bosques y al quedar los suelos sin protección estos se degradaron, y hoy más del 50% de los suelos del país presentan algún grado de erosión.

Es en este contexto que los sistemas agroforestales, entendidos como la combinación deliberada de especies leñosas, praderas y cultivos, y animales en un mismo sitio, con fines productivos y/o ambientales, se presentan como una forma y oportunidad de protección y recuperación de suelos, y como alternativas de producción integrada con componentes forestales, pecuarias y agrícolas en un mismo terreno. La presencia de especies arbóreas o arbustivas otorga cobertura y protección a cultivos y ganado, y a suelos y aguas, y los productores se ven beneficiados por ingresos de corto plazo provenientes de las componentes agrícolas o pecuarias y de la componente forestal a mediano y largo plazo. Se suman en estos sistemas beneficios adicionales, como la morigeración de temperaturas y vientos, y un mejoramiento del entorno en términos de paisaje.

En el presente libro, se exponen diversas experiencias con Sistemas Agroforestales en el país, como la utilización del tamarugo y algarrobo para obtención de frutos y follajes para alimentación animal, el uso de especies forrajeras como *Atriplex spp.* y de uso múltiple como *Acacia saligna*, de las de estepas de *Acacia caven* con fines forrajeros y producción de leña, en la zona norte; se muestran resultados de la utilización de pino radiata y otras especies como nogal, castaño, pino piñonero y otras, en sistemas silvopastorales en la zona central y centro sur; y sistemas combinados con pino ponderosa o con formaciones nativas de lenga, ñirre y radial, en la Patagonia, donde el frío y el viento hacen muy convenientes los sistemas silvopastorales y la incorporación de cortinas cortavientos, por el abrigo que proporcionan al ganado.

El libro presenta, además, experiencias de uso no tradicional de los bosques, mediante el la recolección y aprovechamiento de productos forestales no madereros (PFNM), ya utilizados por los primeros habitantes de Chile como parte de su dieta alimenticia, y se destacan otros efectos positivos de los sistemas agroforestales, como aquellos relacionados con el ambiente, que se expresan en captura de carbono y protección de suelos y aguas, sobre los cuales se presentan también experiencias y resultados.

Se espera que este libro constituya un documento importante para destacar que la integración en usos combinados de componentes forestales, agrícolas y pecuarias es posible, favorece en especial a pequeños y medianos propietarios, tiene efectos ambientales positivos y constituye variadas alternativas reales de manejo sustentable en las distintas regiones del territorio nacional.



Fernando Rosselot Téllez
Director Ejecutivo
Instituto Forestal



INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS AGROFORESTALES

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS AGROFORESTALES Y LAS INTERACCIONES ENTRE SUS COMPONENTES

Álvaro Sotomayor¹

RESUMEN

En este capítulo se exponen los principales sistemas agroforestales utilizados en el mundo y en Chile, junto a sus categorías, tipos y definiciones, y participación de las componentes en estos sistemas. Junto a ello, se describe su funcionamiento y las interacciones de las componentes que participan en los sistemas agroforestales descritos.

La componente arbórea tiene gran influencia en los sistemas agroforestales modificando algunos de los parámetros microclimáticos, como el viento, la temperatura, la humedad y otros, con su consecuente efecto sobre el resultado productivo y ambiental del sistema.

El viento es una de las variables más atenuadas, los árboles reducen la velocidad de este beneficiando así el desarrollo de la componente pastura o cultivo agrícola. Sin embargo, la copa de los árboles puede también tener un efecto negativo sobre la componente agrícola, al disminuir la cantidad de luz que llega al suelo, pero esto puede ser manejado reduciendo la densidad de árboles y/o reduciendo la biomasa foliar con podas y raleos.

Los sistemas agroforestales, al contar con especies leñosas, también generan beneficios ambientales, como la protección de suelos disminuyendo la erosión, la protección de recursos de agua y la mitigación de cambio climático a través de la captura de carbono.

Se exponen los beneficios económicos de estos sistemas, dado que la inclusión de pastoreo de animales y/o cultivos agrícolas en ellos permite la obtención de recursos monetarios para los productores con el desarrollo del recurso prateense antes del cierre de copas o hasta que la entrada de luz es suficiente y, además, la obtención de recursos madereros y no madereros en las etapas intermedias de desarrollo del sistema, para finalmente obtener recursos madereros de la cosecha final de la componente arbórea.

Finalmente se analizan aspectos de política y de instrumentos de fomento que benefician a los sistemas agroforestales, y se plantean algunas recomendaciones para una política forestal referida al uso y fomento de sistemas agroforestales en el país.

Palabras clave: Sistemas agroforestales, Pequeños y medianos propietarios.

¹ Ingeniero Forestal. MSc. Dr. Gerente Sede Bio Bio. Instituto Forestal. Chile. asotomay@infor.cl

SUMMARY

In this chapter the main agroforestry systems used in the world and in Chile, with their categories, types and definitions, and the participation of components in these systems are exposed. Next to it, its functioning and interactions of components involved in agroforestry systems are described.

Agroforestry systems are influenced by tree component present, modifying some of the microclimatic parameters such as wind, temperature, humidity and others. It describes how they affect the change of some climatic variables in the production and environmental performance of the system, being one of the most affected the wind, where the trees reduce wind speed which benefits the development of pasture or agricultural component. However, the crown of the trees may also affect the development of the agricultural component, by decreasing the amount of light reaching the ground, which can be managed by reducing the density of trees and / or the foliar biomass by pruning and thinning. Agroforestry systems, which have tree species as an important component, also generate environmental benefits such as soil protection, reducing soil erosion, protection of water resources, and climate change mitigation through carbon sequestration.

The economic benefits of these systems are discussed, as to allow grazing animals in the system, and/or agricultural crops, can in turn obtain monetary resources to producers while pasture resource develops, before closing crown cover or until enough light enters the system, and also obtaining timber and non-timber resources in the intermediate stages of system development, and finally timber resources of the final harvest of the resource.

Finally, aspects of policy and development instruments that benefit agroforestry systems are discussed, and recommendations for consideration in the Chilean forest policy of Chile regarding to the use and promotion of agroforestry in Chile are proposed.

Key words: Agroforestry systems; Small and medium owners.

INTRODUCCION

El desarrollo del sector forestal de Chile, a partir de la dictación de DL 701 de 1974, de fomento forestal, experimentó un fuerte crecimiento, llegando a una participación del 2,6% del producto interno bruto (PIB), con exportaciones de US\$ 6.094 millones, que representan un 7,5% del total de exportaciones del país al año 2014, y con 124.542 empleos directos, que representa un 1,6% del total nacional. Este desarrollo estuvo concentrado principalmente en las grandes y medianas empresas forestales, y entre las regiones del Maule y Los Lagos.

Chile al año 2014 posee 16,7 millones de hectáreas de bosques, de los cuales 14,31 millones de hectáreas corresponden a bosque nativo (INFOR, 2015, citando a CONAF, 2015), y 2,43 millones de hectáreas a plantaciones forestales (INFOR, 2015). Las plantaciones forestales, el principal recurso forestal establecido con fines industriales, están constituidas por pino radiata (*Pinus radiata* D. Don) con 1,42 millones de hectáreas y le sigue eucaliptos (*Eucalyptus spp*) con 0,83 millones de hectáreas, equivalente al 63 y 33% del total plantado en Chile, respectivamente. El principal uso de las plantaciones de pino y eucalipto han sido la producción de celulosa y papel, madera aserrada, remanufactura y tableros, industrias que en 2014 generan retornos por

más de US\$ 6.094 millones por exportaciones de estos productos. Otras especies, plantadas con diferentes fines, son pino ponderosa (*Pinus ponderosa*) y pino oregón (*Pseudotsuga menziesii*), principalmente en la sur de Chile y la Patagonia, y *Atriplex spp.* con fines forrajeros y de protección del suelo en la región de Coquimbo, con una superficie conjunta de 105 mil hectáreas. Existen también algunas plantaciones de menores superficies de otras especies, establecidas especialmente en la zona centro sur de Chile, como álamos (*Populus spp.*), acacias (*Acacia spp.*), castaños (*Castanea sativa*) y otras.

Lamentablemente este desarrollo forestal no ha llegado a todos los sectores económicos del país. En el sector forestal, las poblaciones rurales compuestas por pequeños propietarios, campesinos forestales, comunidades indígenas y otros, que en total poseen más de 4 millones de hectáreas de suelos (Benedetti y Salinas, 1997), predominantemente erosionadas o en franco proceso de erosión y que urge incorporarlas a la actividad forestal, no se vieron beneficiados por la ley de fomento y la política forestal de Chile, forestándose solo alrededor de 250 mil ha en este tipo de propiedad. Las razones principales de esta baja participación de los pequeños propietarios en la superficie forestada han sido su escaso poder económico, su tradición agrícola, su falta de capacidad tecnológica y escasos conocimientos forestales, e irregularidades en la tenencia de la tierra (Sotomayor, 1989)

En la actualidad los pequeños y medianos propietarios silvoagropecuarios ubicados en áreas de secano, con suelos de aptitud preferentemente forestal y ganadera, entre las regiones del Libertador Bernardo O'Higgins por el norte y la Región de Los Lagos por el sur, área donde se concentra el mayor desarrollo silvoagropecuario del país, destinan gran parte de sus suelos a la actividad ganadera extensiva con ovinos y vacunos, y a cultivos anuales, como trigo y cebada, sin resguardo de la capacidad de uso de los suelos, encontrándose vastas extensiones de suelos de capacidad de uso VI y VII (ganadera y forestal) erosionadas como resultado del sobretalajeo y la baja protección de los recursos vegetacionales arbóreos o arbustivos. Esta situación ha originado que el 49,1% de los suelos del territorio nacional, equivalente a 36,8 millones de hectáreas, se encuentren con algún grado de erosión (CIREN, 2010), con algunas regiones como Coquimbo en el norte con el 84% de los suelos erosionados, Valparaíso con 55% y O'Higgins con el 52%. Los mayores factores responsables de esta erosión, se relacionan con la acción humana, los procesos geológicos intrínsecos del paisaje y la agresividad climática.

Dentro de la acción humana, se puede mencionar que los agricultores y antiguos colonizadores han percibido un grado de incompatibilidad entre la producción agropecuaria y los árboles o bosques presentes en las propiedades rurales. Para ellos los árboles han representado un competidor o un estorbo para su actividad productiva, percibiendo que las especies forestales reducen la producción agropecuaria, dado lo cual los árboles y arbustos han sido extraídos, cortados o quemados, modificando el paisaje rural a situaciones donde en muchos casos el árbol es escaso. Como consecuencia, vastos territorios y terrenos agrícolas están desprotegidos, originándose erosión y pérdida de suelos y de fertilidad. Además, al disminuir la cubierta leñosa, muchos campesinos o pequeños productores agrícolas se han quedado sin leña para cocinar sus alimentos o para la calefacción de sus hogares, debiendo recorrer amplios territorios para conseguir este elemento energético.

Cambiar esta percepción y establecer las bondades de los árboles en el paisaje agropecuario puede ser un proceso lento y difícil, ya que el uso tradicional de la tierra, el arraigo cultural y el escaso manejo o cuidado de los recursos naturales a menudo están firmemente

establecidos y socialmente aceptados en las comunidades locales, lo cual requiere un largo proceso de educación y convencimiento, con métodos demostrativos y un trabajo participativo con las comunidades para lograr cambios.

AGROFORESTERÍA O SISTEMAS AGROFORESTALES

El concepto de agroforestería o sistemas agroforestales se refiere a esquemas y tecnologías de uso del suelo en los cuales las especies leñosas perennes, árboles o arbustos, se utilizan deliberadamente en el mismo sistema de manejo con cultivos agrícolas y/o producción animal, en alguna forma de arreglo espacial o secuencia temporal (ICRAF, 2000; Nair, 1987; Sotomayor, 1990a).

En los sistemas agroforestales existen interacciones tanto ecológicas como económicas entre las diferentes componentes y el propósito es lograr un sinergismo entre estas que conduzca a mejoras netas en el sistema, tales como productividad y sostenibilidad, además de diversos beneficios ambientales y sociales.

Como ciencia la agroforestería es multidisciplinaria y generalmente involucra, o debe involucrar, la participación de los campesinos o agricultores en la identificación, diseño y ejecución de las actividades de investigación.

Si bien son varias las definiciones de agroforestería o de sistemas agroforestales que existen, todas ellas coinciden en un manejo integrado de todos los recursos productivos que existen en una unidad de terreno.

Los sistemas agroforestales se orientan a permitir actividades productivas en condiciones de alta fragilidad, con recursos naturales degradados, con gestiones económicas eficientes y alterando al mínimo la estabilidad ecológica, lo cual contribuye a alcanzar la sostenibilidad de los sistemas de producción y, como consecuencia, mejorar el nivel de vida de la población rural.

Estos sistemas persiguen así objetivos tanto ecológicos como económicos y sociales (Sotomayor 1990a). La característica principal de los sistemas agroforestales es su capacidad de optimizar la producción del territorio (unidad predial) a través de una explotación diversificada, en la que los árboles cumplen un rol fundamental.

Este rol se ve reflejado en que los árboles pueden proveer muchos productos, tales como madera, alimento, forraje, leña, postes, materia orgánica, medicina, cosméticos, aceites y resinas, entre otros.

Además, los árboles son proveedores importantes de servicios como seguridad alimentaria, conservación de suelos, aumento de la fertilidad del suelo, mejora del microclima, cercos vivos para los cultivos y árboles frutales, demarcación de límites, captura de carbono, estabilización de cuencas, protección de la biodiversidad, recuperación de tierras degradadas y control de malezas (ICRAF, 2000).

Los objetivos o beneficios de un sistema agroforestal pueden ser diferentes para cada situación y región del mundo, pero algunos de estos beneficios son ampliamente reconocidos,

como mejor protección y mejoramiento del suelo; obtención de más de un tipo de cosecha o producto para los propietarios, lo cual le asegura una mayor estabilidad y retornos económicos en el mediano y largo plazo; generación de subproductos como, leña, postes, miel y otros, que mejoran la calidad de vida de los propietarios; y el reconocido aumento en la eficiencia biológica del sistema ayudará a un incremento de la productividad no solo para un granjero, sino que para toda la comunidad o región.

Categorías de Sistemas Agroforestales

Se definen dos grandes categorías de sistemas agroforestales: Simultáneos y Secuenciales (ICRAF, 2000).

- Sistemas Simultáneos

Los sistemas simultáneos se caracterizan por incorporar y combinar árboles con cultivos o animales en un mismo tiempo y unidad de superficie. Son sistemas en los cuales existe una alta competencia por luz, agua y nutrientes, la cual puede ser minimizada mediante un adecuado espaciamiento. La componente arbórea, en general, se caracteriza por ser de lento crecimiento, desarrollo radicular profundo y dosel pequeño (Gatica *et.al.*, 2000).

Los sistemas más comunes que se pueden encontrar en unidades campesinas son: límites de huertos de cultivo, setos vivos en curvas de nivel, franjas leñosas, cercos vivos, sistemas silvopastorales bajo diferentes arreglos espaciales, sistemas silvoagrícolas, sistemas de protección en cultivos perennes, cortinas cortavientos, bosquetes que sirven de galpones biológicos o naturales, y fajas intercultivos.

Las especies leñosas usadas dependerán de las condiciones edafoclimáticas y de las necesidades de los agricultores, y su ordenamiento espacial debe ser acorde con la componente productiva que se desea beneficiar, o el elemento permanente que se requiera proteger.

- Sistemas Secuenciales

Los sistemas secuenciales son aquellos en los que cultivos y árboles son turnados para ocupar el mismo sitio. Estos sistemas generalmente comienzan con cultivos y luego de la cosecha de los mismos, se plantan árboles, logrando que el tiempo en que se mantiene la competencia sea mínimo. La componente arbórea en este caso debe ser de rápido crecimiento, sistema radicular profundo y gran desarrollo de dosel para competir mejor con las malezas (Gatica *et.al.*, 2000). Los sistemas más implementados son el mejoramiento del barbecho, la rotación de cultivos y el sistema Taungya, entre otros.

Tipos de Sistemas Agroforestales

- Sistema Silvopastoral

El silvopastoreo o sistema silvopastoral es una práctica agroforestal que combina árboles, praderas o forraje y producción de ganado. Los árboles se manejan para obtener madera, con diferentes objetivos a la vez, como proveer sombra y albergue al ganado, y protección a la pradera.

Diferentes formas de silvopastoreo han sido utilizadas por siglos en Latinoamérica y en el mundo, el sistema como ciencia agroforestal está específicamente diseñado y administrado para la producción de árboles, productos maderables, forraje y ganado en el mismo sitio. El silvopastoreo es el resultado de la introducción o mejoramiento deliberado del forraje en un sistema de producción de maderas o productos forestales, o de otro modo, la introducción deliberada o mejoramiento de árboles en un sistema de producción de forraje. Silvopastoreo como tal, es el manejo de árboles, ganado y pastos en un sistema integrado que pretende beneficiar la productividad del sistema como un todo.

Los sistemas silvopastorales están diseñados para obtener un producto maderable de los árboles y, en algunos casos, además frutos y otros productos forestales no maderables, mientras se provee un ingreso a corto plazo derivado de la ganadería. La interacción entre árboles, pradera y ganado se maneja para obtener diversos productos del sistema (madera, forraje, ganado), de manera simultánea, intensiva y eficiente. En general, los sistemas silvopastorales pueden proveer ingresos económicos a la vez que crean un sistema sostenible con beneficios ambientales y sociales. Cuando estos sistemas son bien administrados, ofrecen una variedad de oportunidades para comercialización que pueden ayudar a estimular el desarrollo de la economía rural.

Previo a establecer nuevos sistemas silvopastorales, deben estudiarse las implicaciones de mezclar o asociar sistemas forestales con sistemas ganaderos y sus implicancias económicas y ambientales, y en este análisis debe considerarse el uso local de la tierra, la zonificación necesaria, los incentivos económicos disponibles, regulaciones y otros aspectos. Las tierras agrícolas y las tierras forestales pueden tener regulaciones de uso diferentes, al igual que diferentes pagos contributivos.

- **Sistema Agrosilvicultural**

La agrosilvicultura es un término colectivo que abarca los sistemas y tecnologías para el aprovechamiento de las tierras, en la cual se combinan deliberadamente especies leñosas perennes (árboles, arbustos, palmas, bambú, etc.) con cultivos agrícolas, en la misma unidad de gestión, en alguna forma de distribución espacial o secuencia cronológica. En los sistemas agroforestales existen interacciones ecológicas y económicas entre los distintos componentes (Lundgren, 1979).

Desde el punto de vista de la ejecución de proyectos hay fundamentalmente dos formas de plantear la agrosilvicultura, integrar a los árboles en los sistemas agrícolas, o integrar a los agricultores en las actividades forestales.

Las componentes forestales debidamente seleccionadas pueden contribuir a la productividad y viabilidad de sistemas de explotación agrícola en tierras marginales aumentando la producción de materia orgánica, manteniendo la fertilidad del suelo, reduciendo la erosión, conservando aguas y creando un microclima más favorable para el conjunto formado por cultivos y ganado. Estas funciones de servicio complementan las funciones de producción directas que los árboles podrían también desempeñar al servir como fuente de alimentos, forraje, leña, materiales de construcción y otras materias primas para las industrias rurales. La agrosilvicultura también es importante en las prácticas tradicionales de aprovechamiento de las tierras al maximizar y diversificar la productividad, incluso en suelos de buena fertilidad. Los sistemas agroforestales intensivos se aplican más comúnmente en zonas con una larga historia de presión demográfica, lo cual indica su eficiencia general como sistema de utilización de la tierra.

Independientemente de que se trate de tierras marginales o de suelos de buen potencial, los sistemas agroforestales diversificados pueden ser la forma más apropiada de utilización del suelo cuando las limitaciones impuestas por el régimen de tenencia, la falta de infraestructura de comercialización o una economía desfavorable exigen que los pequeños productores, al tratar de reducir los riegos, se esfuercen por satisfacer la mayoría de sus necesidades básicas directamente con los recursos de tierras a su disposición (Lundgren y Raintree, 1983).

Aunque muchos de los recientes esfuerzos de investigación forestal se han dirigido hacia la integración de los árboles en los sistemas agrícolas, la agrosilvicultura también tiene una función que desempeñar en la conservación de los bosques y el mejoramiento de los sistemas de ordenación forestal. Al proporcionar a los agricultores los medios para producir leña, madera, postes para fines de construcción y otros productos forestales en las tierras agrícolas, la agrosilvicultura puede reducir considerablemente las exigencias a que se ven sometidos los bosques y las tierras forestales naturales. Al hacer esto de forma que aumente y permita sostener la productividad agrícola, la agrosilvicultura también puede reducir en parte la presión que existe para convertir las tierras forestales en agrícolas. Además, la integración de los agricultores en los planes de ordenación forestal, mediante el uso de sistemas de utilización de tierras basados en la agrosilvicultura que comportan una solución «de transacción», puede ser uno de los pocos métodos realistas para mantener la producción forestal en los bosques objeto de presiones por parte de la agricultura (Raintree y Lundgren, 1985).

De la agricultura migratoria al cultivo permanente: Se puede mencionar al Sistema Taungya, que es uno de los sistemas de corta y quema, y hace una distinción entre los sistemas integrales y los parciales. Los sistemas parciales reflejan predominantemente los intereses económicos de sus participantes, en tanto que los sistemas integrales tienen su origen en un modo de vida más tradicional, con actividades agrícolas durante todo el año, de ámbito comunitario, en gran parte autónomo y sancionado ritualmente (Conklin, 1957).

Por analogía, con la agricultura migratoria integral, el concepto propuesto del Sistema Taungya de sistema integral da la idea de una práctica de utilización de la tierra que comporta un enfoque más completo y culturalmente integrado del desarrollo rural. No se trata meramente de utilizar en forma temporal una parcela de tierra con unos ingresos equivalentes al nivel de pobreza, sino de la posibilidad de participar en condiciones equitativas en una economía agroforestal diversificada y viable.

Cultivo en fajas y otros sistemas de cultivos intercalados: Si bien en el examen que antecede se emplea el concepto tradicional de barbecho en un sentido más alto que en el uso normal, su extensión para que abarque el proceso de cultivo en fajas en un sistema de barbecho continuo rebasa ampliamente ese uso, representando una reinterpretación enteramente funcional en las condiciones tropicales. Los efectos benéficos de los árboles capaces de restablecer la fertilidad del suelo sobre los cultivos agrícolas pueden lograrse combinando los dos elementos, bien en el tiempo, como en la práctica de rotación de barbecho, bien en el espacio, mediante la utilización simultánea de árboles y cultivos extensivos.

El cultivo en fajas puede definirse como un enfoque zonal de la agrosilvicultura (Huxley, 1983; Huxley y Raintree, 1983), que implica la siembra de cultivos extensivos en las fajas entre las hileras de árboles o arbustos del ciclo de nutrientes. Estos se

mantiene podados durante toda la temporada de cultivo a fin de controlar la sombra y la competencia subterránea, y para disponer de abono verde y de cubierta vegetal muerta para los cultivos. Se podrían obtener forrajes y leña como subproductos del sistema, pero la finalidad básica es el desempeño de una función de servicio en el sistema agrícola de labranza.

- **Sistema Agrosilvopastoral**

En estos sistemas se combinan árboles y/o arbustos con cultivos agrícolas, y pastoreo en la misma unidad predial. Normalmente estos sistemas son secuenciales, ocupando previamente árboles y cultivos, para luego para alimentar animales. En este caso se pueden asociar cultivos agrícolas en forma de callejones entre las hileras de árboles. Los espacios entre árboles para incluir cultivos, pueden variar (por ejemplo entre 6 a 21 m) dependiendo de los tipos de árboles a usar (álamo, castaño, encino, cerezo, nogal u otros) y los cultivos agrícolas (maíz, porotos, trigo, arvejas u otros), y animales domésticos (vacas, ovejas, caballos, porcinos, aves).

Este tipo de sistemas puede ser aplicado de diferentes formas:

Zonas de montaña con una presión demográfica media o alta: La necesidad de forraje y leña y la densidad de población hacen imprescindible plantar árboles en toda superficie de tierra que no esté cultivada (por ejemplo terrenos escarpados o pedregosos, franjas a los lados de las carreteras, barrancos y zonas próximas a ellos, etc.). Las plantaciones y los bosques naturales pueden destinarse a diversos fines como la obtención de leña, madera o resina, la práctica de la apicultura, el pastoreo o la protección de los recursos hídricos.

Llanuras inundables, zonas costeras e islas densamente pobladas: Aunque la mayor parte de la tierra se dedica a la agricultura, hay una necesidad urgente de productos forestales y muchas posibilidades de introducir árboles en los sistemas agrícolas. Se puede plantar árboles en torno a los hogares, en las lindes de los campos, en las riberas de ríos y canales. Pueden cultivarse especies de rápido crecimiento en bosquecillos de explotación intensiva para la obtención de leña, forraje, y madera para la industria local. También es posible plantar árboles para usos tan diversos como la producción de fruta, forraje, gomas y miel, para sombra y como protección contra el viento.

Tierras áridas y semiáridas: Se requieren muchos árboles de raíces profundas, adaptados a zonas de estrés hídrico, para obtener forraje, leña y materia orgánica, y como fuente de forraje en general durante los períodos de sequía. El mantenimiento de la productividad en un medio ambiente semiárido depende de que haya o no árboles. Solo podrá realizarse el potencial de producción de leña si se cumplen factores como la acumulación de existencias, rotación de pastizales, cierre de zonas degradadas y actividades de replantación, con la comprensión y la participación de las comunidades locales y sus jefes. La densidad de población y de ganado ha alcanzado en muchas zonas niveles tales que convierten en una necesidad las plantaciones de árboles. Estas pueden comprender bosquecillos de regadío, cultivos forrajeros, cortinas protectoras y cortavientos o árboles productores de nueces y de frutas. Deben promoverse los árboles y arbustos de usos múltiples. A medida que la agricultura se hace más intensiva, aumenta la necesidad de productos forestales, postes o polines para cercas, madera

para caseríos y madera para cocinar, secar y curar.

Bosques tropicales húmedos de tierras bajas con fuerte presión demográfica: Se practican actividades agroforestales desde hace tiempo y actualmente se están haciendo nuevos ensayos. Entre los numerosos ejemplos están la plantación de árboles para proporcionar sombra a las plantas de café y de cacao, la formación de setos vivos, el cultivo en franjas, el barbecho forestal en el que se utilizan especies de rápido crecimiento, la ordenación silvopastoral y los sistemas agrosilvopastorales. Cuando el recurso de que se trate corra el riesgo de agotarse, la agricultura basada en la corta y quema deberá sustituirse por sistemas de cultivo y explotación agrícola sedentarios, acompañados de medidas de conservación del suelo, que permitan realizar una distribución más racional del uso de la tierra con arreglo a las características de esta.

- **Otras Aplicaciones**

Otro uso de la agroforestería es su aplicación en zonas de protección de riberas de ríos, esteros y lagos. En este caso se utilizan árboles, junto con arbustos y pastos, estableciéndolos en la ribera del curso de agua.

Esta vegetación ayuda a reducir la erosión, atrapa contaminantes (herbicidas, fertilizantes, y otros) para evitar que lleguen a los cursos de agua, mejora el hábitat para la fauna y aumenta la biodiversidad.

También se puede utilizar los árboles para aislar vertederos, como barreras en comunidades urbanas para atenuar el ruido de carreteras e industrias y para mejorar la belleza escénica.

Otro aspecto importante de los sistemas agroforestales, es su contribución a la mitigación del cambio climático, captura de carbono, y protección de los recursos naturales.

Sistemas Agroforestales Utilizados en Chile

Las componentes de los sistemas agroforestales son aquellos recursos económicos que participan en la productividad del sistema, como recursos leñosos (árboles y arbustos), recursos herbáceos (praderas naturales o establecidas) y animales (tanto domésticos como silvestres (Cuadro N° 1). Estas componentes pueden estar presentes en forma permanente (recurso leñoso), o momentáneo de acuerdo al tipo de sistema agroforestal y a la estrategia de uso de éste.

En este libro se describen en capítulos posteriores diversos ejemplos de sistemas agroforestales utilizados en Chile, siendo los más utilizados los descritos en el Cuadro N° 1, como:

- Sistema silvopastorales con especies con fines madereros (pino radiata, álamo, pino ponderosa, pino contorta, pino oregon).
- Sistemas silvopastorales con especies para obtener madera de alto valor (nogal, castaño, cerezo).
- Cortinas cortavientos de diferentes especies leñosas según condiciones edafoclimáticas.
- Silvopastoreo con especies forrajeras (*Atriplex spp.*, *Acacia saligna*).
- Silvopastoreo en formaciones de especies nativas (*Prosopis spp.*, *Acacia caven*, *Nothofagus spp.*).

Cuadro N° 1
RESUMEN DE SISTEMAS AGROFORESTALES UTILIZADOS EN CHILE Y SUS COMPONENTES

Sistema	Tipos y Componentes	Sistemas Agroforestales
Silvopastoral	<ul style="list-style-type: none"> -Árboles para producción de madera en praderas para pastoreo -Pastoreo en bosques nativos -Árboles o arbustos forrajeros para alimentación animal -Árboles fruto-forestal asociado a praderas y animales -Praderas -Animales domésticos y/o silvestres -Otros 	<ul style="list-style-type: none"> -Árboles de especies de los géneros <i>Pinus</i> y <i>Eucalyptus</i> con praderas y ganado doméstico. -Álamo con praderas y ganado doméstico. -Árboles fruto forestales con praderas y ganado -Bosque nativo (Ej. <i>Prosopis spp.</i>, <i>Acacia caven</i>, <i>Nothofagus spp.</i>) con animales -Galpones naturales o biológicos (grupo de árboles, o bosquetes, y animales) -Arbustos forrajeros (Ej. <i>Atriplex spp.</i>, <i>Acacia saligna</i>) y animales
Agrosilvicultura	<ul style="list-style-type: none"> -Árboles comerciales entre cosechas agrícolas anuales. -Cercos vivos y cortinas cortavientos alrededor de cultivos -Cercos vivos de protección -Otros, como huertos familiares, árboles frutales con cultivos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Álamo con cultivos anuales -Cercos vivos y de protección -Cortinas cortavientos con cultivos agrícolas. Especies fruto- forestales (Ej. <i>Juglans sp.</i>, <i>Castanea sp.</i>) en callejones y cultivo agrícola -Bosque nativo con cultivos temporales
Agrosilvopastoral	<ul style="list-style-type: none"> -Árboles multipropósitos -Cercos vivos y cortinas asociados a cultivos y ganadería -Cultivos agrícolas y ganadería en plantaciones -Árboles frutales en huertos familiares -Otros 	<ul style="list-style-type: none"> -Álamo con cultivos y pastoreo -Árboles multipropósitos con cultivos agrícolas y pastoreo -Cortinas cortavientos y cercos vivos con cultivos agrícolas y pastoreo
Otros	<ul style="list-style-type: none"> -Árboles para protección de riberas cursos de agua. -Árboles para producción apícola -Agua 	<ul style="list-style-type: none"> -Sistemas para protección de riberas y cursos de agua -Huertos melíferos con árboles y/o arbustos

SISTEMAS AGROFORESTALES, SU FUNCIONAMIENTO Y LAS INTERACCIONES ENTRE SUS COMPONENTES

Dado que la acción humana ha sido responsable en forma mayoritaria de los procesos de erosión y que una de las causas principales ha sido la deforestación para abrir campos para la producción de alimentos, se han estudiado durante los últimos 14 años modelos agro-forestales alternativos, destinados a los pequeños y medianos productores agrícolas, que consideren en su planteamiento la identidad cultural y el sistema de vida de estos productores, la conservación de los recursos naturales y la permanencia de las familias campesinas en el campo, evitando así la migración a la ciudad, como elemento central del desarrollo rural. Para ello se ha considerado la reintroducción de árboles en la unidad predial agrícola bajo un concepto distinto a las plantaciones forestales tradicionales.

Desde el punto de vista técnico, con la incorporación de árboles en las unidades prediales destinadas a la ganadería tradicional y cultivos anuales, ordenados de acuerdo a algún diseño agroforestal, se puede ayudar a incrementar la productividad de los recursos agropecuarios,

principalmente en la producción de forraje y producción animal con ganado ovino o bovino, por el mejoramiento de las condiciones ambientales dentro de su área de influencia, dada por la protección brindada por los árboles a los vegetales y animales (disminución de la velocidad del viento, aumento de la temperatura ambiental y del suelo, aumento de la humedad relativa, disminución del déficit hídrico, protección del ganado contra lluvias y bajas temperaturas, entre otros) (Sotomayor, 1989; Sotomayor, 1990a; Quam y Johnson, 1994).

Al mismo tiempo, los recursos forestales establecidos son beneficiados por la introducción del ganado en el sistema, a través del uso alimenticio de las especies herbáceas por lo animales, que afecta positivamente el establecimiento y crecimiento de las plantas, en especial en los primeros años de crecimiento, disminuyendo a su vez la posibilidad de incendios forestales. Los árboles se benefician también por las fertilizaciones que reciban las praderas y cultivos asociados a las plantaciones y por el mayor espacio dejado para el crecimiento de los árboles, producto de un ordenamiento agroforestal. Otro efecto ambiental importante que pueden producir los árboles dentro del sistema es la protección de los suelos frente al viento y las gotas de lluvia, por lo que se reduce la erosión.

Desde el punto de vista económico, los productores locales que incorporen estos sistemas integrados de producción en sus predios podrán mantener un flujo de caja anual, dado por la venta de animales (carne y/o lana), cereales y otros productos agrícolas, que permitirá solventar los gastos propios del grupo familiar, y podrán también manejar sus bosques hasta que maduren y entreguen sus productos (Sotomayor, 1990b), mejorando así su calidad de vida (Leslie *et al.*, 1998; Polla, 1998). De los bosques podrán obtener además recursos madereros intermedios, como madera pulpable, madera para postes o leña, al momento de efectuar las labores de raleos y poda y, finalmente, podrán obtener productos maderables de alta calidad (madera libre de nudos o con nudos firmes), al final de la rotación de la plantación forestal al haber manejado sus bosques. Además, se puede señalar que los predios se valorizarán, al momento de establecer una masa forestal dentro de ellos.

Este sistema integrado de producción agroforestal se caracteriza por su sustentabilidad, permite recuperar terrenos degradados, controlar los procesos de erosión, proteger los cursos de agua y mejorar la calidad del agua, aumentar la capacidad de captura del CO₂ atmosférico y, al mismo tiempo, generar un entorno y un paisaje más agradable propiciando también la preservación y aumento de la vida silvestre.

En este capítulo introductorio se presentan antecedentes de la importancia de los árboles como agente de sustentabilidad para los productores agrícolas, sus usos, resultados y potencialidades de aplicación en el sector silvoagropecuario chileno, en base a un Programa de Desarrollo Agroforestal conjunto entre el Instituto Forestal (INFOR), el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), el Ministerio de Agricultura y los Gobiernos Regionales y Locales.

Una forma de demostrar la compatibilidad de uso integrado de las especies leñosas (árboles y arbustos) y la agricultura y ganadería, es a través del establecimiento de los árboles en una forma amigable con los usos agropecuarios tradicionales, utilizando técnicas o sistemas agroforestales en el mundo rural. El propósito de la inclusión del componente leñoso en conjunto con los usos agropecuarios en un mismo terreno es lograr una sinergia entre estos componentes productivos, lo cual puede conducir a mejoras netas en una o más características.

En el capítulo se presenta una reseña del estado del arte sobre los sistemas agroforestales, y esta revisión se organiza abarcando los siguientes aspectos:

- Agroforestería como sistema de manejo integrado.
- Interrelaciones entre las componentes Árbol-Pradera-Animal.
- Aspectos a considerar en el manejo y ordenación de sistemas silvopastorales.
- Efecto de la componente forestal sobre el micro-clima en sistemas silvopastorales.

Agroforestería como Sistema de Manejo Integrado

Una de las formas de asegurar la conservación y mejorar la productividad del suelo ha sido buscar alternativas de uso múltiple en función de la potencialidad y limitaciones de cada sitio. Esta alternativa de uso combinado del suelo se ha denominado Manejo Agroforestal, o Agroforestería, que consiste en la interacción del uso forestal, ganadero y agrícola en un mismo sitio. Este tipo de manejo busca la optimización de la producción del suelo en forma sustentable y aumentar la rentabilidad como sistema de uso.

Existen distintos tipos de manejo agroforestal, dependiendo de los recursos incorporados a este manejo, las condiciones edafoclimáticas y el objetivo de producción, utilizando entre otros los componentes arbóreos o arbustivos, los cultivos agrícolas, los recursos prateros y la producción animal.

Dentro de los más frecuentes, figuran las combinaciones agrosilvícolas, silvopastorales, las cortinas cortavientos, y últimamente ha surgido con fuerza la protección de riberas y cursos de agua (*riparian buffer*) en predios agrícolas (Nair, 1994; Sotomayor, *et al.*, 2009).

Los sistemas agroforestales ofrecen a los propietarios de predios rurales la posibilidad de generar ingresos por venta de diferentes bienes o servicios, producidos en un mismo sitio, junto con la obtención de beneficios ambientales.

Un sistema silvopastoral puede desarrollarse a partir de un terreno con praderas establecidas donde se incorpora el componente forestal o a partir de un bosque al que se le incorporan especies forrajeras. El bosque (o árboles) deberá ser manejado de manera que permita el desarrollo de los pastos para la producción de forraje, reduciendo la competencia entre ambos componentes permitiendo la entrada de luz solar (Sotomayor, 1990c; Sotomayor *et al.*, 2009).

En la medida que existe mayor competencia por el uso de los suelos, nuevas alternativas de producción deben ser buscadas para satisfacer las necesidades alimenticias de la población. El silvopastoreo en bosques, ya sea temporal o durante toda su rotación, es una buena alternativa en muchas regiones de Chile.

Los sistemas silvopastorales, aunque requieren de una mayor tecnología y un alto nivel de manejo, traen una serie de ventajas sobre un sistema forestal tradicional para los pequeños y medianos propietarios.

El éxito de un esquema silvopastoral se basa, en primer lugar, en una correcta programación de sus actividades y su manejo, basada en objetivos muy bien definidos en ambos

rubros, ganadero y forestal, y en segundo lugar en el logro de altos índices productivos en ambos rubros (Gómez de Freitas, 1998).

Algunos beneficios ambientales de los sistemas silvopastorales son (Sotomayor, 1990a; Nair, 1994; Gómez de Freitas, 1998):

Agua: Los árboles reducen la velocidad de las gotas de lluvia y permiten una mayor percolación en el suelo. Las raíces ayudan a filtrar contaminantes de las aguas de escorrentía, mejorando la calidad de aguas subterráneas.

Aire: Los árboles ayudan en la producción de oxígeno, reducen los olores en las áreas donde se concentran los animales y la diseminación del polvo ocasionado por el viento o por actividades de transporte dentro de los predios.

Captura de carbono: Las especies arbóreas capturan el CO₂ del aire, incorporándolo en la madera, lo cual ayuda a la disminución de la contaminación ambiental.

Suelo: El follaje de los árboles reduce el impacto de la lluvia, previniendo la erosión y ayudando a infiltrar el agua en el suelo y las raíces ayudan a retener el suelo.

Vida Silvestre: Los sistemas que integran árboles y praderas proveen un hábitat diverso, refugio y protección para muchas especies animales terrestres. Los peces y otros animales acuáticos presentes en los cursos de agua se benefician del control de la erosión y filtración de potenciales contaminantes sobre el agua, y de la regulación de la temperatura del agua por la protección de los árboles.

Diversidad de especies vegetales: Los árboles en un ambiente agrícola proveen mayor diversidad, fortaleciendo al ecosistema y haciéndolo más saludable que sectores donde predominan los monocultivos.

Humanos: Los árboles crean un paisaje estéticamente más agradable, proveen una fuente de ingresos y actividades económicas.

Interrelaciones entre Árboles, Pradera o Cultivos y Animales

La densidad de la plantación tiene una influencia directa sobre las pasturas, en cuanto a su evolución, composición florística, producción de forraje y digestibilidad (Polla, 1998). En sistemas silvopastorales la estrata superior o arbórea juega un rol fundamental en la producción de forraje y en la gran mayoría de los casos condiciona su desarrollo. Según Sotomayor (1990b) diversos parámetros forestales pueden ser usados para predecir y relacionar la influencia de la cubierta arbórea en el rendimiento de la pradera. Dentro de los parámetros más importantes, Sotomayor (1990b) destaca la densidad del bosque (número de árboles por hectárea, área basal por hectárea, cobertura de copa), la que al aumentar puede provocar una disminución en la producción de forraje. La altura de los árboles también produce el similar efecto.

Diferentes características del árbol han sido empleadas para predecir la producción de forraje. Entre ellas, las más utilizadas han sido el área basal y la cobertura de copa. Grelen y Loherey (1978) estudiaron la relación entre el rendimiento de la pradera y el área basal, encontrando una fuerte relación entre estas dos variables. Señalan que un incremento en el

área basal de *Pinus palustris* afectó negativamente la producción de forraje, obteniendo un promedio de 1.153, 911 y 770 kg ha⁻¹ para tratamientos con área basal de 13,8, 18,4 y 23 m² ha⁻¹, respectivamente.

En relación a la cobertura de copa, Pyke y Zamora (1982) encontraron que la cobertura de copa fue el mejor indicador de la producción de la pradera, superior al área basal y al número de árboles. Pase (1957) encontró que la cobertura de las copas de los bosques de *Pinus ponderosa* fue la variable más relacionada con la producción herbácea. Se encontró que los pastos y arbustos de la estrata inferior se desarrollaban mejor con una disminución de la cobertura de copa. Al reducir la cobertura de copa de un 71% a un 10% se obtuvo una producción de 550 kg ha⁻¹ de materia seca en la menor cobertura, contra solo 20 kg ha⁻¹ en la mayor cobertura de copa.

Percival y Knowles (1986) señalan que los primeros estudios en Nueva Zelandia, sobre el efecto de pino radiata sobre la producción de la pradera, mostraban una relación lineal entre producción de materia seca de la pradera y el largo de la copa viva de los pinos. En la medida que la base de datos fue aumentando, se tornó evidente que la relación entre producción de la pradera y el largo de copa viva era una relación curvilínea negativa. Además, se encontró una buena relación entre el largo promedio de copa viva por árbol y la producción relativa de la pradera; en la medida en que el largo promedio de copa viva aumenta la producción de forraje disminuye.

Ha sido reportado en diversos estudios que existe una disminución en la cantidad de materia seca producida por la pradera debido a la sombra proyectada por la copa de los árboles. Según Solangaarachchi y Harper (1997) este efecto negativo de los árboles sobre la pradera puede ser compensado en alguna medida por la acción protectora que ejercen los árboles sobre los pastos, atenuando la acción del frío en invierno, o reduciendo el viento y el desecamiento por las temperaturas altas de primavera y verano. Con esto se logra que la cubierta herbácea permanezca por más tiempo disponible para el ganado (Polla, 1998).

Lewis *et al.* (1983), en un estudio con *Pinus elliottii* de 19 años de edad, plantado a dos densidades, 730 y 268 árboles por hectárea, observaron que la pradera bajo la densidad menor de plantación produjo mayor cantidad de forraje. La diferencia en producción de forraje, entre los dos rodales, cambió cuando el rodal con mayor densidad fue raleado en un 50% (desde 730 a 370 árboles por hectárea) a los 10 años de edad. En los siguientes tres años, este rodal raleado redujo la diferencia entre producción y ganancia de peso vivo animal por hectárea en relación al rodal de menor densidad de un 123% (170 vs 76 kg ha⁻¹) a solo 50% (185 vs 127 kg ha⁻¹), principalmente por la disminución del efecto sombra al reducir la cobertura de copa.

Anderson *et al.* (1988), en estudio realizado en Australia, demostraron el efecto de la densidad sobre la interceptación de luz solar en bosques de pino radiata y la incidencia en la producción de la pradera y la cantidad de animales que podía soportar el sistema (Cuadro N° 2). A medida que la densidad aumenta, la luz transmitida a través del dosel se reduce, disminuyendo la producción de forraje y la capacidad de carga animal.

Cuadro N° 2
EDAD, DENSIDAD DEL RODAL, PORCENTAJE DE LUZ TRANSMITIDA, PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y
CAPACIDAD SUSTENTADORA ANIMAL, COMO PORCENTAJE DE UNA PRADERA SIN ÁRBOLES, EN
PLANTACIONES SILVOPASTORALES DE PINO RADIATA EN AUSTRALIA

Edad del Rodal (años)	Densidad del Rodal (arb ha ⁻¹)	Luz Transmitida (%)	Producción de Forraje (%)	Capacidad de Carga Animal (%)
	0	100	100	100
6 - 7*	100	81	87	82
	300	69	76	73
	0	100	100	100
20**	70	47	67	59
	150	24	39	24

(Anderson et al. 1988) *: poda a 4 metros; **: poda a 6 metros

Otro aspecto de interés en condiciones silvopastorales es que la pradera puede permanecer verde por un mayor período gracias a la protección otorgada por los árboles, lo que se traduce en que en promedio anual posea mayor contenido de proteína (García. 1985) (Cuadro N° 3).

Cuadro N° 3
CONTENIDO DE PROTEÍNA EN PRADERAS BAJO SILVOPASTOREO CON PINO RADIATA DE
7 AÑOS DE EDAD, EN VALDIVIA, CHILE

Efecto de la densidad de árboles	Proteína Bruta (%)
Pradera sin árboles	11.2 a
Pradera con 260 arb ha ⁻¹	14.8 ab
Pradera con 500 arb ha ⁻¹	15.9 b
Efecto del método de mejoramiento bajo silvopastoreo (promedio de 260 y 500 arb ha ⁻¹)	
Pradera natural	14.2 a
Pradera natural fertilizada	15.8 ab
Pradera natural fertilizada y regenerada	18.0 b

(García 1985).

La capacidad productiva de una pradera bajo árboles, puede ser reducida por el efecto de cubrimiento de desechos de poda y raleo, y por la menor producción de forraje por efecto de la competencia por luz, agua y nutrientes. En los primeros años de desarrollo de un sistema silvopastoral, establecido a baja densidad, no se produce una competencia que perjudique el desarrollo de la pradera, originándose un efecto de complementación entre los componentes, aumentando la productividad de la pradera (Mead, 2009). Este efecto se puede tornar negativo cuando las copas se desarrollan y cubren la superficie con hojarasca o acículas, y cuando por efecto del manejo forestal, podas y raleos, los desechos originan el cubrimiento en la superficie perjudicando el desarrollo de la pradera y su consumo por los animales (Hawke, 1997; Benavides *et al.*, 2009; Mead, 2009).

A medida que el desarrollo de las copas se incrementa, con el aumento de la edad de los árboles, aumenta la competencia por luz, siendo este el factor más importante en la reducción de la productividad de la pradera (Hawke, 1997; Mead, 2009). Hacia el final de la rotación el sistema silvopastoral se torna más en una plantación con fines madereros (Mead, 2009), no permitiendo el mantenimiento de los animales en este por la baja productividad de la pradera. Lo anterior dependerá de las especies de árboles a utilizar, dado que las especies latifoliadas de hoja caduca interceptan menos la radiación entre otoño e inicios de la primavera.

La competencia por agua y nutrientes bajo el suelo también es importante y debe ser considerada. Esta competencia se radica dentro de la zona radicular y es importante en la selección de los componentes vegetales del sistema que estos compartan diferentes zonas de interacción radicular y/o diferentes temporadas de crecimiento (Sotomayor, 1990c). Un ejemplo claro de esta interacción es al momento de plantación, si las plantas están rodeadas por una pradera establecida al momento del establecimiento, sufrirán un alto nivel de estrés, debido a la competencia (Sotomayor, 1990c), el cual puede ocasionar mortalidad de estas si no se realizan labores de control local de maleza con herbicidas o manualmente (Mead, 2009).

Contrariamente, la pradera bajo bosques o plantaciones jóvenes ya establecidas, abiertas o a baja densidad, estará sujeta a un bajo nivel de estrés, dado que estarán compartiendo diferentes zonas radiculares. En este caso el sistema silvopastoral presenta ventajas, dado que las especies forestales y herbáceas se complementan en el uso de los recursos del suelo, y pueden de esa manera usarlos más efectivamente. El efecto de la competencia por agua parece no ser muy significativo, cuando las especies se han desarrollado y ocupan distintas áreas de captación de agua en el suelo. En un estudio realizado por Moya (2001), en una plantación adulta de pino radiata al norte de Valdivia, Chile, se comparó el balance hídrico de una plantación silvopastoral y una con manejo tradicional (mayor número de árboles por hectárea), no encontrándose diferencias significativas entre ambos esquemas de manejo. Solo en los meses de verano, la evapotranspiración en el módulo silvopastoral fue levemente superior. Lo anterior se puede explicar por la mayor entrada de luz a la pradera. En la plantación con manejo silvopastoral no existía competencia por humedad entre el pasto y los árboles, ya que, el consumo de la pradera es solo en los primeros 50 cm y el consumo del componente arbóreo se extrae a mayor profundidad (Moya, 2001).

En Chile no se han realizado estudios específicos referentes la respuesta de diferentes especies herbáceas bajo cubierta arbórea. En países como Australia, Estados Unidos y Nueva Zelandia en tanto hay estudios al respecto y en los puntos siguientes se entregan algunos de sus resultados. Las especies herbáceas a considerar dependen de varios factores, siendo los más importantes precipitación, temperatura, tipo y fertilidad del suelo, uso animal y tolerancia a la competencia forestal.

Trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum*), leguminosa muy usada en Chile para establecimiento de praderas en la zona centro-sur, ha sido mencionado por diversos autores como una especie apropiada para ser usada en sistemas silvopastorales, por su tolerancia a ambientes sombríos, su capacidad de fijar nitrógeno, su potencialidad de resiembra, y su resistencia y estímulo ante el pastoreo, entre otras características. Anderson y Batini (1983) estudiaron el desarrollo de trébol subterráneo bajo una plantación de pino radiata de 13 años, que había sido raleada a 143 y 261 arb ha⁻¹ y podada a 6 m, en comparación con una pradera sin árboles. Estos autores observaron que no hubo problema en su establecimiento y este resultó

en una sana y productiva pradera. Sin embargo, en la tercera temporada de crecimiento, los rendimientos de la pradera cayeron en el rodal de menor densidad (143 arb ha⁻¹) a 84% en relación a la pradera testigo y en el rodal de mayor densidad (261 arb ha⁻¹) a un 68% respecto al testigo. Estos autores encontraron la misma tendencia en un segundo estudio, cuando utilizaron una muy baja densidad, de 84 arb ha⁻¹, pero la reducción en materia seca después de cuatro años fue solo de un 4% en relación a la pradera testigo.

Watson *et al.* (1984) encontraron que cuando 16 especies de pastos diferentes fueron establecidas bajo condiciones artificiales de sombra, que proporcionaban un 50 y 25% de la luz natural, las más tolerantes al efecto sombra fueron trébol subterráneo, que produjo un 92% y 49%, como porcentaje de una pradera creciendo en un ambiente sin sombra, ante un nivel de sombra de 50 y 75%, respectivamente; trébol encarnado (*Trifolium incarnatum*) un 62% y 34%; trébol persa (*Trifolium resupinatum*), un 58% y 36%. Además, gramíneas como ballica anual (*Lolium multiflorum*) produjeron un 51 y 28%, festuca (*Festuca arundinacea*) un 39 y 29%, y vicia (*Vicia villosa*) 33 y 22%, respectivamente. Hubo una tendencia general de disminución del porcentaje de materia seca con un aumento del nivel de sombra. Lo anterior también indicó que la protección de los árboles sobre la pradera, con una disminución de la luz hasta un 50%, beneficia el desarrollo de las leguminosas en las temporadas evaluadas, en relación a las gramíneas analizadas. Esto puede estar relacionado con una mayor cobertura de copa, lo cual beneficia más a las leguminosas que a las gramíneas, que requieren mayor luminosidad.

En otro estudio, donde diferentes pastos fueron sembrados bajo un rodal joven de *Pinus elliotii*, plantado a un espaciamiento de 3 x 3 m y podado a 2,4 m de altura, Hart *et al.* (1970) encontraron que los rendimientos en forraje decrecieron linealmente con un incremento en área basal. Cuando la luz bajo los árboles fue de solo un 16% respecto a espacios abiertos, los rendimientos de pasto bahía (*Paspalum notatum* F.), bermuda (*Cynodon dactylon* L.) y pasto miel (*Paspalum dilatatum* P.) creciendo bajo los árboles, fueron 79, 71 y 56%, respectivamente, respecto a las mismas especies creciendo en un ambiente sin árboles. Con solo 7% de la luz recibida bajo los árboles, los rendimientos de pasto bahía y pasto miel fueron 38 y 19%, respectivamente, en relación a una situación sin árboles

Cuando fue comparada la producción y la cobertura de cuatro grupos de especies; ballica anual, trébol blanco (*Trifolium repens*), malezas y material muerto, Percival *et al.* (1984a), encontraron que la cobertura de trébol blanco y ballica anual aumentaba con el tiempo, en cada año de medición entre los 2 y 9 años, creciendo bajo densidades de 100 a 400 arb ha⁻¹ de pino radiata, pero estas coberturas eran inferiores a las de una pastura abierta, y disminuía con un aumento de la densidad. Comparado con la pastura abierta a los 9 años, ballica anual tenía una cobertura de un 70 y 53% para 100 y 200 arb ha⁻¹, en relación a la pastura abierta, y para trébol blanco este porcentaje era de 75 y 62%, respectivamente.

Dodd *et al.* (2005), reportan un resultado similar, en un estudio donde probaron diferentes porcentajes de sombra, de 0 a 90%, usando métodos artificiales de sombreado. Encontraron una reducción en la composición porcentual de leguminosas (trébol subterráneo, trébol blanco y otras leguminosas) y gramíneas (ballica anual, chéptica (*Agrostis capillaris*) y otras) y un aumento de malezas con el aumento del porcentaje de sombra. Con un 20, 40 y 80% de sombra, se obtuvo una disminución en la composición porcentual de 15, 18 y 20% para las gramíneas y de 12, 16 y 20% para leguminosas aproximadamente. También señalaron que la producción relativa de la pradera (%), comparada con una pastura abierta, fue de un 88, 85 y 50% para un nivel de

sombra de 30, 40 y 80%. Esto indica que un nivel de sombra de 30-40%, por un largo periodo de 12 meses evaluado, produce un nivel aceptable de pastura, considerando que además se tiene una producción forestal que puede compensar esta reducción.

Lo anterior demuestra, que si bien debe haber un adecuado manejo del sistema, en cuanto a controlar la densidad arbórea, con una reducción de la superficie foliar arbórea mediante podas, también se debe elegir adecuadamente las especies herbáceas que se adapten a un ambiente bajo la influencia arbórea, dado que siempre habrá una cierta disminución de la productividad de la pradera, especialmente al trabajar con especies arbóreas establecidas con fines madereros. Esta disminución debe ser controlada de acuerdo a los objetivos que se hayan planteado y la participación de las especies herbáceas y arbóreas debe ser balanceada, para así poder obtener la mayor productividad del sistema como un todo.

Aspectos a Considerar en el Manejo y Ordenación de Sistemas Silvopastorales

La densidad arbórea, el diseño o distribución espacial de los árboles en la superficie, los tratamientos silvícolas y el manejo de la pradera y animal son aspectos de suma importancia para el buen resultado en un sistema silvopastoral. En términos generales, la densidad de plantas a establecer en el terreno, en un manejo con fines silvopastorales es considerablemente menor que en una plantación tradicional con fines de producción de madera, para favorecer la entrada de luz al piso del bosque y la producción pratense, y reducir la competencia bajo el suelo (Sotomayor, 1990b; Sotomayor, 1990c).

- Efecto de la Distribución o Arreglo Espacial de los Árboles

Según Sotomayor (1989, 1990c) diversos sistemas pueden ser usados para establecer una plantación silvopastoral, siendo los más frecuentes los sistemas homogéneos (distribución regular de los árboles sobre la pradera) o zonales (árboles y praderas desarrollándose en forma independiente pero adyacentes). Si bien el primer sistema es el más usado, el segundo al parecer es el más conveniente cuando el objetivo es favorecer la producción pratense, ya que la pradera y los árboles pueden ser manejados en forma separada, optimizando la producción del sitio (Sotomayor, 1990c).

La distancia entre hileras en un sistema de manejo zonal, es flexible y dependerá en parte del objetivo que se persiga, y si se considera o no el uso de maquinaria. Una típica geometría de plantación es aquella en hileras separadas cada 7 a 15 m con plantas a 2-3 m sobre la hilera. Un mayor espacio entre las hileras permite desarrollar mejor actividades mecanizadas como conservación de forraje. Con plantaciones arregladas en hileras dobles o triples, se obtienen mayores distancias entre hileras manteniendo el mismo número de árboles. Con este sistema sería esperable algún grado de reducción en el volumen de madera, por la mayor densidad, y un aumento en la producción de la pradera por una menor cobertura de copa.

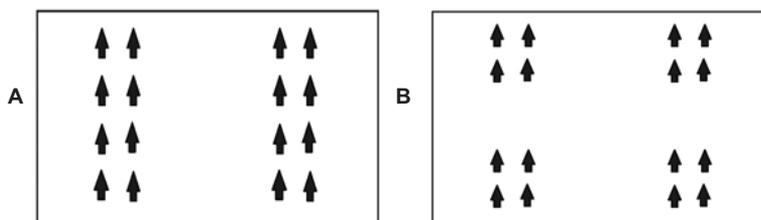
Lewis *et al.* (1985), en Estados Unidos, investigaron la producción de forraje en una plantación de *Pinus elliotti* de 13 años, plantada con una densidad de 1.157 árboles arb ha⁻¹, pero con distintas distribuciones. La distribución de la plantación se manejó con hileras simples y dobles, dejándose una franja con pradera adyacente entre las hileras de árboles, con distintos anchos (Cuadro N° 4).

Cuadro N° 4
CONFIGURACIÓN ESPACIAL Y COBERTURA DE COPA EN PLANTACIONES DE *Pinus elliottii*
13 AÑOS DE EDAD

Configuración Espacial (m)	Tratamiento*	Área Bajo Copa (%)	Área Sin Cobertura (%)	Rendimiento Pradera (kg ha ⁻¹)
2,4 x 3,6	S-1	100	0	1.275
1,2 x 7,2	S-2	53	47	607
0,6 x 14,4	S-3	29	71	1.197
(1,8 x 2,4) x 7,2	D-1	60	40	1.509
(1,2 x 2,4) x 12,0	D-2	44	56	1.416
(0,6 x 2,4) x 26,8	D-3	20	80	2.882

(Lewis *et al.* 1985). *S: hilera simple; D: hilera doble.

Se puede observar en el cuadro que la mejor configuración espacial con el objetivo de producción de forraje es el tratamiento D-3, el cual consiste en una plantación con una hilera doble, separada por 2,4 m y árboles cada 0,6 m sobre la hilera, y la separación entre las hileras dobles es de 26,8 m. Este tratamiento muestra la importancia de mantener una baja cobertura de copas en una plantación destinada al silvopastoreo. Esto se logra con una baja densidad inicial y mediante la aplicación de raleos y podas en forma sistemática. En la Figura N° 1 se presenta un ejemplo de dos geometrías de plantación, una en hileras dobles (A) con mil árboles por hectárea y otra en grupos o conglomerados (B) con 625 árboles por hectárea.



(Sotomayor, 1990a)

(A) Fajas alternas, 1000 arb ha⁻¹, dos hileras a (2 x 3 m) x 7 m entre hileras.

(B) Grupos de cuatro plantas, 625 arb ha⁻¹, (2 x 2 m) x 6 m entre grupos.

Figura N° 1
EJEMPLO DE DOS GEOMETRÍAS DE PLANTACIÓN

- Establecimiento Inicial y Manejo de la Plantación Silvopastoral

No todas las plantas establecidas inicialmente son capaces de constituirse en árboles de buena calidad, por lo tanto, se debe asegurar una buena sobrevivencia inicial, mediante adecuadas técnicas de establecimiento y el empleo de plantas apropiadas, y además plantar un mayor número de árboles que los requeridos para llegar al final de la rotación. Con esto se genera inicialmente crecimiento y buena forma de estos, y la posibilidad de selecciones posteriores. En el caso de pino radiata en Chile es usual plantar entre cuatro a cinco veces el número final de árboles requeridos (Sotomayor *et al.*, 2002).

Durante los primeros seis a siete años los árboles no deseados son eliminados mediante raleo. Tradicionalmente los bosques de pino radiata en Chile, entre los años 1960 a 1980, se

usaron densidades de plantación entre 1600 a 2500 arb ha⁻¹ (Espinosa *et al.*, 1990; Garcia *et al.*, 2000), reduciéndose después esta densidad inicial a medida que las técnicas de establecimiento y la calidad genética de las plantas han mejorado (Espinosa *et al.*, 1990).

En el caso de plantaciones silvopastorales, no existe un criterio único en relación a la densidad de plantación inicial, ya que dependerá de muchos factores, como los objetivos del productor, las condiciones del sitio y los requerimientos establecidos posibles instrumentos de fomento, como la ley de fomento forestal que existía en Chile hasta el año 2012 (Decreto Ley N° 701 de 1998) (CONAF, 2009). En este decreto se incluía la posibilidad de establecer plantaciones con fines silvopastorales, con densidades desde 100 arb ha⁻¹ en la zona norte de del país hasta 1000 arb ha⁻¹ en la zona sur (CONAF, 2009).

La densidad inicial a seleccionar en un proyecto silvopastoral influirá tanto en el desarrollo de la pradera creciendo bajo su abrigo como también en los árboles mismos. Como se ha indicado anteriormente, ocurre un mayor crecimiento de la pradera con menores densidades de plantación, pero también los árboles individuales crecen a una mayor tasa. De acuerdo a cifras indicadas por Anderson *et al.* (1988), árboles establecidos a bajas densidades tenían individuos de mayor diámetro que a mayores densidades (Cuadro N° 5). Similares resultados fueron encontrados por Sotomayor y Cabrera (2008).

Cuadro N° 5
PROMEDIO DE INCREMENTO ANUAL EN DIÁMETRO EN ÁRBOLES DE *Pinus radiata*
ESTABLECIDOS BAJO DIFERENTES DENSIDADES
8 AÑOS DE EDAD

Densidad (arb ha ⁻¹)	Incremento en Diámetro (cm año ⁻¹)
50	2,47 a
100	2,21 a
200	2,31 a
400	1,83 b*

(Anderson *et al.* 1988)

*Valores seguidos de distinta letra indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

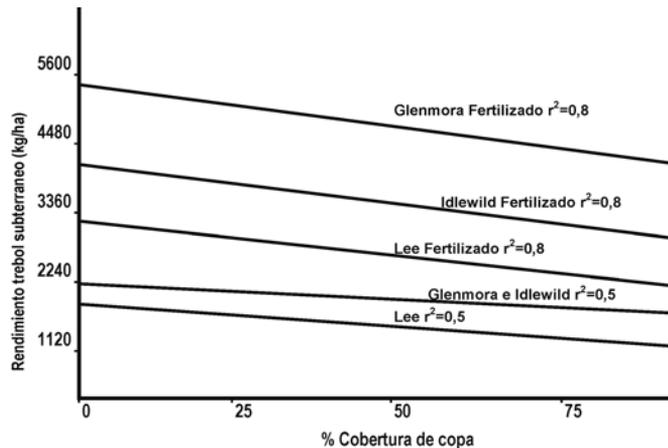
- Mejoramiento y Fertilización de la Pradera

La selección de las mejores especies a ser usadas bajo una cubierta forestal es importante, pero además se puede mejorar el rendimiento de estas especies herbáceas creciendo bajo una influencia arbórea mediante fertilizantes.

La fertilización puede incrementar la producción de forraje de praderas naturales o artificiales creciendo bajo los árboles. En un estudio de Hart *et al.* (1970) fue reportado que la aplicación de 56 kg de N y 24 kg de P por hectárea incrementó la producción de forraje cuatro veces, a 2.470 kg ha⁻¹, bajo un rodal de pino de 26 años, con un área basal de 25 m² ha⁻¹. Duvall y Grelen (1967) fertilizaron una pradera natural en una plantación de *Pinus elliotii* de 25 años,

produciendo 510 kg ha⁻¹ sin fertilización y 1.710 kg ha⁻¹ cuando fueron aplicados 112 kg N, 49 kg P, y 93 kg K por hectárea y 2.060 kg ha⁻¹ cuando se fertilizó usando el doble de esa cantidad.

Davis y Johnson (1984) encontraron que la productividad de una pradera de trébol subterráneo estuvo altamente asociada a sitios fertilizados y a la cobertura de copa del estrato arbóreo. La relación entre rendimiento de trébol subterráneo y cobertura de copa fue mejor para las parcelas fertilizadas, con un $r^2 = 0,80$, que para parcelas no fertilizadas, que obtuvieron un $r^2 = 0.50$ (Figura N° 2). En la figura se puede apreciar que aunque con un aumento de la cobertura de copa se produce una directa disminución del rendimiento de la pradera, esta disminución puede verse reducida con la aplicación de fertilizantes.



(Davis y Johnson, 1984)

Figura N° 2
RELACIÓN ENTRE COBERTURA DE COPA Y RENDIMIENTO DE TRÉBOL SUBTERRÁNEO
EN RODALES FERTILIZADOS Y NO FERTILIZADOS

Un beneficio indirecto que se produce al fertilizar una pradera es el incremento en la productividad del bosque, debido a una mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo. La adición de diferentes elementos minerales, posibilita un mayor crecimiento en diámetro de las copas y finalmente en volumen. Estudiando el efecto de la fertilización en el crecimiento de pinos del sur de Estados Unidos, Lewis y Pearson (1987) determinaron que después de 20 años los pinos creciendo en praderas fertilizadas fueron de mayor tamaño que aquellos creciendo en praderas naturales no fertilizadas y que produjeron cerca de 30% más madera durante ese período.

Resultado similar fue obtenido por Burton (1973), los rendimientos de madera para pulpa, en rodales de *Pinus elliottii* con praderas fertilizadas bajo el dosel, fueron 2,7 veces mayores que en rodales sin fertilización de la pradera (Cuadro N° 6).

Cuadro N° 6
QUINCE AÑOS DE PRODUCCIÓN DE MADERA PULPABLE EN BOSQUES DE *Pinus elliotti*
CRECIENDO CON PRADERAS FERTILIZADAS Y SIN FERTILIZAR BAJO EL DOSEL EN GEORGIA-USA

Espaciamiento de Plantación (m)	Pradera	Producción Maderera (mr ha ^{-1*})
3,6 x 3,6	Natural	33,9
3,6 x 3,6	Fertilizada	93,7**
6,1 x 6,1	Natural	14,6
6,1 x 6,1	Fertilizada	36,9

(Burton 1973).

* mr: Metro Ruma, unidad de medida de madera para pulpa (ruma de rollizos de 1m x1m x 2,44m)

** Incluye 14,6 mr ha⁻¹ de raleo anterior

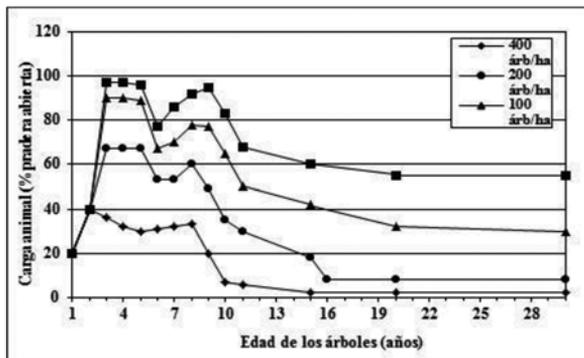
- Efecto de los Árboles Sobre la Producción y Bienestar Animal

La producción de forraje de la pradera es el factor más importante que determina la capacidad de carga animal y, como consecuencia, su productividad está íntimamente relacionada con la disponibilidad de alimento (Hawke, 1997; Peri *et al.*, 2001; Mead, 2009). A su vez, el número de animales que pueden ser mantenidos en la pradera bajo los árboles tiene un gran efecto sobre la rentabilidad del sistema.

Trabajos realizados en Nueva Zelanda indican la evolución de la carga animal en sistemas silvopastorales con distintas densidades de pino radiata a través de la rotación (Figura N° 3) (Reid y Wilson, 1986). En este caso se observa que durante los primeros años la capacidad sustentadora aumenta, en la medida que la susceptibilidad de los árboles al daño por pastoreo va disminuyendo. Posteriormente, existe un período de estabilidad que es afectado positivamente por las intervenciones silvícolas (raleo y poda), para posteriormente decrecer debido al incremento en el efecto negativo del sombreadamiento.

El bosque tiene un rol protector muy importante sobre el ganado. La protección otorgada por los árboles, sombra y abrigo, disminuye el gasto metabólico de regulación de la temperatura corporal por estrés calórico en verano y por generación de calor en invierno (Bird *et al.*, 1992; Quam y Johnson, 1994). Esto se traduce en un mejor uso de la energía proporcionada por la pastura, lo que origina una mayor ganancia de peso, mayor producción y mayores ingresos anuales (Polla, 1998).

Todos los animales de sangre caliente deben mantener su temperatura corporal dentro de un rango o zona confortable, que en el caso de bovino es cercana a los 39°C. Cuando el animal es mantenido en una zona de termoneutralidad, 5 a 20°C, no tendrá problemas para mantener dicha temperatura, basándose principalmente en la energía que se libera en la fermentación ruminal, de la actividad motriz del retículo rumen y de los procesos metabólicos de su organismo (Quam y Johnson, 1994).



(Reid y Wilson 1986)

Figura N° 3

EFFECTO DE LA DENSIDAD DE ÁRBOLES (*Pinus radiata*) SOBRE LA CARGA ANIMAL SOPORTADA EXPRESADA COMO PORCENTAJE DE UNA PRADERA DESCUBIERTA

Este flujo de calor desde el animal al ambiente se produce en forma espontánea, movilizándose de zonas cálidas a zonas más frías. Este proceso permite que el animal se enfríe y el calor no se acumule. El problema se genera cuando este ambiente externo está por debajo de la zona de termoneutralidad.

Cuando la temperatura del aire desciende los animales deben gastar energía para mantener el calor corporal (Quam y Johnson, 1994). Muchos animales cuando se aproxima el invierno desarrollan en forma natural un abrigo protector que los aísla de las bajas temperaturas. En el caso del ganado, la gruesa cubierta invernal le da protección hasta una temperatura de $-7,8^{\circ}\text{C}$. Una temperatura inferior a esta le provoca estrés y comienza a consumir alimento adicional, para mantener la temperatura corporal (Quam y Johnson, 1994).

Bajo tales condiciones, el animal no solo cambiará aspectos de su comportamiento, como la alimentación y su desplazamiento (Redbo *et al.*, 1996), sino que además deberá destinar energía del alimento o de las reservas corporales para su termorregulación. Esta situación se traduce en un aumento en los requerimientos de energía de mantención, los que pueden aumentar hasta en un 70%, disminuyendo la energía disponible para su crecimiento o producción (Cañas, 1995).

Los sistemas integrados de árbol y pradera no solo pueden beneficiar indirectamente la producción pecuaria, a través del mejoramiento de la producción de los cultivos y praderas, sino que además pueden beneficiar a los animales. La presencia de árboles en los potreros destinados para el manejo invernal de los animales permite atenuar el efecto del clima sobre estos, mejorando su comportamiento productivo. Si el animal está expuesto a los vientos del invierno, la necesidad de comida es mayor. Una cubierta boscosa les da a los animales una protección muy significativa, en especial en los períodos invernales (Quam y Johnson, 1994). Bird *et al.* (1992) indican que una reducción del 33% en la velocidad del viento, desde 10 a 6,6 km/h, puede resultar en un 10% de ahorro de energía y un 55% de reducción de la velocidad del viento, podría incrementar ese a un 17,5%.

Rojas (1983) y Redbo *et al.* (1996) señalan que la utilización de bosquetes, como parte de una implementación para el reparo de los animales durante el invierno, no solo reporta resultados productivos similares a los obtenidos por animales manejados bajo galpones (Cuadros N° 7 y N° 8), sino que disminuye también la situación de estrés de los animales, y aminora los costos de inversión. Bird *et al.* (1992) también indican que la provisión de sombra en *feedlots* con bovinos en Queensland, Australia, ha mejorado la eficiencia de conversión alimenticia y la supervivencia.

Cuadro N° 7
EFFECTO DEL LUGAR DE SUPLEMENTACIÓN INVERNAL SOBRE
EL CRECIMIENTO DE NOVILLOS

Parámetros	Bosque Acondicionado	Corral
Peso vivo inicial y final (kg animal ⁻¹)	425,4 450,8	424,6 448,8
Crecimiento (kg día ⁻¹ animal ⁻¹)	0,275	0,263
Consumo:		
Diario de ensilaje (kg MS animal ⁻¹)	11,6	10,5
Conversión del alimento (kg MS kg animal ⁻¹)	42,4	40,1

(Rojas 1983)

Cuadro N° 8
PARÁMETROS PRODUCTIVOS EN NOVILLOS DE RECRÍA PARA MANEJO
ESTABULADO EN GALPÓN Y BAJO BOSQUE MODIFICADO
TEMPORADA 1994-95. UPPSALA, SUECIA

Parámetros	Bosque Acondicionado	Galpón
Tasa de crecimiento:		
Invernal (kg animal ⁻¹)	533	553
Post-invernal (kg animal ⁻¹)	825	705
General (kg animal ⁻¹)	664	622
Peso vivo:		
Inicial (kg animal ⁻¹)	311	309
Final (kg animal ⁻¹)	534	517
Peso carcasa (kg animal ⁻¹)	251	250

(Redbo *et al.* 1996)

Otro aspecto de importancia sobre la protección otorgada por los árboles a los animales es el mejoramiento las posibilidades de supervivencia de los terneros y corderos, al momento de nacer y durante el primer mes. Publicaciones en el sur este de Australia indican que se han reportado reducciones del 50% en la mortalidad de corderos cuando una adecuada protección es entregada (Bird *et al.*, 1992). Las pérdidas pueden ser peores cuando el clima es ventoso, húmedo y caluroso. También se indica, que una reducción del 50% en la velocidad del viento,

desde 10 a 5 km h⁻¹, bajo esas condiciones climáticas, puede mejorar en un 50% la supervivencia de corderos al nacer (Bird *et al.*, 1992).

- Efecto del Pastoreo de Animales en el Bosque

Cuando el ganado pastorea una pradera plantada con árboles la mayor inquietud es el daño que puede ocasionar en los árboles por pisoteo, ramoneo, impacto y frotamiento, especialmente cuando existe poco control sobre los animales. Sin embargo, existe una creciente evidencia que a medida que el número de animales, su distribución y su permanencia son controlados cuidadosamente, el ganado puede ser introducido satisfactoriamente en las plantaciones forestales.

Diversos estudios corroboran lo anterior. Mc. Lean (1983), estudiando la factibilidad de usar vacunos en bosques del Noroeste de Estados Unidos (pino oregón y pino contorta), encontró que cuando el número de animales y el período de pastoreo fueron adecuadamente controlados el daño a plantas y árboles jóvenes fue poco significativo. Sin embargo, un pobre manejo animal y mala distribución de estos, resultó en una sobre utilización de la pradera y en daños y mortalidad de un alto porcentaje de la regeneración. Similarmente, Krueger (1987) reportó que el pastoreo de vacunos en bosques de pino ponderosa - pino oregón – *Larix occidentalis* y *Pinus monticola*, plantados a 2.470 arb ha⁻¹, originó solo un 8% de muerte de plantas, principalmente por pisoteo y la mortalidad posterior, después del cuarto año, no fue debida a animales. En casos extremos con pobre manejo del ganado el sobrepastoreo puede resultar en una tasa de mortalidad de plantas de un 25%, principalmente por pisoteo.

En general, es recomendable que las nuevas plantaciones establecidas, sean pastoreadas antes o después, no durante, de la formación y crecimiento de las yemas. Observaciones indican que el ramoneo de plantas o árboles jóvenes es generalmente mayor sobre las nuevas y suculentas partes en crecimiento de la planta. Sharrow y Leininger (1983) determinaron que un alto ramoneo de las nuevas plantas por ovinos fue principalmente en el período de primavera, cuando nuevas y tiernas yemas, ramas y acículas de pino oregón estaban presentes. El pastoreo en primavera resultó entre un 13 - 44% de todas las nuevas coníferas consumidas por las ovejas. En contraste al período de primavera, un escaso ramoneo de árboles ocurrió durante los períodos de pastoreo en verano y otoño. Aun cuando hubo un alto daño de las plantas en primavera, los autores sugirieron que un adecuado manejo del rebaño, incluyendo una cuidadosa selección de lugares de reposo y un bajo y moderado uso de las plantas forrajeras (menos de un 35% de utilización), debe permitir que incluso plantaciones jóvenes puedan ser pastoreadas en forma segura en la primavera.

En un estudio sobre el efecto del pastoreo durante la etapa de establecimiento de la plantación, Tustin *et al.* (1979) encontraron que el pastoreo con ovejas al siguiente otoño después de plantar probó ser más seguro que el uso de la pradera la siguiente primavera (Cuadro N° 9). En primavera todos los árboles hasta 58 cm en altura fueron severamente dañados, aunque el ramoneo del ápice declinó en árboles sobre esa altura. En verano, con una alta presión de pastoreo, todos los árboles fueron severamente ramoneados, incluso hasta 130 cm de altura. Cuando la presión de pastoreo fue reducida en el verano, el daño total fue menor y los ápices de los árboles mayores de 94 cm fueron solamente levemente ramoneados. Con estos resultados, recomendaron que el pastoreo sea iniciado en el otoño después de la plantación, así la pradera es utilizada antes de la siguiente primavera, cuando las ovejas son sacadas por 3 a 4 meses para

prevenir el ramoneo durante ese período crítico. Después el ápice terminal de los árboles está ya usualmente fuera del alcance de los animales.

La oportunidad del pastoreo, para evitar el daño sobre las plantas debido a este, depende del tipo animal y especie arbórea utilizada, de la tasa de crecimiento de los árboles y de la disponibilidad de forraje.

Cuadro N° 9
INFLUENCIA DE LA ESTACIÓN, RAZA Y EDAD DE OVEJAS EN EL PORCENTAJE DE PLANTAS DE PINO RADIATA RAMONEADO DESPUÉS DE 10 DÍAS DE PASTOREO*

Estación	Año	Altura Media de Plantas al Plantar (cm)	Daño por Tipo y Raza de Ovejas			
			Ovejas Secas Rommey	Borregas Coopworth	Borregas Rommey	Borregas Perendale
			(%)			
Primavera	1973	29	42	72	56	100
	1974	45	62	s.i.	s.i.	s.i.
Otoño	1974	s.i.	22	18	24	6
	1975	s.i.	34	s.i.	8	s.i.

(Tustin et al. 1979).

* Todos los datos corresponden a una carga animal de 20 animales ha⁻¹, el daño corresponde al ápice terminal no a ramas y las borrega son ovejas de 9 a 15 meses de edad.

s.i.: Sin información.

En un estudio desarrollado por CONAF e INIA en el verano de 1986 - 1987 en el Centro Experimental Tanumé, para evaluar el efecto de distintas capacidades de carga en los árboles, se introdujeron borregas para pastorear rastrojos de trigo, sembrado en asociación con trébol subterráneo y falaris (*Phalaris tuberosa*) en plantaciones de pino radiata de 2,5 años a una densidad de 625 árb ha⁻¹. Se determinó en dicho estudio que el daño al ápice terminal ocurrió solamente con la más alta carga, 24 borregas ha⁻¹, pero que este fue solamente de un 8% del total de árboles y la máxima altura de daño detectado fue 105 cm. Esto significa, que bajo esas condiciones, un pastoreo moderado con ovinos podría partir en forma segura, cuando las plantas superen una altura promedio de 1,5 m (Sotomayor, 1989).

Mckinnell y Batíni (1978) reportaron resultados similares. Ellos recomendaron que las ovejas sean introducidas en la unidad de manejo silvopastoral cuando los árboles, de pino radiata, alcancen un promedio en altura de 2 m. En este caso algo de ramoneo de las ramas bajas ocurrirá, pero los niveles de daño no serían serios, mientras exista suficiente forraje disponible. Sin embargo, si la pradera está seca y el forraje escaso, daños severos al follaje e incluso a la corteza podrían ocurrir. También se ha sugerido que el ganado vacuno pueda pastorear bajo los pinos solamente después de que la mayoría de los árboles superen 4 m de altura, con pino radiata en buenos sitios, dado los efectos de pisoteo y la tendencia a restregarse en los árboles de los bovinos.

Otro aspecto a considerar es el control del número y distribución de los animales, o la regulación del tiempo de permanencia de los animales en un área dada, esencial para minimizar el ramoneo, pisoteo, y otro tipo de daño sobre las plantas y árboles jóvenes (Monfore, 1983; Sotomayor, 1990c). Se debe tener claro que existe una alta probabilidad de que el ramoneo de las plantas se incremente en cuanto los pastos más palatables son eliminados y los animales son forzados a comer forraje menos deseable.

En grandes extensiones de plantaciones silvopastorales, con una diversidad de tipos vegetales, el ganado tiende a concentrarse en áreas de pastoreo preferidas, como zonas protegidas del viento. Cuando eso ocurre, parte de las plantaciones son subutilizadas y otras sobrepastoreadas (Wallace, 1983; Doeshner *et al.*, 1987). En el caso de ovejas, los daños por ramoneo tienden a concentrarse alrededor de áreas topográficas donde ellas se congregan, usualmente en lomas altas o en pequeñas áreas planas. Otras áreas donde los animales se concentran, como a lo largo de cercos, alrededor de cursos de agua, cerca de estructuras construidas para proporcionarles abrigo o suplementos alimenticios, podrían también promover daño a los árboles.

Para plantaciones pequeñas y grandes, pueden usarse diversos sistemas para alcanzar una adecuada distribución, como localización de agua y suplemento de sales minerales. Diversos autores han descrito en observaciones de la distribución del ganado que el agua es un factor primario para determinar el uso animal de un área (Krueger, 1983; Monfore, 1983). El agua parece ser el punto central de distribución animal, con todos los animales retornando a un área con agua al menos una vez al día. La distribución estratégica de sal, usada sola o con otras mezclas minerales, es a menudo empleada para mejorar la distribución animal, atrayendo a estos hacia zonas de la unidad de manejo donde los pastos han sido subutilizados (Roath y Krueger, 1982).

El uso de sistemas de pastoreo especializado (Ej. rotaciones diferidas, rotaciones de descanso, sistemas de corta duración, etc.) puede dar una mejor rotación y descanso a la pradera, mejorar los recursos forrajeros y ayudar a incrementar la capacidad de pastoreo. Skovlin *et al.* (1976) encontraron que un sistema de rotación diferida fue superior a un pastoreo continuo, para mejorar las praderas en pastizales naturales plantados con árboles y para restaurar cuencas montañosas mientras se mantuvo la producción animal.

La capacidad de carga y grado de utilización de la pradera son los aspectos más importantes a considerar en el manejo ganadero en un sistema silvopastoral, especialmente en los primeros años, momento en el que se debe balancear el número de animales con la producción de forraje disponible (Monfore, 1983; Sotomayor, 1990c). En los primeros años (uno a tres años para pino radiata) de un sistema silvopastoral el establecimiento de la plantación forestal debe ser priorizado sobre la producción animal (Sotomayor, 1989).

En un estudio elaborado por Currie *et al.* (1978) fueron analizados los efectos de la intensidad de pastoreo en el daño sobre las plantas durante un período de 8 años. Tres diferentes intensidades de uso de la pradera fueron evaluadas; leve (10–20%), moderada (30–40%) y fuerte (sobre 50%), con ganado bovino. Los resultados indicaron que con una tasa fuerte de pastoreo 83% de las plantas fueron dañadas mientras que solamente un 11% y 16% fueron dañadas con un uso moderado y leve, respectivamente. Similarmente, Lewis (1973) recomendó que las capacidades de carga animal deben ser ajustadas para remover no más de un 45–55% del forraje producido en

vez del 65–75% usualmente utilizado en el sureste de Estados Unidos, bajo un manejo ganadero normal. Una menor carga animal virtualmente eliminó el daño sobre los pinos jóvenes.

Después que el establecimiento de la plantación forestal ha sido asegurado, la carga animal dependerá del tipo y cantidad de forraje disponible, que a su vez dependerá de las especies arbóreas, densidad y ordenamiento de la plantación, y de los regímenes de podas y raleos (Sotomayor, 1989). El manejo animal en el sistema silvopastoral seguirá las mismas recomendaciones que en una pradera sin árboles. El número de animales será calculado basado en la disponibilidad de forraje neto disponible.

La carga animal durante los primeros años debe ser reducida para promover el establecimiento de los árboles y después de que este ha sido conseguido el número de animales a introducir estará basado en la producción de forraje. Sin embargo, aun cuando la capacidad de carga puede ser incrementada por varios años, después de que el riesgo del daño a los árboles ha sido reducido, habrá otros problemas que se deben visualizar cuando se calcule la capacidad de pastoreo en una unidad silvopastoral. Primero, es importante considerar que el rendimiento de la pradera disminuirá a medida que los árboles crezcan en tamaño y que consecuentemente esto disminuirá la capacidad de carga. Por tanto, la condición de los animales y de la pradera deben ser continuamente monitoreadas y si hubiera cualquier signo de sobrepastoreo los animales deben ser removidos o la carga disminuida (Sotomayor, 1990b; Sotomayor, 1990c).

Un segundo problema, es el efecto de los desechos producto de la poda y del raleo de los árboles. Los desechos temporalmente disminuyen la disponibilidad de la pradera para los animales, sin embargo estos pueden ser ordenados en fajas separadas unas de otras, o alrededor de los árboles para evitar la supresión de la pradera (Sotomayor *et al.*, 2009) y lentamente se irán descomponiendo y la producción de la pradera se incrementará en respuesta a un aumento de los niveles de radiación solar que llegan al suelo (Sotomayor, 1990c). Para evitar una excesiva acumulación de desechos, se recomienda iniciar los sistemas silvopastorales con densidades bajas, y podar y ralear a edades tempranas (Sotomayor *et al.*, 2009).

Un tercer problema está en la distribución del pastoreo. Los árboles y los desechos forestales obstruyen el libre movimiento del ganado, especialmente cuando los animales no están acostumbrados a pastorear en un bosque (Sotomayor, 1989), y se concentrarán en lugares abiertos, sobrepastoreando esas áreas.

Efecto de la Componente Forestal Sobre el Microclima en Sistemas Agroforestales

Ha sido reportado por diversos autores el papel de los árboles en la modificación del microambiente en su entorno (Percival *et al.*, 1984b; Sotomayor, 1989; Guevara-Escobar *et al.*, 2002; Mead, 2009). Los aspectos del microclima más afectados por los árboles son la radiación solar que llega a los vegetales creciendo bajo la influencia de los árboles (Lewis *et al.*, 1983; Watson *et al.*, 1984; Percival *et al.*, 1984b; Peri *et al.*, 2007; Mead, 2009), el viento, la humedad y la temperatura (Anderson, 1977; Sotomayor, 1989; Mead, 2009)

Percival *et al.* (1984b) compararon el efecto de tres densidades de plantaciones silvopastorales (100, 200 y 400 arb ha⁻¹) con una pradera sin árboles y encontraron que el viento fue mayor en las estaciones climáticas ubicadas en situación de pastura abierta, luego con 100 y 200 arb ha⁻¹, y finalmente la menor velocidad se encontró con 400 arb ha⁻¹.

En estudio realizado en la región de Aysén, Chile, Sotomayor y Teuber, 2011 y Sotomayor *et al.*, 2016 estudiaron el efecto de los árboles en la velocidad del viento, comparando dos sistemas silvopastorales con 400 arb ha⁻¹, uno con árboles distribuidos uniformemente en el sitio y el segundo distribuidos en fajas alternas separadas cada 21 m, en relación a un tratamiento ganadero sin árboles. El viento fue un 200% mayor en tratamiento ganadero en relación a los sistemas silvopastorales y la menor velocidad se encontró en el tratamiento silvopastoral con árboles homogéneamente distribuidos.

En relación a la temperatura máxima del ambiente, Percival *et al.* (1984b) no encontraron una tendencia clara, y las temperaturas mínimas ocurrieron en pasturas abiertas con rangos de 0,1 - 1,0 °C menores. Resultado similar se indica en estudio de Sotomayor y Teuber (2011). En relación a la temperatura del suelo a 10 cm, para los primeros cuatro años (1978-1981) esta fue igual en todos tratamientos; entre los años 1981 a 1983, durante el verano, se obtuvo mayores temperaturas en la pradera abierta, y luego para 100 arb ha⁻¹, y la menor en 400 arb ha⁻¹. La temperatura a 30 cm de profundidad, en verano, fue menor para 400 arb ha⁻¹ en relación a la pastura abierta para el periodo 1981-1983, y en invierno fue igual.

En la Dehesa Española, Moreno *et al.* (2007) reportaron que la temperatura ambiental fue significativamente menor bajo la copa de árboles que sin cobertura en días cálidos, mientras que en días fríos, la temperatura fue mayor bajo los árboles. Una tendencia similar se obtuvo con la temperatura del suelo. Bajo las copas la temperatura del suelo fue mayor en días fríos, y menores en días cálidos. En estudio de Peri *et al.* (2007), con pino radiata en Nueva Zelanda, encontraron que la temperatura media diaria fue similar bajo árboles que en situación abierta. En dos veranos analizados, la temperatura media bajo los árboles fue 0,4 °C mayor que en situación abierta, y en invierno fue también 0,2 °C más cálida.

Bird *et al.* (1992), estudiando el efecto de los árboles sobre la velocidad del viento, encontraron que en una cortina de pino radiata de dos hileras, con una altura de 20 m, la máxima protección ocurría hasta una distancia de 6 veces la altura de los árboles (6H), con un 45% de la velocidad del viento en relación a una zona abierta; con *Cupressus macrocarpa*, de 1 hilera y 9 m de altura, a 6H la velocidad del viento fue de 25%, pero a 12H todavía había una reducción sustancial de la velocidad del viento (50-80% en relación a una situación sin árboles). Resultados similares fueron encontrados por Teuber *et al.* (2009) en la zona de Coyhaique, Chile.

La protección de los árboles, aparte de reducir la velocidad del viento, reduce su poder erosivo de los suelos. Bird *et al.* (1992) encontraron que con una cortina de una hilera de *Eucalyptus gomphocephala*, a 12H se reducía en 62% el viento en relación a una situación abierta, pero en un estimado de su fuerza erosiva, se reducía a 25% en relación a situación abierta.

La intercepción de la radiación solar por las copas de los árboles durante el día, causa efectos en los procesos fisiológicos de las plantas, decrecimiento de la producción de carbohidratos y producción de materia seca (Sanderson *et al.*, 1997; Wall *et al.*, 1997; Peri *et al.*, 2007). Esto origina además, una reducción de la fotosíntesis en los vegetales del sotobosque, y debido a menores temperaturas y aumento de humedad, una reducción de la evapotranspiración en el estrato inferior (Borough, 1977).

La intensidad de luz, parece ser uno de los principales factores que influencia la producción herbácea bajo un estrato de árboles (Anderson *et al.*, 1969; Anderson *et al.*, 1988). En estudio de Anderson *et al.* (1969) se encontró una relación directa entre cobertura de copa y

luz que llega a la pradera. También McLaughlin (1978) expuso que la producción del componente vegetal en el sotobosque estaba fuertemente relacionada con la transmisión de luz a través del follaje de los árboles. En este caso, se encontró que la cobertura de copa de los árboles fue el principal parámetro que afectó la penetración de la luz y la producción herbácea.

La intensidad de luz bajo los árboles depende de su espaciamiento (Wall *et al.*, 1997), dado que con un incremento de la densidad resulta en un incremento de la sombra. Situación similar fue encontrada por Burner y Brauer (2003) y Moreno *et al.* (2007), con una mayor transmisión de luz a medida que se aleja de los árboles. La transmisión de luz en un rodal de pino radiata de 7 años con 100 arb ha⁻¹ fue un 81% en relación a una pradera descubierta, y de 69% con 300 arb ha⁻¹ (Burner y Brauer, 2003). La penetración de la luz varía también entre especies, debido a diferencia en la arquitectura del árbol; altura, tamaño de la copa, número y distribución de ramas, densidad foliar, área y ángulo de hojas, características de refractancia (McAdam, 1996) y variación estacional en crecimiento del follaje (deciduas y perennes).

Anderson *et al.* (1988) indican igualmente que la reducción de la producción de la pradera está relacionada con una interacción de competencia por luz, humedad en el suelo y nutrientes, y por el efecto de la acumulación de desechos producto de podas y raleos. En zonas templadas, especialmente cuando ocurren periodos de sequía estival, la competencia por agua es otro factor importante que limita el desarrollo de una pastura (Peri *et al.*, 2002). En sistemas silvopastorales los árboles modifican la cantidad de agua que llega al suelo y a la pradera. Algunos estudios han reportado que el suelo bajo árboles tiene menor contenido de agua que en un suelo descubierto (Douglas *et al.*, 2001; McIvor *et al.*, 2003). Guevara-Escobar *et al.* (2000) reportaron que el agua de lluvia recibida bajo bosques de álamo, fue de un 34, 24, 10 y 6% menor en rodales con densidad de 37 arb ha⁻¹ (29 años), 100 arb ha⁻¹ (8-11 años), 44 arb ha⁻¹ (15 años) y 156 arb ha⁻¹ (6 años). En el estudio de Peri *et al.* (2007) se encontró que las pasturas bajo árboles creciendo en verano y otoño tuvieron 2,5% menos de contenido de agua en el suelo. También indican que en invierno y primavera los tratamientos no tuvieron estrés de agua en el suelo, dado que el contenido estuvo sobre la capacidad de campo promedio.

En relación al pH, diversos autores han indicado que los árboles, especialmente coníferas, afectan el pH del suelo bajo sus copas. En bosques de pino radiata, diversos estudios han encontrado un menor pH en los horizontes superficiales del suelo, en relación a praderas adyacentes (Cossens y Hawke, 2000; Chang *et al.*, 2002). Giddens *et al.* (1997) encontraron valores superiores a 1,4 unidades en pasturas en relación a suelos bajo rodales de pino, y Alfredsson *et al.* (1998), de solo 0,03 unidades bajo situaciones similares. Sotomayor *et al.* (2009) no encontraron diferencias significativas en sistemas silvopastorales con *Pinus contorta* de 12 años de edad, en la región de Aysén, Chile, en relación a un sistema ganadero sin árboles.

AGROFORESTERIA Y CONSERVACION

Los sistemas agroforestales han sido reconocidos por diversos autores como sistemas de uso de la tierra que favorecen la conservación de los recursos naturales, especialmente suelo, agua y vida silvestre.

Factores que Condicionan la Erosión

La erosión es el movimiento, arrastre y deposición de las partículas del suelo por los agentes naturales, viento, agua, hielo y fuerza de gravedad. Los procesos erosivos, se basan en el grado de desequilibrio entre la capacidad de resistencia del suelo y el poder erosivo de los agentes que la producen (Peralta, 1976). Existen dos tipos de erosión, la natural que mantiene en equilibrio las pérdidas de suelo por los agentes naturales, con la formación de suelo subyacente, y la erosión producida por el hombre o erosión acelerada, que origina la destrucción del suelo o cambio de uso.

Los factores que condicionan la erosión son el clima, el suelo, la vegetación, la topografía y los cultivos practicados por el hombre (Peralta, 1976).

- Factores del Clima

Los principales agentes erosivos son la gota de lluvia y el escurrimiento superficial, que generalmente actúan en forma combinada. El desplazamiento por el impacto de la gota es más fácil en las partes altas de los cerros y es visible por una marcada erosión de manto (lavado de la capa superficial del suelo). La explosión de esta gota, provoca el desplazamiento de agregados de partículas generalmente menores de 2 mm de diámetro que corresponde a arcillas, limo y material orgánico, consideradas como el factor de mayor incidencia en la estabilidad de los suelos, además de participar en el intercambio de nutrientes, carácter coloidal y régimen de agua, quedando sobre la superficie el material grueso conocido como pavimento de erosión que genera una fuerte disminución de la fertilidad y desfavorece el poblamiento vegetal, promoviendo aún más la erosión.

- Factores del Suelo

Las características principales que determinan la mayor o menor resistencia del suelo a erosionarse, son las características físicas y químicas. Dentro de estas características la agregación y porosidad son conceptos importantes y están determinados en gran parte por la textura y estructura del suelo (Donoso, 1981).

Los suelos de textura gruesa o granular presenta una rápida penetración o infiltración del agua y no se produce prácticamente escurrimiento aún en fuertes pendientes y lluvias intensas. Los suelos de texturas finas, presentan una alta capacidad de retención de agua y una baja capacidad de infiltración. Gran parte del agua que llega escurre, debido a que estos suelos tienden a hincharse en los primeros centímetros con los primeros milímetros de lluvia, obstruyéndose los poros, por lo que se impide la infiltración. Esto determina la gran susceptibilidad de los suelos finos a erosionarse tanto en manto como en zanjas (Donoso, 1981)

- Factores de la Vegetación

La principal importancia de la vegetación respecto a la erosión es su efecto de escudo protector. Mediante la intercepción de las precipitaciones se disminuye la energía de las gotas antes de alcanzar el piso.

Iroume *et al.* (1989) midieron el efecto de la vegetación en la pérdida de suelo cerca de Valdivia, durante un período de 4 meses (agosto-noviembre), y encontraron que en parcelas

sin cobertura vegetal y 30% de pendiente se perdieron 1.563 kg ha⁻¹ de suelo, mientras que bajo vegetación arbustiva que se creó al año de la cosecha solo se perdieron 133 kg ha⁻¹, y bajo plantaciones de *Pinus radiata* de 6 a 33 años, se midió el arrastre y fue de 75 y 70 kg ha⁻¹, respectivamente.

En la Cordillera de la Costa en Chile Central, se determinó que en plantaciones de *Pinus radiata* la erosión se reducía en un 99% respecto a la pérdida producida en viñas (Endlicher, 1988). En esta misma zona se evaluó que en terreno con 11% de pendiente, con 1 a 2 t ha⁻¹ de cobertura vegetal, las pérdidas se redujeron al 25 y 11% con respecto a las medidas en suelo desnudo (Peña, 1987 citado por Iroume *et al.*, 1989).

- Factores de la Topografía

La topografía es un factor importante ya que determina la formación de microclimas que alteran en forma consistente la intensidad de los factores del clima, principalmente la distribución de las precipitaciones, temperatura, luminosidad y vientos (Donoso, 1981). Los factores topográficos que más influyen en los procesos erosivos son grado de pendiente, longitud de pendiente, forma de ladera y exposición.

El grado de pendiente determina la velocidad y energía cinética del agua o escorrentía. Al aumentar la pendiente aumenta la acción erosiva del agua, debido a que disminuye el tiempo disponible para la absorción (Peralta, 1976). Se ha determinado que al duplicar la pendiente de 30 a 60% por ejemplo, el arrastre total de material es un poco superior a 2,5 veces (Iroume *et al.*, 1989).

- Factores de Uso del Suelo

El hombre agrava la complejidad de los procesos físicos a través de la forma de ocupación y uso de la tierra, contribuyendo en gran parte al deterioro del suelo (Donoso, 1981). Las actividades forestales, agrícolas, ganaderas, viales, etc., significan en general una alteración al medio.

Uno de los primeros y mayores efectos de las operaciones de cosecha y madereo en los terrenos forestales se observa sobre la estructura del suelo, la cual tiende a ser modificada por la compactación, principalmente en las huellas de madereo, senderos, lugares de carga y descarga y caminos principales, que constituyen alrededor del 40 a 50% de la superficie total, (Iroume *et al.*, 1989).

Estos efectos se acentúan aún más cuando se queman los desechos de explotación, ya que el calor liberado favorece la formación de sustancias en las capas superficiales, que hacen disminuir las tasas de infiltración. Se ha determinado que las mayores pérdidas de suelo se producen al año siguiente de la cosecha, luego de la quema de desechos y coinciden con una baja cobertura vegetal durante los meses más lluviosos, provocando una fuerte erosión, más aún cuando se practica en terrenos inclinados (Donoso, 1981)

Las actividades agrícolas consideran largos períodos de exposición del suelo, que se repiten periódicamente, al igual que la quema de desechos, y coinciden con una baja cobertura vegetal durante los meses más lluviosos, provocando una fuerte erosión, que es mayor en terrenos con pendiente (Donoso, 1981)

El efecto dañino del ganado doméstico no resulta solamente del ramoneo sobre las plantas, sino que también del pisoteo, especialmente en pendientes. Cuando las poblaciones de animales en el bosque son elevadas, el pisoteo produce compactación de los suelos y modifica la agregación y estructura. Esto causa una disminución de la porosidad que lleva a una menor aireación y capacidad de infiltración. Naturalmente esto se agrava por el hecho que el sobrepastoreo disminuye la cubierta vegetal y por lo tanto la protección del suelo (Donoso, 1981)

Determinación de Erosión en Predios con Uso Agrícola

A continuación algunos ejemplos de sistemas de uso agrícola tradicional *versus* métodos de conservación de suelo y su efecto en la erosión (Carrasco, 1995) (Cuadros N° 10 y N° 11).

Cuadro N° 10
PÉRDIDA DE SUELOS PREDIO CUATRO HERMANOS*

Tratamientos	1992	1993
	(t ha ⁻¹ año ⁻¹)	
Labranza convencional	25,3	12,5
Protección con 0,4 t ha ⁻¹ de residuos + labranza en contorno	5,8	6,8
Protección con 0,8 t ha ⁻¹ de residuos + labranza en contorno	3,5	4,9

(Carrasco, 1995)

*Serie Collipulli, pendiente 8%, cultivos de trigo y raps.

Cuadro N° 11
PÉRDIDA DE SUELOS PREDIO MONPELLIER*

Tratamientos	1992	1993
	(t ha ⁻¹ año ⁻¹)	
Quema rastrojo labranza y quema en sentido de la pendiente.	22,40	15,33
Rastrojo enterrado y 0,8 toneladas residuos. Labranza y siembra en sentido de la pendiente	12,30	5,60
Cero labranza	1,30	1,16

(Carrasco, 1995)

*Serie Santa Bárbara, suelos trumao con una pendiente de 8%, cultivos de raps y avena.

Peña (1984) resume varios años de investigación en suelos trumaos, de lomajes, derivados de cenizas volcánicas en la Precordillera Andina de la región del Bio Bio, en los que se emplearon técnicas de labranza y conservación (Cuadro N° 12).

El análisis de las cifras presentadas en el cuadro indica que un manejo convencional con 2 años de labranza consecutiva (siembra de cereal seguido de raps) y 2 años de pradera natural, experimentan pérdidas promedios anuales de suelo inferiores a la tolerancia estimada de 8 a 10 t ha⁻¹ año⁻¹ para un suelo trumao (Serie Santa Bárbara) con 6% de pendiente y longitudes de laderas inferiores a 150 m (las pérdidas más elevadas en los años con cultivo, se compensan con las de años de praderas, en que las pérdidas son menores a 1 t ha⁻¹ año⁻¹).

Para la misma rotación y suelo, pero con pendiente entre 6 - 10%, la condición de manejo convencional supera los límites de tolerancia a la erosión establecidos y la combinación de una baja cobertura de material vegetal inerte (0,2 t ha⁻¹ de paja de trigo), con un adecuado nivel de fertilización y labranza en contorno, produce un efectivo control de la erosión en estas condiciones.

Cuadro N° 12
PÉRDIDAS DE SUELOS COMO PROMEDIOS ANUALES DE ROTACIONES, CALCULADAS
PARA VARIOS SISTEMAS DE MANEJO CON DIFERENTES LONGITUDES DE LADERAS Y PENDIENTES

Manejo del Cultivo	Pendiente (%)					
	6	10		16		
	Longitud de la Ladera (m)					
	90	150	90	150	90	150
Pérdida de Suelos (t ha ⁻¹ año ⁻¹)						
Rotación Trigo - Raps - Pradera Natural						
Manejo Convencional	6	8	13	16	27	35
Protección con 0,2 t ha ⁻¹ y alta fertilización	4	5	9	7	15	19
Protección con 0,2 t ha ⁻¹ y cultivo en contorno	4	4	6	8	13	17
Protección con 1,0 t ha ⁻¹ residuos	2	2	3	4	7	9
Protección con 2,0 t ha ⁻¹ residuos	1	1	2	2	4	5
Rotación Trigo - Avena - Raps						
Manejo convencional	12	15	24	31	50	65
Protección con 0,2 t ha ⁻¹ y alta fertilización	6	8	13	13	28	36
Protección con 0,2 t ha ⁻¹ y cultivo en contorno	5	7	12	15	25	32
Protección con 1,0 t ha ⁻¹ residuos	1	2	3	4	6	8
Protección con 2,0 t ha ⁻¹ residuos	1	1	2	2	3	4

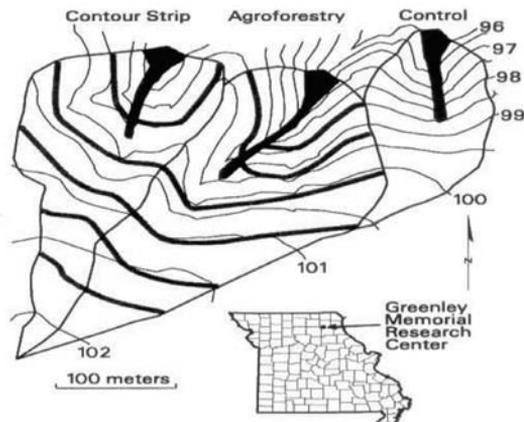
(Peña, 1984)

En laderas con más de 10% de pendiente y longitudes mayores de 150 m estas técnicas no dan una protección adecuada al suelo, resultando en laderas con 16% de pendiente del todo ineficaces. Para esta condición solo las coberturas de rastrojos muy densos (2 t ha⁻¹) o la cero labranza se muestran útiles.

Cuando se está en presencia de una rotación más intensa, con 3 labranzas consecutivas (siembra de cereales, seguido de avena y luego raps), bajo manejo convencional en laderas con 6% de pendiente, se experimentan pérdidas de suelo que sobrepasan el límite de tolerancia. La aplicación de bajas densidades de residuos (0,2 t ha⁻¹) con un adecuado nivel de fertilización y cultivo en contorno, proporciona un buen control de erosión en estas pendientes. Para pendientes mayores se requiere un mínimo de 1 t ha⁻¹ de residuos. Para la rotación indicada en laderas con 16% de pendientes y longitudes mayores a 90 m, debe considerarse ya la aplicación de la práctica de la cero labranza.

Prácticas Agroforestales y Reducción de Escorrentía y Pérdida de Nutrientes

En un estudio realizado por Ranjith *et al.* (2009), en Nebraska, Estados Unidos de América, se compararon durante tres años tres microcuencas sembradas con maíz y soya. Los tratamientos fueron T1: cuenca testigo sin tratamiento, T2: cuenca con fajas de pasto en contorno intercaladas, y T3: Agroforestería (árboles, y fajas de pastos intercaladas) (Figura N° 4). En ambos tratamientos se aprecia que existe una reducción de la escorrentía y pérdida de suelos versus la cuenca control. Durante este periodo se observaron reducciones de 10% y 1% para los tratamientos T2 y T3, respectivamente, *versus* T1. La escasa efectividad en el tratamiento 3 (Agroforestería) se debe al corto periodo de evaluación, solo tres años, donde el componente forestal no ha desarrollado todavía su potencial de intercepción de la precipitación y aumento de la infiltración.

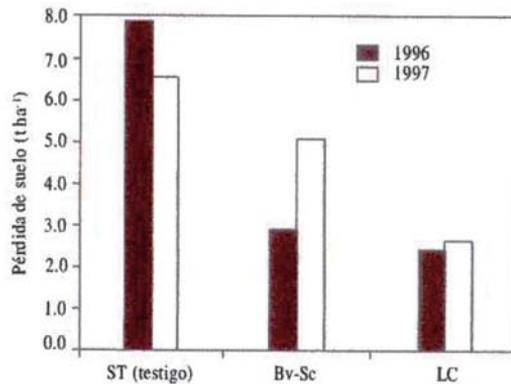


- T 1: Control
- T 2: Fajas de pasto en contorno intercaladas
- T 3: Agroforestería (árboles, y fajas de pastos intercaladas)

Figura N° 4
CUENCAS EVALUADAS

Ramirez y Oropeza (2001) desarrollaron un estudio para evaluar la eficiencia de las prácticas productivo-conservacionista para controlar la erosión y el escurrimiento en terrenos agrícolas de laderas en Chiapas-México. Se probaron tres tratamientos, durante los años 1996 y 1997 (Figura N° 5).

Se puede apreciar que los tratamientos Bv-SC y LC redujeron la pérdida de suelos en 64% y 70% respecto al testigo en el año 1996. En el año 1997 las reducciones fueron de 23 y 60%, respectivamente.



ST: Sistema tradicional como testigo

Bv-Sc: Barrera viva de *Gliricidia sepium*, con surcado en contorno

LC: Labranza de conservación, usando maíz como cultivo de evaluación.

Figura N° 5
PÉRDIDAS DE SUELO

HACIA UNA POLITICA AGROFORESTAL

El Sector Forestal Chileno

El sector forestal chileno ha crecido fuertemente en los últimos 30 años, basado en una estrategia de fomento a la creación de un recurso forestal basado en las plantaciones forestales y la industrialización y exportación de sus productos. El sector forestal chileno en su ámbito productivo ha estado orientado al comercio internacional, originando que los montos exportados ascendieran a los US\$ 6.094 millones el año 2014 (INFOR, 2015), siendo el segundo sector exportador después de la minería y el primero basado en recursos naturales renovables.

La producción y las exportaciones están basadas casi exclusivamente plantaciones forestales, principalmente con especies de pino y eucalipto, que alcanzan a 2,42 millones de hectáreas (INFOR, 2015). Esto constituye el 14% de toda la superficie de bosques en Chile y el 3,2% de la superficie total de Chile continental. Solo un 2% de las exportaciones están basadas en recurso forestales nativos. El uso productivo del bosque nativo chileno actualmente es marginal en el ámbito de la producción y las exportaciones, pero tiene una significativa importancia en el ámbito de la producción dendroenergética y en la protección de suelos y aguas.

La superficie de bosque nativo en Chile es de 14,32 millones de hectáreas, lo que constituye el 86% de la superficie de bosques en Chile y un 19% de la superficie total del país. La tendencia en las últimas décadas es a la estabilización de esta superficie, e incluso su incremento. El principal uso productivo del bosque nativo es la leña. Se estima que se extraen aproximadamente 10 millones de metros cúbicos de leña al año, lo que constituye una intervención aproximada (no deforestación) de 70 mil hectáreas anuales.

La Legislación Forestal

En el plano legislativo existen dos cuerpos legales fundamentales en relación a los

recursos forestales; el Decreto Ley 701 (1974) de Fomento Forestal y sus modificaciones, y la Ley 20.283 (2008) de Bosque Nativo. El Decreto Ley 701 del año 1974 regula la actividad forestal y entregó incentivos económicos a la forestación hasta el año 2012. Este cuerpo legal fue renovado el año 1998, como Ley 19.561, focalizándolo en pequeños propietarios y prorrogado hasta el año 2012. Hasta el 2010 el Estado invirtió U\$ 507 millones nominales en bonificaciones. Esta normativa de fomento se encontraba recientemente en trámite legislativo para una la ampliación de su plazo de vigencia redefiniendo su focalización y enfoque futuro, no fue aprobada, pero el Gobierno espera elaborar un nuevo cuerpo legal de fomento a la forestación, focalizado en pequeños y medianos propietarios para una futura tramitación legislativa.

El Decreto Ley 701 entre 1974 y 2012, propició que se forestaran cerca de 1,5 millones de hectáreas de plantaciones (más de la mitad de todas las plantaciones establecidas). Ambientalmente, permitió recuperar terrenos desnudos, degradados y bajo severos procesos erosivos, producto de varios siglos de avance de la frontera agropecuaria y de incendios forestales que descubrieron históricamente grandes superficies de suelos cubiertos de bosques nativos.

Desde el año 1997 se ha incorporado en Chile la certificación ambiental a recursos y procesos forestales. Es así como se ha obtenido certificaciones ISO 14.000, CERTFOR y FSC. Todas estas certificaciones realizadas a través de terceros, internacionales y nacionales, que entregan sellos de garantía respecto del cumplimiento de consideraciones ambientales en los procesos de producción, además de la debida consideración de las comunidades a las que puedan impactar los procesos. Todos los sellos tienen validez internacional.

La ley de Fomento a la Recuperación del Bosque Nativo se promulgó el año 2008 y contiene aspectos regulatorios y de fomento para el manejo y recuperación del bosque nativo. Tomó 15 años su promulgación debido a diferentes tensiones históricas entre las visiones productivistas y conservacionistas existentes en Chile, aduciendo los primeros la libertad de emprender para usar este recurso y postulando los segundos un cierre total a la utilización maderera del Bosque Nativo.

La Legislación Forestal y los Sistemas Agroforestales

Dos son las normativas de fomento estatal relacionadas con incentivos al establecimiento y manejo de sistemas agroforestales; el Decreto Ley 701 de Fomento Forestal, y el Sistema de Incentivos a la Recuperación de Suelos Degradados (SIRSD).

- Decreto Ley N° 701 de Fomento Forestal

Hasta el año 2012 esta normativa bonificaba las plantaciones forestales efectuadas por pequeños propietarios y aquellas necesarias para la prevención de la degradación, la protección y la recuperación de suelos. Se incluían algunos beneficios tributarios y se establecían bonificaciones en los siguientes términos:

Hasta un 90% de los costos netos de forestación incurridos en plantaciones forestales realizadas en terrenos de propiedad de pequeños propietarios, comunidades agrícolas y comunidades indígenas.

Hasta un 75% de los costos netos de forestación en plantaciones efectuadas para recuperar terrenos degradados en suelos forestales de cualquier tamaño de propiedad.

Específicamente en el tema agroforestal consideraba hasta el año 2012 las siguientes bonificaciones a la Forestación y Recuperación de suelos degradados:

Cortinas Cortavientos Forestales: En suelos que se encuentren degradados o con serio peligro de erosión por efecto de la acción eólica, para todo propietario.

Forestación en suelos de APF² efectuada por pequeños propietarios según densidades y objetivos de la forestación:

Densidad con fines forestales: Desde 833 a 1600 arb ha⁻¹

Densidad con fines agroforestales: Mínimo 200 arb ha⁻¹

La primera poda y el raleo de la masa forestada por pequeño propietarios.

- **Sistema de Recuperación de Suelos Degradados (SIRSD)**

Sistema de incentivos para contribuir a la sustentabilidad agroambiental del recurso suelo con el objeto de recuperar el potencial el potencial productivo de los suelos agropecuarios degradados y la mantención de los niveles de mejoramiento alcanzados.

Los Componentes de este sistema atinentes a los sistemas agroforestales son:

Establecimiento de Cubiertas Vegetales: Considera incentivos a las siguientes actividades que pueden ser usadas para establecer praderas en sistemas silvopastorales:

Establecimiento de Praderas

Regeneración de Praderas

Intervención de suelos para su conservación, que considera las siguientes actividades bonificables, que pueden ser usadas en Sistemas Agroforestales:

Zanjas, terrazas, pretiles, diques, muretes, etc.

Manejo de Espinales (*Acacia caven*)

Cortinas Cortavientos

Biófiltros

Sistemas Silvopastorales

Principales Consideraciones para una Política Agroforestal en el País

Como se ha expuesto en este capítulo y como se puede apreciar en los restantes capítulos de este libro, en Chile existe información respecto de las ventajas del establecimiento de sistemas agroforestales, tanto en plantaciones como en bosque nativo, aunque aún falta realizar más investigación, como en torno a la contribución de estos en materia de mitigación del cambio climático, captura de carbono y reducción de gases de efecto invernadero, la relación de estos sistema con el agua y otros aspectos.

² Suelos de Aptitud Preferentemente Forestal (definidos en el mismo DL).

En plantaciones se ha demostrado que se puede usar sistemas silvopastorales y cortinas cortavientos para el beneficio de la pradera y la producción animal, y el flujo de caja de los propietarios. Aún faltaría mayor investigación sobre el efecto directo en cultivos, en especial en zonas áridas. Se requiere aún de mayor información también en la región de Magallanes y han sido establecidas unidades experimentales en ella.

En Bosque Nativo, se debe reunir mejor información en otros Tipos Forestales, como Roble-Raulí-Coigüe y Siempreverde. Especialmente falta mejorar la integración y evaluación del sistema como un todo, es decir evaluar la producción total del sistema Pradera-Bosque-Ganadería, e integrar esta información a la sustentabilidad del bosque y su regeneración, y aspectos de la relación sistema-suelo-agua.

En materia de difusión de los resultados obtenido en las investigaciones y de casos prácticos hacia los usuarios deben ser continuados los trabajos de extensión y transferencia con agricultores, ganaderos y asesores técnicos, y avanzar hacia una mayor y mejor interacción con los tomadores de decisiones.

Especial atención requieren los instrumentos de fomento, estos son muy gravitantes en las decisiones de forestación de pequeños y medianos propietarios, que son los más beneficiados con los sistemas agroforestales debido a su escala de trabajo y a la diversificación productiva que estos propician. Desde que expiró la vigencia del DL 701 las tasas anuales de forestación en el país han caído dramáticamente y son justamente estos segmentos de propietarios los más afectados por la falta de incentivos del Estado.

Se requiere perfeccionar los instrumentos de fomento que aún quedan y diseñar nuevos instrumentos para la promoción de sistemas agroforestales, que consideren la integralidad de ellos, tanto en sus componentes leñosos, como praterales y animales como de los recursos suelo y agua. La consolidación del uso de estos sistemas integrados de producción requiere de la concurrencia simultánea de investigación, demostración, difusión y transferencia, instrumentos de fomento y recursos financieros. No existen actualmente instrumentos de fomento diseñados específicamente para sistema agroforestales, los disponibles y los que lo estaban, han sido adaptados de una u otra forma frente a necesidades de los propietarios.

Respecto de los bosques nativos, resulta de especial importancia y oportunidad abordar los sistemas silvopastorales en estos recursos. Los propietarios los están haciendo, pero solo introducen animales en los bosques sin planificación ni control, con el consecuente detrimento de la calidad de estos. No abordar el tema prolongará esta práctica en la que no se obtiene la positiva sinergia entre la componente forestal y la ganadera y solo se daña a la primera.

Solo con adecuada información, generada por investigación de largo y mediano plazo, y programas de difusión se podrá diseñar instrumentos de fomento adecuados en conjunto con los tomadores de decisión. Con adecuados instrumentos y programas de extensión apropiados se podrá transferir tecnologías y conocimientos hacia los agricultores y ganaderos, para que puedan establecer sistemas agroforestales sustentables. Las instituciones de investigación y aquellas de fomento y regulación deben trabajar en forma conjunta para generar propuestas integradoras en los territorios.

Se debe avanzar hacia la definición de una política que incluya entre otros aspectos los siguientes:

Desarrollo Rural Integral: El entorno rural donde se desarrolla la actividad forestal carece de una política explícita que integre las múltiples dimensiones productivas, sociales y ambientales que lo componen. La actividad forestal y agroforestal requiere, como también la agricultura, el turismo, y la industria en general, un marco orientador que busque el desarrollo rural integral. El sector forestal es un actor relevante en la dinámica rural, por lo que las organizaciones públicas y privadas que conforman el sector forestal deben propender al establecimiento de una política nacional de desarrollo rural con la actividad forestal insertada debidamente

Modelos Alternativos de Desarrollo Forestal: El Estado debe impulsar activamente la generación de modelos alternativos de desarrollo forestal, específicos para aquellos segmentos que, por barreras de entrada y problemas de escala, de costos, de aislamiento territorial, y otras limitaciones, no pueden competir o desarrollarse en forma paralela al actual modelo forestal exportador. Se requiere en lo específico apoyo estatal para desarrollar mercados y modelos de negocios para los campesinos forestales, pymes forestales, bosque nativo, sistemas agroforestales, iniciativas turísticas y de conservación privadas, entre otros emprendimientos ligados a los bosques. Se requieren propuestas concretas de financiamiento vía bonificaciones directas u otros estímulos.

Sociedad y Ecosistemas Agroforestales: La sociedad exige crecientemente mejorar e incrementar los servicios de los agropecuarios y forestales. Entre otros requerimientos de la sociedad actual está el que los bosques, y en este caso los sistemas agroforestales, satisfagan necesidades de abastecimiento de agua segura y de calidad, limiten la creciente erosión de los suelos, sean capaces de restaurar ecosistemas dañados, permitan el desarrollo de la fauna y la recreación de las personas, aporten beneficios tangibles a las comunidades rurales, además de estar insertos en un concepto de paisaje a escala regional. Se agrega a lo anterior su función en la mitigación del cambio climático, lo que hace necesario estudiar tanto los efectos de este fenómeno sobre los bosques como las funciones mitigantes de estos en materia de generación de oxígeno y captura de carbono atmosférico.

REFERENCIAS

Alfredsson, H.; Condron, L.; Clarholm, M. and Davis, M., 1998. Changes in soil acidity and organic matter following the establishment of conifers on former grassland in New Zealand. For. Ecol. Manage. 112: 245-252.

Anderson, R. C.; Lochus, O. L. and Swain, A. M., 1969. Herbaceous response to canopy cover, light intensity and throughfall precipitation in coniferous forests. Ecology 50:225-263.

Anderson, G. W., 1977. Productivity of crops and pastures under trees. pp. 58-63. In: Integrating Agriculture and Forestry. Ed: by Howes K.M.W. and Rummey R.A. CSIRO., Australia.

Anderson, G. W. and Batini, F. E., 1983. Pasture, sheep and timber production from agroforestry systems with subterranean clover sown under 15 year-old *Pinus radiata* by a method simulating aerial seeding. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Hub. 23:123-130.

Anderson, G.; Moore, R. and Jenkins, P., 1988. The integration of pasture, livestock and widely-spaced Pine in South

Western Australia. *Agrofor. Syst.* 6:195-211.

Benavides, R.; Douglas, G. and Osoro, K., 2009. Silvopastoralism in New Zealand: Review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics. *Agrofor. Syst.* DOI 10.1007/S10457-008-9186-6.

Benedetti, y Salinas, J., 1997. Potencial forestal del sector campesino en Chile. Santiago, Chile : MUCECH. Movimiento Unitario Campesino y Etnias de Chile, 1997. [45] p.

Bird, P. R.; Bicknell, D.; Bulman, P. A.; Burke, S. J.; Leys, J. F.; Parker, J. N.; Van Der Sommen, F. J. and Voller, P., 1992. The role of shelter in Australia for protecting soils, plants and livestock. *Agrofor.Syst.* 20: 59-86.

Borough, C. J., 1977. Diversification in forests. In: *Integrating Agriculture and Forestry.* pp. 24-32. Ed. by Howes K.M.W. and Rummey R.A. CSIRO, Australia.

Burner, D. and Brauer, D., 2003. Herbage responses to spacing of Loblolly Pine trees in a minimal management silvopasture in southeastern USA. *Agrofor. Syst.* 57: 69-77.

Burton, G. W., 1973. Integrating forest trees with improved pastures. Pp. 41-49. In *range Resources of the Southeastern United States.* The American Society of Agronomy, pub. N° 21. Madison, Wisconsin.

Cañas, R., 1995. Requerimientos nutricionales. En: *Alimentación y nutrición animal.* Ed: Raúl Cañas, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago. 37p.

Carrasco, P., 1995. Evaluación de pérdidas de suelos por erosión hídrica bajo uso agrícola y forestal. Proyecto Fondecyt, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

CIREN, 2010. Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile. Región de Coquimbo, Síntesis de Resultados. Centro de Información de Recursos Naturales. En: *bibliotecadigital.ciren.cl.* (consulta noviembre 2015).

CONAF, 2009. Decreto Ley N° 701, de Fomento Forestal de 1974. Disponible en: http://www.conaf.cl/?page=home/contents&seccion_id=5d5cdf047e99d09081ddd86969fe4ba&unidad=0& Agosto 2009.

Conklin, H., 1957. *Hanunoo Agriculture.* FAO Forestry Development Paper No. 12. Rome, FAO

Cossens, G. and Hawke, M., 2000. Agroforestry in Eastern Otago: Results from two long term experiments. *Proc. NZ. Grassl. Assoc.* 62: 93-98.

Currie, P. O.; Edminster, C. B. and Knott, F. W.; 1978. Effects of cattle grazing on Ponderosa Pine regeneration in Central Colorado. USDA. Forest Service, Res. Paper RM-201.

Davis, L. and Johnson, M. K., 1984. Subclover in Pine forests. pp. 89-104. In *Agroforestry in the Southern United States,* 33rd Annual Forestry Meeting. Ed. By Linnartz N. E. y Johnson M. K. Louisiana Agricultural Exp. Station. Baton Rouge. Louisiana.

Dodd, M.; McGowan, A.; Power, I. and Thorrold, B., 2005. Effects of variation in shade level, shade duration and light quality on perennial pastures. *N.Z.J. Agric. Res.* 48:531-543.

Doeshier, P. S.; Tesh, S. D. and Castro A., 1987. Livestock grazing: A silvicultural tool for plantation establishment. *J. For.* 83: 29-37.

Donoso, C., 1981. Tipos forestales de los bosques nativos de Chile. Documento de Trabajo N° 38. Investigación y Desarrollo Forestal. Corporación Nacional Forestal y la Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (CONAF, PNUD-FAO), Santiago, Chile. 73 pp.

Douglas, G.; Walcroft, A.; Wills, B.; Hurst, S.; Foote, A.; Trainor, K. and Fung, L., 2001. Resident pasture growth and the micro-environment beneath young, widely-spaced poplars in New Zealand. *Proc. NZ. Grassl. Assoc.* 63: 131-138.

Duvall, V. L. and Grelen, H. E., 1967. Fertilization uneconomic for forage improvement in Louisiana Pine plantations. USDA Forest Service, Res. Note. SO-51.

- Endlicher, N., 1988.** Análisis geoecológico de la degradación del paisaje en la Cordillera de la Costa en la zona de Concepción. Franz Steiner Verlag GMBH Wiesbaden.
- Espinosa, M., Escobar, R. y Drake, F., 1990.** Silvicultura de las plantaciones forestales en Chile: Pasado, presente y futuro. *Agro-Ciencia* 6(2):131-144, 1990.
- 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.
- García, E.; Sotomayor, A.; Silva, S. y Valdebenito, G., 2000.** Establecimiento de plantaciones forestales. Documento de Divulgación N° 17, Instituto Forestal, Santiago, Chile.
- Gatica, V.; Perret, S. y Zuñiga, S., 2000.** FIA/PRODECOP-Secano: La agroforestería en la pequeña propiedad del secano. Manual 27. Instituto Forestal, Santiago, Chile.
- Giddens, M.; Parfitt, R. and Percival, H., 1997.** Comparison of some soil properties under *Pinus radiata* and improved pasture. *N.Z.J. Agric. Res.* 40:409-416.
- Gómez de Freitas, 1998.** Consideraciones Sobre el Manejo Silvopastoral. In: Actas Seminario Manejo Silvopastoral, Trabajo N°7, Young. Uruguay.
- Grelen, H. y Loherey, R., 1978.** Herbage yield related to basal area and rainfall in a thinned Longleaf plantation. USDA. Forest Service. Res. Note SO-232.
- Guevara-Escobar, A.; Edwards, W.; Morton, R.; Kemp, P. and MacKay, A., 2000.** Tree water use and rainfall partitioning in a mature Poplar-pasture system. *Tree Physiol.* 20:97-106.
- Hart, R. H.; Hughes, R. H.; Lewis, E. E. and Monzon, W. G., 1970.** Effect of nitrogen and shading on yield and quality of grasses growing under young Slash Pines. *Agron. J.* 62:285-287.
- Hawke, M. F., 1997.** The changing focus of pastoral agroforestry in temperate zones. In: Buchanan-Smith JG, Bailey LD, McCaughey P (eds). Proceedings of the XVIII International Grassland Congress. Winnipeg and Saskatoon, Canada. Volume 1, Session 6:121-128.
- Huxley, P. A., 1983.** The role of trees in agroforestry. In *Plant Research and Agroforestry*. International Council for Research in Agroforestry. P.O. Box 30677. Nairobi, Kenya.
- Huxley, P. and Raintree, J., 1983.** Plant arrangement considerations. En *Draft resources for agroforestry diagnosis and design*. Working Paper No. 7. Nairobi, ICRAF.
- ICRAF, 2000.** Rol de los árboles en la conservación de los suelos en sistemas agroforestales. Nairobi, Kenya, 2000.
- INFOR, 2015.** Anuario Forestal 2015. Boletín Estadístico N° 150. Instituto Forestal, Santiago, Chile. 161p.
- Iroume, A.; Gayoso, J. e Infante, L., 1989.** Erosión Hídrica y Alteración del Sitio en Cosecha a Tala Rasa. *Ecología y Biología de Suelos* 26 (2): 171-188.
- Krueger, W. C., 1987.** Pacific Northwest forest plantations and livestock grazing. *J. For.* 83:30-31.
- Leslie, B.; Knowles, R. y Moore, R., 1998.** Silvopastoreo con *Pinus radiata* en zonas frías. In: *Compilación de Resultados en Diversos Ensayos de Modelos Silvopastorales en Chile y en el Extranjero*. En el primer taller de Manejo Silvícola. Fundación Chile, Santiago, Chile.
- Lewis, C. E., 1973.** Integrating management of forest and range resources. pp 69-70. In: *Range resources of the Southeastern United States*. The Amer. Soc. Agro., Pub N° 21. Madison, Wisconsin.
- Lewis, C.; Burton, C.; Monson, W. and McCormick, W., 1983.** Integration of Pines, pastures and cattle in southern Georgia, USA. *Agrofor. Syst.* 1:277-297.

- Lewis, C.; Tanner, G. and Terry, W., 1985.** Double vs. Single row Pine plantation for wood and forage production. South. J. App. For. 9:55-61.
- Lewis, C. E. and Pearson, H. A., 1987.** Agroforestry using pastures under planted pines in the Southeastern United States. Pp. 195-212. In Agroforestry: Realities, Possibilities and potentials. Ed. By Gholz H. L. Pub. Martinus Nijhoff and Junk W. Dordrecht, The Netherlands.
- Lundgren, B., 1979.** Research strategy for soils in agroforestry. In Soils Research in Agroforestry. H.O. Mongi and P.A. Huxley, Eds, pp. 523/538. ICRAF, Nairobi, Kenya.
- Lundgren, B. y Raintree, J., 1983.** Sustained agroforestry In B. Nestel, ed. Agricultural research for development: potentials and challenges in Asia. The Hague, ISNAR.
- McIvor, I.; Hurst, S.; Fung, L.; Van Der Dijssel, C.; Douglas, G. and Foote, L., 2003.** Silvopastoral management of "veronese" poplars on an erosion-prone hillslope. In: Environmental management using soil-plant systems. Ed: Currie L., Stewart R. and Anderson CW. Fertilizer and Lime Research Centre. Massey University, New Zealand. pp: 177-186.
- McLaughlin, S. P., 1978.** Overstory attributes, light, throughfall, and the interpretation of overstory-understory relationships. For. Sci. 24: 550-553.
- McLean, A., 1983.** Producing forage for livestock on forest ranges. pp. 175-183. En Foothills for Food and Forest. Ed: by Hannaway D. B. Timber Press and Oregon State Univ., Beaverton, Oregon.
- McKinnell, F. H. and Batini, F., 1978.** Agro-Forestry trials in the south-west. For. Focus. 20.
- Mead, D., 2009.** Biophysical interactions in silvopastoral systems: A New Zealand perspective. En: Actas del 1er Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Posadas, Misiones Argentina. Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina. pp. 3-9.
- Monfore, J. D., 1983.** Livestock, a useful tool for vegetation control on Ponderosa Pine and Lodgepole Pine plantations. Pp.105-107. In: Forestland Grazing. Ed: by Roche, Jr. B.F. and Baumgrtner D.M., and Cooperative Extension, Wash. State Univ. Spokane, Washington.
- Moreno, G.; Obrador, J. and García, A., 2007.** Impact of evergreen Oaks on soil fertility and crop production in intercropped dehesas. Agric. Ecosyst. Environ. 119:270-280.
- Moya, I., 2001.** Balance hídrico en una plantación adulta de *Pinus radiata* (D. Don), con distintos esquemas de manejo, en la zona de Valdivia, X Región. Tesis, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. 68 p.
- Nair, P. K. R., 1987.** Soil productivity under agroforestry. In: Agroforestry Realities, Possibilities and Potentials. Ed. by Gholz H.L., Martinus Nijhoff and Junk W. Dordrecht, The Netherlands.
- Nair, P. K. R., 1994.** Agroforestry Systems in The Tropic. Published by Kluwer Academic Publishers, P.O. Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands.
- Pase, C. P., 1957.** Herbage production and competition under immature Ponderosa Pine stands in the Black Hills. J. Range Manage. 11:238-243.
- Peña, L., 1984.** Control de erosión mediante técnicas de labranza de conservación. IX Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Valdivia.
- Peralta, M., 1976.** Uso, clasificación y conservación de suelos. Santiago, Chile: Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), 1976. 340 p.
- Percival, N.; Bond, D.; Hawke, M.; Andrew, B. and Knowles, R., 1984a.** Effects of Radiata Pine pasture yields, botanical composition, weed production and production of a range of grass. In: Bibrough GW (ed), Proceedings of a technical workshop of agroforestry. Ministry of Agriculture and Fisheries, Wellington. pp: 13-22

- Percival, N.; Hawke, M. and Andrew, B., 1984b.** Preliminary report on climate measurements under *Pinus radiata* plants in farmland. In: Bibrough GW (ed), Proceedings of a technical workshop of agroforestry. Ministry of Agriculture and Fisheries, Wellington. pp: 57-60
- Percival, N. y Knowles, L., 1986.** Relationship between Radiata Pine and understorey pasture production. In: Agroforestry Symposium Proceeding. FRI Bulletin N° 139. New Zealand. pp 25-32.
- Peri, P.; Varella, A.; Lucas, R. and Moot, D., 2001.** Cockfoot and lucerne productivity in a *Pinus radiata* silvopastoral system: A grazed comparison. Proc N Z Grassl Assoc 63: 139-147
- Peri, P.; Mason, E.; Pollok, K.; Varella, A. and Mead, D., 2002.** Early growth and quality of Radiata Pine in a silvopastoral system in New Zealand. Agrofor. Syst. 55: 207-219.
- Peri, P.; Lucas, R. and Moot, D., 2007.** Dry matter production, morphology and nutritive value of *Dactylis glomerata* growing under different light regimes. Agrofor. Syst. 70: 63-79.
- Polla, C., 1998.** Estrategias de Acción en el Tema Silvopastoreo. En: Actas Seminario Manejo Silvopastoral, Trabajo N°8, Young. Uruguay.
- Pyke, D. and Zamora, B., 1982.** Relationships between overstorey structure and understorey production in the grand fir/myrtle boxwood habitat of Northcentral Idaho. J. Range Management. 35: 769-773.
- Quam, V. and Johnson, L., 1994.** Windbreaks for Livestock Operations. University of Nebraska Cooperative Extension EC 94-1766-X. Recuperado el 31 de Enero de 2002 de: <http://www.lanr.unl.edu/pubs/forestry/ec1766.htm>.
- Raintree, J. and Lundgren, B., 1985.** Agroforestry potential for biomass production in integrated land use systems. Symposium on Biomass Energy Systems: Building Blocks for Sustainable Agriculture. 29 January-1 February. Washington, World Resources Institute.
- Ramirez, M., y Oropeza, J., 2001.** Eficiencia de dos practicas productivo- conservacionistas para el control de erosión de laderas en el trópico. Agrociencia, Vol 35, 2001. Texcoco, México.
- Ranjith P.; Udawatta, H.; Garrett, E. and Kallenbach, R. L., 2009.** Agroforestry and grass buffer effects on water quality on grazed pasture watersheds. Proceedings of the 11th North American Agroforestry Conference, Agroforestry Comes of Age: Putting Science into Practice. May 31-June 3, 2009, Columbia, Missouri.
- Redbo, I.; Mossberg, I.; Ehrlemark, A. and Ståhl-Högberg, S., 1996.** Keeping growing cattle outside during winter: behavior, production and climatic demand. Ed: Swedish University of Agricultural Science. British of Animal Science. 62:34-41. Pág.: 35-41.
- Reid, R. and Wilson, G., 1986.** Agroforestry in Australia and New Zealand. Goddard and Dobson. Victoria, Australia. 255p.
- Roath, L. R. and Krueger, W. C., 1982.** Cattle grazing and behavior on a forested range. J. Range Manage. 35:332-338.
- Rojas, C., 1983.** Efecto del lugar de suplementación invernal en producción de carne. Ed: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). En: Informe Técnico 1983. Temuco, 7p.
- Sanderson, M.; Stair, D. and Hussey, M., 1997.** Physiological and morphological responses of perennial forages to stress. Adv. Agron. 59:172-224.
- Sharrow, S. H. and Leininger, W. C., 1983.** Sheep as a silvicultural tool in coastal Douglas-Fir forest. Pp. 219-231. In: Foothills for Food and Forest. Ed. Hannaway D. W. Timber Press and Oregon State Univ., Beaverton Oregon.
- Skovlin, J. M.; Harris, R. W; Stuckler, G. S. and Garrison, G. A., 1976.** Effects of castle grazing methods on Ponderosa Pine-bunchgrass range in the Pacific Northwest. USDA Forest Service, Tech.Bull.1531.
- Solangaarachchi, S. M. and Harper, J. L., 1987.** The effect of Canopy filtered Light on the growth of white clover, *Trifolium repens*. Oecologia 72: 372-376.

- Sotomayor, A., 1989.** Sistemas silvopastorales y su manejo. Documento Técnico N° 42. Revista Chile Forestal, Diciembre 1989. CONAF. 8p.
- Sotomayor, A., 1990a.** Sistemas silvopastorales y su manejo. Chile Agrícola 157:203-206.
- Sotomayor, A., 1990b.** Bosques y forrajeras pueden complementarse (II Parte). Chile Agrícola 158:242-248.
- Sotomayor, A., 1990c.** Bosques y forrajeras pueden complementarse (III Parte). Chile Agrícola 159:273-277.
- Sotomayor, A.; Helmke, E. y Garcia, E., 2002.** Manejo de plantaciones forestales. Instituto Forestal, Santiago, Chile. 32 p.
- 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 central de Chile. Ciencia e Investigación Forestal, volumen 14 N° 2. pp: 269-286.
- Sotomayor, A.; Teuber, O. y Moya, I., 2009.** Resultados y experiencia sobre manejo de sistemas silvopastorales en la región de Aysén. En: Sistemas Agroforestales para la región de Aysén: Cortinas Cortaviento y Silvopastoreo. pp: 165-199. Ed: Teuber O. Instituto de Investigaciones Agropecuarias e Instituto Forestal. Coyhaique, Chile.
- Sotomayor, A. y Teuber, O., 2011.** Evaluación del efecto de los arboles manejados bajo ordenación 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.; Schmidt, H.; Salinas, J.; Schmidt, A.; Sanchez-Jardon, L.; Moya, I. y Teuber O., 2016.** Silvopastoral Systems in the Aysen and Magallanes Regions of the Chilean Patagonia. In: Silvopastoral Systems in Southern South America. Eds: by Peri p., Dube F. and Varella A. Advances in Agroforestry, Vol 11. Springer International Publishing, Switzerland, 2016. Pp: 213-320.
- Teuber, O.; Moya, I. y Sotomayor, A., 2009.** Resultados y experiencia en producción de cultivos forrajeros con cortinas adultas en la región de Aysén. En: Sistemas Agroforestales para la región de Aysén: Cortinas Cortaviento y Silvopastoreo. pp: 85-128. Ed: Teuber O. Instituto de Investigaciones Agropecuarias e Instituto Forestal. Coyhaique, Chile.
- Tustin, J. R.; Knowles, R. L., and Klomp, B. K., 1979.** Forest farming: A multiple end-use production system in New Zealand. For. Ecol. & Mgt. 2:169-189.
- Wall, A.; Mackay, A.; Kemp, P.; Guillingham, A. and Edwards, W., 1997.** The impact of widely spaced soil conservation trees on hill pastoral systems. Proc. NZ. Grassl. Assoc. 59: 1771-177.
- Wallace, T., 1983.** Forage producing potentials in clearcut Lodgepole Pine types. pp. 75-88. In: Forestlands Grazing. Ed: by Roche, Jr. B.F. and Baumgrtner D.M., and Cooperative Extension, Wash. State Univ. Spokane, Washington.
- Watson, V. H.; Pearson, H. A.; Knight, W. E. and Hagedorn, C., 1984.** Cool season forages for use in Pine forests. Pp.79-88. In: Agroforestry in the Southern Unites States, 33rd Annual Forestry Symposium. Ed. by Linnartz N. E. and Johnson M. K. Louisiana Agric. Exp. Sta., Baton Rouge, Louisiana.



INFOR

..... II

ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS

Capítulo 2

FORMACIONES NATIVAS Y PLANTACIONES FORESTALES DE ESPECIES DEL GÉNERO PROSOPIS

Marlene González¹ y Santiago Barros²

RESUMEN

Chile continental se extiende por más de 4.000 km en la parte occidental de Sudamérica, desde los 18 a los 55° LS y entre la cordillera de Los Andes y el océano Pacífico. Esta condición geográfica explica una amplia variedad climática y, consecuentemente, una gran diversidad de formaciones vegetales naturales.

Desde las regiones desérticas del norte del país hasta las regiones templadas y templadas frías del sur en general aumentan las precipitaciones y decrecen las temperaturas. Las zonas áridas y semiáridas abarcan gran parte del país extendiéndose desde el extremo norte con precipitaciones casi inexistentes, hasta sectores interiores de la región del Bio Bio por el sur, donde las precipitaciones anuales están en torno a los 1.000 mm, pero existe un periodo seco estival de 3 a 5 meses.

En estos ambientes áridos, particularmente desde la región Metropolitana hacia el norte, las especies del género *Prosopis* son de importancia, dado que se trata de especies multipropósito, capaces entregar una variedad de productos y servicios, que se han adaptado a las rigurosas condiciones impuestas por un permanente déficit hídrico, grandes amplitudes de oscilación diaria de temperaturas y una alta radiación solar, además de suelos con muy bajos contenidos de materia orgánica.

El género *Prosopis* está representado en el país por seis especies; *Prosopis alba* Griseb., algarrobo blanco; *P. burkartii* Muñóz, churqui; *Prosopis chilensis* Mol., algarrobo, chileno; *Prosopis flexuosa* DC., algarrobo dulce; *Prosopis strombulifera* (Lam.) Benth., retortón y *Prosopis tamarugo* Phil., tamarugo, todas ellas nativas y *P. tamarugo* y *P. burkartii* endémicas. Actualmente la superficie de formaciones de *Prosopis* en el país se estima en 52 mil hectáreas, superficie de la cual aproximadamente la mitad corresponde a plantaciones y la otra mitad a formaciones nativas. Las especies más importantes son *Prosopis tamarugo*, *P. alba* y *P. chilensis*, las restantes tres son de menor frecuencia o de distribución más restringida y de hábito más bien arbustivo.

Existen registros que señalan que en tiempos prehispánicos ya había desarrollo de agricultura, horticultura, recolección, caza y ganadería de camélidos, asociado a formaciones naturales de *Prosopis* en sectores del norte del país, prácticas que hasta ahora son las tradicionales en torno a estos recursos en las zonas áridas y semiáridas del país, principalmente mediante sistemas silvopastorales que pueden sostener de 1 a 4 cabezas ovinas por hectárea.

1 Ingeniero Forestal. Gerente Sede Metropolitana, Instituto Forestal magonzalez@infor.cl

2 Ingeniero Forestal. Gerencia de Investigación y Desarrollo, Instituto Forestal sbarros@infor.cl

En este capítulo se incluyen antecedentes que dan cuenta del uso histórico de estas especies, como parte de unidades agroforestales y/o silvopastorales, junto con entregar una reseña de los cambios que se han generado a lo largo del tiempo y que llevan a describir la situación actual, dada por los cambios ocurridos en estos sistemas y por cómo ellos se han adaptado a nuevas condiciones, manteniendo las características propias y particulares de las especies del género.

Palabras clave: Sistemas agroforestales, Zona áridas y semiáridas. *Prosopis spp.*

SUMMARY

Continental Chile is located at the western part of South America along more than 4,000 km between the Pacific Ocean and the Andes Ranges, from 18 to 55° SL. This particular geographic condition explains the presence of a wide climatic variation and the consequent great vegetal formations variety along the country.

In general terms, from the northern deserts to the southern temperate rain forests medium annual rainfall increases and medium annual temperature decreases. The arid and semiarid zones cover a large part of the country from the northern regions, under almost non-existent rainfall, to inland zones in the Bio Bio region, under an annual rainfall close to 1.000 mm, but presenting a 3 to 5 months dry season.

Prosopis species represent important resources in northern Chile. Those species are multipurpose ones, giving a variety of products and services to the rural communities, and are adapted to the severe site conditions imposed by a permanent hydric deficit, wide daily temperature variations, high insolation, as well as very poor soils.

Prosopis genus is represented in the country by six species; *Prosopis alba* Griseb., algarrobo blanco; *P. burkartii* Muñóz, churqui; *Prosopis chilensis* Mol., algarrobo chileno; *Prosopis flexuosa* DC., algarrobo dulce; *Prosopis strombulifera* (Lam.) Benth., retortón; y *Prosopis tamarugo* Phil., tamarugo, all them native species and *P. burkartii* and *P. tamarugo* endemic species. The current *Prosopis* area in the country is estimated at 52 thousand hectares, half of these areas correspond to native formations and the other half to planted forests. Main species are *Prosopis tamarugo*, *P. alba* and *P. chilensis*, the other three species are of lower presence or a more restricted distribution area and with a shrubby growing habit.

Some records report pre-Hispanic agriculture and cattle breeding developments around *Prosopis* resources in northern Chile and this kind of practices are still the traditional ones in the Chilean arid and semiarid zones, mainly through sheep and goat breeding under *Prosopis* formations which can feed some 1 to 4 ovine heads by hectare.

This chapter includes information on *Prosopis* species historical use, as part of agroforestry units, and provides a profile on the changes along the time to arrive to the current situation after the changes and the species adaptation to new conditions keeping the *Prosopis* genus species particular characteristics.

Key words: Agroforestry systems, Arid and semiarid zones, *Prosopis spp.*

INTRODUCCIÓN

Chile continental se extiende por más de 4.000 km en la parte occidental de Sudamérica, desde los 18 a los 55° LS y entre la cordillera de Los Andes y el océano Pacífico. Su territorio presenta por tanto altitudes desde el nivel del mar hasta más de 6.000 msnm en las altas cumbres cordilleranas, está cruzado por innumerables cursos de agua que bajan desde estas hacia el océano y presenta un gran variedad de climas, desde el desierto absoluto de las regiones del norte hasta las regiones templadas y templadas frías de las regiones del sur donde las precipitaciones en algunos casos pueden superar los 7.000 mm anuales.

Las zonas áridas y semiáridas ocupan gran parte del país, las primeras se extienden desde las áreas desérticas de las regiones del norte; Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, donde las precipitaciones son prácticamente nulas, hasta la parte norte de la región de Coquimbo, donde las precipitaciones anuales están aún por debajo de los 200 mm, concentradas en invierno.

Las zonas semiáridas en tanto se extienden hacia la zona central del país, desde la parte sur de la región de Coquimbo hasta sectores interiores de la región de Bio Bio, donde, si bien las precipitaciones medias anuales estén en torno a los 1.000 mm, se mantiene un período seco estival de 3 a 5 meses.

Características comunes de las zonas áridas y semiáridas son las reducidas precipitaciones, su irregularidad durante el año y entre años, la presencia de un prolongado período seco debido a la concentración de las lluvias en los meses invernales, la degradación de los suelos y de los recursos vegetales, y las consecuentes limitantes para el desarrollo de las comunidades rurales que en ellas habitan.

Las zonas semiáridas al sur de la región metropolitana, con precipitaciones medias anuales por sobre los 300 mm, comparativamente ofrecen más oportunidades a las comunidades rurales, dada la presencia de formaciones nativas en las que participan diferentes especies, como quillay (*Quillaja saponaria* Mol.), espino (*Acacia caven* Mol.), litre (*Lithraea caustica* Hook et Arn.), boldo (*Peumus boldus* Mol.), maitén (*Maytenus boaria* Mol.) y otras. Además, al avanzar hacia el sur de estas zonas es ya posible el establecimiento de algunas plantaciones con especies exóticas.

Desde la región metropolitana hacia el norte, con precipitaciones anuales por debajo de los 300 mm, se mantiene alguna presencia de las formaciones naturales mencionadas en la región de Coquimbo y se agregan aisladamente algunas otras especies como tara, (*Caesalpinia spinosa* (Mol.) Kuntze), chañar (*Geoffroea decorticans* (Gilles ex Hook et Arn.) Burkart) y otras, no obstante ya en la parte norte de la región de Coquimbo, con precipitaciones medias anuales bajo los 200 mm, los ambientes áridos se hacen fuertemente limitantes para el desarrollo rural.

Es desde la región Metropolitana hacia el norte donde aparecen las formaciones de especies del género *Prosopis*, que son las de mayor importancia en esta parte del país, dada la amplia distribución natural del género y su capacidad para prosperar bajo condiciones de déficit hídrico, alta radiación solar y grandes variaciones de temperatura entre el día y la noche, a lo que se suman suelos de muy bajos contenidos de materia orgánica.

En estos ambientes las especies del género constituyen un importante recurso arbóreo, para los agricultores y comunidades locales e indígenas, el único en las regiones de más al norte. Dada la falta o escasez de otros recursos, estas formaciones vegetales, nativas o plantadas, pueden ser empleadas con fines múltiples, integrando en ellas componentes ganaderas, apícolas e incluso agrícolas en algunos casos, sin dejar de obtener con alguna frecuencia productos forestales, como madera para diferentes usos y leña.

A lo anterior se suman positivos efectos ambientales dados por fijación de carbono, producción de oxígeno y protección de suelos, además del efecto de morigerar las condiciones climáticas en beneficio de los campesinos y sus animales, y mejorar el entorno de paisaje. Otros efectos positivos del uso de estas especies leguminosas es el mejoramiento de los suelos, tanto por el aporte de materia orgánica como por su capacidad de fijar nitrógeno en ellos, además de la conocida capacidad de las plantaciones de fijar carbono y liberar oxígeno.

OBJETIVOS

Efectuar una revisión de la presencia de especies del género *Prosopis* en las zonas áridas y semiáridas del país, de la información y experiencias existentes sobre su uso en sistema agroforestales y de las posibilidades de mayor desarrollo de estos sistemas integrados de producción.

MATERIAL Y METODO

La metodología se basa en la recopilación de información desde distintas fuentes, de manera de abarcar las distintas realidades territoriales, con todos sus elementos históricos y características particulares.

Se efectuó una revisión de la literatura más relevante disponible en distintos medios, como internet, bibliotecas y centros de documentación de universidades, instituciones de investigación y otras entidades relacionadas, se efectuaron también consultas a expertos nacionales, que pudieran contribuir con información adicional respecto de los antecedentes históricos y la situación actual de estos ecosistemas.

EL GÉNERO *PROSOPIS* EN CHILE

Especies

El género está representado en Chile por seis especies (Barros, 2010):

Prosopis alba Griseb., algarrobo blanco
Prosopis burkartii Muñóz, churqui
Prosopis chilensis Mol., algarrobo, algarrobo chileno
Prosopis flexuosa DC., algarrobo dulce
Prosopis strombulifera (Lam.) Benth., retortón
Prosopis tamarugo Phil., tamarugo

Las seis especies son nativas y *Prosopis tamarugo* y *P. burkartii* endémicas. Ocurren naturalmente en las regiones del norte del país, con la excepción de *P. chilensis* que se encuentra desde la región de Atacama hasta la región Metropolitana (Barros, 2010).

Las más importantes como recurso forestal debido a su distribución y a su hábito de crecimiento arbóreo son *Prosopis tamarugo*, *P. chilensis* y *P. alba*, las tres restantes son de menor frecuencia o de distribución más restringida y de hábito principalmente arbustivo.

Existen en las regiones indicadas bosques naturales y plantaciones de estas tres especies, los primeros reducidos y fragmentados como consecuencia principalmente de la alta presión para la obtención de leña que sufrieron en el pasado por parte de la actividad minera.

Las plantaciones en tanto han sido establecidas a través de diferentes esfuerzos de forestación, entre los que destaca el programa desarrollado por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) desde mediados del siglo pasado en la Pampa del Tamarugal en la región de Tarapacá.

Orwa *et al.* (2009) mencionan a un forestador (Sr. Maldonado) que en 1918 habría comenzado a plantar tamarugos, reconociendo su importancia al desarrollarse en zonas con gruesas costras salinas, transformando así el ecosistema desértico en un sistema agroforestal, y logrando producciones interesantes en una de las zonas más inhóspitas del mundo. También destacan las plantaciones de la década de los 30, que en su mayoría fueron realizadas por el Sr. Luis Junoy, un destacado y visionario empresario salitrero de la zona.

El resto de las plantaciones, que constituyen la mayor superficie, fueron efectuadas por CORFO entre los años 1963 y 1972, como parte del Programa Forestal Ganadero de la Pampa del Tamarugal, cuyo objetivo era forestar con tamarugos y en una segunda etapa adaptar razas bovinas, ovinas y caprinas que tuvieran como base de alimentación los frutos y hojas de esta especie.

En 1987 se crea la Reserva Nacional Pampa del Tamarugal, que integra plantaciones de tamarugos y algarrobos (*P. alba*), y también áreas con bosque nativo de *Prosopis spp.* Esta reserva se incorpora al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado y en ella se realiza un pastoreo controlado de hojas y frutos con caprinos y ovinos en ciertas épocas del año para favorecer a pequeños productores de áreas vecinas.

Gajardo (1994), en su estudio sobre la vegetación natural de Chile, señala que esta reserva representa una sola formación vegetacional, denominada Desierto del Tamarugal, que se localiza en áreas muy puntuales con presencia de napa freática relativamente superficial o en donde ocurren aluviones de origen andino originados en el denominado invierno altiplánico.

Los bosques nativos de tamarugo se encuentran casi en su totalidad en la Pampa del Tamarugal, en la región de Tarapacá, al igual que las plantaciones de esta especie. Algarrobo (*P. alba*) en tanto se ubica en forma natural en la región de Antofagasta, pero existen importantes superficies plantadas en la Pampa del Tamarugal.

Algarrobo (*P. chilensis*) es la especie del género de más amplia distribución en el país, aunque tanto las formaciones naturales como las plantaciones se encuentran mayoritariamente entre las regiones de Coquimbo y Metropolitana, con la máxima expresión de las primeras en esta última. Más de 50% de la superficie de formaciones naturales de algarrobo se encuentra en la

provincia de Chacabuco, en la región Metropolitana al norte de Santiago, en la comunas de Til Til, Lampa y Colina (González, 2013), donde de acuerdo a Gajardo (1994) la vegetación corresponde a Bosque Espinoso Adulto, una de las sub comunidades del cual es la formación Algarrobo - Espino.

Algarrobo ocurre en forma natural en valles o cuencas con napas freáticas relativamente superficiales, o en fondos de quebradas, donde la acumulación hídrica se hace más efectiva. Se la puede encontrar en el Valle Central, en la parte inferior del *pedemonte* de la Cordillera de la Costa, en quebradas de esta y en los cordones transversales, en forma dispersa o en pequeños bosquetes (Altamirano, 2012).

Superficies Bosques Naturales y Plantaciones

Barros (2010, citando a Barros y Wrann 1992 y a INFOR, 2009) indica que la superficie total de especies del género *Prosopis* en el país es de 52.140 ha, de la cual 26.341 ha corresponden a formaciones nativas y 25.799 ha a plantaciones.

Estas superficies de bosques naturales y plantaciones se distribuyen según especie y región como se indica en el Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1
SUPERFICIE FORMACIONES NATIVAS Y PLANTACIONES DE ESPECIES DEL GÉNERO *PROSOPIS*
SEGÚN ESPECIE Y REGIÓN³

Región	Formaciones Nativas				Plantaciones				Total
	<i>P. tamarugo</i>	<i>P. alba</i>	<i>P. chilensis</i>	Subtotal	<i>P. tamarugo</i>	<i>P. alba</i>	<i>P. chilensis</i>	Subtotal	
(ha)									
Tarapacá	3.295	113		3.408	20.635	3.246		23.881	27.289
Antofagasta		2.075		2.075	47	302		349	2.424
Atacama			767	767	12		413	425	1.192
Coquimbo			6.656	6.656			1.139	1.139	7.795
Valparaíso			1.616	1.616				0	1.616
Metropolitana			11.819	11.819			5	5	11.824
Total	3.295	2.188	20.858	26.341	20.694	3.548	1.557	25.799	52.140

(Fuente: Barros, 2010, citando a Barros y Wrann 1992 y a INFOR, 2009)

Las poblaciones naturales de tamarugo son en general masas remanentes aisladas, de reducido tamaño poblacional, a pesar de lo cual constituyen un recurso genético de gran interés. La más conocida es la ubicada en el Salar de Llamara (Carevic *et al.*, 2012).

Es posible que exista sobre posición territorial de algunas especies, Pardo y Pizarro (2013) indican que se puede suponer que cuando autores antiguos mencionan al algarrobo, se refieren a *Prosopis alba* en la parte norte de Chile y a *P. chilensis* en territorios al sur de Copiapó. Puede también haber algunas confusiones con *P. flexuosa*.

³ Las cifras provienen de inventarios realizados por INFOR en los años 1981 y 1986, y de actualizaciones locales y estimaciones posteriores. Las cifras correspondientes a plantaciones son de carácter referencial dado que no se conocen las pérdidas de superficies ocurridas con posterioridad.

González (2013) determina que en la provincia de Chacabuco de la región Metropolitana hay una superficie de 11.828 ha, que se ubican en las comunas de Til Til, Lampa y Colina, en altitudes entre los 560 y 630 msnm (Cuadro N° 2).

Cuadro N° 2
SUPERFICIE *Prosopis chilensis*
PROVINCIA DE CHACABUCO, REGIÓN METROPOLITANA

Tipo Formación	Comuna			Total
	Til Til	Lampa	Colina	
	Superficie (ha)			
Natural	3.378	1.107	2.934	7.419
Asociada a Cultivo Agrícola	2.094		1.120	3.214
Protección	366	42	200	608
Plantación*	49		16	65
Urbano	359	107	56	522
Total	6.246	1.256	4.326	11.828

(Fuente: González, 2013)

*Incluye cortinas cortavientos

ANTECEDENTES SOBRE EL USO DE LAS ESPECIES DE *PROSOPIS*

Se trata de especies multipropósito que generan una variedad de productos, es posible encontrar antiguas menciones sobre su participación en el paisaje y las actividades cotidianas de la población a través del tiempo y su uso particular asociado a la producción de ganado y la agricultura.

Tanto en Tiliviche como en Aragón, sitios que marcan el inicio de la ocupación humana temprana en el norte de Chile, existen evidencias concretas de la presencia de grupos de cazadores y recolectores que convivían con un medio forestal que les otorgaba los elementos básicos de subsistencia a través de la recolección de fruto de tamarugos, Algarrobos y chañares. Estos sectores correspondían a sitios de permanencia temporal, que eran utilizados en determinadas épocas del año, y los periodos de recolección de especies forestales comenzaron en los años 6.000 a.C. Esta práctica perduró hasta que el hombre comenzó a tornarse más sedentario y empezó a estructurar las primeras aldeas, época en que la recolección fue perdiendo importancia, pero en la cual la madera del tamarugo adquirió valor para la construcción de algunas de estas aldeas (Briones, 1984).

En informe solicitado en el año 1789 por el Rey de España a don Judas Tadeo de Reyes, Secretario de la Capitanía General, sobre las maderas de Chile, este responde “*Algarrobo se produce en terrenos secos y llanos de los partidos septentrionales de esta capital... Fructifica unas vainas amarillas de tres pulgadas de largo y dos líneas de grueso que comen los ganados vacunos y les es de gran alimento*” (Looser, 1962).

Gay (1862), en sus diversas obras descriptivas de Chile realizadas por encargo del gobierno de la época, hace varias menciones interesantes sobre la especie: “*El algarrobo se cría en los llanos de Santiago y Colina*”, “...se ve el cuidado extremo que tomaban para conservar los bosques de los alrededores, no permitiendo cortar sino con parsimonia para las necesidades domésticas” y puntualmente referido al uso poco tradicional de las partes del árbol, asociado a la producción ganadera, menciona la utilidad de sus espinas para estacar los cueros de animales, indicando “...para darles cuerpo después de limpiarles la sangre, afrecharlos y extenderlos clavándolos en el suelo por medio de clavos o de espinas de algarrobo”.

Rosales (1877, citado por Pardo y Pizarro, 2013) respecto de *Prosopis chilensis* indica que “*da unas vaynas, que son algarrobas, de que se sustentan los indios y hacen pan de ellas, es vianda que estriñe mucho*”, reafirmando así la combinación de usos que la población de la época daba a este recurso.

Durante los siglos XVII y XVIII, con el advenimiento de la explotación minera de la plata, y durante el siglo XIX e inicios del XX, con la explotación del salitre se intensifica el uso de la flora autóctona como recurso energético que está a la mano y es barato. Esto, indudablemente repercutió en el rápido consumo y la consecuente destrucción de la mayor parte de la arboleda (Briones, 1984).

Carevic *et al.* (2012) destacan que en la región de Tarapacá en la actualidad *Prosopis tamarugo* y *P. alba* corresponden a las especies más representativas para fines agroforestales e indican que la Pampa del Tamarugal representa el principal sistema agroforestal del norte chileno.

Se ha comprobado que el tamarugo protege las reservas de aguas subterráneas, disminuye los efectos del viento sobre el desierto, modera las temperaturas locales, ofrece sombra para los animales, acumula biomasa para energía y ofrece recursos y oportunidades de recreación para las poblaciones locales. En consecuencia, permite la integración de varios rubros productivos en un mismo lugar, razón por la que las plantaciones realizadas con tamarugo, así como los bosques naturales, han significado la transformación del ecosistema desértico absoluto en un agroecosistema y la apertura al desarrollo social y económico de la zona (Galera, 2000).

Respecto de la región de Antofagasta, sus condiciones ambientales determinan una fuerte escasez de recursos vegetales, situándose aquellos en sectores donde el aporte hídrico supera en alguna medida al promedio regional (Martínez, 1996). En los sectores con agricultura de riego bajo los 3.000 msnm crecen, ya sea espontáneamente o plantados, algunos ejemplares de chañar (*Geoffroea decorticans*), algarrobo (*Prosopis alba*) y tamarugo (*Prosopis tamarugo*) (Martínez, 1998).

Existen registros que indican que en esta región hubo desarrollo de agricultura, horticultura, recolección, caza y ganadería de camélidos, durante el periodo Formativo (1.400 a.C. - 500 d.C.), en los oasis del Salar de Atacama y el Loa Medio asociado a *Prosopis alba*.

Varios autores, citados por McRostie (2014), sugieren la teoría que la colonización de los oasis cercanos al Salar de Atacama se debió a comunidades ganaderas de las quebradas que bajaron a los oasis buscando más tierras y mejores condiciones, dedicándose a la recolección de los frutos de *Prosopis*, a algunas actividades agrícolas y manteniendo la ganadería como su rubro principal. Se acepta así que en estas zonas la ganadería, que precedió a la agricultura,

y el uso posterior de *Prosopis* y maíz, consolidaron una actividad silvopastoral en los oasis al manejar los bosques al mismo tiempo que los rebaños.

Esta situación es habitual hasta hoy, en amplios sectores del norte chileno la ganadería provee recursos y productos a largo plazo, siendo la “riqueza del hombre andino”. La agricultura en tanto es de subsistencia, básicamente de autoconsumo (Martínez *et al.*, 1996).

En cuanto a los recursos arbóreos, tamarugo es una especie nativa del área, mientras que algarrobo (*P. alba*) podría estar más relacionado con la actividad humana. En este sentido, varios autores sugieren que esta última especie fue introducida a Chile desde Argentina en la época precolombina. Palacios y Brizuela (2005, citados por McRostie, 2014), indican que los bosques de algarrobo de San Pedro de Atacama serían producto de la actividad de los agricultores que han habitado los oasis de San Pedro. Aun cuando no está claro de dónde vinieron las semillas fundacionales, los análisis exo-morfológicos sugieren similitudes con individuos de *Prosopis alba* de algunas localidades de Salta en Argentina. Los principales centros silvícolas en la región son el Valle de Quillagua y la localidad de San Pedro de Atacama a 2.200 msnm (Martínez, 1996).

Quillagua, se ubica en la comuna de María Elena, provincia de Tocopilla, y es un oasis enclavado en pleno desierto de Atacama. Su vegetación natural está compuesta por *Prosopis* spp, *Prosopis tamarugo* y *Geoffroea decorticans* (chañar) (Martínez, 1994; Martínez *et al.*, 1996).

En esta localidad, las prioridades de uso de los árboles son combustible, forraje, protección (cortaviento y cercos vivos), construcciones y protección del ganado (Martínez *et al.*, 1996). Su población actual se dedica principalmente al cultivo de alfalfa y a la crianza de ganado, como sistema agroforestal, que forma parte del modo de vida de los habitantes del lugar, constituyéndose en un ejemplo de actividad productiva de gran utilidad.

Este sistema consiste básicamente en la combinación del cultivo de alfalfa bajo un dosel de algarrobos plantados, a densidades que varían entre 16 y 25 árb ha⁻¹, obteniéndose de él forraje verde prácticamente durante todo el año y legumbres de algarrobo, que se utilizan como complemento del forraje, y madera para leña, carbón y construcciones diversas.

El ganado que se cría en esta unidad de manejo integrado corresponde a bovinos, ovinos, caprinos, porcinos, equinos e incluso conejos, que se alimentan de la alfalfa producida y de las vainas de algarrobo. La unidad totaliza aproximadamente 170 ha, con árboles que superan los 80 años, con abundante fructificación que posibilita la recolección de vainas de algarrobo para el abastecimiento forrajero durante todo el año (Martínez, 1994).

En la Reserva Nacional Los Flamencos, ubicada 27 km al sur de San Pedro de Atacama, en el sector Tambillo, los pobladores de las comunidades cercanas han utilizado en forma histórica la plantación de tamarugos existente en la zona con fines silvopastorales, siendo esta indispensable para brindar forraje y sombra a sus animales (González y Maraboli, 1997). Martínez *et al.* (1996) indican que dicha plantación no había sido sometida a ningún tratamiento silvicultural, por lo cual el recurso de Tambillo podría ser optimizado si se aplicaran algunas medidas de manejo, especialmente podas y raleos. Destacan que los frutos de algarrobo se usan para alimentar cerdos y que los árboles, en general de grandes dimensiones, sirven para proveer de sombra al ganado y a la familia. No menos importante, es además, la práctica de la apicultura con la obtención de miel de alta calidad nutritiva (Martínez, 1996).

Debido al crecimiento abundante de las ramas basales y la presencia de espinas en ellas, se hace necesario efectuar poda cuando el árbol cumple entre 4 y 6 años, pues las ramas dificultan el acceso de los animales al forraje. Además, pensando en una plantación destinada principalmente a la producción de frutos para forraje, se recomiendan 3 raleos (a los 15, 30 y 40 años), poda frutal al año 20 y corta final a los 50 años, aun cuando se ha observado que es una especie longeva, que mantiene su producción a edades mayores. Se puede permitir el acceso de ganado a partir del año 10 (Galera, 2000).

En 1997 toda la comuna de San Pedro de Atacama fue declarada como Área de Desarrollo Indígena (ADI), lo que motivó la incorporación de las comunidades del área a la planificación y gestión de la Reserva Nacional Los Flamencos. Desde el año 2000 se inició el control y fiscalización del uso del territorio por parte de las comunidades que habitan este sector, las que han utilizado la plantación forestal para el desarrollo de cultivos agrícolas y manejo de su ganado de manera tradicional. El ganado está compuesto principalmente por ovinos y caprinos, además de porcinos, equinos y camélidos, animales que obtienen su alimento a partir del forraje que se extrae directamente de la plantación de tamarugo, consistente en hojas, tallos nuevos y frutos, pero no se ha realizado una evaluación de la capacidad de carga del lugar y tampoco del manejo del dosel que brinda forraje y sombra a los animales.

Existe un sector donde se cultiva maíz y alfalfa, junto con maravilla, acelga, lechuga y algunos frutales. Estos cultivos están protegidos por tamarugos que tienen gran producción frutal. Además se cuenta con un corral, protegido y con sombra, donde se guarda forraje para la época invernal. La frecuencia de riego es día por medio en verano y cada 3-4 días en invierno. Todos los cultivos son abonados con guano que se obtiene de los corrales distribuidos dentro de la plantación de tamarugos (Martínez, 2003).

Martínez (2003) propone realizar un ordenamiento de la zona destinada al uso silvopastoral, de manera de lograr un uso sustentable del sector con intervenciones que permitan mejorar la calidad de los individuos y aumentar el número de productos factibles de extraer, especialmente madera. La actividad ganadera y el incremento de la zona agrícola son fundamentales para la sustentabilidad del grupo humano que depende del sector Tambillo y que se establecerá físicamente en esta Reserva.

Más hacia el centro del país aparece *Prosopis chilensis* la especie del género de más amplia distribución en Chile, desde la región de Atacama hasta la región Metropolitana. Se le encuentra en forma natural en valles o cuencas con napas freáticas relativamente superficiales y en fondos de quebradas, ocurre naturalmente en el Valle Central, Cordillera de la Costa y en quebradas de esta y de los cordones transversales, con ejemplares dispersos o formando pequeños bosquetes (Altamirano, 2012) y siempre alejado de las influencias marinas (Martínez, 1998).

En la región de Atacama, Peralta y Serra (1987), en su análisis del hábitat en que se desarrollan los *Prosopis* en la región, indican ya en esa época que las especies de este género estaban en vías de extinción en la región, existiendo escasos bosquecillos, muy intervenidos y comúnmente con ejemplares aislados.

Situación similar se refleja en el relato de Santander (2003) respecto de la región de Coquimbo, quien señala que el impacto de los desmontes efectuados por la actividad minera

en el Norte Chico para suplir sus requerimientos energéticos explicaría la desaparición de la vegetación. Existen registros de esta actividad durante al menos tres siglos (XVII a XIX), el uso de leña comienza a decrecer después de 1850 y al finalizar el periodo (1900) su uso era ya residual. Estos desmontes fueron generalizados, afectando árboles, arbustos e incluso leñosas altas, y la situación se vio agudizada por la proliferación de la masa ganadera caprina, crianza habitual en la región, que representó una sobrecarga para las formaciones vegetales remanentes.

El género *Prosopis* es destacado por FAO (1997; 2000) reconociendo a sus especies como un importante recurso para las poblaciones humanas que dependen de agricultura de subsistencia, tanto así que recomienda su cultivo para combatir la desertificación y recuperar ecosistemas degradados (Bernuy, 2003).

Los algarrobos presentan una gran variabilidad, observándose dentro de una misma población a individuos con distintas características anatómicas y de crecimiento, florecen y fructifican en épocas diferentes y crecen a ritmos distintos (Arce y Balboa, 1988). La mayoría de los *Prosopis* que crecen con hábito arbóreo se adaptan bien a sistemas de producción silvopastoral y agroforestal, dado que permiten que pasturas y cultivos prosperen bajo su dosel y, además, su amplia copa aporta materia orgánica y nutrientes, especialmente nitrógeno, y favorece el balance hídrico (Serra, 1997).

Barros y Wrann (1992) destacan el uso como forraje, tanto de frutos como de hojas, de *Prosopis tamarugo*, *P. chilensis*, *P. flexuosa* y *P. alba*. Ortiz (1966) menciona también el empleo de las vainas de los algarrobos en el norte chileno como alimento para el ganado, dado su gran valor energético, y Aedo (2007) comenta los buenos resultados obtenidos en estudios realizados en Chile, al utilizar vainas de algarrobo en la alimentación de cabras, ovejas, pollos y otros animales.

Estas formaciones naturales han sido también fuertemente reducidas por la habilitación de terrenos para uso agrícola, poniéndose así a la especie en peligro de extinción (Pinto y Riveros, 1989, citados por Caro *et al.*, 1991). Medina (1941, citado por Looser, 1962) comentaba al respecto que “*actualmente la cantidad de algarrobos ha disminuido mucho; los llanos de Colina y Batuco poco a poco se han raleado, sucediendo igual cosa en Polpaico*”.

Según Valdivia y Romero (2013) la destrucción de los algarrobos y de los espinos (*Acacia caven* (Mol.) Mol.), especies que conforman el Bosque Espinoso Adulto, comenzó con la penetración española, durante la conquista y colonización por el norte de Chile, con un fuerte y creciente consumo de la madera con fines dendroenergéticos, siendo numerosos individuos talados, quemados o desprovistos de ramas provocando pérdidas directas e indirectas en la masa poblacional debido a la destrucción total o parcial de los individuos.

Agregan también que la depredación de semillas y plántulas por animales silvestres (conejos) y domésticos (ganado bovino y caprino) también ha contribuido a la degradación del algarrobo y reestructuración del bosque espinoso de la zona central del país, ya que a diferencia del espino y el tamarugo, el paso de las semillas de algarrobo por el tracto digestivo de los animales, actuaría como una limitante en su capacidad germinativa.

Bajo las circunstancias descritas, hoy la especie se encuentra habitualmente en forma combinada con cultivos de frutales y viñas, además de su uso extensivo con fines ganaderos, en general para ganado vacuno.

VALOR FORRAJERO Y CAPACIDAD DE CARGA ANIMAL

La información sobre rendimientos en frutos y hojas de las formaciones de *Prosopis* y sobre su capacidad de sostener carga animal es escasa y muy variable, dado que la producción está gobernada por diversos factores, principalmente la ubicación de las formaciones naturales o plantadas, la edad de los árboles, la densidad de la formación y la especie en particular, y a esto se suma la vecería (“añerismo”) característica de estas especies.

Prosopis tamarugo

Los árboles de tamarugo producen abundante forraje que es apetecido por el ganado ovino, bovino y caprino. La contribución de energía del tamarugo es similar a la del rastrojo de cereal y la contribución de proteína es muy similar a las del heno de trébol, grano de avena y salvado de trigo. El fruto contiene 91,6% de materia seca, 7,8% de materia orgánica, 10,5% de proteínas totales, 29,7% de fibra cruda, 0,46% de extracto etéreo, 3,8% de cenizas y el extracto de N libre es de 47,1%. En cuanto al valor nutritivo, el tamarugo es un buen alimento, ya que contiene aproximadamente un 5% de proteína cruda digestible y el total de nutrientes digestibles alcanza a 55% (FAO, 2000)

El proyecto iniciado por CORFO en los años 60 del siglo pasado en la Pampa del Tamarugal contemplaba una carga animal de 4 a 10 ovejas ha⁻¹.

Latrille y García (1968, citados por Serra, 1983) estimaron que el rendimiento en hojas y frutos de tamarugo es de 1 kg m⁻² de proyección de copa en árboles adultos, lo que permitiría alimentar 3,5 ovejas ha⁻¹.

Orwa *et al.* (2009) indican que el tamarugo produce un forraje palatable para ovejas, vacunos y cabras, pudiendo mantener una carga de hasta 26 ovejas por hectárea.

Las últimas plantaciones en la Pampa del Tamarugal fueron efectuadas por CONAF entre los años 1983 y 1986, y en el año 1984 se puso en práctica un sistema de aprovechamiento de talaje, que consistió en arrendar parcelas de 100 ha, en las cuales se admitía un talaje de 100 ovejas, o bien 50 cabras. Al año 1997 existían 58 arrendatarios, que ocupaban una superficie de 18.500 ha.

El valor de carga animal involucrada, de 1 oveja ha⁻¹, es inferior al que se contemplaba en el proyecto inicial de CORFO debido a que los resultados de las plantaciones fueron menores a los esperados, con supervivencias inferiores al 75% y presencia de enanismo en algunos ejemplares, entre otros factores.

Galera (2000) indica que el ganado ovino requiere forraje de mayor calidad que el que necesita el ganado caprino y que el tamarugo puede ser un buen alimento para caprinos, pero incompleto para ovinos. CORFO (1984) sugiere que se complemente con otro forraje para construir una dieta equilibrada para ovinos y caprinos durante los periodos más exigentes, como final de preñez y comienzos de lactancia, el complemento sugerido es de 400 g de heno de alfalfa diario por animal durante los últimos 45 días de embarazo y los primeros 45 de lactancia.



Figura N° 1
PLANTACIONES DE *Prosopis tamarugo* PAMPA DEL TAMARUGAL REGIÓN DE TARAPACÁ

También, en ensayos posteriores, se encontró que la suplementación de la dieta de ovejas, de la raza merino precoz francés, con vitamina A da excelentes resultados, logrando disminuir las tasas de mortalidad por causa desconocida y mejorar la fertilidad (Montes, 1984).

El consumo de hojas es notoriamente más bajo que el de frutos, las primeras tienen un valor nutritivo mayor, pero son menos palatables. La carga animal que puede soportar una hectárea de tamarugo en plena producción, la que se logra a los 15 años de la plantación, supera normalmente la carga animal de una pradera natural (FAO, 2000).

Martínez (1998) y Orwa *et al.* (2009) señalan que el tamarugo constituye además un interesante potencial para la producción de miel.

En el año 1991, la Corporación Nacional Forestal (CONAF) realizó un primer manejo de mejoramiento productivo, mediante podas para lograr el rejuvenecimiento de los individuos y aumentar la producción frutal en la Reserva Nacional Pampa del Tamarugal (CONAF, 1997).

Con este programa de manejo forestal sustentable, luego de cuatro años de trabajo, se ha logrado regenerar más de 1.600 ha de *Prosopis* en la reserva, lo que se logró con la activa participación de las comunidades aledañas, quienes convierten los residuos del manejo en carbón y leña certificada, que pueden comercializar, aumentando con ello los productos que se pueden generar en este sistema manejado sustentablemente (CONAF, 2015).

INFOR (1964) hace una prospección de las plantaciones de tamarugo en la Pampa del Tamarugal y, mediante un muestreo de frutos y hojas caídas bajo la copa de los árboles, estima en un promedio de 3 kg m⁻² de proyección de copa el material producido en plantaciones de 30 años de edad y en 1,8 kg m⁻² de proyección de copa el material producido en plantaciones de 18 años de edad.

En este estudio de INFOR (1964) se determina que el 50% del peso de material corresponde a frutos lo que daría un rendimiento medio en frutos de 1,5 y 0,9 kg m⁻² de proyección de copa para plantaciones de 30 y 18 años, respectivamente.

En términos generales se estima la caída de frutos en 2,7 t ha⁻¹ y esta producción, suponiendo que un ovino consume unos 650 kg de frutos al año, indicaría que la posible carga animal ovina sería de 4,2 cabezas ha⁻¹. El mismo estudio determina también algunos parámetros de rodal registrando altura, diámetro de copa y área de proyección de copa para distintas edades (Cuadro N° 3).

Sobre la base de la información de rodal para diferentes edades del Cuadro N°3, INFOR (1964) concluye que el espaciamiento de plantación no debe ser inferior al diámetro de copa a los 8 a 9 años de edad (unos 6 m), cuando aproximadamente se inicia la fructificación, ni superior al diámetro máximo de copa de árboles maduros, que en plantaciones 30 a 40 años de edad es cercano a los 15 m.

Cuadro N° 3
ALTURA, DIÁMETRO DE COPA Y ÁREA DE PROYECCIÓN DE COPA SEGÚN EDAD
PLANTACIONES DE TAMARUGO PAMPA DEL TAMARUGAL

Edad (años)	Altura (m)	Diámetro Copa (m)	Cobertura Copa (m ²)
5	5,0	4,0	12
10	8,0	6,5	33
15	9,5	8,0	50
20	10,5	9,5	67
25	11,0	10,5	84
30	11,0	11,5	100
35	11,5	12,0	113
40	12,0	12,5	125

(Fuente: INFOR, 1964)

Elgueta y Calderón (1971) analizan un conjunto de parcelas experimentales de 9 a 37 años de edad establecidas en plantaciones de tamarugo en la Pampa del Tamarugal, los espaciamientos de plantación son de 6 x 7 a 20 x 20 m, la profundidad de la napa subterránea de 4 a 10 m y la salinidad del suelo de 750 a 3.000 mg L⁻¹, y obtienen los resultados resumidos en el Cuadro N° 4.

Los autores indicados obtienen para una muestra de árboles de diferentes edades y espaciamiento de plantación un rendimiento promedio en frutos de 0,6 kg m⁻² de proyección de copa. Respecto de los resultados obtenidos del conjunto de parcelas experimentales, estos resultan algo dispares, pero se puede apreciar que la salinidad del suelo y la profundidad de la napa freática, dentro de los rangos indicados en el Cuadro N° 4, no tienen una incidencia en los rendimientos y si la tienen la edad y el espaciamiento de plantación.

En lo que se refiere al espaciamiento de plantación, parece adecuado un espaciamiento cercano a los 13 x 13 m, que correspondería aproximadamente al diámetro máximo de copas en árboles adultos.

Cuadro N° 4
RENDIMIENTO EN MATERIAL CAIDO BAJO LA COPA SEGÚN EDAD Y ESPACIAMIENTO DE PLANTACIÓN

Edad (años)	Espaciamiento (m)	Densidad (árb ha ⁻¹)	Salinidad Suelo (mg L ⁻¹)	Profundidad Napa (m)	Frutos	Hojas	Total
					(t ha ⁻¹)		
9	10 x 15	67	750	6	0,02	0,78	0,80
	7 x 7	204	3.000		0,11	6,87	6,98
14	8 x 4	312	1.500	6	3,84	5,01	8,85
	10 x 10	100	1.500	4	2,06	3,00	5,10
18	6 x 7	238	1.500	6	0,71	5,19	5,90
22	12,5 x 12,5	64	1.500	6	2,23	2,63	4,86
23	20 x 20	25	2.000	10	1,89	1,12	3,01
32	15 x 20	33	1.500	10	1,99	1,88	3,88
	20 x 20	25	2.000	8	2,88	1,02	3,90
37	20 x 20	25	1.750	10	2,38	2,56	4,96

(Fuente: Elgueta y Calderón, 1971)

A los 22 años de edad la plantación establecida a 12,5 x 12,5 m genera 2,23 t fruto ha⁻¹ y, con iguales supuestos que los empleados por INFOR (1964), soportaría una carga animal ovina de 3,4 cabeza ha⁻¹. En espaciamientos mayores, como 15 x 20 m y 20 x 20 m, se requerirían 10 años más para igualar o superar esta capacidad de carga animal.

Esto considera solo el consumo de frutos caídos, no considera el forraje adicional dado por un peso similar de hojas caídas y por ramoneo de ramas bajas.

Barros y Wrann (1992) dan valores de producción de frutos de 35 a 42 kg árbol⁻¹ para plantaciones de tamarugo en la Pampa del Tamarugal a una densidad de 54 arb ha⁻¹, lo que conduce a 1,9 a 2,3 t ha⁻¹ y a una posible carga ovina de 2,9 a 3,5 cabezas ha⁻¹.

Prosopis alba

FAO (2000) da información sobre algarrobo (*P. alba*) en Argentina y otros países e indica que los frutos presentan 89,8% materia seca, 11,7% proteínas, 4,3% lípidos, 12,5% fibra bruta, 4,8% cenizas y 66,7 hidratos de carbono, y que la digestibilidad es de 62%.

Respecto de la producción de frutos la información es escasa. Barros y Wrann (1992) señalan para la especie en plantaciones en la Pampa del Tamarugal, con una densidad de 38 arb ha⁻¹, 10 a 29 kg árbol⁻¹, lo que conduce a 0,4 a 1.1 t ha⁻¹ y a una posible carga ovina de 0,58 a 1,7 cabezas ha⁻¹.

FAO (2000) señala que los frutos de *P. alba* pueden ser empleados como forraje en el bosque o se los puede almacenar por algún tiempo para épocas críticas. El bosque puede soportar una carga ovina de 100 kg peso vivo ha⁻¹, aproximadamente 2 cabezas ha⁻¹, suponiendo hembras adultas.

Prosopis chilensis

Los frutos de *P. chilensis* presentan 10,1% de materia seca, 9,1 de proteínas, 2,35% de lípidos, 10,9% de fibra bruta, 5,2% de cenizas y 72,5% de hidratos de carbono, son utilizables tanto en alimentación humana como animal, tienen buena digestibilidad, pueden ser consumidos directamente o almacenados para épocas críticas y en algunas regiones son procesados obteniéndose harinas y otros derivados (FAO, 2000).

FAO (1997) indica que un árbol adulto puede producir hasta 100 kg de frutos, sin embargo esta producción no es regular, depende de la edad, la ubicación y otros factores, y estima una producción media de 30 a 40 kg de frutos por año.

Fuentes (1998, citando a Vásquez *et al.*, 1991) señala que la producción de frutos es muy variable; 30 a 40 kg árbol⁻¹ y en otros lugares menos de 10 kg árbol⁻¹. Por su parte Sáez (2006, citando a Serra, 1977) comenta que se han observado árboles que producen 10 a 200 kg de frutos.

INFOR (2014) en la comuna de Calle Larga de la región de Valparaíso determinó que en situación de laderas de secano existe un promedio de 2,8 arb ha⁻¹, principalmente integrados a sistemas agroforestales (viñas), y la productividad promedio por árbol alcanza los 6,13 kg de frutos m⁻² de proyección de copa. Si se supone un diámetro de copa de 10 m, la producción por árbol sería de uno 480 kg, equivalente a 1,34 t fruto ha⁻¹. Aplicando un cálculo similar al empleado para tamarugos da una posibilidad de carga ovina de 2,1 cabezas ha⁻¹.

Tampoco se considera en este caso forraje dado por hojas caídas y eventual ramoneo de ramas. Sin embargo, en este caso existen también pastos naturales y materiales vegetales de desecho del sistema agrícola, de modo que la carga de 2,1 cabezas ha⁻¹ es adicional a la que pueda entregar la pradera natural y los desechos.

Cabe destacar que los algarrobos que crecen al interior de cultivos agrícolas poseen mayor producción de frutos por árbol, pero menor presencia de árboles por unidad de superficie. La buena producción de frutos se explica porque los algarrobos reciben los beneficios del manejo de cultivos intensivos, contando con riego y aplicación de fertilizantes durante todas las temporadas.



Figura N° 2
PLANTACION DE *Prosopis chilensis* LAS CARDAS REGIÓN DE COQUIMBO

En el mismo estudio (González, 2013) se ubica y caracteriza estas formaciones y se estima su producción de frutos, la cual, empleando una vez más el cálculo anterior, permite estimar la capacidad media de carga animal (Cuadros N° 5).

Cuadro N° 5
PARÁMETROS DE RODAL Y PRODUCCIÓN DE FRUTOS *Prosopis chilensis*
PROVINCIA DE CHACABUCO, REGIÓN METROPOLITANA

Tipo Formación	Densidad (arb ha ⁻¹)	Altura (m)	DAP (cm)	DCopa (m)	Producción Frutos		Capacidad Carga Ovina (Cabezas ha ⁻¹)
					(kg arb ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	
Natural	28	5,7	19,9	7,9	15	420	0,65
Asociada a Cultivo Agrícola	1	9,2	44,6	10,5	61	61	0,01
Protección	12	7,7	23,0	10,8	15	180	0,28
Plantación*	254	4,4	7,1	3,5	2	508	0,78
Urbano	16	7,1	17,7	6,7	5	80	0,12

(Fuente: Modificado de González, 2013)

*Incluye cortinas cortavientos

Se debe considerar el empleo habitual de algarrobo como forraje complementario, especialmente en meses de mayor escasez, por periodos de 3 semanas hasta 1,5 meses cada año, para lo cual se recogen los frutos para ser almacenados y utilizados según necesidad (Guillermo Trivelli⁴, Comunicación Personal), lo que también podría realizarse de árboles asociados a cultivos agrícolas (anuales o frutales).

⁴ Agricultor provincia de Chacabuco

Esta situación ya había sido reportada por Contreras (1983) quien, citando a *National Academy of Sciences* (1979), indicaba que los frutos o vainas eran recogidas y almacenadas para luego ser utilizadas como alimento del ganado por uno o dos meses en el año, con un valor alimenticio comparable al de la cebada y el maíz.

Serra (1997) reafirma igual idea, indicando que los frutos del algarrobo pueden ser consumidos directamente por el ganado o ser almacenados con el fin de complementar la dieta de los animales en épocas críticas (invierno y primavera).

RESULTADOS

Ocurren naturalmente en el país seis especies del género *Prosopis*, dos de ellas endémicas:

Tamarugo (*P. tamarugo*). Especie endémica que se distribuye entre las regiones de Arica y Antofagasta.

Churqui (*P. burkartii*). Especie endémica, región de Tarapacá

Retortón (*P. strombulifera*). Especie nativa, regiones de Arica a Atacama.

Algarrobo o algarrobo blanco (*P. alba*). Especie nativa, regiones de Arica a Antofagasta.

Algarrobo o algarrobo dulce (*P. flexuosa*). Especie nativa, regiones de Arica a Coquimbo.

Algarrobo chileno (*P. chilensis*). Especie nativa, regiones de Atacama a Metropolitana.

Las más importantes de estas especies, dadas su distribución y frecuencia, y su hábito arbóreo, con alturas de 10 m y más, son *Prosopis tamarugo*, *P. alba* y *P. chilensis*, las tres restantes son de menor frecuencia o distribución más restringida y de hábito más bien arbustivo.

Las especies del género cubren en el país una superficie total de unas 52 mil hectáreas entre las regiones de Arica y Metropolitana, correspondiendo aproximadamente la mitad de esta superficie a bosques nativo y la mitad a plantaciones.

Las formaciones nativas de *Prosopis tamarugo* se ubican fundamentalmente en la región de Tarapacá, las de *P. alba* en la región de Antofagasta y las de *P. chilensis* entre las regiones de Coquimbo y Metropolitana, principalmente en esta última y muy concentradas en la provincia de Chacabuco al norte de Santiago.

Las plantaciones en tanto están fuertemente concentradas en la Pampa del Tamarugal en la región de Tarapacá, con más de 20 mil hectáreas de *P. tamarugo* y más de 3 mil hectáreas de *P. alba*, establecidas mayoritariamente por CORFO en los años 60 y 70 del siglo pasado.

Se trata de especies leguminosas, formadoras y mejoradoras de suelos dado su aporte de materia orgánica y su capacidad de fijar nitrógeno. De ellas se puede obtener madera para ciertos usos, leña y carbón, tienen una buena aptitud melífera y producen abundante fruto y follaje valiosos para la alimentación de ganado, principalmente ovino y caprino, lo que las constituye en un importante recurso, el único en muchos casos, para las comunidades rurales de grandes áreas de las zonas áridas y semiáridas del centro y norte del país.

El valor forrajero de los frutos de estas especies es bueno, aunque se sugieren para ovinos y caprinos, principalmente para los primeros, ciertos complementos de heno y de vitamina A durante los períodos de preñez y lactancia. Las hojas presentan un mayor valor forrajero, pero una menor palatabilidad, razón por la cual los sistemas silvopastorales en tamarugos y algarrobos se basan en los frutos.

Respeto del crecimiento, no hay información disponible para *Prosopis chilensis* y *P. alba*, pero *P. tamarugo* en la Pampa del Tamarugal, en ausencia de lluvias y con napas freáticas hasta a 20 m de profundidad, a los 10 años de edad puede alcanzar buena producción de frutos, con alturas de 8 m y diámetros de copa de 6,5 m (INFOR, 1964).

En lo referente a la producción de frutos y la capacidad de carga animal, la información disponible de diversas fuentes es muy variable. Como se indicó, depende principalmente de la especie, la edad y la densidad de la formación.

Distintos autores señalan cifras variables en materia de producción de frutos y capacidad de carga para tamarugo:

El programa desarrollado por CORFO en la Pampa del Tamarugal contemplaba una carga ovina de 4 a 10 cabezas ha⁻¹.

Latrille y Garcia (1968, citados por Serra, 1983) indican una producción de frutos de 1 kg m⁻² de proyección de copa y una capacidad de carga ovina de 3,5 cabezas ha⁻¹.

Orwa *et al.* (2009) indican que la capacidad de carga ovina puede ser de hasta 26 cabezas ha⁻¹.

CONAF en un programa de arriendo de parcelas de 100 ha para las comunidades locales iniciado en 1984, acepta una carga ovina de 1 cabeza ha⁻¹.

INFOR (1964) estima en términos generales la caída de frutos en 2,7 t ha⁻¹ y una carga ovina de 4,2 cabezas ha⁻¹ asumiendo un consumo de 650 kg cabeza⁻¹ año⁻¹.

Elgueta y Calderón (1971) indican que en una plantación de 22 años de edad, establecida con un espaciamiento de 12,5 x 12,5 m, la caída de frutos es de 2,23 t ha⁻¹ y estiman la carga ovina en 3,4 cabezas ha⁻¹.

Elgueta y Calderón (1971) obtienen los resultados mencionados de una muestra de árboles de diferentes edades (9 a 37 años) y espaciamientos de plantación (6 x 7 a 20 x 20 m), señalan que el rendimiento promedio en frutos de 0,6 kg m⁻² de proyección de copa y comentan que la salinidad del suelo (750 a 3.000 mg L⁻¹) y la profundidad de la napa freática (4 a 10 m), no tienen una incidencia en los rendimientos, pero sí la tienen la

edad y el espaciamiento de plantación. Indican que parece adecuado un espaciamiento cercano a los 13 x 13 m, que correspondería aproximadamente al diámetro máximo de copas en árboles adultos.

Barros y Wrann (1992) dan valores de producción de frutos de 35 a 42 kg arb⁻¹ para plantaciones de tamarugo en la Pampa del Tamarugal, a una densidad de 54 arb ha⁻¹, lo que conduce a 1,9 a 2,3 t ha⁻¹ y a una posible carga ovina de 2,9 a 3,5 cabezas ha⁻¹.

Escasa es la información disponible sobre producción de frutos para *Prosopis alba*, solo algunos datos proporcionados por Barros y Wrann (1992) en la Pampa del Tamarugal y por FAO (2000) en Argentina:

Barros y Wrann (1992) señalan para plantaciones en la Pampa del Tamarugal, con una densidad de 38 arb ha⁻¹ y una producción de 10 a 29 kg arb⁻¹, una posible carga ovina de 0,58 a 1,7 cabezas ha⁻¹.

FAO (2000) indica una carga ovina aproximada de 2 cabezas ha⁻¹.

Para *Prosopis chilensis* la información disponible sobre producción de frutos es también muy variable. Los rendimientos son menores que los registrados para tamarugo.

De acuerdo a los antecedentes dados por González (2013) las formaciones naturales presentes en la región Metropolitana son de baja densidad (28 arb ha⁻¹) y la producción media de frutos llega a solo 15 kg arb⁻¹. Suponiendo iguales consumos que para tamarugo, este rendimiento ofrece una capacidad de carga ovina de 0,65 cabezas ha⁻¹.

No existe información sobre las 1.139 ha de plantaciones de *P. chilensis* en la región de Coquimbo mencionadas por Barros (2010), sobre los prendimientos obtenidos y la densidad actual y mucho menos sobre la producción de frutos. Es probable que la mayor parte de estas plantaciones se haya perdido si no se ha contemplado riego inicial y protección contra lagomorfos (conejo y liebres).

Respecto de las plantaciones de *P. chilensis* en la región Metropolitana informadas por González (2013), se trata principalmente de una reducida superficie (aproximadamente 50 ha) plantada por CODELCO⁵, bajo riego con aguas de relave minero y a un espaciamiento cercano a 6 x 7 m, que presentan aún un escaso diámetro de copa (4,6 m). Su producción media de frutos es de 2 kg arb⁻¹ y soportarían una carga ovina de 0,78 cabezas ha⁻¹. No obstante, por tratarse de relaves mineros, habría que analizar la disponibilidad de esas plantaciones para pastoreo y el efecto que el tipo de riego pueda tener sobre la calidad forrajera de los frutos.

Existen en el país áreas de desarrollo agroforestal basadas en el recuso *Prosopis*, la principal y más extensa está dada principalmente por plantaciones de *P. tamarugo* en la Pampa del Tamarugal, región de Tarapacá, la cual, según la información reunida, acepta una carga ovina en torno a 3 cabezas ha⁻¹, y se obtiene además leña, carbón, madera para ciertos usos y alguna producción apícola.

⁵ Corporación Nacional del Cobre

Carevic *et al.* (2012), indican que la reactivación de la agroforestería en dicha zona debe asociarse necesariamente a la recuperación de masa boscosa mediante actividades de reforestación, debido a la utilización casi exclusivamente de frutos de especies del género *Prosopis* en las actividades ganaderas de la zona.

También sobre la base de tamarugo hay desarrollos agroforestales menores en Quillagua y en San Pedro de Atacama, región de Antofagasta, tradicionales de estas zonas y de antigua data, en donde se integran las formaciones de tamarugo con ganadería ovina, caprina y de algunos camélidos, y con cultivos agrícolas, como alfalfa y otros. En ellos se menciona el uso de los frutos en pastoreo y también como material almacenado para épocas críticas, pero no se indican rendimientos.

Respecto de *Prosopis alba*, la información es escasa, pero existen superficies de plantaciones de importancia en la Pampa del Tamarugal (más de 3.000 ha), región de Tarapacá, que han sido integradas con crianza ovina y que probablemente al menos en parte están bajo este uso actualmente dentro del sistema de arriendo de parcelas a comunidades locales de esta Reserva Nacional, y de formaciones nativas en la región de Antofagasta (más de 2.000 ha). La capacidad de carga ovina en estas formaciones, según FAO (2000) podría estar en unas 2 cabezas ha⁻¹. La especie indudablemente requiere de mayor estudio, pero dadas las superficies existentes de este recurso y sus ubicaciones, debieran ser propiciados sistemas agroforestales sostenibles basados en él.

En cuanto a *Prosopis chilensis*, no hay zonas localizadas de desarrollo agroforestal basado en las formaciones naturales de algarrobo, pero existe una tradicional ganadería extensiva, principalmente de caprinos, en las regiones de Coquimbo y Metropolitana, regiones en las que la posibilidad de carga dada por las formaciones de *Prosopis* es adicional a la que puede ofrecer la vegetación menor y la pradera natural.

No obstante, en estas regiones hay comunas en las que podrían propiciarse desarrollos agroforestales sostenibles dados los recursos existentes. Barros (2010) entrega superficies de formaciones naturales de algarrobo por comunas, destacando Alto del Carmen (431 ha), en la región de Atacama; Monte Patria (1.939 ha) y Combarbalá (2.061 ha), en la región de Coquimbo; y Calle Larga (1.229 ha), en la región de Valparaíso. González (2013) por su parte destaca las comunas de Til Til (6.246 ha), Lampa (1.256 ha) y Colina (4.326 ha), en la región Metropolitana.

Es recomendable entonces que se incluya a las especies principales de *Prosopis* en las estrategias de desarrollo regional y en políticas de fomento destinadas a su recuperación y a fines de protección de suelos, alimentación y protección del ganado, en pequeñas propiedades agrícolas y comunidades locales de la zona norte y central de Chile, de manera de permitir incluso establecer cultivos de algarrobo bajo un manejo intensivo y generar interesantes volúmenes de follaje y frutos que permitan emprendimientos locales.

Con la recolección de las experiencias pasadas y de sus resultados se espera contribuir en la promoción de intervenciones adecuadas, de manera de frenar el curso de degradación que presenta este género botánico y lograr un grado de productividad que permita sostener sistemas agroforestales que se han mantenido a lo largo de la historia en estas regiones y que podrían volver a convertirse en parte de las actividades de la población establecida en estos territorios.

CONCLUSIONES

Es posible concluir que las especies de *Prosopis* son una buena fuente de alimento para el ganado. Tamarugo y algarrobo (*P. alba*) en las regiones del norte como especies vegetales principales, dado que la vegetación menor en estas regiones es marginal (solo algunas especies de los géneros *Atriplex*, *Tessaria* y otros). Algarrobo (*P. chilensis*) en tanto, más al sur, como complemento a la pradera natural.

Se trata de recursos valiosos, en especial en pequeñas propiedades y comunidades, que pueden ser manejados en el caso de las formaciones naturales o se pueden establecer plantaciones para desarrollar sistemas agroforestales que brinden protección y alimento al ganado, generen madera, leña y carbón, y en los cuales, según las características sociales y de sitio, se puedan integrar además componentes agrícolas, apícolas y otras, incluso de productos derivados para alimentación humana.

Considerando todo el recurso *Prosopis*, que alcanza a 52 mil hectáreas, y las posibles capacidades de carga ovina de las plantaciones de tamarugo y algarrobo (*P. alba*) de las regiones del norte y aquellas de las formaciones naturales de algarrobo (*P. chilensis*) de las zonas semiáridas más al sur, es posible asignar una capacidad de carga media de al menos una cabeza por hectárea, basada solo en la producción de frutos de estas especies, sin considerar el ramoneo de ramas bajas, la caída de hojas (peso equivalente a la caída de frutos) ni lo que aporta la vegetación menor y la pradera natural en el segundo caso, lo que representa un potencial de pastoreo extensivo de al menos 52 mil cabezas ovinas, cifra más que interesante para las zonas áridas y semiáridas del país.

La asociatividad puede ser un elemento clave para el manejo de los sistemas agroforestales y para la comercialización de lana, carne y otros productos, incluso entre quienes arriendan talaje en las regiones del norte, pero particularmente importante entre pequeños propietarios y comunidades agrícolas de las regiones de Coquimbo y Metropolitana, y muy en especial en comunas como Monte Patria y Combarbalá, en la primera, y Colina y Til Til, en la segunda. Comunas que, siguiendo el raciocinio anterior, podrían mantener planteles ovinos de 2.000 cabezas cada una, las de la región de Coquimbo, y sobre 4.000 cabezas cada una, las de la región Metropolitana.

Existe una cierta asociatividad informal para el manejo del ganado, principalmente en la región de Coquimbo, dada por la práctica comunitaria de la trashumancia. Las majadas y otros rebaños son llevados en la época estival a veranadas cordilleranas que constituyen una buena fuente de forraje temporal cuando este escasea en los valles y zonas bajas debido al período seco estival.

La capacidad de carga de las formaciones naturales de algarrobo (*P. chilensis*) es baja debido a la escasa densidad de estas formaciones, que han estado bajo fuertes presiones para la obtención de leña, habilitaciones de terrenos para uso agrícola y sobre utilización en general, y debido a la falta de manejo silvícola que pueda asegurar su conservación y mejorar su producción.

Se requiere sin duda de investigación para el manejo de estas formaciones naturales y, muy especialmente, para la creación de nuevos recursos mediante plantaciones.

Para tamarugo y algarrobo (*P. alba*) en las regiones del norte fue desarrollada la tecnología silvícola adecuada para el establecimiento de plantaciones; pretratamiento de semillas y producción de plantas en macetas profundas, plantación con remoción de la costra de sal que cubre el suelo, de bastante espesor en algunos casos, y riego inicial por algunos meses hasta que las raíces llegaran a las napas freáticas. Sin embargo, escaso fue el desarrollo silvícola para el posterior manejo de estas plantaciones y para las formaciones naturales que existen en estas regiones.

Para algarrobo (*P. chilensis*), más al sur, se requiere de investigación para el manejo de las formaciones naturales y principalmente para el establecimiento y manejo de plantaciones. Los pretratamientos de semillas y el proceso de viverización de plantas son ya conocidos, pero para el establecimiento de plantaciones se haría necesario adecuar para la zona semiárida y para la especie las técnicas intensivas de establecimiento desarrolladas por INFOR para eucaliptos en la zona central y sur, que incluyen una fuerte preparación de suelos, control de competencia y fertilización inicial. Las plantaciones deben ser completamente excluidas de ganado hasta cierta edad y en las áreas a plantar deben ser evaluadas y, en caso necesario, reducidas drásticamente las poblaciones de lagomorfos en forma previa.

Estas plantaciones deben ser planificadas para constituir sistema agroforestales, silvopastorales principalmente, cubriendo superficies completas, a espaciamientos de plantación adecuados; para constituir bosquetes de abrigo que cubran parcialmente la superficie; o para establecer cortinas cortavientos perimetrales en sectores agrícolas.

Factores determinantes para iniciar procesos de repoblación con algarrobo (*P. chilensis*) en las regiones de Coquimbo, Valparaíso y Metropolitana son sin duda la investigación, la asociatividad de pequeños y medianos propietarios y comunidades, una apropiada política de asistencia técnica y fomento estatal, y una adecuada selección de áreas a forestar en una primera etapa, en las que puedan encontrarse algunas condiciones hídricas favorables, como laderas bajo canal o sectores con napas freática relativamente superficiales.

Comentario aparte requiere la situación de conservación de algarrobo (*P. chilensis*), que aun cuando es una especie considerada como vulnerable en las categorías de conservación que reconoce la ley y que es la especie del género de mayor representatividad y distribución, no cuenta con representación dentro de las unidades del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado.

REFERENCIAS

Aedo, R., 2007. Factibilidad técnico-económica de generar productos alimenticios a partir del fruto de Algarrobo Chileno (*Prosopis chilensis* Mol. Stuntz) para la alimentación humana o animal. Tesis para optar al Grado de Licenciado en Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 94p.

Altamirano, G., 2012. Variedad de frutos y semillas en las especies del género *Prosopis* presentes en Chile. Corporación Nacional Forestal. Chile. Documento Técnico N°208. 12 p.

Arce P. y Balboa, O., 1988. Some Aspects of the Biology of *Prosopis* Growing in Chile. In: The current state of knowledge on *Prosopis juliflora*. II International Conference on *Prosopis*: Recife, Brazil, 25 - 29 August, 1986. Pp: 313-319.

Barros, S. y Wrann, J., 1992. El género *Prosopis* en Chile. Ciencia e Investigación Forestal, CIFOR, V.6 (2). Pp: 295-334

- Barros, S., 2010.** El Género *Prosopis*. Valioso Recurso Forestal de las Zonas Áridas y Semiáridas de América, África y Asia. En Ciencia e Investigación Forestal. Vol. 19 N° 1. Abril 2010. Instituto Forestal, Chile.
- Bernuy, E., 2003.** Incorporación de harina y de fibra purificada del fruto de algarrobo *Prosopis chilensis* (Mol) Stuntz en el desarrollo de galletas. Tesis de Magíster en Ciencias Agropecuarias, Mención Producción Agroindustrial. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 82 p.
- Briones, L., 1984.** Visión retrospectiva antropológica del *Prosopis*. In: Habit, M. (Ed), Estado Actual del Conocimiento sobre *Prosopis tamarugo*, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FA), Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Arica, Chile. pp. 51-53.
- Caro, W.; Pinto, M.; Riveros, E., 1991.** Utilización de frutos de algarrobo (*Prosopis chilensis*) para reemplazar la proteína en dietas de conejos de carne. Avances en la Producción Animal. vol. 16 (1-2): 183-188.
- Carevic, F.; Carevic, A. y Delatorre, J. 2012.** Historia natural del género *Prosopis* en la Región de Tarapacá. Idesia 30(3): 113-117.
- CONAF, 1997.** Plan de Manejo Reserva Nacional Pampa del Tamarugal. Ministerio de Agricultura, Corporación Nacional Forestal, Región de Tarapacá. 138p.
- CONAF, 2015.** Programa Regional de Manejo Forestal Sustentable. Reserva Nacional Pampa del Tamarugal. Disponible en: <http://www.conaf.cl/conaf-en-regiones/tarapaca/progrmas-regionales>.
- Contreras, B., 1983.** Diversidad morfológica en poblaciones de algarrobo (*Prosopis chilensis* (Mol.) Stuntz) en la IV Región. Tesis para optar al Título de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales, Escuela de Ciencias Forestales. Santiago de Chile. 100 p.
- CORFO, 1984.** Valoración Nutricional de Tamarugo y Algarrobo y Perfiles Metabólicos de Ovinos y Caprinos en la Pampa del Tamarugal. In: Habit, M. (Ed.), Estado Actual del Conocimiento sobre *Prosopis tamarugo*, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Arica, Chile. pp. 75-121.
- Elgueta, H y Calderón, S., 1971,** Estudio del Tamarugo como Productor de Alimento del Ganado Lanar en la Pampa del Tamarugal. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 38. 37p.
- FAO, 1997.** *Prosopis chilensis*. In: Especies arbóreas y arbustivas para las zonas áridas de América Latina. Serie: Zonas Áridas y Semiáridas N°12. Santiago, Chile. 347 p.
- FAO, 2000.** El Género *Prosopis* Algarrobos en América Latina y El Caribe. Distribución, Bioecología, Usos y Manejo. En: Las Especies del Género *Prosopis* (Algarrobos) de América Latina con Especial Énfasis en Aquellas de Interés Económico. Recopilación y Elaboración:
Galera, F. M. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/ad314s/AD314S01.htm>
- Fuentes, C., 1998.** Elaboración de galletas con la incorporación de harina de cotiledón de algarrobo sometido a dos tratamientos térmicos. Tesis. Ing. Agrónomo. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. 72p.
- Galera, F.M. 2000.** El género *Prosopis* "algarrobos" en América latina y El Caribe. Distribución, bioecología, usos y manejo. FAO. Córdoba, Argentina.
- Gajardo, R., 1994.** La Vegetación Natural de Chile: Clasificación y Distribución Geográfica. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 165p.
- Gay, C., 1862.** Historia Física y política de Chile. Tomo Primero. 487p.
- González, M. (Ed.), 2013.** Algarrobo. Rescatando una Especie de Alto Valor Histórico. Una Contribución a una Alimentación Sana y al Combate contra la Desertificación. Informe Técnico N° 195, Instituto Forestal, Santiago, Chile. 128p.

- González, M. y Maraboli, F., 1997.** Actividades Proyecto 2402 Agroforestería Sector Tambillo. Departamento Desarrollo y Fomento Forestal, Corporación Nacional Forestal, Región de Antofagasta, Chile. 51p.
- INFOR, 1964.** Posibilidades de Reforestación de la Pampa del Tamarugal. Antecedentes Preliminares sobre el Tamarugo y la Producción de Frutos para Alimento de Ganado. Informe Preparado para la Corporación de Fomento de la Producción. Sección Forestal, Instituto Forestal, Chile. P. 15.
- INFOR, 2014.** Caracterización y evaluación de dos especies del bosque esclerófilo. Caso algarrobo, región de Valparaíso. Documento interno. 13p.
- Looser, G., 1962.** La importancia del algarrobo (*Prosopis chilensis*) en la vegetación de la Provincia de Santiago, Chile. Revista Universitaria 47: 104-116.
- Martínez, B., 1994.** Manejo agroforestal en Quillagua: Una experiencia ejemplar. Chile Forestal N°220: 06-07.
- Martínez, B., 1996.** Situación del género *Prosopis* en la II Región. Con profundas raíces. Chile Forestal n°242: 10-11.
- Martínez, B., 1998.** Propuesta de diseños agroforestales. Ensayos de adaptación de especies forestales. Proyecto FIA/CONAF. In: Actas Primer Congreso Latinoamericano IUFRO: el manejo sustentable de los recursos forestales: un desafío del siglo XXI. 22 al 28 de noviembre 1998, Valdivia, Chile.
- Martínez, B., 2003.** Proposición de un programa de manejo agroforestal para la Reserva nacional Los Flamencos, Sector Tambillo, Toconao, Región de Antofagasta. Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Forestal. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales. Concepción, Chile. 124p.
- Martínez, B.; Martínez, L.; Geró, T. y Ríos, P., 1996.** Caracterización del recurso agroforestal en la Región de Antofagasta. In: Actas Seminario Internacional Forestación y Silvicultura en Zonas Áridas y Semiáridas. 21 al 25 de octubre de 1996. La Serena, Chile. Pp: 220-254.
- McRostie, V., 2014.** Arboricultura y silvopastoralismo en el período formativo (1.400 a.C. – 500 d.C.) de la Cuenca del Salar de Atacama. Chungará, Revista de Antropología Chilena 46(4): 543-557.
- Montes, R., 1984.** Suplementación con vitamina "A" al forraje de ovejas merino precoz francés en la Pampa del Tamarugal. In: Habit, M. (Ed.), Estado Actual del Conocimiento sobre *Prosopis tamarugo*, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Arica, Chile. pp. 383-392.
- Ortiz, G. J., 1966.** Algunos forestales chilenos de la estepa septentrional. Boletín Técnico N°23. Ministerio de Agricultura, Dirección y Agricultura y Pesca, Departamento de Extensión Agrícola. 44p.
- Orwa, C.; Mutua, A.; Kindt, R.; Jamnadass, R. and Anthony, S., 2009.** Agroforestry Database: A tree reference and selection guide version 4.0. Disponible en: <http://www.worldagroforestry.org/sites/treedbs/treedatabases.asp>.
- Pardo, O. y Pizarro, J. L., 2013.** Chile. Plantas Alimentarias Prehispánicas. Ediciones Parina EIRL. Arica, Chile.
- Peralta, M. y Serra, M., 1987.** Caracterización del hábitat natural de las especies del género *Prosopis*, en las Provincias de Huasco y Copiapó, III Región, Chile. Programa Investigación y Desarrollo de Áreas Silvestres Zonas Áridas y Semiáridas de Chile. FO: DO/CHI/83/017. Documento de Trabajo N°9. 121p.
- Sáez, C. 2006.** Estudio de tres métodos de pelado para extracción de cotiledón de algarrobo (*Prosopis chilensis* Mol. Stuntz) y caracterización de la harina obtenida. Tesis para obtener el Grado de Licenciado en Ciencia de los Alimentos. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Ingeniería en Alimentos. Valdivia, Chile. 75p.
- Santander, A., 2003.** Norte Chico (Chile). Consumo de combustibles en el procesamiento de los minerales de cobre y su impacto sobre los recursos arbóreos y arbustivos: 1601-1900. In: Dinámicas de los sistemas agrarios en Chile árido: la Región de Coquimbo. Santiago, Chile. Pp: 159-177.
- Serra, M. T., 1983.** Árboles y arbustos forrajeros de Chile. In: Actas del "Encuentro del estado de la investigación sobre manejo silvopastoral en Chile". Talca, Chile. pp: 36-56.

Serra, M. T., 1997. Chile. In: Especies arbóreas y arbustivas para las zonas áridas de América Latina. Serie: Zonas Áridas y Semiáridas N°12. Santiago, Chile. 347p .

Valdivia, C. y Romero, C., 2013. En la senda de la extinción: El caso del algarrobo *Prosopis chilensis* (Fabaceae) y el bosque espinoso en la Región Metropolitana de Chile Central. Gayana Botánica 70 (1), versión On-line.

Capítulo 3

SISTEMAS PRODUCTIVOS CON RUMIANTES MENORES EN LA REGIÓN DE COQUIMBO

Raúl Meneses¹

RESUMEN

Como en la mayoría de las regiones de clima mediterráneo el período verano - otoño representa estaciones con restricciones de disponibilidad de forraje para los sistemas productivos ovinos y caprinos de secano. Esta situación se agrava en zonas con mayores restricciones hídricas, en donde además de la variabilidad y disminución de las precipitaciones la conservación de los recursos naturales ha sido de bajo nivel y existe una porción significativa de suelos erosionados.

En la producción de rumiantes menores, durante el verano y otoño se define el nivel productivo del sistema, dado que es la etapa de encaste, preñez y primer período de lactancia, estados fisiológicos con exigencias nutritivas que en zonas áridas y climas mediterráneos son limitantes.

Debido a las necesidades de alimentación de los animales durante estos estados fisiológicos es necesario recurrir a diferentes estrategias de alimentación. La utilización de especies arbustivas y arbóreas como fuente de forraje ha sido una alternativa y para incrementar el potencial biológico del ecosistema se han evaluado diferentes especies arbustiva, como *Atriplex nummularia* y *Acacia saligna*, y se han establecido manejos adicionales que pueden asociativamente mejorar la productividad de este.

Sin embargo, el manejo de estas especies es complejo debido a algunas características de ellas, como la presencia de componentes químicos que limitan el consumo. El exceso de taninos o sales requiere de manejo para evitar su incidencia negativa en la producción (Aganga, *et al.*, 2003).

En el presente capítulo se informa sobre el manejo animal utilizando especies arbustivas como *Atriplex nummularia* y *Acacia saligna* en el sistema productivo.

Palabras clave: *Atriplex nummularia*, *Acacia saligna*, pastoreo ovinos y caprinos, zonas áridas.

SUMMARY

In most of the Mediterranean climate regions summer and autumn seasons are characterized by forage scarcity to sheep and goat based productive systems in non-irrigated lands. The situation is worse in areas with greater hydric restrictions, where in addition to the rainfall variability and reduction soils are overused and eroded.

¹ Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) Intihuasi, La Serena, Chile.

In minor ruminant production systems, during the summer and autumn seasons the system productive level has to be defined because this is the reproduction, pregnancy and lactation stage, physiological conditions when the feeding requirements are a limiting factor in arid zones.

Different feeding strategies have to be adopted during this stage. One of them in Chilean arid lands has been the use of some shrub and tree species as a fodder source to increase the ecosystem potential. Species as *Atriplex nummularia* and *Acacia saligna* have been evaluated and additional management procedures have been established to improve system productivity.

However, some characteristics of those species make complex their management because of chemical components limiting their consumption. High tannins and salt contents impose some management needs to avoid a negative effect on production.

The present chapter is focused on animal management when shrub species like *Atriplex nummularia* and *Acacia saligna* are used in the productive system.

Key words: *Atriplex nummularia*, *Acacia saligna*, Sheep and Goat herding, arid lands.

INTRODUCCIÓN

La región de Coquimbo está localizada entre los paralelos 29° 20' y 32° 15' LS y tiene una superficie aproximada de 4 millones de hectáreas de la cual más del 90% corresponde a un área árida semiárida (Di Castri, 1968). Se estima que existe 1 millón de hectáreas en la franja costera que presenta mayor potencialidad para la producción animal que las áreas interiores (D'Hebes, *et al.*, 1985).

Las precipitaciones son escasas entre 60 a 250 mm con una variación que supera los 30 mm (Gastó, 1966; Meneses y López, 1990). Sin embargo, durante los últimos años las precipitaciones presentan una gran variación. Los meses con más precipitaciones son normalmente junio, julio y agosto.

La región presenta cerca del 80% de sus terrenos erosionados (CIREN, 2010), como consecuencia la disponibilidad de forraje es muy baja y la pradera alcanza su madurez en el mes de septiembre octubre, dependiendo de las precipitaciones en el mes de septiembre e incluso octubre.

De acuerdo al Censo de 2007 existen en la región cerca de 400.000 caprinos y 68.000 ovinos (INE, 2007), ganado que en su gran mayoría, principalmente los caprinos, es manejado en pastoreo libre utilizando la pradera natural y algún recurso suplementario en algunos casos.

Para los crianceros el principal problema es la falta de agua y la consecuente falta de alimento para el ganado. Muchos crianceros intentan resolver esta limitación de forraje de verano mediante la práctica de la trashumancia a sectores cordilleranos chilenos y también argentinos. El Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) en la última estación controló cerca de 60.000 animales que subieron a la cordillera.

Dada la situación de falta de forraje como alimento para caprinos y ovinos, y la alta degradación del ecosistema se iniciaron trabajos de establecimiento de arbustos forrajeros que pudieran ayudar a suplir esta carencia.

El objetivo del presente capítulo es realizar una revisión del establecimiento de arbustos en un sistema de producción caprina.

EVALUACIÓN DE ARBUSTOS

Inicialmente se trabajó con especies arbustivas como *Atriplex nummularia*, *Kochia brevifolia*, *Atriplex repanda*, *Atriplex semibaccata* y otras que fueron evaluados en diferentes sectores de la región, encontrándose que *A. nummularia* y *A. repanda* fueron las que presentaron mejores condiciones para su establecimiento (Gastó y Contreras 1972).

Más tarde, en la comuna de Los Vilos, región de Coquimbo, se evaluó una veintena de arbustos forrajeros, como *Atriplex repanda*, *Atriplex semibaccata*, *Galenia secunda* y *Acacia saligna*, entre otros, obteniéndose los mejores resultados con *A. nummularia*, *A. repanda*, *Acacia saligna* y *Galenia secunda* (Squella *et al.*, 1985). Varias de estas especies, como *A. semibaccata* y *G. secunda*, pueden ser sembradas lo que disminuye los costos de establecimiento (Squella *et al.*, 1986). De hecho, actualmente *G. secunda* se ha establecido en los taludes de la carretera en el norte chico, donde se ha ido distribuyendo como especie naturalizada.

Las primeras plantaciones establecidas fueron *A. repanda* y *A. nummularia*, posteriormente se inició el establecimiento de *A. saligna*. En la actualidad no existen plantaciones de *A. repanda* debido a un sobre pastoreo. En cambio en *A. nummularia* el sobre pastoreo es de menor magnitud debido al contenido de cloruro de sodio que contienen sus hojas, que en parte limita su consumo. Las plantaciones de *A. saligna* en tanto han permanecido debido a que, por su hábito más bien arbóreo, su utilización es mediante la cosecha de sus hojas por los crianceros y no existe, o es muy, reducido el consumo en forma directa (Figura N° 1).



Figura N° 1
COSECHA DE HOJAS DE *A. nummularia*

SISTEMA DE PRODUCCIÓN

Se evaluó un sistema de producción ovina considerando una superficie de 62,5 ha, con una plantación adulta de *Atriplex nummularia* y *A. saligna* establecida a una distancia de plantación 3 x 3 m, representando 28% de la superficie total. La estrata herbácea estaba conformada por especies como *Piptochaetium stipoides*, *Vulpia megalura*, *Avena barbata*, y *Erodium cicutarium*, entre otras.

Lo arbustos forrajeros fueron utilizados en el período verano otoño en el período de encaste de las ovejas. La producción de la estrata herbácea fue de 100 a 1.600 kg ha⁻¹ y 115 a 245 kg ha⁻¹ de materia seca disponible de la pradera arbustiva.

La carga animal utilizada durante 5 años fue de 0,9 ovejas ha⁻¹, la que fue superior a la carga del área evaluada de 0,4 ovejas ha⁻¹ (Meneses *et al.*, 1990). La carga utilizada en el pastoreo de los arbustos fue superior a la recomendada por Wilmot y Norman (2006), quien recomienda una carga de 1,3 oveja ha⁻¹ lo que equivale a 0,78 oveja ha⁻¹ año⁻¹, para evitar que exista residuo que estimula el crecimiento en altura y cambia la proporción hoja tallos, dificultando el ramoneo y la disponibilidad de forraje.

SUPLEMENTACIÓN ALIMENTICIA

Utilización de *Atriplex nummularia*

En el manejo de encaste, último tercio de preñez, esencialmente se requiere alimentación suplementaria para lograr tasas reproductivas deseadas y producción de calostro para fortalecer el crecimiento inicial de las crías y la producción de leche posterior. Debido a que existe una baja presión de pastoreo y baja aceptabilidad se produce un residuo de forraje que no es utilizado y que afecta el crecimiento del material consumible

Se ha observado que el ramoneo de *A. nummularia* incrementa la producción de lana. Esto es atribuido al contenido de sulfatos, presentes en los aminoácidos de la estructura de la lana. Las sales tienen un efecto en el sistema renina-aldosterona causando incremento de la irrigación periférica, incrementando la densidad folicular (Masters *et al.*, 2005a; Ben Salem *et al.*, 2002; Ben Salem *et al.*, 2010).

El heno de *A. nummularia* tiene un contenido de 4,78 y 6,47% de Na y Cl, respectivamente. Estos valores son 36 y 1,6 veces el contenido de estos en el heno de alfalfa y motivan la baja aceptabilidad. La proteína cruda es 20% y la energía metabolizable es 1,99 Mcal kg⁻¹ bMS (Meneses *et al.*, 2012).

Este material fue incluido en una proporción de 0, 10, 20, 30 y 40% mezclado con heno de alfalfa y ofrecido a cabritos. No se observó diferencias en el consumo de materia seca, proteína cruda constituyente de la pared celular y energía metabolizable. Las variaciones de peso cuerpo no presentaron diferencias. El peso cuerpo total disminuye significativamente ($P < 0.05$) con la incorporación *A. nummularia* en la dieta. La incorporación de *A. nummularia* entre 10 a 20% no disminuye consumo de alimento y peso cuerpo (Meneses *et al.*, 2012).



Figura N° 2
HENO DE *Atriplex nummularia*

Utilización de *Acacia saligna*

La *A. saligna* es otra de las alternativas de utilización como suplemento en caprinos para los periodos de escasez de forraje. Este recurso se cosecha cortando las hojas y los tallos del año, para ofrecerlo como forraje verde después del pastoreo.

La composición química de *A. saligna*; 57,0% de hojas 35,9% de tallos y 7,1% de brotes, presenta 14,3 % de proteína cruda, 50% de paredes celulares 1,55 Mcal y una digestibilidad de 55% (Meneses *et al.*, 2013, Meneses y Flores, 1999). Los brotes presentan mayores valores nutricionales y los tallos menores valores. La *A. saligna* contiene compuestos fenólicos que fijan las proteínas por medio del nitrógeno y esto explica la baja digestibilidad.

El forraje de *A. saligna*, entregado como suplemento a hembras de reemplazo en condiciones de pastoreo, no produjo efectos en el peso y condición corporal, en relación a los animales no suplementados. Aunque, adicional al pastoreo, un grupo tuvo acceso a forraje de *A saligna*, por ende debió consumir más nutrientes, pero esto no fue suficiente para mejorar las ganancias de peso de las crías (Meneses y Flores, 1999).



Figura N° 3
CAPRINO CON *A. saligna* EN EL COMEDERO

El consumo promedio diario, calculado en base al alimento consumido y rechazado, de materia seca, proteína cruda, paredes celulares, fibra detergente ácida y energía metabolizable fue de 0,32; 0,040; 0,17; 0,13 kg y 0,547 Mcal kg⁻¹, respectivamente. Asumiendo que las diferencias de peso obtenidas son atribuibles al consumo de *A. saligna*, esta sería de 0,023 kg por día.

Por otra parte, de acuerdo a los requerimientos nutricionales de estos animales, se requieren de 0,0072 Mcal de energía metabolizable y 0,28 g de proteínas por gramo de incremento de peso adicional. En el presente caso, para alcanzar las ganancias de peso promedio diario obtenidas en la evaluación realizada, se requieren solo 0,166 Mcal y 0,0064 kg de proteína cruda, respectivamente.

De estas relaciones se desprende que los animales que consumieron *A. saligna* ingirieron 3,29 y 6,25 veces más de energía metabolizable y proteínas crudas que la necesaria para alcanzar los pesos obtenidos. Según estos valores estimados se establece que la eficiencia de utilización de la energía y la proteína es muy baja y que junto a los valores de digestibilidad de la materia seca evaluada (45,45 %) estarían explicando la falta de respuesta en ganancias de pesos de los animales que consumen *A. saligna* como único alimento suplementario (Meneses *et al.*, 2013). Master *et al.* (2005b) establecen que los animales que consumen *A saligna* se encuentran en balance de nitrógeno negativo.

En caprinos alimentados en estabulación, con diferentes proporciones de *A. saligna* en reemplazo de heno de alfalfa, se obtuvo que el consumo de dietas no fue diferente hasta la incorporación de 50 % de acacia. Mayores proporciones producen un menor consumo de materia seca, que para el caso de acacia sola, e implica un 65,6% del consumo heno de alfalfa. El consumo de proteína y energía metabolizable disminuye con la incorporación de acacia en la dieta. Sin embargo, la condición corporal evaluada mostro diferencias a partir de la incorporación de 50 y 75% después de 42 días de evaluación.

Los pesos de nacimiento de las crías fueron afectados solamente con la dieta con 100% de *A. saligna*. Matemáticamente se calculó, de acuerdo a las respuestas, el punto máximo de inclusión de acacia en 28,8% y 25,9%, para el consumo de materia seca y condición corporal, respectivamente, en el último tercio de preñez.

A diferencia del período de preñez, en la lactancia la ingesta de las dietas se incrementa con la inclusión de acacia, obteniéndose el máximo consumo con la mayor proporción de acacia en la dieta, por lo que se obtiene mayor consumo de fibra, celulosa y lignina, esto último producto de los tallos que contiene el material comestible.

En cambio el máximo consumo de energía y proteína cruda se obtiene con la inclusión de 25% de acacia. Este comportamiento se debe a que en la preñez el espacio abdominal está parcialmente ocupado por el o los fetos, en cambio en la lactancia se libera el espacio, lo que permite consumir mayor cantidad de forraje de acacia. Al calcular matemáticamente el nivel máximo para consumo de materia seca y proteína cruda se obtiene valores de 87,4 y 25,1%, respectivamente.

Los pesos y la condición corporal evaluados durante los 100 días de evaluación no mostraron consistencia, probablemente debido a que las diferencias obtenidas en el peso y la condición corporal cada 7 días no fueron suficientes para que se mostrara un efecto del consumo de acacia. En cambio, el peso y la condición corporal promedio de 100 días de evaluación muestran diferencias significativas. Para el caso del peso, las diferencias estadísticas fueron con inclusión por sobre 50% y para el caso de la condición corporal con inclusión por sobre 25% de acacia.

La evaluación de la ordeña establece para 100 días una producción de leche que estadísticamente fue igual entre la proporción de 0 y 25 % de acacia y diferente a los otros tres niveles. Por otra parte, las inclusiones de 50 y 75% fueron iguales entre si y diferentes a las inclusiones de 0, 25 y 100% de acacia. Los componentes de la leche como sólidos totales, materia grasa, proteína cruda y lactosa no fueron afectados por el consumo de acacia.

CONCLUSIONES

El uso de arbustos forrajeros pueden ser una alternativa de suplementación, resguardando las limitaciones que estos tienen, 10 a 12 % de inclusión para *A. nummularia* y 25% para *A. saligna*, mayores valores establecen limitaciones en la respuesta productiva y siempre es necesario recordar las necesidades de energía de estos animales para no provocar limitaciones en la respuesta productiva

REFERENCIAS

- Aganga, A. A.; Mthetho, J. K. and Tshwenyane, S., 2003.** *Atriplex nummularia* (Oldman Saltbush): A Potential Forage Crop for Arid Regions of Botswana. *Pakistan Journal of Nutrition* 2(2): 72-75.
- Ben Salem, H., Norman, H. C.; Nefzaoui, A.; Mayberry, D. E.; Pearce, K. L. and Revell, D. K., 2010.** Potential Use of Oldman Saltbush (*Atriplex nummularia* Lindl.) in Sheep and Goat Feeding. *Small Ruminant Research* 91:13-28.
- Ben Salem, H.; Atti, N.; Priolo, A. and Nefzaoui, A., 2002.** Polyethylene glycol in concentrate or feedblocks to deactivate condensed tannins in *Acacia cyanophylla* Lindl. Foliage. 1. Effect on intake, digestion and growth by Barbarine Lambs. *Animal Science* 75:127-135.
- CIREN, 2010.** Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile. Región de Coquimbo, Síntesis de Resultados. Centro de Información de Recursos Naturales. En: bibliotecadigital.ciren.cl. (consulta noviembre 2015).
- D'Hebes, J. M.; Mieres, G. y Caviedes, E., 1985.** Diagnostico ecológico de las plantaciones de arbustos forrajeros del genero *Atriplex* en la IV Región. Determinación de índice de sitios de plantación. Informe Final. 143p. Centro de Estudios de Zonas Áridas (CEZA), Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile y CONAF, Santiago, Chile
- Di Castri, F., 1968.** Esquisse écologique du Chile. In: *Biologie de l'Amérique Australe*. CNRS, Paris, France, Tome IV, pp. 7-52.
- Gastó, J., 1966.** Variaciones de las precipitaciones anuales de Chile. Universidad de Chile, Santiago, Chile. *Boletín Técnico* 24: 4-20.
- Gastó, J. y Contreras, D., 1972.** Bioma pratense de la región mediterránea de pluviometría limitada. P 3-29. *Boletín Técnico* N°35. Universidad de Chile.
- INE, 2007.** VII Censo Nacional Agropecuario. 443 p. Instituto Nacional de Estadísticas. Santiago. Chile.
- Masters, D. G.; Norman, H. C. and Barret-Lennard, E. G., 2005a.** Agricultural systems for saline soil: The potential role of livestock. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 18:296-300.
- Masters, D. G.; Rintoul, A. J.; Dynes, E. A.; Pearce, K. L. and Norman, H. C., 2005b.** Feed intake and production in Sheep fed diets high in Sodium and Potassium. *Australian Journal of Agricultural Research* 56:427-434.
- Meneses, R.; Olivares, Y.; Martinoli, M. and Flores, H., 2013.** Feeding effect of *Acacia saligna* (Labill.) H. Wendl. on stabling Goats during late pregnancy and lactation. *Chilean Journal Agricultural Research*. 72(4), 500:505.

Meneses, R.; Varela, G. and Flores, H., 2012. Evaluation of *Atriplex nummularia* Lindl. Utilization on feed intake, growth and carcass characteristics of Creole Kids. Chilean Journal of Agricultural Research. 72 (1), 74-79.

Meneses, R. y Flores, H., 1999. Evaluación de *Acacia saligna* como forraje suplementario para reemplazos y cabras adultas durante el último tercio de preñez y lactancia. Agricultura Técnica (Chile).59 (1):26-34.

Meneses R.; Squella, F. y Crempien, C., 1990. Un sistema de producción ovina para la zona costera mediterránea árida de Chile. II.- Producción animal. Agricultura Técnica (Chile) 50, (3), 252-259.

Meneses, R. y López, J. E., 1990. Caracterización de las precipitaciones anuales. Investigación y Progreso Agropecuario, INIA La Platina, 57: 3 Bajo Condiciones Áridas 9-44.

Squella, F.; Meneses, R. y Gutiérrez, T., 1985. Evaluación de arbustos forrajeros bajo condiciones de clima mediterráneo árido. Agricultura Técnica (Chile) 45 (4) 303-313.

Squella, F.; Gutiérrez, T. y Aedo, N., 1986. Influencia de la época y dosis de siembra sobre el establecimiento y producción de forraje de *Galenia secunda* (L.F) Sond. Agricultura Técnica 46 (3) 349-356.

Wilmot, M. and Norman, H., 2006. Saltbush biomass in saline grazing system-uses it or loses it. In: Adams, N. (ed.) Animal Production in Australia. Proceeding of the Australian Society of Animal Production 26th. Biennial Conference, Perth, Australia. Short Communication N°9.

Capítulo 4

Acacia saligna (Labill) H. Wendl. UN RECURSO FORRAJERO CON POTENCIAL ALIMENTARIO HUMANO

Patricio Rojas¹

RESUMEN

En este capítulo se entregan antecedentes de la especie *Acacia saligna* como leguminosa adaptada a las condiciones edafoclimáticas de la región de Coquimbo, de las plantaciones existentes en la región y del género *Acacia* en el mundo. Se describe la variabilidad genética de las variedades *A. saligna* “*cyanophylla*”, *A. saligna pruinescens* “Tweed River”, *A. saligna lindleyi* y *A. saligna stolonifera* “forestal” y se detallan las características nutricionales como especie forrajera suplementaria para el ganado caprino y ovino.

Además de lo anterior se destaca el potencial alimentario y funcional de las semillas para la elaboración de harinas pre mezclas (5%) para la industria alimentaria conocida como “*Wattleseed o Bushfood*” en Australia. Se menciona, entre otras propiedades de las semillas, el contenido de antioxidantes (valor ORAC de 87.327 μ Moles ET/100g en peso seco), que es mayor que el arándano (*Vaccinium myrtillus*) y el calafate (*Berberis microphylla*). Su componente de proteína, 26-28% es mayor que el de las legumbres que contienen entre 8 a 10%, acercándose solo el poroto de soya que posee cerca de 17%.

La harina de *Acacia saligna* posee además un excelente potencial para poder producir péptidos antihipertensivos a partir de sus proteínas, generando en la harina sin tostar una mezcla de péptidos con una actividad antihipertensiva de 64% de inhibición de la enzima convertidora de angiotensina.

Palabras clave: *Acacia saligna*, forraje, harinas de potencial consumo humano.

SUMMARY

This chapter is related to *Acacia saligna* as a legume species adapted to the soil and climatic conditions of the Coquimbo region, to the existing plantations in the region and to the genus *Acacia* in the world. Genetic variability in its natural range comprise four varieties; *A. saligna* “*cyanophylla*”, *A. saligna pruinescens* “Tweed River”, *A. saligna lindleyi* and *A. saligna stolonifera* “forestal”.

Nutritional characteristics as forage species for goats and sheeps are described. Food and functional potential of seeds known as “*Wattleseed or Bushfood*” in Australia is reported for making pre flour mixtures (5%) as, for instance, the content of antioxidants (ORAC value of 87,327 pmol ET / 100g dry weight) which is higher than Cranberry (*Vaccinium myrtillus*) and

¹ Investigador INFOR, Sede Metropolitana. parojas@infor.cl

Calafate (*Berberis microphylla*), also as an excellent source of protein (26-28% protein) being better source than legumes containing from 8 to 10% protein, approaching to him only soya bean which have about 17%.

Acacia saligna flour has an excellent potential to produce antihypertensive peptides from their proteins, generating in flour untoasted a mixture of peptides with antihypertensive activity of 64% inhibition to angiotensin converting enzyme.

Key words: *Acacia saligna*, forage, potential human consumption flours.

INTRODUCCIÓN

Acacia saligna (Labill) H. Wendl, conocida anteriormente como *A. cyanophylla*, es una especie originaria del sur oeste de Australia, donde habita en una región conocida como “wheat belt”² con precipitaciones anuales entre 250 a 1.200 mm (Maslin *et al.*, 2011).

La especie fue introducida en Chile en el siglo XIX por Federico Albert para el control de dunas litorales en la zona de Chanco, posteriormente fue plantada en la región de Coquimbo en la década de los setenta, con el mismo objetivo y posteriormente para proveer forraje suplementario para ovinos y caprinos a los comuneros.

Las plantaciones de esta región se extendieron como consecuencia del Decreto Ley 701, que promulgó el Estado de Chile en 1974, cuerpo legal que entregaba incentivos hasta el 75% del costo total de establecimiento de las plantaciones forestales. Esta ley tuvo por objeto regular la actividad forestal en suelos de aptitud preferentemente forestal y en suelos degradados de forma de incentivar la forestación y la recuperación de estos, en especial por parte de los pequeños propietarios forestales.

Los filodios de esta acacia representan un forraje complementario para el ganado y se ha comprobado científicamente que sus semillas tienen un potencial alimentario importante, ya que de acuerdo a un proyecto desarrollado por el Instituto Forestal (INFOR), con el apoyo de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), estas podrían ser procesadas en molinos para la producción de harinas tostadas con características funcionales y nutraceuticas excepcionales (INFOR, 2015; CREAS PUCV, 2015), tal como existe en la industria alimentaria “boutique” de alimentos saludables en Australia conocida como “Bushfood” y “Wattleseed”. (INFOR, 2015; Native Tastes of Australia, 2015).

EL RECURSO FORESTAL

En el mundo existen alrededor de 600.000 ha plantadas con *Acacia saligna*, principalmente en Libia y Etiopía con objetivos de rehabilitación de sitios. La primera introducción de la especie como exótica fuera de Australia data desde 1870 y las primeras plantaciones establecidas de 1916, y sus principales objetivos han sido la producción de leña y carbón y la restauración de suelos (Griffin, *et al.*, 2011). *A. saligna* ha sido también plantada en varios otros países, como

² “Cinturón de trigo”

Argelia, Chipre, Francia, Turquía, Grecia, España, Israel, Jordania, Italia, Portugal, Marruecos, Túnez, Egipto, Palestina, Kenia, Namibia, Tanzania y Sudáfrica.

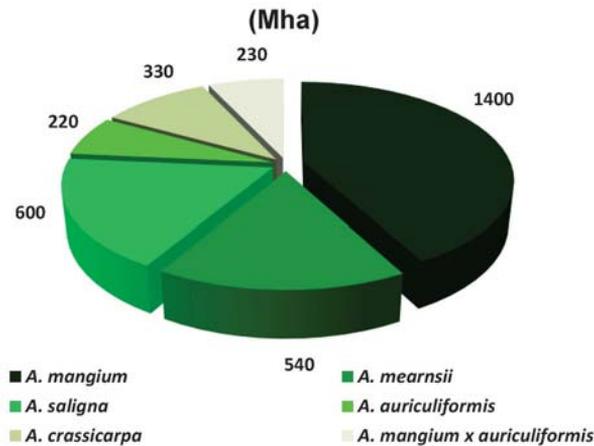


Figura N° 1
PLANTACIONES DE ACACIAS EN EL MUNDO



(Fotos P. Rojas)

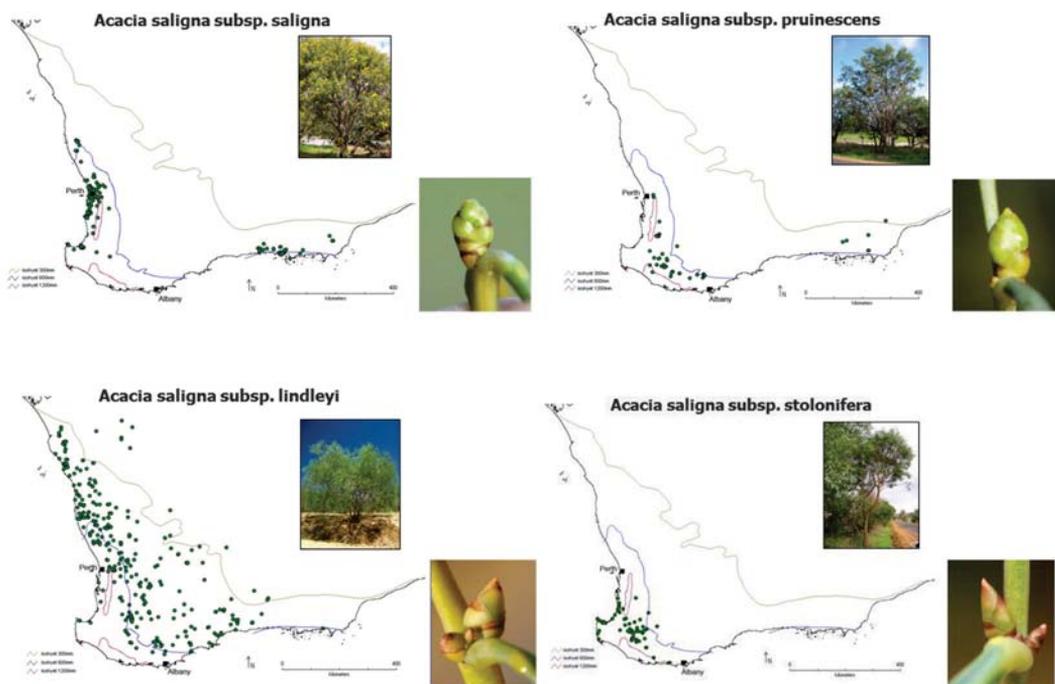
Figura N° 2
CONTROL DE DUNAS EN HUELTAUQUÉN, REGIÓN DE COQUIMBO, CHILE, Y REHABILITACIÓN DE SUELOS EN MEKELLE, ETIOPÍA (der.) CON *Acacia saligna*

Acacia saligna es un recurso forestal de reconocida aptitud para el establecimiento de sistemas agroforestales en la zona semiárida de Chile, se ha transformado en la especie arbustiva de mayor interés productivo de la región de Coquimbo debido a su adaptación a condiciones ambientales adversas, como sequía y salinidad e incluso suelos afectados por residuos industriales de la minería, con resultados favorables de supervivencia y crecimiento. No existe una cifra clara sobre la superficie plantada en la región; pero CONAF indica una superficie bonificada de acuerdo a los incentivos del DL 701 de 7.500 ha (Gonzalez, 2015), en tanto que un estudio de ODEPA (2015) reporta una superficie de 12.879 ha. Como especie pionera en la sucesión vegetal a través de la fijación del nitrógeno atmosférico puede mejorar las propiedades

físicas y químicas de los suelos, permitiendo así aumentar la fertilidad, recuperar los suelos degradados y posibilitar la reforestación con especies nativas en una segunda rotación (Alfaro *et al.*, 2012).

Acacia saligna es una especie extremadamente polimórfica en filodios, corteza o hábito de crecimiento y también en atributos ecológicos y biológicos. De acuerdo con Maslin *et al.* (1998) y Maslin *et al.* (2011) está representada en cuatro sub especies (Figura N° 3).

- A. saligna* subsp. *cyanophylla*
- A. saligna* subsp. *pruinescens* "Tweed River"
- A. saligna* subsp. *lindleyi* "típica"
- A. saligna* subsp. *stolonifera* "forestal"



(Adaptado de Maslin *et al.*, 2011)

Figura N° 3
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA NATURAL Y HÁBITO DE CRECIMIENTO DE LAS CUATRO SUBESPECIES DE *Acacia saligna* Y DIFERENCIACIÓN DE SUS INFLORESCENCIAS COMO CLAVE TAXONÓMICA DE RECONOCIMIENTO.

La relevancia de esta diversidad taxonómica radica en que las características morfológicas y el hábito de crecimiento de las subespecies indicadas son aspectos que están relacionados con la posible domesticación de la especie y su utilización productiva, mediante la selección de las mejores procedencias y el mejoramiento genético para un fin productivo específico. Por ejemplo, aquellas subespecies que tienen como mecanismo de propagación vegetativa los estolones presentan desventajas para la producción de biomasa, por la generación de múltiples

vástagos, sin embargo son altamente deseables si el objetivo de producción fuera el forraje para los animales o la producción de semillas para harinas comestibles, ya que permitirían aumentar la biomasa accesible para su cosecha.

Las observaciones de campo en formaciones nativas muestran que *A. saligna* subsp. *pruinescens* tienen baja ocurrencia de propagación por estolones, en cambio esta característica es muy común en la *A. saligna* subsp. *stolonifera*. Según MacDonald³ (Comunicación Personal; 2007) la forma más común de *A. saligna* presente en la región de Coquimbo, de acuerdo a las plantaciones visitadas, corresponde a *A. saligna* subsp. *pruinescens*, que ha demostrado excelente adaptabilidad, supervivencia y crecimiento.

EL RECURSO FORRAJERO

En las zonas áridas y semiáridas los objetivos de producción con *Acacia saligna* son esencialmente forraje suplementario o de emergencia para períodos prolongados de sequía, sombra para el ganado caprino y protección de suelos degradados. Estas propiedades hacen que el cultivo de la especie sea atractivo para el pequeño propietario e igualmente para sociedades ganaderas de mayor escala (Hassan, 1997). Sin embargo, existen grandes variaciones en el valor nutricional de esta especie leguminosa, debido a su variabilidad genética y al desconocimiento de las subespecies presentes en las plantaciones en Chile (O'Sullivan, 2005. Comunicación personal⁴). El contenido proteico de los filodios es alto, en torno a 14-19%, y como especie forrajera se complementa con otras, como tagasaste (*Chamaecytisus palmensis*) y con pastos perennes. La especie es de corta vida, entre 10-20 años, y la dificultad del abastecimiento de forraje radica en que los árboles deben ser cortados regularmente para que el follaje sea accesible para los animales.



(Fotos: P. Rojas)

Figura N° 4.
HÁBITO DE CRECIMIENTO DE *Acacia saligna* EN PLANTACIONES (izq.)
Y EN PROPAGACIÓN VEGETATIVA POR ESTOLONES (der.)

³ Maurice W. McDonald. CSIRO Forestry and Forest Products, PO Box E4008, Kingston, ACT 2604

⁴ Wayne O'Sullivan. Environmental Services. Species Selection, Farm Forestry, Botanical Survey & Collection. Western Australia

A diferencia de la silvicultura tradicional, en que las podas están destinadas fundamentalmente a la producción de madera libre de nudos en especies de rápido crecimiento, en las zonas áridas estas tienen como propósito adaptar la arquitectura de la copa de árboles o arbustos a las necesidades impuestas por los objetivos de la producción de forraje para el ganado.

La incorporación de tratamientos silviculturales, como podas y raleos, mejora la productividad del cultivo. Un control de crecimiento en altura, a través de cortes de formación arbustiva, aumenta la disponibilidad de forraje para el pastoreo de animales.

El manejo del cultivo con fines forrajeros puede llevarse a cabo por talaje directo o por cosecha del follaje, manejándose con un tocón de 25 a 50 cm luego del tercer año, o como desmoche cuando han alcanzado los dos metros de altura.

La intervención debe ser realizada en la época previa al crecimiento estival (Serra, 1997). Bratti (1996) concluyó que los árboles cortados a 50 cm de altura se diferenciaron significativamente en cuanto a vigor y crecimiento de otras alturas de corte realizadas.

A. saligna es considerada una especie de rápido crecimiento, alcanzando los 8 m de altura en 4 a 5 años en sitios con escasas limitantes. En ensayos de secano en el norte de Chile tiene un incremento medio anual en altura entre 30 - 71 cm.

El crecimiento es menor en condiciones de sequía prolongada, por lo tanto su producción es variable alcanzando entre 1,5 a 10 m³ ha⁻¹ de volumen del fuste, de acuerdo a las condiciones de sitio, en rotaciones de 5 a 10 años y manejo en monte bajo.

Los agricultores normalmente utilizan este recurso para alimentar a los ovinos y caprinos, especialmente durante el verano y otoño. Se cosechan las hojas de acacia y los tallos de los árboles jóvenes y adultos durante la temporada seca para proporcionar un suplemento diario para el pastoreo.

La densidad de plantación recomendada para los sistemas silvopastorales es de 4 x 3 m (833 arb ha⁻¹). Una mayor distancia entre hileras, como por ejemplo 6-10 m, permite una mayor producción de gramíneas perennes, hierbas y cultivos bajo algunas condiciones.

El follaje fresco es aceptable para los animales y se puede utilizar como un suplemento alimenticio para el ganado (ovejas y cabras) que contiene hasta 21% de proteína cruda en peso seco.

Serra (1997) informó que el material contiene 24-27% de fibra cruda y de 20 a 26,5% de materia orgánica digestible *in vitro*. Las plantaciones establecidas por el Instituto Forestal en el secano interior de la provincia de Choapa mostraron que la producción de forraje puede alcanzar un valor entre 0,8 y 2,2 t ha⁻¹ de MS⁵ a los 3 y 4 años después de la siembra (Perret y Mora, 2001).

5 MS:Materia Seca

El valor promedio de producción de semillas, extendido a la superficie total del recurso *Acacia saligna* en la región, permite proyectar una provisión anual de 102 t considerando una superficie de abastecimiento de 6.800 ha y un rendimiento promedio de 15 kg ha⁻¹.

La industria molinera sería potencialmente consumidora de esta materia prima, para su procesamiento y posterior elaboración de harinas puras o premezcladas con harinas convencionales en porcentajes de 5% a 10%, lo cual abre interesantes expectativas de generar negocios asociados a los productos alimentarios funcionales, como pueden ser los panes saludables y los galletones.

COMPONENTES FUNCIONALES DE LAS SEMILLAS DE *Acacia saligna*

En el marco del proyecto Productos Alimentarios Funcionales con Semillas de *Acacia saligna*, desarrollado por el Instituto Forestal (INFOR) y el Centro Regional de Estudios de Alimentos Saludables de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (CREAS-PUCV), con el apoyo de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), se efectuó la caracterización funcional de las semillas de *Acacia saligna*, estudio que incluyó las siguientes actividades:

Preparación de muestras de harina de *Acacia saligna* para su posterior análisis. El acondicionamiento de las semillas consideró evaluar el efecto de un proceso de tostado.

Determinación de la presencia de compuestos funcionales. En base a la información disponible en literatura se procedió a la caracterización proximal de las semillas de *Acacia saligna* considerando la determinación de composición de fibras, contenido de almidón y almidón resistente, presencia de oligosacáridos, contenido de proteínas y péptidos solubles, actividad anti-hipertensiva de péptidos solubles, compuestos fenólicos y determinación de actividad antioxidante de los extractos anteriores.

Se concluyó que las semillas y las harinas tostadas presentan las siguientes propiedades funcionales:

- Poderoso antioxidante: Posee un valor ORAC de 87.327 $\mu\text{Moles ET } 100\text{g peso seco}^{-1}$, siendo un mejor antioxidante que el Arándano que posee 25.000-35.000 $\mu\text{Moles ET } 100\text{g peso seco}^{-1}$, e incluso mayor al promedio de calafate de 72.425 $\mu\text{Moles ET } 100\text{g peso seco}^{-1}$.
- Excelente fuente de proteína: Contiene entre 26-28% de proteína, contenido mayor que el de las legumbres (8 a 10%). Solo se le acerca el poroto de soya que posee cerca de 17%.
- Propiedades antihipertensivas: Posee un excelente potencial para producir péptidos antihipertensivos a partir de sus proteínas, generando en la harina sin tostar una mezcla de péptidos con una actividad antihipertensiva de 64% de inhibición de la enzima convertidora de angiotensina (CREAS-PUCV, 2015)
- Estudios pre-clínicos: En un estudio realizado *in vivo*, se ha encontrado que al suplementar la dieta de animales de experimentación con una harina con 5% de acacia, estos mantienen su peso corporal a pesar de ingerir una dieta alta en grasa (Quitral, 2012).

- Se ha encontrado además que al hidrolizar las harinas se generan compuestos funcionales de alto interés como oligosacáridos y péptidos bioactivos, los que podrían derivar en su aplicación como nutraceuticos o como ingrediente funcional para la elaboración de productos alimenticios.



(Fotos: P. Rojas. Cortesía de Molino La Estampa)

Figura N° 6

HARINAS 100% CON SEMILLAS DE *Acacia saligna* (izq.), GALLETONES CON PREMEZCLAS DE HARINAS DE *Acacia saligna* al 5% (centro) Y PAN DE MOLDE (der.)

CONCLUSIONES

Existe una superficie bonificada de acuerdo a los incentivos del DL 701 de 7.500 ha en la región de Coquimbo, en tanto que un estudio de ODEPA reporta 12.879 ha. Desde el punto de vista forrajero el follaje es usado como alimento suplementario o de emergencia en periodos prolongados de sequía, sombra para el ganado y protección y estabilización de suelos degradados. No existen prácticas silvícolas de manejo forrajero del recurso lo que genera la degradación de las superficies existentes.

Acacia saligna es considerada una especie de rápido crecimiento, alcanzando los 8 m de altura en 4 a 5 años en sitios con escasas limitantes. En ensayos de secano tiene un incremento medio anual en altura entre 30 - 71 cm. La producción de forraje puede alcanzar un valor entre 0,8 y 2,2 t ha⁻¹ de materia seca a los 3 - 4 años. El follaje fresco es aceptable para los animales y se puede utilizar como un suplemento alimenticio para el ganado (ovejas y cabras) que contiene hasta 21% de proteína cruda en peso seco.

El valor promedio de producción de semillas, extendido a la superficie total del recurso *Acacia saligna* en la región, permite proyectar una provisión anual de 102 t considerando una superficie de abastecimiento de 6.800 ha y un rendimiento promedio de 15 kg ha⁻¹.

Producto de la investigación y la innovación tecnológica ha sido posible generar una harina con excelentes propiedades nutricionales y funcionales para la salud humana como materia prima para la industria alimentaria. Se concluyó que las semillas y las harinas tostadas presentan excelentes propiedades funcionales, como ser un poderoso antioxidante, superior al arándano y al calafate; tener un alto componente de proteínas, superior a las legumbres; y mostrar propiedades antihipertensivas.

REFERENCIAS

Alfaro, F. M.; Cepeda-Pizarro, J. y Pizarro-Araya, J., 2012. Efectos de la forestación con *Acacia saligna* (Labill.) H. Wendl. sobre suelos degradados del matorral costero de la región de Coquimbo, utilizando a los coleópteros epigeos como indicadores de rehabilitación del ecosistema. En: XXXIV Congreso Nacional de Entomología. Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, Santiago.

Bratti, J. M., 1996. Efecto de la altura de corte en el rebrote de *Acacia saligna* (Labill.) H. Wendl. 1996. 61p. Tesis Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile, Santiago.

CREAS PUCV, 2015. Informe Interno. Proyecto Producción de alimentos funcionales con semillas de *Acacia saligna*. Informe Técnico Final. Anexo 11. Caracterización de pre-mezcla de harinas y productos elaborados por Molino La Estampa. Centro Regional de Estudios de Alimentos Saludables, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. P. 20.

Gonzalez, P. 2015. Informe Interno. Proyecto Producción de alimentos funcionales con semillas de *Acacia saligna*. Informe Técnico Final. Anexo 2. Caracterización del recurso y estimación preliminar del abastecimiento de materia prima (semillas). Instituto Forestal, Chile. P. 25.

Griffin, Rod; Midgley, Stephen; Bush, David; Cunningham, P. and Rinaudo, A., 2011. Global Uses of Australian Acacias - Recent Trends and Future Prospects. Diversity and Distributions, Journal of Conservation Biogeography. Volume 17, Issue 5. September 2011. Pp. 837–847.

Hassan, M., 1997. *Acacia saligna* as potential shrub for forage use in arid zones. En: Forestación y silvicultura en zonas áridas y semiáridas de Chile. La Serena, Chile, 21-25 Oct/1996. Valdebenito, R. G. y Benedetti R. S. Eds. 1997. En: www.gestionforestal.cl/pt_02/plantaciones/txt/Bibliografia/BISAL.htm

INFOR, 2015. Informe Interno. Proyecto Producción de Alimentos Funcionales con Semillas de *Acacia saligna*. Informe Técnico Final. P. 28.

Mac Donald. M. W., 2007. Chile Visit Report, INFOR - FIA – MINAGRI

Maslin, B. R; Thomson, L. A. J.; McDonald, M. W. and Hamilton-Brown, S., 1998. Edible Wattle Seeds of Southern Australia: A Review of Species for Use in Semi-Arid Regions. CSIRO Publishing, 01-01-1998. Australia. Pp. 108.

Maslin, Bruce; O'Sullivan, Wayne and McDonald, M. W., 2011. Understanding *Acacia saligna*. In: Proceedings of the Wattle We Eat for Dinner Workshop. Alice Springs, Australia, 16–18 August 2011. Editor: Francis, R. Australia. P. 21 – 29. On line: <http://www.acaciatreeproject.com.au/wp-content/uploads/2013/09/Wattle-We-Eat-For-Dinner.pdf#page=21>

Native Tastes of Australia, 2015. Wattle Seeds. In: <http://tasteaustralia.biz/bushfood/wattleseed/>.

ODEPA, 2015. Región de Coquimbo. Información Regional 2015. En: http://www.odepa.cl/wp-content/files_mf/1437485291Coquimbojulio.pdf

Perret S. Mora F. (2001) *Acacia saligna* leguminosa arbórea de uso múltiple para las zonas áridas y semiáridas de Chile. INFOR. Santiago. 14 p.

Quitral, V., 2012. Análisis proximales desarrollados con muestras de semillas de *Acacia saligna* de cinco predios de la Región de Coquimbo. Facultad de Medicina, Departamento de Nutrición, Universidad de Chile. Proyecto FIA PYT-2013-0010. Productos Alimentarios Funcionales con semillas de *Acacia saligna*. Informe Técnico N°2, Santiago, Chile, 17 p.

Serra M. T. 1997. *Acacia caven*. En: FAO/ 1997. Especies arbóreas y arbustivas para las zonas áridas y semiáridas de América Latina. Serie: Zonas Áridas y Semiáridas N° 12. 157-167p.

Simpson, S. and Chudleigh, P., 2001. Wattle Seed Production in Low Rainfall Areas. In: https://www.google.cl/?gws_rd=ssl#q=Wattle+Seed+Production+in+Low+Rainfall+Areas.+RIRDC+Publication+No.+01/08,+Canberra.+Rural

Yates, Peter, 2014. Chile Visit Report. INFOR - FIA - MINAGRI

Capítulo 5

EL ESPINAL DE CHILE MEDITERRÁNEO: UN SISTEMA SILVOPASTORAL, CULTURAL, PRODUCTIVO Y SUSTENTABLE

Carlos Ovalle¹, Alejandro Lucero², Fernando Fernández³,
Viviana Barahona⁴ y Soledad Espinoza⁵

RESUMEN

El espinal abarca una superficie de aproximadamente un millón de hectáreas, es el ecosistema más importante en el seco interior de Chile central y puede ser usado bajo manejo silvopastoral. El factor más determinante para explicar la buena asociación entre la cobertura de árboles y la productividad de las especies del estrato herbáceo es el desfase entre el desarrollo del dosel del espino (*Acacia caven* (Mol.) Mol.) y el crecimiento de los pastizales.

La influencia del espino en las características del suelo, como especie leguminosa que fija nitrógeno atmosférico, es otro factor explicativo de esta favorable asociación de árboles con pastizales, favorece niveles más altos de materia orgánica, nitrógeno total y disponible, y potasio disponible, mejorando el ciclo de los nutrientes. Esto se aprecia claramente en los espinales de alta cobertura arbórea al compararlo con espinales de baja cobertura de árboles, e incluso con otros sistemas silvopastorales asociados a otras especies forestales nativas o exóticas.

La fenología de las especies herbáceas juega un papel importante en la curva de producción de las praderas por dos razones: Las plantas que crecen bajo los árboles presentan un período de crecimiento más largo de 7-16 días, en comparación con los que crecen en áreas abiertas, y la composición de especies difiere bajo la cubierta de árboles con el predominio de aquellas de desarrollo másleñosa imiento de silvopastoral,cuentra en fase de contrataci tardío. Estos dos efectos extienden el período de crecimiento activo del estrato herbáceo en unos 30 a 35 días.

El desfase entre el desarrollo del dosel del espino y el crecimiento de los pastizales es importante. En *Acacia caven* las hojas están activas desde mediados de la primavera hasta el siguiente otoño y las especies anuales del pastizal emergen en otoño y alcanzan su máximo crecimiento en primavera con las condiciones climáticas más favorables. Sin embargo, 50 a 60% de la producción de pastizales debajo de la cubierta de los árboles ocurre antes que las hojas de estos lleguen a completo desarrollo y por lo tanto la radiación fotosintéticamente activa (PAR) no es limitante para el crecimiento de la vegetación herbácea.

La influencia ya mencionada de los árboles en las características del suelo es otro factor explicativo de importancia de la asociación de árboles y pastizales, los niveles más altos de

1 INIA, Chile, covalle@inia.cl

2 INFOR, Chile, alucero@infor.cl

3 INIA, Chile, ffernandez@inia.cl

4 INIA, Chile. vbarahona@inia.cl

5 INIA, Chile, sespinoza@inia.cl

materia orgánica, nitrógeno total y disponible, y potasio disponible, se encuentran en espinales de alta cobertura arbórea.

En este capítulo se entregan antecedentes que permiten entender esta conveniente o ventajosa asociación entre una especie leguminosa leñosa como el espino con los pastizales y las sinergias o interrelaciones que se generan entre las diferentes componentes de este sistema productivo silvopastoral.

Palabras clave: Sistemas agroforestales, *Acacia caven*.

SUMMARY

The Espinal, composed by *Acacia caven* (Mol.), or Espino, and grasses, is the most important silvopastoral ecosystem in central Chile, covering an area of approximately one million hectares. The espino is a legume tree that fixes nitrogen from the atmosphere and thus increases soil fertility, which is a major advantage of integrating this species into silvopastoral systems.

The phenology of the herbaceous species plays an important role in the grassland production curve due to two reasons: Plants that grow under the trees present a longer growing period of 7-16 days compared to those growing in open areas, and the species composition differs under the tree cover with the predominance of those with later development. These two effects extend the herbaceous active growth period by 30 to 35 days.

The most important factor explaining the association between tree density and the herbaceous productivity is the lag between the canopy development of the Espino and the grassland growth. In *Acacia caven* the leaf canopy is present from mid-spring until the next autumn. The annual species of the herbaceous stratum emerge in autumn and achieves its maximum growth in spring with the most favorable climatic conditions. However, 50 to 60% of the grassland production under the tree cover occurs before leaves are fully developed and therefore the photosynthetically active radiation (PAR) is not limiting the herbaceous vegetation. The influence of the trees on soil characteristics is another fundamental explanatory factor of the tree-grassland association, higher levels of organic matter, total and available nitrogen and available potassium are found in Espinales of high tree cover.

The present chapter provides information to understand the mentioned positive association between the legume and the grasses, as well as the synergy between the different system components under a silvopastoral management.

Key words: Agroforestry systems, *Acacia caven*.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas agroforestales, como técnicas de uso del suelo, han surgido como interesantes opciones productivas para distintas zonas geográficas del mundo y uno de los modelos más utilizados son los sistemas silvopastorales. En este contexto se encuentra el espinal presente en la zona central de Chile, que se caracteriza por la coexistencia de dos estratos de

vegetación bien diferenciados, uno leñoso formado por árboles o a veces arbustos dispersos principalmente de *Acacia caven* (espino) y otro herbáceo compuesto de especies anuales. El espinal es el ecosistema más importante de Chile central, ocupa un área de casi un millón de hectáreas desde la región de Coquimbo a la región del Bio Bio (CONAF, 2015), sustenta una población rural de aproximadamente 350 mil personas y se ubica en la región agroecológica denominada secano interior, que es considerada una zona marginal y pobre, afectada por fuertes desequilibrios ambientales como consecuencia de la sobre explotación de los recursos naturales (Ovalle *et al.*, 1996a).

El espinal es un sistema silvoagropecuario único en su género, al coexistir especies de origen y comportamiento sub-tropical, como *Acacia caven*, con otras de clima Mediterráneo. Este hecho de co-adaptación de especies de orígenes filogenéticos y geográficos tan distintos permite pensar que el espinal es un modelo de referencia para un uso racional de los recursos pastorales y silvícolas en zonas de agricultura Mediterránea. Esto es particularmente interesante al contemplar la peculiar relación del binomio árbol-pastizal (Ovalle, 1986).

El espino es una especie multipropósito por los variados beneficios productivos y ecológicos que es capaz de proveer (FAO, 1997; Olivares, 2006; Palomeque, 2009; INFOR, 2012). En su condición de árbol y a través de un manejo sustentable, el espino puede generar productos madereros como leña y carbón, también proporciona forraje para los animales al ofrecer hojas que son ramoneadas y frutos que son consumidos por ovinos y bovinos, pero su principal aporte al ecosistema se asocia al efecto positivo que tiene sobre la productividad praterense como especie leguminosa que fija el nitrógeno atmosférico y lo incorpora al ciclo de los nutrientes, aumentando la fertilidad del suelo, lo que le confiere importantes ventajas para integrarlo en sistemas silvopastorales.

Es un árbol caducifolio y, por tanto, restituye frecuentemente los componentes órgano-minerales, especialmente N, al suelo y a las especies de la estrata herbácea. Asimismo, el máximo desarrollo de las hojas del espino se produce al final de la primavera, por lo que se encuentra retardada con respecto al desarrollo de la estrata herbácea subyacente. Este hecho, unido a una estructura despejada, de dosel poco denso, facilita la entrada de luz bajo los árboles y por ende el desarrollo de las especies herbáceas. En este contexto, la coexistencia de las dos estratas (árbol y pradera) produce efectos sinérgicos que promueven un mayor rendimiento de la producción herbácea y por tanto una mejora de la producción animal.

Es así que desde el punto de vista pastoral el espino tiene enorme importancia, ya que mejora la diversidad, el desarrollo y productividad de la pradera que crece bajo el área de influencia de la copa, modera las temperaturas mínimas y máximas, aumenta la humedad relativa del aire bajo su área de impacto, y con ello disminuye la evaporación por el aumento de la sombra (FAO, 1997; Pérego, 2002). Además, brinda protección al ganado contra los efectos del sol y de las heladas, reduciendo el consumo de agua y aumentando la sobrevivencia y los rendimientos del ganado doméstico (FAO, 1997).

Sin embargo, este recurso ha tenido una fuerte intervención antrópica que lo ha degradado (INFOR, 2012) y que se ha traducido en una pérdida de valor económico, tanto de los suelos como de la cubierta vegetal, y en un desaprovechamiento de las ventajas del componente forestal en la actividad silvoagropecuaria, conduciendo así a una disminución creciente del potencial económico predial.

En este marco y dada la degradación que ha experimentado el espinal, se hace necesario avanzar en proponer alternativas productivas sustentables asociadas a este recurso, entre las cuales necesariamente se deben considerar los sistemas silvopastorales que integran la componente arbórea y pratense en un mismo sistema productivo.

Bajo esta mirada, los sistemas silvopastorales con *Acacia caven* poseen una serie de ventajas para los predios ganaderos y surgen como una interesante opción productiva y sustentable para pequeños y medianos propietarios poseedores de este recurso.

OBJETIVO

Entregar antecedentes y resultados de las investigaciones desarrolladas en el país en torno al espinal de *Acacia caven* que permitan visualizar la importancia de esta formación agroecológica como una opción productiva agroforestal para el desarrollo sustentable del secano interior de la zona central de Chile.

MATERIAL Y MÉTODO

Para este capítulo se ha revisado una gran cantidad de información de investigaciones desarrolladas a nivel nacional sobre el espinal, la cual se clasificó de acuerdo a su relevancia para los objetivos planteados y posteriormente fue sistematizada y resumida.

Dada la importancia productiva que esta formación agroecológica tiene desde el punto de vista silvopastoral, esta temática se abordará desde la perspectiva de su influencia sobre la productividad de la estrata herbácea y su efecto en la producción pecuaria, así como también de la gestión que debiera realizarse sobre los espinales en términos del manejo sustentable de la componente arbórea.

RESULTADOS

Influencia del Espino sobre la Composición y Producción de la Estrata Herbácea

Las relaciones que se establecen entre la estrata arbórea y herbácea son variables debido a la complejidad de esta formación vegetal, que en la actualidad se caracteriza por la existencia de espinales de tipo matorral abierto a denso y de monte bajo (originado de retoños) o monte alto (originado de semilla), condiciones dadas por la diversidad del medio físico y, principalmente, por la intervención antrópica. En el área se distinguen dos grandes unidades de paisaje; los llanos y las lomas.

Los llanos son zonas planas que presentan suelos de textura arcillosa y de mal drenaje, lo que les confiere un cierto grado de anegamiento invernal que ha evitado que sean sometidos cultivos intensos, haciendo posible así encontrar espinales de muy buena condición, con árboles de hasta 6 m de altura, 2 o 3 fustes por árbol y cobertura de hasta un 90 %, siendo mayoritariamente árboles de hasta 4 m y cobertura máximas de la formación de 50 %. (Figura N° 1). Las lomas en tanto, son zonas que han sido intensamente cultivadas con cereales, lo que ha

provocado una severa erosión y pérdida de suelo, y la devastación de la componente arbórea, que alcanza en el mejor de los casos una cobertura de 35 % (Figura N° 1), la cual a menudo era sustituida por plantaciones forestales de pino o eucalipto u otros cultivos y que aún se ve amenazada por cultivos altamente tecnificados, principalmente viñas con fertiriego por goteo.

Cuando la estructura del espinal es la de un matorral abierto (25 a 30% de recubrimiento y espinos de 2 a 3 m de altura) la formación arbórea se manifiesta en forma de mosaicos en los cuales se diferencian nítidamente las zonas bajo la influencia de los árboles, de las del exterior. Desde la base de los troncos hacia la periferia de las copas las comunidades herbáceas se organizan según un gradiente en el que las especies de mayores exigencias en humedad y fertilidad se localizan bajo los árboles y son progresivamente reemplazadas hacia el exterior por las menos exigentes. Así, bajo la cubierta y en condiciones de carga animal baja (1 oveja ha⁻¹), se encuentran *Lolium multiflorum*, *Briza maxima* y *Bromus mollis*, mientras que hacia el exterior se ubican *Hordeum berteroanum*, *Trisetobromus hirtus*, *Plantago hispidula*, *Plantago firma* y *Medicago polymorpha*, entre otras (Figura N° 2). En consecuencia, en estos ecosistemas de espinales abiertos y bajo una intensidad de pastoreo adecuado, el árbol provoca un importante mejoramiento de la pradera, concentrándose bajo él las especies herbáceas con mayor valor pastoral y con un período de crecimiento vegetativo activo más prolongado.

Por otra parte, los espinales densos (+50% de cobertura arbórea) son mucho más homogéneos espacialmente y suelen presentar un valor pastoral muy alto. La fuerte influencia que tiene una alta densidad de espinos sobre la pradera ha sido demostrada al aplicar raleos o eliminar totalmente la cubierta arbórea en espinales con estructura de monte alto (800 a 1.000 árboles ha⁻¹) que presentaban una alta producción (Ovalle, 1986; Ovalle y Avendaño, 1987). Los cambios en la estrata herbácea fueron extremadamente rápidos y en un plazo de dos años hubo una caída brusca de la abundancia de *Lolium multiflorum*, que pasó del 78% a 10%.

Por el contrario, hubo un desarrollo muy importante de la leguminosa *Medicago polymorpha*, en especial durante el primer año después del raleo. Igualmente, se favoreció el desarrollo de otras especies, como *Sisymbrium officinalis* el primer año, e *Hypochoeris radicata* el segundo, indicando una evolución muy marcada hacia un deterioro de la calidad pastoral de la estrata herbácea. El valor pastoral traduce bien estas tendencias al deterioro, puesto que este índice disminuyó drásticamente en dos años, lo cual testimonia la importancia de las transformaciones provocadas.



(Fotos: Alejandro Lucero)

Figura N° 1

ESPINAL DE LLANOS, COBERTURA ARBÓREA > 70%, Y ESPINOS DE 5 A 6 m ALTURA (IZQ.), Y ESPINAL DE LOMAS, COBERTURA 25 A 30% Y ESPINOS DE 2 A 3 m ALTURA (DER.)

El corte total de los espinos provoca un efecto depresivo sobre la producción de la pradera. Este comportamiento es consecuencia de una tasa de crecimiento diferencial de la estrata herbácea, inducida por las modificaciones provocadas por el espino tanto en el suelo como en el microclima, que se traducen en cambios en la fenología y producción de las especies herbáceas. El factor más relevante parece ser una disminución en la presencia de las especies con ciclos biológicos más largos (especialmente *Lolium multiflorum*) y su reemplazo por especies más precoces y de menor producción. Esto se debe a condiciones hídricas y tróficas más restrictivas, provocadas por la eliminación del árbol.

El comportamiento fenológico de las especies herbáceas también juega un rol importante en la curva de la producción de la pradera, manifestándose en dos sentidos. Individualmente, cuando las especies se desarrollan bajo los árboles experimentan un retardo en casi todas las fases fenológicas de entre 7 y 16 días. A este comportamiento fenológico individual se suma una composición de especies con predominancia de las de desarrollo más tardío bajo las condiciones más favorables existentes bajo los árboles. Ambos efectos permiten una prolongación de 30 a 35 días del período de crecimiento activo de la estrata herbácea (Figura N° 3).

Entre los factores más importantes que permiten explicar esta asociación entre un espinal denso y una estrata de especies anuales altamente productiva está, primeramente, el desfase entre los ciclos biológicos del árbol y de la pradera. *Acacia caven* presenta una fenología tardía, desarrollando las hojas a mediados de primavera, verano y otoño, ligada probablemente a su origen sub-tropical y a su sistema radical capaz de aprovechar el agua de las zonas profundas del suelo. Su período de crecimiento vegetativo activo es de aproximadamente 240 días. Su inicio después de la latencia invernal es más tardío que en la pradera (aproximadamente el 15 de octubre en Chile Central).

Por el contrario, la estrata herbácea de especies anuales presenta un ciclo de otoño, invierno y primavera en sincronismo con las condiciones climáticas favorables. La foliación tardía del espino permite que una parte importante (40 a 50%) de la producción herbácea se realice en condiciones de luminosidad menos restrictivas que si el árbol tuviera ya sus hojas desarrolladas.



*Lotus
subpinnatus*



*Acacia
cavendishii*



*Trifolium
hirtum*



*Lupinus
micropus*



*Trifolium
tomentosum*



*Trifolium
microdon*



*Medicago
polymorpha*



*Trifolium
macraei*



*Adesmia
sp.*



*Trifolium
subterraneum*



*Trifolium
depauperatum*



*Trifolium
angustifolium*



*Melica
violacea*



*Nassella
exserta*



*Stipa
manicata*



*Piptochaetium
montevidense*



*Trisetum
spicatum*



*Briza
mayor*



*Hordeum
murinum*



*Bromus
hordeaceus*

Figura N° 2
COMPOSICIÓN BOTÁNICA DE LA PRADERA DEL ESPINAL,
PRINCIPALES ESPECIES PERENNES Y ANUALES

Una vez que la foliación se establece completamente, el espino no determina una reducción de luz muy importante, dado que la mayor intercepción de la luminosidad de las copas es compensada por la mayor radiación incidente hacia el fin del período de crecimiento, en los meses de noviembre y diciembre. Debe recordarse que las características morfológicas y fenológicas propias del dosel de *Acacia caven* (tamaño de los árboles, biomasa aérea menor que otras especies de árboles mediterráneos, follaje poco denso y de naturaleza caduca) permite la llegada al suelo de una tasa de radiación fotosintéticamente utilizable (PAR) para las herbáceas equivalente a un 35 a 50% de la radiación incidente.

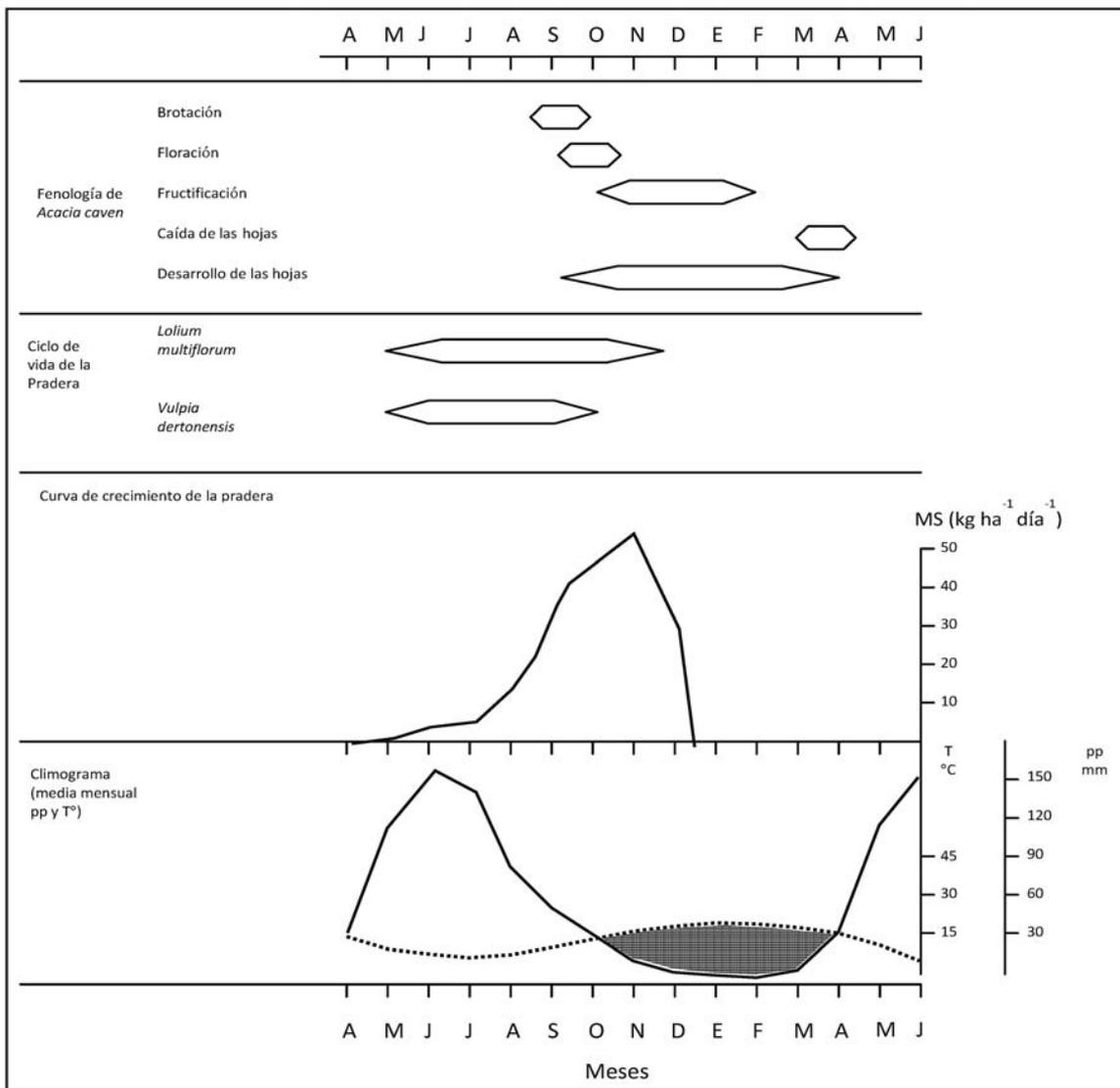
Estas tasas de luminosidad parecen suficientes para satisfacer las necesidades de luz para la fotosíntesis de las plantas herbáceas, sobre todo durante las fases de mayor restricción hídrica, en que los aportes de luminosidad interactúan con el estado hídrico de estas especies.

Por lo tanto, la función del árbol a finales de primavera es la de moderar el microclima bajo cubierta, reducir la evapotranspiración y por tanto permitir una mayor disponibilidad hídrica para las plantas, lo que se traduce en una mayor producción en relación a lo que ocurre en las estratas herbáceas desprovistas de árboles.

La disponibilidad hídrica diferencial en el suelo es también consecuencia del balance energético que se establece bajo los árboles. La reducción de la radiación determina que el microclima bajo los árboles se caracterice por temperaturas del aire y del suelo fuertemente atenuadas y marcadas por una disminución de las amplitudes térmicas diarias que, según las estaciones, puede ser de 1,5 a 6°C en la temperatura máxima y de hasta 10°C en la temperatura del suelo. Esta atenuación térmica repercute en la capacidad para evaporar agua, inferior bajo los árboles, aunque, por otra parte, la humedad relativa del aire sea más elevada.

La influencia del árbol sobre las características del suelo es otro factor explicativo fundamental de la asociación espino-pradera anual. Esta influencia se manifiesta en valores más elevados en materia orgánica, nitrógeno total y disponible, y potasio disponible en las comunidades con alta densidad de espinos. Estos efectos son provocados por el reciclaje de los elementos contenidos en la hojarasca que cae al suelo y, en el caso del N, por los aportes de la fijación simbiótica. Estos últimos han sido medidos *in situ*, disponiéndose de evidencia de la fijación en plantaciones de 1 a 3 años de edad (Aronson *et al.*, 2002; Ovalle *et al.*, 1996b).

En cuanto a la caída de materia orgánica proveniente de las hojas, los aportes son equivalentes a 1.100 y 700 kg ha⁻¹ año⁻¹ de materia seca, en las condiciones del espinal del predio "La Estrella" (Cauquenes) con recubrimientos de 80 y 50% de espino, respectivamente. Esta materia orgánica procedente del espino es particularmente rica en nitrógeno (2,2 a 2,4%) y en fósforo (0,12 a 0,21%) y aporta al suelo, para una cubierta de 80%, un equivalente de 27 kg ha⁻¹ año⁻¹ de nitrógeno, 5,2 kg ha⁻¹ año⁻¹ de potasio y 2,3 kg ha⁻¹ año⁻¹ de fósforo.



(Fuente: Ovalle y Avendaño, 1987)

Figura N° 3
FENOLOGÍA DE *Acacia caven* Y EL CICLO DE LA VIDA Y CRECIMIENTO DE DOS GRAMÍNEAS ASOCIADAS EN COMPARACIÓN CON UN CLIMOGRAMA TÍPICO DE LA ZONA MEDITERRÁNEA SUB-HÚMEDA DE CHILE

En resumen, el espinillo constituye un elemento fundamental de la producción pastoral y presenta una influencia positiva a todos los niveles de densidad y de estructura de población que han sido estudiados.

Gestión de los Espinales

Es difícil definir un único sistema de producción en los espinales, pues factores como el tamaño de la propiedad, la aptitud de los suelos, la topografía del terreno y la capacidad

empresarial del jefe de la explotación, entre otros, inducen múltiples variaciones entre unas explotaciones y otras. Se podría decir que cada predio posee su sistema de producción propio. No obstante, existe un modelo de gestión básico alrededor del cual giran todas las variantes.

En la mayor parte de las explotaciones se combinan la cerealicultura con la ganadería. En las fases de cultivo, el espino es cortado, pero no se extrae la cepa con lo cual esta rebrota, el pastizal recoloniza el suelo y es utilizado por la ganadería principalmente ovina. En otras situaciones y en forma creciente en los últimos años, los agricultores definitivamente han operado un cambio en el uso del suelo incorporando plantaciones de viñedos y en algunos casos frutales. En otros casos, los agricultores han vendido sus predios y empresas forestales han establecido masivamente plantaciones de pino radiata (*Pinus radiata*) o eucalipto (*Eucalyptus globulus*).

En los sectores de espinal, de acuerdo a las condicionantes que impone la topografía, las pautas de uso del suelo se acoplan a los dos grandes tipos de unidades geomorfológicas, diferenciadas anteriormente; llanos de fondo de valle y lomajes. En el primer caso, las frecuentes inundaciones temporales del terreno en invierno dificultan la agricultura, por lo que predomina el uso ganadero. La ausencia de roturaciones permite el desarrollo de mayores coberturas de espino y suelos mejor conservados. No obstante, los árboles de *Acacia caven* pueden ser talados cada 40-60 años obteniendo madera para leña y carbón vegetal.

En situaciones de lomaje, sobre suelos mejor drenados, predomina un modelo de rotación tradicional barbecho - trigo en combinación con ganadería sobre rastrojos y pastos naturales. El ciclo comienza con la preparación del barbecho, para lo cual se corta el espino en el invierno anterior a la siembra. La preparación del suelo se realiza tradicionalmente con tracción animal (bueyes o caballos), aunque en la actualidad la mecanización cobra mayor importancia. La madera obtenida es utilizada para leña o para la producción de carbón vegetal. Posteriormente, el suelo es roturado y se siembra el cereal en otoño, al voleo, con variedades generalmente no mejoradas. Para la fertilización se utilizan fertilizantes nitrogenados y fosfatados en dosis bajas y normalmente no se realiza un control de malezas. Tras 1 o 2 años de cultivo, dependiendo de la fertilidad del suelo, el terreno es abandonado y colonizado por especies herbáceas, a la vez que el espino rebrota de cepa. En esta fase el terreno es utilizado para pastoreo extensivo, con una carga ganadera baja, de alrededor de 1 a 2 ovejas ha⁻¹. El periodo de pastoreo antes del siguiente ciclo de cultivo es variable, entre 3 y 20 años, dependiendo de la fertilidad del suelo, el tamaño de la propiedad y las condiciones del mercado del cereal.

El resultado es un paisaje heterogéneo formado por manchas de un mosaico en las que varían tanto la cobertura y el tamaño del espino como el estado de evolución (sucesión ecológica) de la estrata herbácea tras la roturación. Los rendimientos de trigo en estas zonas son bajos, alrededor de 1,5 a 2,0 t ha⁻¹. Este tipo de aprovechamiento del cultivo ha provocado fuerte erosión y agotamiento de la fertilidad natural de los suelos y una degradación de los espinales.

Una variante a la rotación comentada es la realizada en algunos sectores de la región del Bio Bio. Bajo condiciones de mayor pluviosidad y menor tamaño de los predios, los agricultores realizan una rotación de barbecho, trigo, leguminosas y pradera natural durante 2 o 3 años. El barbecho es generalmente cubierto, en suelos de posición baja, por un cultivo de primavera de chícharo o garbanzo. Esta estrategia es muy frecuente en núcleos de pequeños propietarios.

En suelos de posición baja, que no entran en rotación con cereales, o también en sectores de lomajes dedicados a ganadería en predios de mayor tamaño, el espinillo adquiere un desarrollo más importante y la producción y composición de la pradera natural mejora en calidad, pudiendo alcanzar entre 2 y 4 t ha⁻¹ año⁻¹ de MS⁶. La carga animal en estos sectores puede llegar a entre 2 y 4 ovejas ha⁻¹ año⁻¹.

Además de estas praderas seminaturales puede haber, eventualmente para uso ganadero, praderas sembradas de falaris (*Phalaris aquatica*) o ballica anual (*Lolium rigidum*), en mezclas con leguminosas anuales forrajeras con trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum*), hualputra (*Medicago polymorpha*) y trébol balanza (*Trifolium michelianum*) que son pastoreadas. Igualmente, algunos agricultores producen forraje suplementario para los períodos de escasez, siendo el más utilizado la mezcla de avena con vicia para henificación.

La ganadería asociada a estos modelos de explotación es bastante importante a escala nacional, alcanzando a 218.900 ovinos y 89.500 bovinos. Los sistemas ganaderos consisten en explotaciones ovinas, bovinas, o mixtas. El sistema de pastoreo más frecuente es el continuo, aunque en algunos casos los campos disponen de 4 o 5 potreros, practicándose un pastoreo continuo diferido.

La ganadería ovina o mixta se practica, principalmente, en pequeñas y medianas explotaciones (10 a 100 ha), con una carga animal que no sobrepasa 2 ovejas ha⁻¹ año⁻¹. La raza ovina de cara negra, Suffolk Down, es la más difundida y la producción suele variar entre 40 y 120 kg ha⁻¹ año⁻¹ de PV⁷, con una carga animal de entre 1 y 3 ovejas ha⁻¹ año⁻¹. Por el contrario, la ganadería bovina se practica generalmente en las explotaciones más grandes (100 a 500 ha). La carga animal en este caso es más alta, puesto que se ubican en los mejores espinales y, a veces, usan praderas sembradas para suplementación en invierno. Las razas principales son Hereford, Angus rojo, Clavel Alemán y ganado criollo, que es una mezcla de varias razas, todas ellas destinadas a la producción de carne.

Las alternativas principales son la crianza con venta de animales al destete y las engordas de temporada con animales provenientes de otras zonas. En cuanto a producción, las mejores explotaciones bovinas producen entre 50 y 100 kg ha⁻¹ año⁻¹ de PV, con una carga de 0,4 unidades animales (U.A.)

Estas producciones aparecen como extremadamente bajas cuando se les compara con países como Australia y Portugal, en donde con condiciones climáticas y edáficas similares (pero sobre praderas de leguminosas anuales), se alcanzan valores de 100 a 150 kg ha⁻¹ año⁻¹ de PV.

Manejo Silvícola de *Acacia caven*

El espinillo ha sido fuertemente intervenido en el pasado y aún en la actualidad, alcanzando niveles importantes de degradación, sin embargo esta degradación puede ser revertida a través de un manejo adecuado (Olivares 2006). Desde esta perspectiva, es de suma importancia determinar la respuesta que los espinillos tienen a diferentes intervenciones silviculturales y de manejo, tales como propagación, establecimiento artificial, sistemas de plantación y manejo de

6 Materia Seca

7 Peso Vivo

formaciones naturales (INFOR, 2012), y especialmente la respuesta que este tiene a diferentes intervenciones de corta o raleo.

Una buena regeneración de la especie es vital para su sustentabilidad, por lo tanto métodos como la siembra directa, previo tratamiento pre-germinativo de las semillas o escarificado, presenta ventajas en cuanto a sobrevivencia y crecimiento en relación a otros métodos como plantación a raíz desnuda y en maceta (Stoehr, 1969, citado por Navarro, 1995).

Otra forma de asegurar la regeneración del bosque es a través del manejo del rebrote o retoñación que es una propiedad característica y reconocida de la especie. Estudios realizados por González (2000) y Del Fierro (2001) demostraron la excelente capacidad de retoñación que tiene el espino, llegando a valores cercanos al 90% de rebrote de los árboles que son intervenidos con cortas o raleos. Los principales factores que influyen en la cantidad y vigor de la retoñación son el diámetro del tocón residual, siendo el más recomendado entre 10 y 20 cm; la etapa de crecimiento del bosque, preferentemente cuando los árboles cortados están en etapa de latizal; la época del año en que se realiza la intervención, siendo la mejor época de corta el periodo de receso vegetativo; y la técnica o método de corte, siendo la mejor técnica de corte el uso de motosierra (Vita 1996; González, 2000, Del Fierro, 2001).

Tanto en la situación de siembra directa y manejo de la retoñación y considerando la importancia silvopastoral que tienen los espinales, se debe tener especial cuidado en el efecto negativo que tiene el ramoneo de animales domésticos o silvestres sobre la sustentabilidad de la especie, por lo tanto se debe considerar la exclusión total de la zona de establecimiento, o bien de la zona manejada, el control de lagomorfos y la protección individual de los tocones.

El principal uso maderero que se da al espino es como leña y carbón vegetal. Su utilización para carbón, se debe al hecho de ser un combustible liviano, fácil de manipular, con valores caloríficos comparables con el carbón mineral (CONICYT, 1974; citado por Pacheco 2005) y con rendimientos de un 20,3% (FAO, 1997).

El espino tiene además otros usos interesantes de destacar, como es la posibilidad de utilizar esta especie para la recuperación y conservación de suelos, gracias a su profundo sistema radicular (FAO, 1997); y el uso de sus frutos, semillas y vainas para la producción de harinas, usos cosméticos, ornamentales y medicinales (INFOR, 2012).

DISCUSIÓN

El espinal es el principal recurso forestal nativo del secano interior de la zona central de Chile y presenta un alto potencial productivo para los propietarios silvoagropecuarios de esta zona, principalmente por los múltiples productos y beneficios que este sistema es capaz de generar. Sin embargo, el espinal ha sido fuertemente intervenido, disminuyendo su superficie y degradando la cubierta vegetal y los suelos, por lo que se requieren alternativas productivas que permitan su recuperación y le den sustentabilidad.

Consecuentemente, los sistemas agropecuarios asociados al espinal están atravesando por un período de crisis muy aguda provocada por la caída de la productividad a causa de la degradación del suelo derivada de la sobreexplotación, no se han restituido los nutrientes

extraídos por los cultivos y el proceso erosivo se ha visto intensificado por el empleo de sistemas de labranza inadecuados. Esta situación se ve agravada por una economía globalizada, dentro de la que la mayor parte de los productos de las áreas marginales de secano (cereales, carne, otros) pierden competitividad y rentabilidad.

En contraposición a la depresión de la agricultura, existe una expansión de los cultivos de viñedos y de frutales, como olivos, algunos *berries*, especialmente arándanos, establecidos con sofisticados sistemas de fertiriego por grandes emprendimientos empresariales, expansión que impacta positivamente la economía de esta deprimida zona agroecológica del país, pero que, a la vez, genera una alta presión sobre el espinal. Algo semejante sucede en algunos casos con el establecimiento de plantaciones forestales con pinos y eucaliptos en suelos con aptitud agrícola o ganadera, en desmedro de la actividad agropecuaria, que produce una desarticulación de la estructura rural de esta zona, afectando también a la superficie del espinal presente en estos suelos.

Dentro de este escenario, los sistemas silvopastorales son una interesante alternativa productiva para los espinales, pese a ser sistemas complejos de manejar que deben compatibilizar la coexistencia y mejor productividad de las tres componentes que los sustentan; árboles, praderas y animales, y sus complejas interrelaciones. Frente a esta situación, se justifica la investigación sobre estrategias y tecnologías para la rehabilitación ecológica y económica de los espinales dentro del marco de un uso sustentable del recurso.

Los sistemas silvopastorales implementados complementariamente a la práctica de una agricultura sustentable, en donde los principales rubros productivos, como la ganadería ovina y bovina para producción de carne, el cultivo de cereales, viñedos y otros, tengan un espacio y viabilidad en el escenario actual del país.

CONCLUSIONES

El espinal es una formación vegetal compuesta por una estrata leñosa de coberturas y alturas variables, dominada casi exclusivamente por *Acacia caven*, y una estrata herbácea dominada esencialmente por especies anuales de alta diversidad de plantas herbáceas.

Estas formaciones vegetales son de gran heterogeneidad, con comunidades de diferente composición florística y cambios en la forma y la estructura horizontal y vertical del espino. La más frecuente es la de un matorral claro y de baja altura, resultado del manejo mediante talas periódicas para favorecer el barbecho o para la producción de carbón vegetal.

El estado avanzado de degradación y principalmente la baja cobertura y densidad de la mayor parte de los espinales hacen necesario el desarrollo de planes de manejo que permitan el mejoramiento y aprovechamiento de las innegables ventajas productivas y ecológicas de la asociación árbol-pradera. Estos planes deben contemplar prácticas de propagación y técnicas de establecimiento de plantaciones, y de manejo de formaciones naturales, evaluando su respuesta a cortas y raleos.

El manejo del espinal en sistemas integrados silvopastorales es la mejor alternativa de uso de este recurso, mejora la productividad y favorece su sustentabilidad, razón por la que esta práctica debe ser fomentada y considerada en los instrumentos estatales de apoyo a la pequeña y mediana propiedad silvoagropecuaria.

El rebrote o retoñación es una propiedad característica de *Acacia caven*, cuando árboles originales nacidos de semilla (monte alto) son cortados, desde la cepa nacen múltiples vástagos (monte bajo) que con el tiempo y en forma natural se reducen a un número menor, pero persiste un monte bajo caracterizado por numerosos fustes desde un mismo pie. Esta capacidad de la especie de retoñar desde las cepas, e incluso desde las raíces cuando las cepas han sido eliminadas, ha permitido la permanencia del espinal, pero la producción de madera para leña, carbón, artesanías u otros usos se diluye en múltiples pies, razón por la que las intervenciones de clareos (dejando 3 o 4 rebrotes seleccionados) permiten concentrar el crecimiento y mejorar la estructura aérea de los ejemplares.

El mejoramiento de la estrata herbácea en tanto, se logra mediante la inclusión de leguminosas anuales y la práctica de rotaciones de cultivo, acciones que son prioritarias para aumentar la productividad agrícola y el nivel trófico de los suelos.

El modelo de desarrollo productivo de Chile, basado en la exportación de productos agrícolas y forestales, ha generado un cambio de uso del suelo de importancia y ha afectado significativamente la conservación del espinal y de los sistemas productivos tradicionales. Indefectiblemente, cuando el modelo de desarrollo agrícola y forestal avanza, el espinal retrocede, dejando lugar a plantaciones forestales, viñedos, frutales u otros cultivos en desmedro de los ecosistemas locales. No parece por cierto sustentable que el desarrollo agrícola y forestal avance hasta arriesgar la eliminación y extinción de la vegetación nativa de Chile Central.

El espinal aporta servicios ecológicos importantes, protegiendo los suelos con sus raíces y sus copas, mejorando los suelos con su aporte de nitrógeno, capturando y fijando carbono, constituyendo corredores biológicos. Provee además madera, energía y forraje y favorece una rica biodiversidad. Resulta imperioso entonces conservar, manejar y dar sustentabilidad a este recurso, a través de políticas públicas que incentiven la conservación y el manejo de este patrimonio natural y cultural de Chile, para lo cual su manejo integrado en sistema silvopastorales es una muy adecuada herramienta.

REFERENCIAS

Aronson J.; Ovalle C.; Avendaño J.; Longeri L. y del Pozo, A., 2002. Agroforestry tree selection in central Chile: biological nitrogen fixation and early plant growth in six dryland species. *Agroforestry Systems* 56: pp 155-166.

CONAF, 2015. Catastro Vegetacional Nativo de Chile. Actualizaciones desde 2008 a 2015.

Del Fierro, P., 2001. Efecto de Tratamientos de Corte sobre el rebrote de *Acacia caven* (Mol.) Mol. en Aucó, IV Región. Memoria para optar al Título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Escuela de Ciencias Forestales. Departamento de Silvicultura. Universidad de Chile. 109 p.

FAO, 1997. *Acacia caven*. Especies Arbóreas y Arbustivas para las Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina. Serie: Zonas Áridas y Semiáridas N°12. Programa Conjunto FAO/PNUMA de Control de la Desertificación en América Latina y el Caribe. Santiago. Chile. pp 157-167.

González, M., 2000. Evaluación de la capacidad de rebrote de *Acacia caven* (Mol.) Mol. frente a diferentes opciones de corte en la IV Región de Chile. Memoria para optar al Título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Escuela de Ciencias Forestales. Departamento de Silvicultura. Universidad de Chile. 92 p.

INFOR, 2012. Monografía de Espino. *Acacia caven* (Mol.) Mol. Programa de Investigación de Productos Forestales No Madereros. Editora Susana Benedetti R. Santiago. Chile. 71 p.

- Muñoz, C.; Zagal, E. and Ovalle, C., 2007.** Influence of trees on soil organic matter in Mediterranean agroforestry systems: an example from the Espinal of central Chile. *European Journal of Soil Science*. 58, 728–735.
- Navarro, R., 1995.** Efecto de Intervenciones Silviculturales sobre el crecimiento y la producción de fitomasa de *Acacia caven* en Melipilla, Región Metropolitana. Memoria para optar a título profesional de Ingeniero Forestal. Departamento de Silvicultura. Escuela de Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. 89 p.
- Olivares, A., 2006.** Relaciones entre el estrato arbóreo, el estrato herbáceo y la conducta animal en el matorral de *Acacia caven* (espinal). *Science et changements planétaires/Sécheresse*. 17(1), pp 333-339.
- Ovalle, C., 1986.** Etude du système écologique sylvopastoral à *Acacia caven* (Mol.) Hook. et Arn.: applications à la gestion des ressources renouvelables dans l'aire climatique méditerranéenne du Chili. Ph.D. Dissertation. Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, France.
- Ovalle, C. y Avendaño, J., 1987.** Interactions de la strate ligneuse avec la strate herbacée dans les formations d'*Acacia caven* (Mol.) Hook. et Arn. au Chili. *Oecologia Plantarum* 8: pp 385-404.
- Ovalle, C.; Aronson, J.; del Pozo, A. y Avendaño, J., 1990.** The Espinal: Agroforestry systems of the Mediterranean-type climate region of Chile. *Agroforestry Systems* 10: pp 213-239.
- Ovalle, C.; Longeri, L.; Aronson, J.; Herrera, A. y Avendaño, J., 1996.** N₂-Fixation, nodule efficiency and biomass accumulation after two years in Chilean legume trees and Tagasaste, *Chamaecytisus proliferus subsp. palmensis*. *Plant and Soil* 179: pp 131-140..
- Ovalle, C., del Pozo, A., de Miguel, J.M., Casado, M.A. and Acosta, B., 2006.** Consequence of landscape heterogeneity on grassland diversity and productivity in the Espinal agroecosystem of central Chile. *Landscape Ecology*. 21: 585-594. ISI (IF:2.558).
- Pacheco, G., 2005.** Evaluación del proceso de carbonización y calidad del carbón de *Acacia caven* (Mol.) Mol. producido en hornos de barro. Memoria para optar a título profesional de Ingeniero Forestal. Departamento de Ingeniería de la Madera. Escuela de Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. 59 p.
- Palomeque, E. 2009.** Sistemas Agroforestales, Chiapas, México, pp 29.
- Pérego, J., 2002.** Sistemas Silvopastoriles en el Centro Sur de la Provincia de Corrientes, Reunión del Grupo Técnico en Forrajes del Cono Sur Zona Campos, Memorias INTA EE A Mercedes, XIX-2002, Corrientes, Argentina.
- Stolpe, N.; Muñoz, C.; Zagal, E.; Ovalle, C., 2008.** Modeling soil carbon storage in the “Espinal” Agroecosystem of central Chile. *Arid Land Research and Management*. pp 148-158.
- Vita, A., 1996.** Los Tratamientos Silviculturales. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Escuela de Ciencias Forestales. Departamento de Silvicultura. Santiago. Chile. 150 p.



• • • • • III • • • • •

ZONAS TEMPLADAS Y HÚMEDAS

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 radiculares 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 sistema 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 arboles 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 prateense, 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 ($p \leq 0,05$), 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

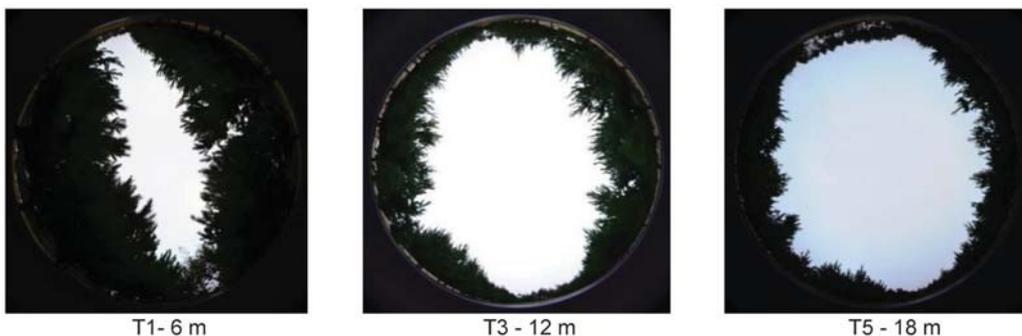


Figura N° 3
FOTOS HEMISFÉRICAS DE COBERTURA DE COPA, SEGÚN TRATAMIENTO Y DENSIDAD AÑO 2015

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 sombreado.

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<= 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 sombreado entre fajas de árboles. Lo anterior significa que a la edad de 5 años

del sistema, los árboles aun no originan un efecto por sombreado 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 praterense y, además, manejar la cobertura de copa con intervenciones oportunas de poda y raleo, y así alargar el periodo de producción pastoral evitando un sombreado excesivo que afecte el desarrollo de la pradera.

Para los productores que adoptan un sistema silvopastoral, junto con la producción praterense 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, m² 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⁻¹MS).

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.

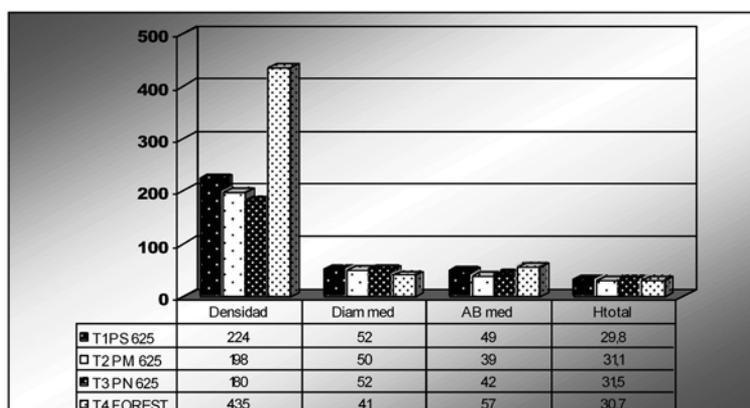


Figura N° 4
PARÁMETROS FORESTALES DE LAS PLANTACIONES
SILVOPASTORALES Y FORESTAL A LOS 24 AÑOS DE EDAD

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 sombreado 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	2004	2005
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	628,5	1.479,1
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	84,7	70,7
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	65,5	60,8

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)	(%)						
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 diversas 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.

Rodríguez, 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 árboles 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.

Capítulo 7

SISTEMAS AGROFORESTALES CON ESPECIES DE ALTO VALOR

Verónica Loewe¹ y Claudia Delard²

RESUMEN

Las tendencias mundiales muestran la importancia de diversificar la actividad forestal, teniendo en cuenta tanto la composición de especies como su distribución geográfica a fin de limitar los riesgos bióticos y abióticos, así como los de mercado, y a la vez maximizar la utilización de los sitios, tema que es muy pertinente a la geografía chilena, dada la amplia gama de entornos que el país posee.

La agroforestería permite la diversificación de la agricultura y la silvicultura, y puede ser implementada con diferentes especies y diseños de acuerdo a las condiciones específicas del sitio y del propietario. INFOR durante más de 20 años ha estudiado varias opciones productivas mediante la técnica de la arboricultura, que se centra en especies latifoliadas conocidas como “nobles” por producir maderas de muy alto valor, habiéndose adaptado algunas tecnologías europeas y desarrollado otras adecuadas a la realidad local dados los crecimientos vigorosos que se verifican en el país.

Se han establecido diversos ensayos con plantaciones puras o mixtas en la zona centro-sur, incluyendo entre otras las especies exóticas nogal (*Juglans regia* L.), cerezo (*Prunus avium* L.), castaño (*Castanea sativa* Mill.), roble americano (*Quercus rubra* L.) y encino (*Quercus robur* L.), además de la especie nativa avellana chilena (*Gevuina avellana* Mol.).

Otra opción estudiada corresponde al pino piñonero (*Pinus pinea* L.), dado que sus frutos, conocidos como piñones o *pinoli*, ingrediente esencial del pesto italiano, presentan una alta demanda y corresponden al fruto seco más caro del mercado mundial del rubro, siendo una opción muy atractiva para propietarios de diferente tamaño.

En este capítulo se entregan resultados de algunas de estas experiencias establecidas en sistemas agroforestales, que demuestran su factibilidad de uso por parte de productores silvoagropecuarios de Chile con interesantes crecimientos y producciones de los árboles y los cultivos asociados.

Palabras clave: Sistemas agroforestales, Especies alto valor géneros *Juglans*, *Prunus*, *Castanea*, *Quercus* y *Pinus*.

¹ INFOR, Chile, vloewe@infor.cl

² INFOR, Chile, cdelard@infor.cl

SUMMARY

The world trends show the importance of diversifying the forest activity, both considering the species composition and its geographical distribution, in order to limit biotic and abiotic risks, market risks and to maximize the utilization of the sites; additionally, it is very pertinent to the Chilean geography, given the wide range of environments that Chile presents.

Agroforestry allows diversifying agriculture and forestry, and can be implemented with different species and designs considering the specific site and owner conditions. INFOR has studied for over 20 years several productive options through the technology known as arboriculture, focused on broadleaves species known as “noble” because they produce very high value timber. Adjustments of European technologies as well as some local developments adapted to the local reality have been considered given the species high growth and vigor. In order to do so, several trials were established with pure and mixed plantations in the central southern area, including the exotic species Walnut (*Juglans regia* L.), Cherry-tree (*Prunus avium* L.), Chestnut-tree (*Castanea sativa* Mill.), Red Oak (*Quercus rubra* L.) and European Holm Oak (*Quercus robur* L.), as well as the native Chilean Hazelnut (*Gevuina avellana* Mol.). Another studied option corresponds to Stone Pine (*Pinus pinea* L.) given its highly demanded fruits known as pine nuts or *pinoli*, essential ingredient of the Italian pesto, being the most expensive nut in international markets, and so an attractive option for different size landowners.

In this chapter results of some of these experiences established in agroforestry systems are presented, demonstrating its application feasibility in Chile given the observed interesting growth and production of the trees and the associated crops.

Key words: Agroforestry systems, High value species genus *Juglans*, *Prunus*, *Castanea*, *Quercus* and *Pinus*.

INTRODUCCIÓN

Las tendencias mundiales muestran la importancia de diversificar el sector forestal, teniendo en cuenta tanto la composición de especies como la distribución geográfica, ya que se facilita así limitar los riesgos bióticos y abióticos, así como soportar mejor las fluctuaciones de mercado y maximizar la utilización de los sitios. Adicionalmente, la diversificación es muy pertinente a la geografía chilena, dada la amplia gama de ambientes existentes en el país.

La agroforestería permite la diversificación de la agricultura y la silvicultura, y puede ser implementada con diferentes especies y diseños (un ejemplo muy novedoso de plantación en espiral para facilitar el movimiento de la maquinaria es presentado por Palma *et al.*, 2014) de acuerdo a las condiciones específicas del sitio y del propietario. Adicionalmente, tiene el potencial de incrementar la productividad, reducir los riesgos ambientales (tales como sequía y erosión), incrementar la biodiversidad y favorecer la estabilidad social (Lojka y Martiník, 2014), dignificar la actividad agraria y forestal para que no se abandone el campo al generar más empleos de calidad (Fernández, 2013), y puede contribuir a mitigar el cambio climático a través de la captura de carbono, la reducción de emisiones, el fortalecimiento de la resiliencia del sistema y la reducción de ciertas amenazas al favorecer condiciones más favorables en el paisaje agrícola altamente fragmentado.

Entre los beneficios de la agroforestería se citan también un microclima más favorable, reducción de la velocidad del viento, mayor fertilidad del suelo, diversificación de la producción, mayor eficiencia del uso de los recursos, menor pérdida de nutrientes y menores niveles de erosión (Schoeneberger *et al.*, 2012). Esta práctica permite la diversificación de los sectores agrícola y forestal, y puede ser implementada con diferentes especies y en diferentes configuraciones o diseños de acuerdo a las condiciones específicas del sitio y del propietario, existiendo numerosos ejemplos en diferentes partes del mundo.

Cuando se asocia un árbol forestal con un cultivo de interés económico hay que considerar cuidadosamente sus requerimientos lumínicos, debiendo las especies arbóreas, en general, tener un fuste alto, copa estrecha y pocas ramas (Shanqing *et al.*, 1991). Los sistemas agroforestales pueden ser más productivos en comparación con un cultivo puro o con sistemas de monocultivo a gran escala, proporcionando cultivos agrícolas y árboles que son complementarios en el uso de los recursos, tanto bajo como sobre la tierra (Van Noordwijk y Purnomosidhi, 1995). En África esquemas usados con especies frutales como cacao, cítricos, banano y otras, junto a especies forestales como *Antiaris* sp. y *Terminalia* sp., han dado buenos resultados por períodos prolongados, obteniendo rendimientos 5-10% mayores que los obtenidos a la sombra o a la intemperie, y además de proteger los frutos y cultivos, los árboles forestales proporcionan madera y forraje.

Las combinaciones de árboles maderables con cultivos perennes, como cacao o café, son ejemplos conocidos de sistemas agrosilviculturales permanentes, que son una alternativa para el pequeño o mediano propietario interesado en reforestar, pero que necesita que sus terrenos generen ingresos a corto plazo y de manera permanente. Sistemas combinados de cultivos agrícolas con árboles madereros fueron desarrollados en forma independiente en Europa, China y Myanmar. Beer *et al.* (1994) reportan experiencias de plantaciones de *Cordia alliodora* o eucalipto (*Eucalyptus deglupta*) con maíz o yuca, y de *Cordia alliodora* o *Acacia mangium* asociada con tres ciclos de maíz, uno de jengibre y un arbusto frutal.

En Chile, INFOR desde hace más de dos décadas ha estudiado varias opciones productivas, algunas relacionadas a la arboricultura de calidad con especies latifoliadas conocidas como “nobles” (Paris *et al.*, 2001) y los resultados consideran adaptaciones de las tecnologías europeas y algunos desarrollos adecuados a la realidad local (Loewe, 2003).

Así se han establecido en el país numerosos ensayos con plantaciones puras y mixtas en la zona centro-sur, incluyendo las especies exóticas nogal (*Juglans regia* L.), cerezo (*Prunus avium* L.), castaño (*Castanea sativa* Mill.), roble americano (*Quercus rubra* L.) y encino (*Quercus robur* L.) y la nativa avellana chilena (*Gevuina avellana* Mol.). Otras opciones estudiadas son el pino piñonero (*Pinus pinea* L.) porque sus frutos (piñones) presentan una alta demanda y son el fruto seco más caro del mercado mundial, siendo una opción muy atractiva para diversas tipologías de propietarios.

Según la directora de la División Forestal de la FAO, *los sistemas agroforestales juegan un papel crucial en los medios de vida de la población rural, proporcionando empleo, energía, alimentos nutritivos y una amplia gama de otros bienes y servicios ecosistémicos* (BBC, 2014). Además, los sistemas mixtos permiten un desarrollo rural sostenible y mejoran la biodiversidad y la preservación del paisaje (Eichhorn *et al.*, 2006).

De hecho, Reisner *et al.* (2007) identificaron regiones de 32 países europeos para la agroforestería silvoarable, considerando las especies nogal, cerezo, álamo, pino piñonero y *Quercus ilex*.

Para promover la agroforestería con especies de alto valor en Chile se identificaron zonas potenciales para varias especies, se analizó su impacto económico y se probaron y desarrollaron técnicas de producción aptas a las condiciones locales de desarrollo. Algunos de los ensayos se establecieron en combinación con cultivos agrícolas y/o ganadería en sistemas mixtos.

En este capítulo se presentan resultados que incluyen las especies nogal común (*Juglans regia* L.), cerezo común (*Prunus avium* L.), castaño (*Castanea sativa*), roble rojo americano (*Quercus rubra*), encino (*Quercus robur*) y pino piñonero (*Pinus pinea* L.) establecidas en conjunto con otros componentes agroforestales, que permiten evaluar su factibilidad de uso por parte de diferentes productores silvoagropecuarios de Chile.

Entre las especies más estudiadas se encuentran nogal común, cerezo común y castaño, debido al elevado valor de sus maderas, al que se suma la fruta, y a que pueden ser incorporadas en sistemas productivos frutoforestales, silvopastorales o agroforestales combinados con maíz, frijol, trigo y guisantes (INFOR, 2004). Algunos sistemas silvoarables para la producción de madera fina para muebles en el Reino Unido incluyen especies como fresno, nogal negro, cerezo, encino y arce (*Acer pseudoplatanus* L.) asociados al cultivo de cereales y legumbres (Eichhorn *et al.*, 2006). Alternativamente a los cultivos agrícolas, como cereales y verduras, con excepción de papas y tomates debido a los efectos alelopáticos de estos cultivos, estas especies de alto valor se pueden asociar con especies forrajeras, con excepción de la alfalfa (*Medicago sativa*). Con una buena gestión, es posible obtener madera de alta calidad en el mediano a largo plazo y generar ingresos a corto plazo de los cultivos agrícolas y de productos forestales no madereros tales como fruta, hongos y miel. A continuación se hace una breve descripción de las especies arbóreas estudiadas.

Nogal Común (*Juglans regia* L.)

Se trata de una especie muy conocida, de interés agrícola y también forestal ya que produce nueces y una madera muy apreciada en todo el mundo para la producción de muebles de estilo, ebanistería y aplicaciones de lujo, siendo una de las maderas más demandadas en Europa, con un mercado estable durante siglos. Es dura, moderadamente durable y responde bien a los tratamientos de preservación, es fácil de trabajar y su estética hace que sea la mejor madera para hacer muebles de calidad, chapas, paneles, partes de armas, instrumentos musicales y artesanías finas y ebanistería (Loewe y González, 2003). La madera de primera calidad para chapas debe tener anillos de crecimiento regulares, dimensiones atractivas (al menos 3 m de largo y 40 cm de diámetro), sin defectos y homogénea en color, prefiriéndose en general tonalidades claras. Los precios de la madera elaborada varían entre US\$ 830 a 2.800 m⁻³, en tanto que árboles en pie varían entre US\$ 330 a 2.200 m⁻³, según sus dimensiones y calidad. Estos altos precios generan demanda por sustitutos de esta madera.

Es un árbol vigoroso, que alcanza 20 - 25 m de altura y hasta 1 m de DAP, con tronco recto y una gran copa (Loewe y González, 2001). Es una especie de crecimiento rápido, contrariamente a lo que comúnmente se considera (Loewe y González, 2003), que se puede incorporar en sistemas agrícolas como un complemento a la actividad económica tradicional. En la zona mediterránea europea se encuentran dispersos pequeños huertos de la especie asociados a cultivos agrícolas (Eichhorn *et al.*, 2006), siendo esta especie preferida en las zonas

de montaña. Asimismo es un componente de los sistemas silvoarables de Italia, con doble propósito de nueces y madera; en particular en el sur también se asocia frecuentemente con avellano europeo (*Corylus avellana* L.) cultivado por las avellanas y por favorecer la forma de los fustes del nogal. La producción combinada de madera y nuez puede lograrse con un manejo apropiado, que puede incluir la técnica del injerto alto (Loewe y González, 2002), que se ha aplicado en algunas experiencias tanto en Europa como en Chile.

Es una especie relativamente exigente desde el punto de vista ecológico (Minotta, 1989; Pellegrino y Bassi 1993) debiendo evitarse suelos compactados ya que favorecen la pudrición radicular causada por *Armillaria mellea* y *Phytophthora* sp. El área cultivable potencial con riego en Chile alcanza 3.109.672 ha.

Los sistemas agroforestales con la especie tienen la ventaja de tener una producción agrícola desde el principio, a mediano plazo una producción de nuez, y a largo plazo de madera noble, configurándose como un excelente modelo de productividad y eficiencia de recursos (Fernández, 2013).

Respecto del crecimiento en agro-ecosistemas templados en Chile, el nogal se cultiva tradicionalmente en huertos puros para producir nueces, pero también se han implementado sistemas innovadores tales como plantaciones puras de nogal para producción de madera y nueces; plantaciones puras de nogal para producción de madera y nueces asociado a cultivos agrícolas como maíz, frijol y hortalizas; plantaciones mixtas para producción de madera y nueces asociadas a especies secundarias o accesorias, árboles o arbustos; plantaciones mixtas para producción de madera y nueces asociadas a especies secundarias, árboles o arbustos y a pradera para producción de forraje. Los resultados de dichas experiencias son buenos si se aplican las técnicas necesarias; de lo contrario, el crecimiento y la rentabilidad disminuyen drásticamente (Loewe y González, 2006).

Asimismo, se han obtenido resultados prometedores en plantación mixta (Loewe y González, 2006), con crecimientos superiores a los de plantaciones puras a la misma edad, lo que concuerda con los hallazgos reportados por Mohni *et al.* (2009). En general, la combinación de nogal con especies secundarias fijadoras de nitrógeno, como *Elaeagnus angustifolia*, presenta un crecimiento mayor que en el monocultivo. Cultivos intercalados, como el maíz, tienen el mismo efecto al de una plantación mixta si éste se introduce a partir del año 2, ya que su presencia induce la formación de ramas laterales delgadas y copas vivas largas y más cónicas, adecuadas a la producción de madera de calidad.

El manejo es muy importante en plantaciones para producir madera de alto valor y debe incluir oportunas y adecuadas podas de formación en invierno y verano, la eliminación de yemas epicórmicas durante el período de crecimiento, control de malezas, riego en primavera y verano si la disponibilidad hídrica así lo sugiere, y mantener los cuellos a nivel del suelo, siendo esta última una importante actividad ya que por cada centímetro que el fuste está enterrado, la rotación se alarga en un año y la planta disminuye su vigor e incluso puede llegar a morir.

El costo de manejo en plantaciones mixtas es menor que en plantaciones puras por varias razones; menor cantidad de plantas de las especies principales (nogales), podas formativas más simples y eliminación de la fertilización anual si se usan especies fijadoras de nitrógeno. Asimismo, desde el momento en que se alcanza la altura objetivo de la troza, disminuyen los costos de manejo, y ello puede ocurrir al tercer año si el manejo es adecuado.

Cerezo Común (*Prunus avium* L.)

Esta especie también produce madera de calidad, siendo una de las más importantes del género *Prunus*. Es una especie noble de importancia en Austria, Bélgica, Francia, Alemania, Italia, Portugal y España, así como en otros países del mundo. En los últimos años, Alemania, Francia, Inglaterra e Italia han desarrollado programas de I&D para mejorar su producción maderera (Loewe *et al.*, 2001). Tiene una fuerte dominancia apical; alcanza 25 - 30 m de altura con un tronco recto y cilíndrico, diámetros de hasta 70 - 80 cm y una copa con pocas ramas delgadas, ascendentes y dispuestas regularmente en verticilos. En Chile, se cultiva para producción de cerezas principalmente entre las regiones Metropolitana y La Araucanía, aunque se concentra en las regiones más centrales (Metropolitana al Maule). El área potencial cultivable para producción maderera alcanza 4.458.719 ha y 3 456 928 ha, con y sin riego, respectivamente.

La demanda por esta madera depende de las tendencias de consumo o la moda y las fluctuaciones del mercado. Desde la Primera Guerra Mundial su demanda ha superado la escasa oferta, por lo que hay pocas probabilidades de un exceso de oferta de madera de alta calidad en el corto o mediano plazo (Loewe y González, 2004). El mercado considera numerosos factores en la determinación de la calidad de trozas y su precio; si una troza de buen tamaño presenta nudos, alteraciones de color, contracción de la madera, fibra en espiral o grietas, es descalificada y su precio cae.

En los mercados de América del Norte, los precios difieren en relación a defectos, longitud y color de la pieza. En Alemania, la madera oscura es generalmente más valorada que en otros países europeos. En el Reino Unido, la mayor parte de la madera aserrada de cerezo se destina a la industria del mueble. En Italia, en algunos períodos, su precio casi ha alcanzado a la de nogal debido a la moda, estimulada principalmente por arquitectos y diseñadores de interiores. Los bosques en pie se venden en US\$ 140 a 1.000 m⁻³; troncos para chapa en US\$ 850 a 1.000 m⁻³; y madera aserrada entre US\$ 300 y 1.350 m⁻³. Los altos precios de esta madera también generan demanda por maderas similares sustitutas.

Respecto del crecimiento en agro-ecosistemas templados en Chile, el cerezo se cultiva tradicionalmente en plantaciones puras para producir cerezas y algunas iniciativas han incluido a la especie en agro-ecosistemas alternativos, tales como plantaciones puras para producir madera y fruta, plantaciones puras para producir madera y fruta asociada a producción de forraje, plantaciones mixtas para producir madera y fruta asociadas a especies secundarias (árboles o arbustos).

La especie ha sido probada desde 1994 con resultados desde pobres a excelentes, dependiendo de la calidad del manejo (calidad/tipo de planta, control de malezas, riego y podas). El crecimiento generalmente es lento durante el primer año cuando el sistema radicular se está desarrollando. Los efectos positivos de plantaciones en sistemas agroforestales son el reflejo de varias causas favorables concurrentes, tales como una mayor disponibilidad de nitrógeno. Mohni *et al.* (2009) indicaron que plantaciones densas con especies acompañantes han mostrado a menudo mayor altura y diámetro que rodales puros.

En suelos con fertilidad reducida, el papel de las especies secundarias es aún más importante que en suelos fértiles (Chiffot *et al.*, 2005; Balandier *et al.*, 2008). En zonas donde el crecimiento es alto, incluso en plantaciones puras, hay algunas plagas y enfermedades que afectan la especie, como el cáncer bacteriano (*Pseudomonas pv siringae*. *Mors-prunorum* Van

Hall.) y el chape (*Caliroa cerasi* L.), que provocan pérdidas en producción de fruta y madera, e incluso la muerte del árbol. El cáncer es una de las principales limitaciones en la producción de madera debido a su difícil control; por esta razón, la Comisión Forestal de Inglaterra limita al 15% la participación del cerezo en plantaciones mixtas, y la desaconseja por completo en plantaciones puras (Roberts, 2001).

Castaño (*Castanea sativa* Mill.)

El castaño es una especie de gran valor, por la multiplicidad de objetivos que ofrece su cultivo. Su atractivo principal lo constituye su utilización como cultivo frutoforestal, mediante el cual es posible producir fruta en forma anual durante gran parte de la rotación y además obtener madera de alta calidad al final.

Es un árbol longevo, monoico, decíduo, con corteza estriada, ramoso, que cuando madura alcanza hasta 35 m de altura en Europa (Najera y Angulo, 1969; Bagnaresi, 1986). Su copa puede alcanzar una superficie de 140 m² variando esta característica si el hábito de crecimiento es erecto o abierto (Saavedra, 1981). El sistema radicular es pivotante, medianamente profundo, robusto y extendido lateralmente.

Tradicionalmente, en Europa se la ha considerado como una especie de crecimiento lento, que se plantaba como un patrimonio para los nietos, creencia que tiene origen en su longevidad. El impacto internacional producido por la enorme pérdida del castaño americano y la gravedad de la regresión del castaño europeo originó importantes investigaciones desde fines de los años 40, demostrándose que no es de lento desarrollo, sino que incluso se puede considerar como una especie de crecimiento rápido, ya que sus producciones de madera superan los 10 m³ ha⁻¹ año⁻¹, alcanzando hasta 18 m³ ha⁻¹ año⁻¹ (Vieitez *et al.*, 1996).

En ese continente la mayoría de los bosques de monte alto han sido convertidos a monte bajo, con los que se obtienen crecimientos de 4 hasta 20 m³ ha⁻¹ año⁻¹, en rotaciones de 12-18 años (Bagnaresi, 1986). En el sur de Inglaterra se registran crecimientos de 12,6 m³ ha⁻¹ año⁻¹ en bosques de 28 años de edad (Rollinson y Evans, 1987).

En Chile existen plantaciones forestales de hasta 50 años, principalmente entre las regiones de Bio Bio y Los Ríos, las que, a pesar de ser escasas y en general de carácter experimental, han permitido realizar estudios que constatan que el crecimiento en volumen es interesante para efectos forestales, es una madera de buena calidad y se podría obtener un volumen entre 0,5 y 1 m³ por árbol a los 35 años, valor superior al observado en Europa. Potencialmente, existen 1,4 millones de hectáreas aptas para su cultivo en esas regiones del país (Loewe, 1995).

La agroforestería con castaño es tradicional en parte de la provincia de Lugo, Galicia, en el noroeste de España. Aunque los castañares rara vez se intercalan (debido a la baja producción de sotobosque) o son pastoreados (debido al temor del daño a los árboles), los bosques crean un mosaico de usos de la tierra que incorporan las tierras de cultivo y los bosques.

En laderas altas, donde la recolección de castaña no es rentable, el pastoreo de cerdos se produce durante el otoño y el invierno. Los bosques de castaño son también uno de los mejores hábitats para la producción comercial de hongos comestibles.

Castaño es una especie interesante de ser considerada en Chile, debido a que es una de las pocas especies de relativo rápido crecimiento que produce madera de calidad (Loewe y González, 2005b; Benedetti *et al.*, 2007).

Es una especie naturalizada en el país desde hace varias décadas; es conocida y forma parte de la cultura rural, presentando un vigor vegetativo acentuado, no presenta plagas de magnitud y puede integrarse a la producción agroforestal con facilidad incorporando la producción de madera en forma complementaria a la producción de castañas, dado que existe una demanda insatisfecha importante por madera de calidad de la especie.

En Chile existen las condiciones ambientales y los conocimientos técnicos para producir madera de calidad en rotaciones de 30 a 40 años, orientada al mercado europeo.

Roble Rojo Americano (*Quercus rubra* L.)

Si bien muchas especies se conocen como robles rojos, algunas de ellas presentan mayor demanda de mercado debido a sus características superiores de crecimiento y de la madera, siendo *Quercus rubra* una de las más apreciadas (Loewe y González, 2005a).

Pertenece a la familia de las fagáceas, es originaria de la costa atlántica de Norteamérica, y es una de las maderas más usadas y abundantes de la región (BAILLIE, 2015). Se caracteriza por su color miel y abastece aproximadamente un 50% de la producción anual maderera (Loewe y González, 2005a).

Algunas de las especies con las que normalmente se asocia corresponden a *White Pine* (*Pinus strobus*), *White Ash* (*Fraxinus americana* L.), tulipero (*Liriodendron tulipifera*) y cerezo americano o *Black Cherry* (*Prunus serotina*), competencia frente a la que el roble americano presenta una tolerancia intermedia, por lo que responde en forma positiva a los raleos (Downs, 1942). En su lugar de origen crece desarrollando frondosas copas, pero bajo manejo presenta un fuste largo y recto.

Los *Quercus* en general son considerados mejoradores de suelo por su acción fertilizadora y termorreguladora, y además tienen la capacidad de regular la escorrentía (Loewe y González, 2005a).

Dentro de los robles rojos americanos, *Quercus rubra* es una de las especies de madera más apreciada, alcanzando valores sobre US\$ 800 m⁻³ para las mejores calidades (Siebert, 2006), a lo que se suma la importante demanda insatisfecha por madera de calidad en Europa.

En Chile es una especie utilizada principalmente como ornamental en parques o avenidas, en la zona centro sur. Requiere de una precipitación media anual entre 700 y 2.000 mm y una temperatura media anual de 5 a 15 °C (USDA, 1965).

Prefiere suelos profundos, de textura fina y con humedad disponible especialmente dentro de los primeros 3 m y buen drenaje (USDA, 1965).

Encino (*Quercus robur* L.)

Quercus robur es una especie nativa de Europa, exceptuando Escandinavia, y se

distribuye desde el nivel del mar hasta 700 msnm (Siebert, 2006). Es un árbol caducifolio, longevo y robusto que puede alcanzar los 50 m de altura, aunque en Chile no sobrepasa los 30 m (Hoffmann, 1995). Tiene una copa amplia, fuste recto, grueso, ramificado a escasa altura, a menudo bastante nudoso e irregular.

Posee un sistema radicular profundo, y crece bien en suelos pesados, arcillosos como también profundos de textura fina (Siebert, 2006). Los usos de esta especie son muy variados, según Benoit (2006) las hojas y la corteza tienen abundantes taninos, y por su fuerte poder astringente se usan para curtir pieles y en medicina popular para distintos tratamientos.

En cuanto a la madera, las mejores calidades (sin nudos, de color claro y anillos uniformes) se destinan a ebanistería, carpintería de interiores, revestimientos decorativos y otros (Loewe, 2009).

El mejor crecimiento se presenta en suelos calcáreos, húmedos, de baja elevación, profundos y moderada fertilidad. Es una especie semitolerante, no necesariamente pionera, que va necesitando luz en la medida que se hace adulta.

Tiene la habilidad de resistir la competencia en la fase de establecimiento y adaptarse a un amplio rango de suelos, y posee una buena dispersión de semillas (Savill, 2001).

Habita zonas de clima templado-cálido a templado-frío (Loewe, 2009). En plantaciones mixtas, la especie se ve favorecida en presencia de *Fraxinus americana*, la cual contribuye en la conservación de una copa regular y un fuste de buena longitud con mejor madera; también se utiliza la especie *Tilia americana* (Hoare, 1996).

El efecto positivo de las asociaciones en el crecimiento se refleja en la calidad del fuste por la disminución de bifurcaciones y mejor forma (Loewe, 2009).

Pino Piñonero (*Pinus pinea* L.)

Especie nativa de la cuenca mediterránea, donde es estabilizadora de suelos e importante por sus semillas comestibles, los piñones. Es una de las nueve especies más importantes del mundo en producción de frutos secos (Gordo *et al.*, 2011).

La cosecha de conos se remonta al Paleolítico (Prada *et al.*, 1997; Gil, 1999; Badal, 2001), en Francia hay evidencia de su uso en los asentamientos rurales medievales (Ruas, 2005).

En Chile se introdujo hace más de un siglo por inmigrantes europeos, que lo utilizaron para la fijación de dunas y el mejoramiento del suelo y para brindar sombra al ganado (Loewe *et al.*, 1998).

La especie tiene múltiples usos de importancia ambiental (alimentación de fauna, protección de cuencas, y control de dunas y erosión), así como importancia económica (piñones y la producción de resina) (Loewe y Delard, 2012).

Para los productores chilenos es una especie atractiva por su madera y sobre todo por el alto valor de sus piñones (Loewe y González, 2007; Soto *et al.*, 2008). Es una opción para

los pequeños y medianos propietarios debido a los ingresos anuales que proporciona y a su adaptación a zonas pobres y erosionadas.

Pino piñonero es una especie que se caracteriza por presentar una alta plasticidad, con importantes variaciones en el crecimiento y desarrollo según las condiciones del sitio, pudiendo sobrevivir muchos años aún en condiciones muy adversas (Gordo *et al.*, 2009), a lo que se suma su tolerancia a condiciones edáficas y climáticas extremas (Mutke *et al.*, 2008).

Puede desarrollarse en climas templado-cálidos o templado fríos, secos o húmedos (Carnevale, 1955). Es una especie heliófila, xerófila, y relativamente termófila (Gutiérrez, 2007), muy sensible a las temperaturas mínimas absolutas y a las fuertes nevazones debido a la arquitectura de su copa.

Es muy tolerante a altas temperaturas (media anual entre 11,7°C y 17,7°C), podría soportar un periodo de hasta dos meses de heladas con mínimas absolutas de -12°C y hasta -23°C (Trap, 1996). Los mejores crecimientos, sin embargo, se registran con temperaturas medias entre 12 y 15°C (CABI, 2012), habiéndose definido para Chile que se ve favorecido por temperaturas medias anuales inferiores a 14,3°C (Loewe *et al.*, 2015).

Según Eichhorn *et al.* (2006), el uso de coníferas puede ampliar las posibles aplicaciones de la agroforestería. Al respecto, esta especie se integra fácilmente en sistemas agroforestales, aquellos que incluyen esta especie en España la intercalan con cultivos agrícolas, viñedos y praderas en baja densidad (Gordo *et al.*, 2011).

Asimismo, se ha desarrollado un modelo productivo combinado de pino piñonero y alcornoque (*Quercus suber*), ambos micorrizados con la trufa *bianchetto* (*Tuber borchii*), el corcho, combinado con la piña procedente de pino piñonero, genera una de las rentabilidades más interesantes dentro de los productos forestales no madereros en la zona mediterránea (Morcillo *et al.*, 2015).

OBJETIVOS

Dado que la diversificación de especies y de técnicas de cultivo es un fenómeno deseable, con importantes impactos socioeconómicos y ambientales, y que la agroforestería corresponde a una de sus manifestaciones, como también la arboricultura de calidad para producir madera de alto valor, y que ambas pueden unirse en modelos productivos innovadores, se estudiaron tres situaciones reales, cuya réplica puede incrementar la productividad de las plantaciones y optimizar el uso del suelo.

El objetivo general de este trabajo es evaluar tres sistemas agroforestales establecidos en el centro sur de Chile, cuyas componentes productivas corresponden a:

- Nogal común para producción de madera asociado a maíz durante los primeros años. Retiro, región del Maule.
- Especies latifoliadas productoras de maderas de alto valor (cerezo común, castaño, encino y roble rojo americano) en plantaciones puras y mixtas asociadas a producción

de forraje. Los Lagos, región de Los Ríos.

- Pino piñonero asociado a cultivos agrícolas y ovinos. El Carmen, región del Bio Bio.

MATERIAL Y MÉTODO

Las características de los sitios donde se establecieron los sistemas evaluados se presentan en el Cuadro N° 1.

Antecedentes respecto del establecimiento de los mismos y su manejo se encuentran en el Cuadro N° 2, y detalles sobre el manejo silvo-agro-forestal del sistema con pino piñonero en el Cuadro N° 3.

Retiro fue establecido el año 1996 sobre una superficie de 2 ha, con una densidad inicial de 1.111 árb ha⁻¹, y corresponde a un diseño de bloques al azar de familias cuyas madres presentaban características de interés desde el punto de vista de la producción maderera. Los primeros 5 años se asoció a maíz en cultivo intercalado, manteniendo una faja libre de 1 m por cada lado de los árboles.

Los Lagos se plantó el 2001 en 2,9 ha, con un diseño en bloques al azar incluyendo plantaciones puras y mixtas, con una densidad de las especies principales de 156 árb ha⁻¹ (8 x 8 m). Las especies principales son cerezo común (*Prunus avium*), roble rojo americano (*Quercus rubra*), encino (*Quercus robur*) y castaño (*Castanea sativa*).

Se incluyen en algunos casos especies secundarias arbóreas, como aliso italiano (*Alnus cordata*), avellano (*Gevuina avellana*), notro (*Embothrium coccineum*), y una arbustiva, piche (*Fabiana imbricata*). Las asociaciones probadas corresponden a:

1. Cerezo común puro
2. Roble rojo americano puro
3. Castaño puro
4. Encino puro
5. Cerezo – roble – castaño – encino
6. Cerezo – roble – castaño – encino – aliso negro
7. Cerezo – roble – castaño – encino – avellano
8. Cerezo – roble – castaño – encino – notro
9. Cerezo – roble – castaño – encino – piche
10. Cerezo – roble – castaño – encino – aliso – piche
11. Cerezo – roble – castaño – encino – avellano – piche
12. Cerezo – roble – castaño – encino – notro – piche

En las entre hileras se mantuvo la pradera presente en el predio con el fin de cosecharla anualmente.

La unidad El Carmen considera dos sistemas agroforestales establecidos con pino piñonero el año 2010, que incluyen cultivos agrícolas y producción ovina. Las densidades de plantación fueron 5 x 5 m y 7 x 7 m.

Cuadro N° 1
LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ENSAYOS

Ensayo	Especie Forestal	Espaciamiento (m)	Ubicación		Altitud (msnm)	Suelo	Precipitación Anual (mm)	Temperatura Media Anual (°C)
			LS	LO				
Retiro	Nogal común	3 × 3	36°06'08.63"	71°46'27.94"	170	Agrícola (clase II con riego)	869,9	13,8
Los Lagos	Cerezo común, roble rojo, castaño y encino	8 × 8	39°52'23.46"	72°50'43,51"	459	Agrícola (clase IV)	1 649,3	10,0
El Carmen	Pino piñonero	5 x 5 y 7 x 7	36°56'55,19"	71°49'55,31"	533	Agrícola (clase III con riego)	958,3	12,1

(Fuente: IREN, 1964 y DGA, 2015)

Cuadro N° 2
INFORMACIÓN SOBRE ESTABLECIMIENTO Y MANEJO DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS EVALUADOS

Actividad	Retiro	Los Lagos	El Carmen
Establecimiento	Julio 1996	Agosto 2001	Julio 2010
Años de Medición	1996, 1997, 1998, 1999, 2002, 2003, 2006, 2007, 2011 y 2015	2001, 2003, 2004, 2005, 2006 y 2015	2010, 2011, 2012, 2013, 2014 y 2015
Cuidados Culturales	Fertilización inicial (50 kg/ha urea y 100 kg ha ⁻¹ superfosfato triple) y fertilizaciones años 1998 y 1999 (102 kg ha ⁻¹ de urea y 3 kg de sulfato de cobre cada año) Control anual de malezas Podas y desyemes años 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2005, 2006, 2007, 2008 y 2009. Raleos años 2002, 2003 y 2005	Fertilización inicial (100 g fosfato mono amónico, 120 g sulphomag, 20 g boronatrocalcita, 20 g sulfato Zinc, 250 g cal) Control anual de malezas Podas y desyemes años 2003, 2004, 2005 y 2006	Fertilización inicial (15 g sulfato Zinc, 20 g boronatrocalcita, 45 g fosfato mono amónico). Fertilización anual según cultivo asociado. Control anual de malezas Poda de formación y levante año 2014
Asociación	Cultivo intercalado de maíz años 1996 a 1999	Cultivo pradera permanente	Avena forrajera, papas y pradera permanente (detalles en Cuadro N° 3)

Para las evaluaciones dasométricas de las especies arbóreas principales se realizaron estadísticas descriptivas y análisis de varianza para diámetro y altura comparando con test LSD de Fisher ($p \leq 0,05$).

El test Chi cuadrado de Pearson ($p=0,05$) se usó para probar homogeneidad de proporciones de variables cualitativas (rectitud y vigor) en el caso del ensayo El Carmen.

Los análisis estadísticos se realizaron con el Software INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2013).

La evaluación de los cultivos agrícolas y pecuarios se basó en un análisis comparativo descriptivo.

Cuadro N° 3
ANTECEDENTES SOBRE ROTACIONES Y MANEJO DE CULTIVOS ASOCIADOS
EN SISTEMA PRODUCTIVO DE PINO PIÑONERO DE EL CARMEN

Parcela	Cultivo Asociado	Periodo	Frecuencia de Riego Año ⁻¹ (8 h duración c/u) (N°)	Fertilizante	Dosis (kg ha ⁻¹)	Producción (kg ha ⁻¹)	Ovejas (N°)
1 (5x5 m)	Avena forrajera ¹	Jul. 2010 a Feb. 2012	Ninguno	mix 5-33-12	320	Pastoreo ovejas	15 durante 10 días mes ⁻¹
	Papas ²	Oct. 2012 a Abr. 2013	6 (Dic.–Feb.)	mix 5–33–12	2 120	10,200	0
	Avena forrajera	Nov. 2013 a Feb. 2014	Ninguno	mix 5–33–12	320	Pastoreo ovejas	15 durante 10 días mes ⁻¹
	Pradera permanente (avena forrajera + ballica ³)	Marzo 2014 hasta ahora	6 (Dic.–Feb.)	Urea	260	Pastoreo ovejas	30 durante 2 días mes ⁻¹ salvo Feb y Mar
2 (7x7 m)	Papas	Nov. 2010 a Abr. 2011	5 (Dic.–Ene)	mix 5-33-12	1 175	13,225	0
	Avena forrajera	Jul. 2011 a Feb. 2012	Ninguno	mix 5–33–12 urea	294 220	2,350 + Pastoreo ovejas	15 durante 12 días mes ⁻¹
	Avena forrajera	Abr. 2012 a Ene 2014	Ninguno	mix 5–33–12 Urea	294 150	Pastoreo ovejas	15 durante 12 días mes ⁻¹
	Pradera permanente (avena forrajera + ballica ³)	Mar 2014 hasta ahora	4 (Nov.–Ene)	Urea	220	Pastoreo ovejas	30 durante 4 días mes ⁻¹ salvo Feb y Mar

1: Avena forrajera (*Avena strigosa*)

2: Papa (*Solanum tuberosum*)

3: Ballica (*Lolium multiflorum*)

RESULTADOS

Retiro

Los resultados de crecimiento dasométrico de los nogales se presentan en los Cuadros N° 4 y N° 5, y Figuras N° 1 a N° 4.

Cuadro N° 4
DIÁMETRO Y ALTURA PROMEDIO PARA NOGAL COMÚN SEGÚN FAMILIA A LOS 19 AÑOS (AÑO 2015)

Familia	DAP (cm)		E.E.	Altura (m)		E.E.
ANDU-1	17,7	abc	1,0	12,0	abc	0,8
ANDU-2	15,8	bc	0,9	10,7	abcd	0,7
ANDU-3	16,3	abc	1,0	11,7	abcd	0,9
ANDU-4	15,1	bc	1,4	9,1	d	1,1
ANDU-5	17,7	abc	0,9	12,0	abc	0,7
ANDU-6	19,5	a	1,2	12,8	ab	1,0
ANDU-7	17,5	abc	1,0	11,9	abcd	0,8
ANDU-8	18,4	ab	0,9	11,1	abcd	0,7
ANDU-9	17,5	abc	1,2	11,3	abcd	1,0
ANDU-10	17,9	abc	1,1	12,1	abc	0,9
ANDU-11	17,7	abc	1,0	12,3	ab	0,8
ANDU-12	18,1	ab	1,1	12,8	ab	0,9
ASTO-1	17,5	abc	0,9	12,0	abcd	0,7
ASTO-2	14,2	c	1,2	9,7	cd	1,0
ASTO-3	16,2	abc	0,9	11,2	abcd	0,7
ASTO-4	14,6	c	1,4	9,4	cd	1,1
ASTO-5	17,3	abc	1,2	11,3	abcd	1,0
CASE-1	19,3	a	1,0	13,0	a	0,8
CASE-2	18,0	abc	1,6	10,6	abcd	1,3
CASE-3	16,2	abc	1,1	10,7	abcd	0,9
CASE-4	17,8	abc	0,9	11,4	abcd	0,7
CASE-5	16,6	abc	1,1	11,7	abcd	0,9
CASE-6	17,4	abc	1,1	10,3	bcd	0,9
ERRA-1	17,6	abc	0,8	12,6	ab	0,6
ERRA-2	17,4	abc	1,2	11,6	abcd	1,0
ERRA-3	17,9	abc	0,8	12,3	ab	0,6
ERRA-4	16,8	abc	0,8	10,9	abcd	0,6
ERRA-5	18,1	ab	0,9	11,3	abcd	0,7
FERN-1	16,4	abc	1,0	10,5	bcd	0,8
FERN-2	17,5	abc	1,4	12,2	abc	1,1

Familia	DAP (cm)		E.E.	Altura (m)		E.E.
FERN-3	15,8	bc	1,2	11,1	abcd	1,0
FERN-4	16,9	abc	1,4	11,4	abcd	1,1
FERN-5	14,9	c	1,2	9,3	d	1,0
GEVA-1	16,6	abc	1,1	11,1	abcd	0,9
GEVA-2	16,8	abc	0,8	11,7	abcd	0,7
GEVA-3	16,1	abc	1,4	11,1	abcd	1,1
GEVA-4	17,0	abc	0,8	11,6	abcd	0,6
GEVA-5	16,1	bc	1,0	10,7	abcd	0,8
LECA-1	17,1	abc	1,0	11,1	abcd	0,8
LECA-2	16,7	abc	0,9	10,9	abcd	0,8
LECA-3	16,7	abc	1,4	12,0	abcd	1,3
LECA-4	17,6	abc	0,9	12,1	abc	0,7
LIRA-1	17,8	abc	1,0	12,4	ab	0,8
LIRA-2	16,6	abc	0,8	11,5	abcd	0,7
LIRA-3	17,9	abc	0,9	12,4	ab	0,7
LIRA-4	18,6	ab	1,2	11,8	abcd	1,0
LIRA-5	17,1	abc	1,0	11,5	abcd	0,8
LIRA-6	16,5	abc	1,0	10,9	abcd	0,8
VIDA-1	17,4	abc	1,0	12,4	ab	0,8
VIDA-3	15,9	bc	1,0	11,3	abcd	0,8

E.E.: error estándar

Cuadro N° 5
FAMILIAS DE NOGAL COMÚN IDENTIFICADAS COMO SUPERIORES E INFERIORES
SEGÚN CRECIMIENTO EN DAP Y ALTURA

ALTURA		DAP	
Superiores	Inferiores	Superiores	Inferiores
CASE-1	GEVA-5	ANDU-6	CASE-3
ANDU-6	ANDU-2	CASE-1	GEVA-3
ANDU-12	CASE-3	LIRA-4	GEVA-5
ERRA-1	CASE-2	ANDU-8	VIDA-3
LIRA-3	FERN-1	ANDU-12	FERN-3
LIRA-1	CASE-6	ERRA-5	ANDU-2
VIDA-1	ASTO-2	CASE-2	ANDU-4
ANDU-11	ASTO-4	LIRA-3	FERN-5
ERRA-3	FERN-5	ERRA-3	ASTO-4
FERN-2	ANDU-4	ANDU-10	ASTO-2

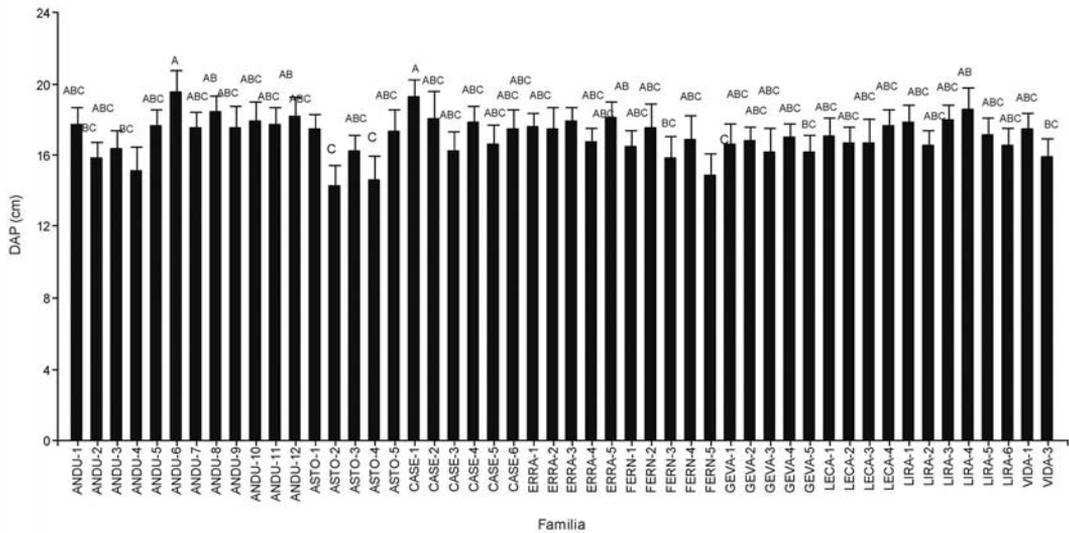


Figura N° 1
DIÁMETRO (DAP) MEDIO DE NOGAL COMÚN SEGÚN FAMILIA A LOS 19 AÑOS DE EDAD

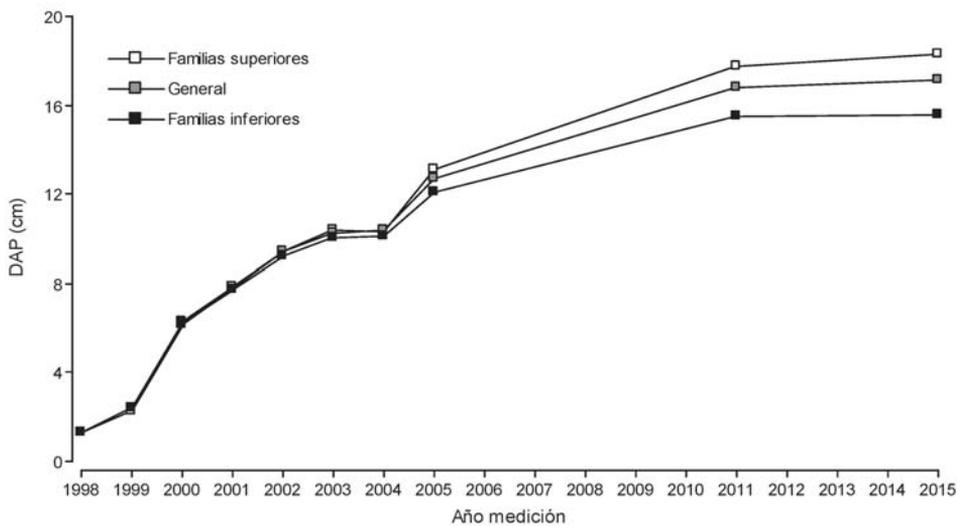


Figura N° 2
EVOLUCIÓN DEL DIÁMETRO DE NOGAL COMÚN CONSIDERANDO MEDIA GENERAL Y DE LAS 10 MEJORES Y PEORES FAMILIAS

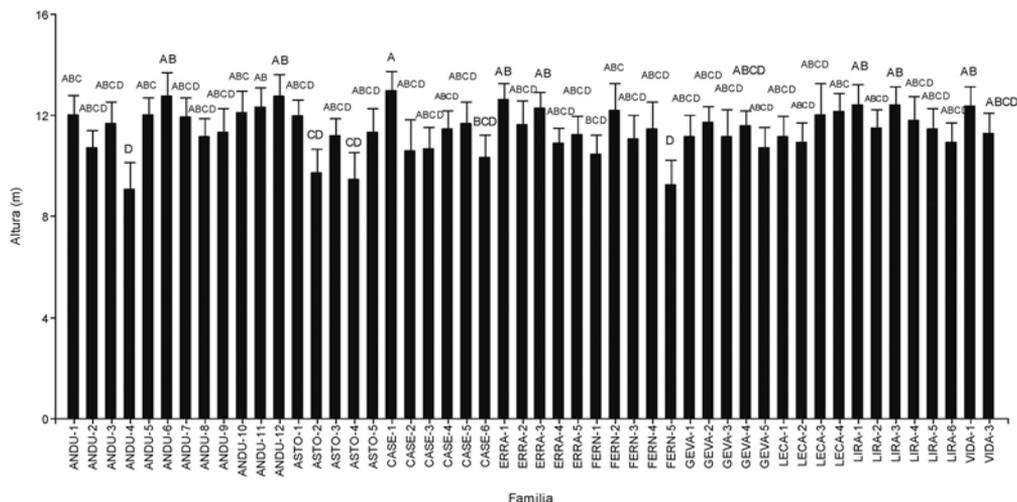


Figura N° 3
ALTURA MEDIA DE NOGAL COMÚN SEGÚN FAMILIA A LOS 19 AÑOS DE EDAD

Las familias que presentan el mayor crecimiento en diámetro (DAP) corresponden a Andu-6 y Case-1, con 19,5 y 19,3 cm, respectivamente, significativamente superiores que el de las familias Asto-2, Asto-4 y Fern-5, con diámetros entre 14,2 y 14,9 cm (Cuadro N° 4 y Figura N° 1).

Las familias que presentan el mayor desarrollo en altura (Cuadro N° 5) alcanzan valores de hasta 13 m a los 19 años, presentando diferencias significativas respecto a las familias de menor crecimiento (Andu-4 y Fern-5) con 9,1 y 9,3 m, respectivamente (Cuadro N° 4 y Figuras N° 3 y N° 4).

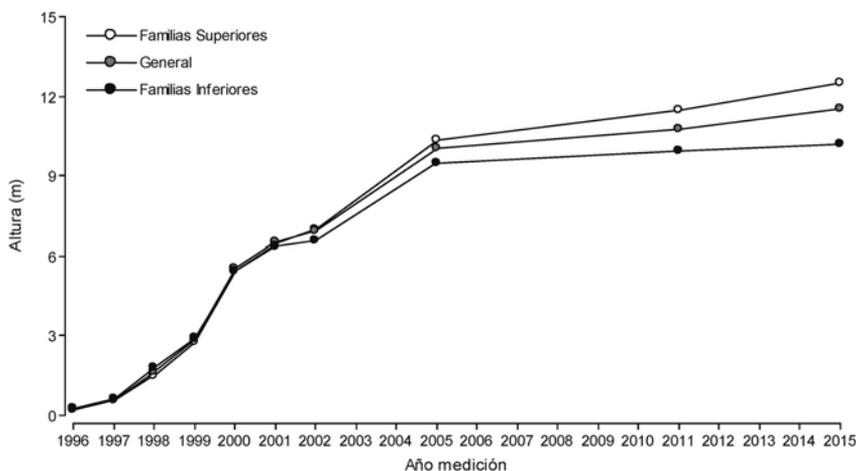


Figura N° 4
EVOLUCIÓN DE LA ALTURA DE NOGAL COMÚN CONSIDERANDO MEDIA GENERAL Y DE LAS 10 MEJORES Y PEORES FAMILIAS

La asociación del nogal con maíz durante los primeros 5 años no manifestó inconvenientes para el nogal, y se obtuvieron rendimientos elevados, que fluctuaron entre 10.000 y 14.000 kg ha⁻¹.

Los Lagos

Los resultados de crecimiento dasométrico de las especies principales en estudio se presentan en los Cuadros N° 6 a N° 9 y en las Figuras N° 5 y N° 6.

Se observa que las diferentes especies principales reaccionan de diferente forma en las asociaciones probadas, siendo algunas de ellas más beneficiosas en términos de crecimiento que para otras. La asociación con el arbusto piche tuvo un efecto negativo en varias de las especies principales en estudio.

Castaño presenta los mejores crecimientos tanto en altura como DAP en la asociación 5, y la menor altura en la mezcla 8 y DAP en la asociación 12 (Cuadro N° 6).

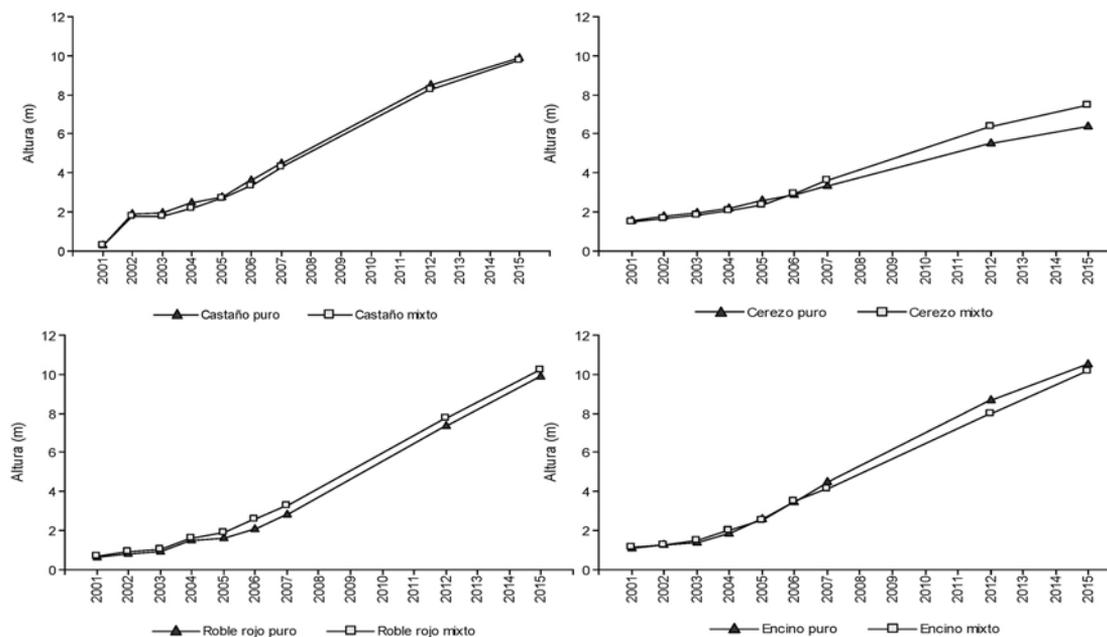


Figura N° 5
EVOLUCIÓN DEL CRECIMIENTO EN ALTURA
EN PLANTACIÓN PURA Y PROMEDIO DE LAS PLANTACIONES MIXTAS PRUBADAS PARA CADA ESPECIE

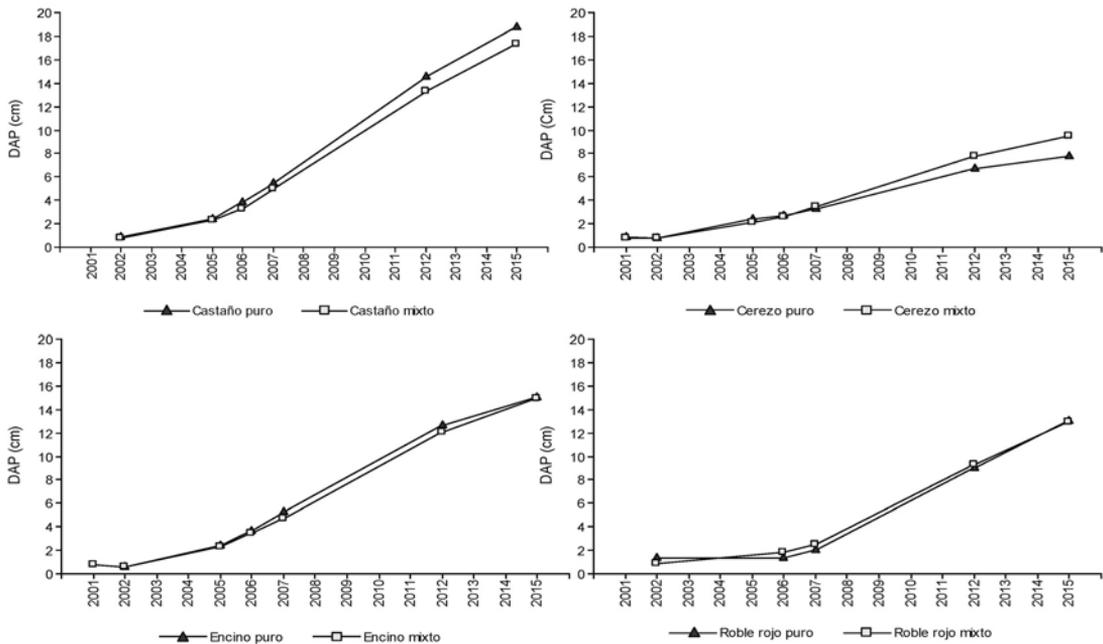


Figura N° 6
EVOLUCIÓN DEL CRECIMIENTO EN DAP
EN PLANTACIÓN PURA Y PROMEDIO DE LAS PLANTACIONES MIXTAS PRUBADAS PARA CADA ESPECIE

Cuadro N° 6
ALTURA Y DIÁMETRO PROMEDIO DE CASTAÑO SEGÚN ASOCIACIÓN
A LOS 14 AÑOS

Asociación	Altura (m)		E.E.	DAP (cm)		E.E.
3	9,9	a	0,3	18,7	a	0,6
5	10,2	a	0,5	18,8	a	1,1
6	9,7	ab	0,6	17,2	abc	1,5
7	10,0	a	0,5	18,2	ab	1,1
8	8,1	b	0,7	14,5	bc	1,7
9	9,8	a	0,5	18,3	ab	1,1
10	9,3	ab	0,6	16,9	abc	1,5
11	9,8	a	0,5	17,4	abc	1,1
12	10,0	a	0,6	14,4	c	1,4

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).
 E.E.: error estándar

Cerezo presenta los mejores crecimientos tanto en altura como DAP en la asociación 12 y la menor altura en las mezclas 7 y 9, y DAP en la asociación 7 (Cuadro N° 7).

Cuadro N° 7
ALTURA Y DIÁMETRO PROMEDIO DE CEREZO SEGÚN ASOCIACIÓN
A LOS 14 AÑOS

Asociación	Altura (m)		E.E.	DAP (cm)		E.E.
1	6,4	c	0,3	7,7	b	0,6
5	7,5	bc	0,8	10,3	ab	1,5
6	8,6	ab	0,6	12,0	a	1,1
7	5,8	c	0,8	7,1	b	1,5
8	7,0	bc	0,6	7,6	b	1,0
9	5,8	c	0,8	7,7	b	1,5
10	7,2	bc	0,6	8,4	b	1,0
11	6,9	bc	0,8	7,6	b	1,5
12	9,6	a	0,7	13,2	a	1,1

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).
 E.E.: error estándar

Encino presenta los mejores crecimientos tanto en altura como DAP en la asociación 8, y la menor altura y DAP en la asociación 12 (Cuadro N° 8).

Cuadro N° 8
ALTURA Y DIÁMETRO PROMEDIO DE ENCINO SEGÚN ASOCIACIÓN
A LOS 14 AÑOS

Asociación	Altura (m)		E.E.	DAP (cm)	E.E.	
4	10,5	a	0,3	15,0	abc	0,5
5	10,6	a	0,5	15,9	ab	0,8
6	9,8	a	0,6	14,6	abc	1,1
7	10,0	a	0,5	15,0	abc	0,8
8	10,6	a	0,6	16,8	a	1,1
9	10,4	a	0,5	14,0	bc	0,8
10	10,2	a	0,6	14,9	abc	1,1
11	9,9	a	0,5	15,0	abc	0,8
12	9,3	a	0,6	12,9	c	1,0

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).
 E.E.: error estándar

Roble rojo americano, por su parte, presenta los mejores crecimientos tanto en altura como DAP en la asociación 7, y la menor altura en la mezcla 11 y menor DAP en la asociación 6 (Cuadro N° 9).

Cuadro N° 9
ALTURA Y DIÁMETRO PROMEDIO DE ROBLE ROJO AMERICANO SEGÚN ASOCIACIÓN
A LOS 14 AÑOS

Asociación	Altura		E.E.	DAP		E.E.
	(m)			(cm)		
2	9,9	a	0,3	13,0	ab	0,5
5	10,7	a	0,7	13,7	ab	1,1
6	9,7	a	0,5	11,5	b	0,8
7	11,3	a	0,7	14,9	a	1,1
8	10,5	a	0,5	12,6	ab	0,8
9	10,1	a	0,7	13,9	ab	1,1
10	10,1	a	0,5	12,0	b	0,8
11	9,6	a	0,7	11,6	b	1,1
12	10,0	a	0,5	14,4	a	0,9

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$)

E.E.: error estándar

Respecto de la producción de la pradera, los primeros 4 años se obtuvieron 600-800 fardos, los que equivalen a 6.210 a 8.276 kg ha⁻¹, y posteriormente la producción fue decayendo hasta llegar en la actualidad a 3.100 a 4.150 kg ha⁻¹.

En los primeros años, estos valores no son muy diferentes de los obtenidos en la zona por Montecinos (2011), quien obtuvo 4.690 a 9.783 kg ha⁻¹ de MS en pradera natural sin fertilizar y fertilizada, respectivamente. Por su parte, Demanet y Contreras (1988) indican que en esta región la productividad fluctúa entre 0,5 y 12 t ha⁻¹ de MS, y que la principal limitante para el desarrollo del potencial productivo es la baja fertilidad de los suelos, escasa fertilización e inadecuado manejo pastoril de los pastizales.

El Carmen

Los rendimientos de los cultivos intercalados y del pastoreo de ovejas se presentan en el Cuadro N° 3. Los resultados de crecimiento, supervivencia y producción frutal del pino piñonero se presentan en las Figuras N° 7 y N° 8 y en el Cuadro N° 10, y los indicadores obtenidos en la evaluación económica en el Cuadro N° 11.

Cuadro N° 10
CRECIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD DE PINO PIÑONERO EN DOS SISTEMAS AGROFORESTALES ESTABLECIDOS EN EL PIEDMONT DE LA CORDILLERA DE LOS ANDES EN EL CARMEN

Variable	Parcela 1 (5x5 m)	Parcela 2 (7x7 m)
DAC ¹ a los 4 años (cm)	9,9 ± 1,7	11,2 ± 1,8 *
DAP ² a los 5 años (cm)	4,4 ± 1,6	4,3 ± 1,6
Altura a los 5 años (m)	2,4 ± 0,04	2,5 ± 0,04
Diámetro de copa a los 3 años (m)	0,93 ± 0,024	1,12 ± 0,024 *
Supervivencia a los 5 años (%)	97,5	95,1
Árboles con conos maduros a los 5 años (%)	0	1,3
Árboles con estróbilos a los 5 años (%)	6,3	0
Vigor		
Vigorousos (%)	97	87
Vigor medio (%)	3	12
Vigor bajo (%)	0	1
Rectitud		
Rectos (%)	42	56
Curvados (%)	54	35
Muy curvados (%)	4	9

¹DAC: Diámetro a la altura del cuello de la planta

²DAP: Diámetro a la altura del pecho (1.3 m)

*Diferencias estadísticamente significativas (p<0.05).

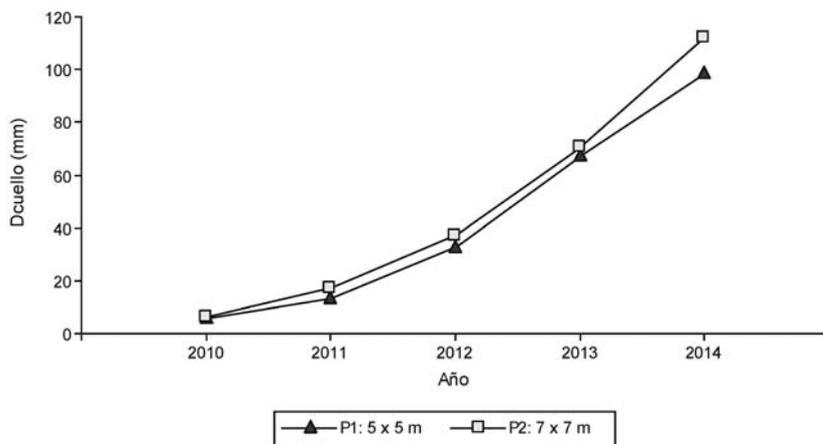


Figura N° 7
EVOLUCIÓN DEL DAC DE PINO PIÑONERO SEGÚN DENSIDAD EN SISTEMA AGROFORESTAL

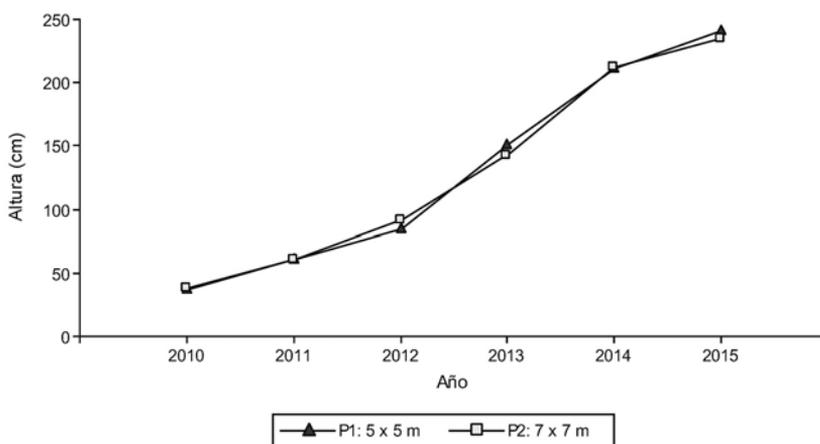


Figura N° 8
EVOLUCIÓN DE LA ALTURA DE PINO PIÑONERO SEGÚN DENSIDAD EN SISTEMA AGROFORESTAL

El análisis del crecimiento de pino piñonero evidencia que el crecimiento anual en altura ha sido sostenido, similar en las parcelas 1 y 2 (Figura N° 8), de casi 50 cm en ambas parcelas. El diámetro a la altura del cuello también presentó una tendencia creciente y sostenida, y fue significativamente mayor en la parcela 2 a menor densidad (Figura N° 7), con un valor de 2,24 cm contra 1,98 cm en la parcela 1 de mayor densidad. El crecimiento anual en DAP a los 5 años alcanzó 0,88 y 0,86 cm en las parcelas 1 y 2, respectivamente.

Los valores de diámetro de copa reportados corresponden a mediciones del año 3, ya que antes de la medición siguiente se realizó una intensa poda formativa que redujo significativamente este parámetro. La mortalidad fue baja (inferior al 5%) en ambas parcelas.

Aunque pino piñonero se presenta vigoroso en ambas parcelas, se encontraron diferencias significativas; el mayor porcentaje de árboles vigorosos se encontró en la parcela 1 (97%) y en la parcela 2 este valor se reduce a un 87% (Cuadro N° 10). En la parcela 1 a mayor densidad no se encontraron individuos con bajo vigor, mientras que en la parcela 2 ese valor fue muy bajo (1%).

Respecto a la rectitud, también se observan diferencias estadísticas entre parcelas. El mayor porcentaje de árboles rectos se concentra en la parcela 2, a menor densidad. En la parcela 1 un 54% de los individuos son curvos, a pesar de la densidad más alta que normalmente promueve una mejor forma. La parcela 2 también tuvo el mayor porcentaje de árboles muy curvados (9%).

La fructificación se evaluó a partir de los 3 años a pesar de la corta edad de la plantación. A los 5 años, se observó que en la parcela 1 más del 6% de los árboles tenían al menos un estróbilo (conos de 1 año de edad). Pocos árboles empezaron a florecer en el segundo año y algunas de esas flores se desarrollaron y alcanzaron la madurez a los cinco años, considerando el ciclo de 3,5 años para que el fruto alcance la madurez.

A los 5 años, la producción ovina en la parcela 1, con árboles espaciados a 5 x 5 m, fue equivalente a 3,7 ovejas ha⁻¹ año⁻¹, mientras que en la parcela 2, con menor densidad, este valor ascendió a 4,4 ovejas ha⁻¹ año⁻¹. Teniendo en cuenta que la producción media en pastizales de calidad regular en Chile llega a 4 (3-5) ovejas reproductivas por hectárea (Claro, 2009), estos resultados en las parcelas 1 y 2 representan el 92 y el 110% de los valores a nivel de país, respectivamente.

Cuadro N° 11
INDICADORES ECONÓMICOS DE UNA PLANTACIÓN PURA ORIENTADA A PRODUCCIÓN DE PIÑAS Y DE UN SISTEMA AGROFORESTAL, AMBOS CON Y SIN SUBSIDIO AL ESTABLECIMIENTO

Indicador	Plantación sin Subsidio	Sistema Agroforestal sin Subsidio	Plantación con Subsidio	Sistema Agroforestal con Subsidio
VAN (\$ ha ⁻¹) (tasa interés 8%)	327.618	2.287.751	968.913	2.929.743
TIR (%)	8,4	12,3	9,2	15,9

Los resultados de las evaluaciones económicas (TIR y VAN al 8%) (Cuadro N° 11) muestran que sin subsidio el VAN es casi siete veces superior bajo el sistema agroforestal (producción de piñas, cultivos intercalados y ovejas) que en la plantación pura para producción de piña (\$2.287.751 ha⁻¹ contra \$ 327.618 ha⁻¹), y el TIR se eleva de 8,4% a 12,3% en el sistema agroforestal. En el escenario con subsidio, el VAN es 300% superior en el sistema agroforestal (\$2.929.743 ha⁻¹ contra \$ 968 913 ha⁻¹) y la TIR es un 7% más alta (16% contra 9%).

DISCUSIÓN

Los tres casos analizados consideran información interesante no sólo por las especies que los componen, innovadoras en el contexto nacional, sino también por la cantidad de años evaluados, que fluctúa entre 5 y 19 años, aportando información valiosa para su réplica en ambientes y condiciones similares.

Retiro

En este sistema agroforestal las condiciones de crecimiento de los árboles mejoraron por el manejo intensivo del cultivo agrícola, lo que se ha observado especialmente en sitios pobres (Zhanxue *et al.*, 1991). El cultivo de maíz no presentó efectos negativos en el desarrollo, de hecho induce un aumento de la altura y vigor o sanidad del nogal, a diferencia del cultivo de alfalfa, ya que esta asociada a nogal reduce su crecimiento por los siguientes tres a cinco años (Paris *et al.*, 1995), por lo que debe evitarse. Si se desea favorecer el desarrollo del nogal se lo puede asociar con especies fijadoras de nitrógeno (Cutini *et al.*, 1997, Buresti y De Meo, 1998), ya sean hierbas, arbustos o especies arbóreas.

La elevada densidad inicial de árboles reduce el período en el que los cultivos intercalados se pueden mantener. La densidad inicial de plantación en estos sistemas varía entre 278 a 1.111 árb ha⁻¹, con una densidad final esperada de 100 a 250 árb ha⁻¹ según la especie.

Los crecimientos anuales medios de 0,95 cm año⁻¹ en diámetro y 0,63 m año⁻¹ en altura, son valores intermedios respecto a los reportados por Loewe *et al.* (2013a), que fluctúan entre 0,5 y 1,8 cm año⁻¹ en DAP y entre 0,38 y 1,07 m año⁻¹ en altura según las especies y sitios, correspondiendo en algunos casos a tasas de crecimiento superiores a algunas observadas en Europa (Buresti *et al.*, 1997, Tani *et al.*, 2006). En particular, el incremento diamétrico es superior al observado por Buresti *et al.* (1997) a los 8 años, que alcanza 0,77 cm año⁻¹, aun cuando el incremento anual en altura es similar al observado en plantaciones puras por Cutini y Giannini (2009) (64 cm/año) y por Buresti *et al.* (1997) (69 cm/año).

Según la clasificación de familias superiores e inferiores, en las primeras se observan alturas promedio de 12,5 m y DAP de 18,3 cm, mientras que en las familias inferiores, estos valores fueron de 10,2 m y 15,6 cm, respectivamente, a los 14 años. Es por ello que se observa una diferencia entre las peores y mejores familias del 18% en el incremento diamétrico y del 22% en incremento en altura, lo que se traduciría en 5 años de diferencia en la duración de la rotación considerando como diámetro objetivo 40 cm.

Loewe y González (2001) indican que esta vigorosa especie alcanza los 20-25 m de altura y hasta 1 m de DAP, con tronco recto y una gran copa, por lo que con el incremento de 0,63 m año⁻¹, a los 26 años se lograría la altura señalada para familias superiores y a los 29 años para familias inferiores. La densidad de plantación de 3 x 3 m, podría estar generando el mayor crecimiento en altura que en diámetro, donde según el incremento medio en DAP de 0,95 cm año⁻¹, no se alcanzaría un DAP de 1 m simultáneamente con las alturas propuestas.

La asociación del nogal con maíz durante los primeros 5 años no manifestó inconvenientes para el nogal, y se obtuvieron rendimientos elevados, que fluctuaron entre 10.000 y 14.000 kg ha⁻¹. Estos valores son 40% superiores a la media de la producción de los últimos 3 años en la región del Maule (Muñoz, 2014), por lo que este sistema es positivo y replicable por parte de productores de la zona.

Los Lagos

Para castaño, el mayor desarrollo en DAP (18,8 cm, 1,3 cm año⁻¹) y en altura (10,2 m, 73 cm año⁻¹) se presentó en la asociación 5, correspondiente a la mezcla de las especies principales. La asociación de las cuatro especies principales más notro y piche como secundarias (asociación 12) muestra el menor diámetro a los 14 años, coincidente a lo observado por Loewe y Gonzalez (2009). En forma similar, para la altura, la asociación con notro tuvo un efecto negativo.

Los crecimientos medios de la plantación pura alcanzaron 1,3 cm año⁻¹ en diámetro y 49 cm año⁻¹ en altura, coincidentes con información de crecimiento en Chile entre las regiones del Bio Bio y Los Lagos, presentada por Loewe y González (2003), quienes mencionan alturas superiores a 20 m a los 25 años, y DAP de 29 cm a los 22 años; y por Loewe *et al.* (1994) quienes indican incrementos medios anuales en diámetro que varían entre 1,0 y 1,5 cm en árboles sin manejo, sin injertar y en un amplio rango de distribución geográfica y de edad. Estos crecimientos anuales están dentro de los rangos reportados en España en sitios buenos, de 1 - 2 cm de diámetro (Vieitez *et al.*, 1996), y en Francia donde alcanzan 0,8 - 1,1 cm año⁻¹ a los 12 años (Bourgeois *et al.*, 2004).

El cerezo presenta los mejores crecimientos tanto en DAP (13,2 cm, 0,9 cm año⁻¹) como en altura (9,6 m, 69 cm año⁻¹) en la asociación 12 correspondiente a la asociación entre especies principales, notro y piche, con valores que se encuentran dentro de los rangos indicados por Loewe *et al.* (2013b). Si bien Loewe y González (2009) indican que la altura de esta especie disminuye cuando se asocia al arbusto piche, estas recientes observaciones no concuerdan, ya que la especie asociada a las demás principales (roble rojo, castaño y encino) y notro y piche como acompañantes muestra la mayor altura y diámetro. Se observa asimismo que el crecimiento en altura en Chile coincide con los mayores valores reportados que en plantaciones agroforestales de 8 años de edad en Francia, donde el crecimiento anual en altura oscila entre 31 y 69 cm año⁻¹ (Balandier y Dupraz, 1999). Respecto al incremento diamétrico registrado, los valores son inferiores a los reportados por Migeot *et al.* (2014) en sistemas agroforestales en Francia, que alcanzan 1,5 a 1,8 cm año⁻¹.

Para el encino se observa que los mejores crecimientos, tanto en altura (10,6 m, 75,7 cm año⁻¹) como DAP (16,8 cm, 1,2 cm año⁻¹), se verifican en la asociación 8, que corresponde a las 4 especies principales asociadas a notro como especie secundaria, y la menor altura y DAP en la asociación 12 con piche y notro. Estas observaciones coinciden con Loewe y González (2009) para el crecimiento en DAP. Los incrementos anuales observados en todas las asociaciones en este sistema agroforestal son superiores a los valores reportados por Loewe (2009), quien cuantificó en el sur de Chile crecimientos superiores a 0,5 cm año⁻¹ en diámetro y 60 cm año⁻¹ en altura, superiores a los su hábitat de origen, y a mediciones realizadas por Aguayo (2000) en la región de la Araucanía a edades sobre 70 años.

Roble rojo americano por último, presenta los mejores crecimientos tanto en altura (11,3 m, 81 cm año⁻¹) como DAP (14,9 cm, 1 cm año⁻¹) en la asociación 7, que corresponde a las 4 especies principales asociadas a avellano chileno como especie secundaria, la menor altura en la asociación 11 y el menor DAP en la asociación 6, con notro como especie secundaria. Los incrementos en DAP en todas las asociaciones, que fluctúan entre 0,8 y 1,0 cm año⁻¹, se encuentran en el límite superior del rango indicado por USDA (1965), organismo que señala crecimientos anuales entre 0,5 y 1 cm año⁻¹.

Aun cuando se ha reportado la importancia de especies del género *Quercus* y del castaño para la alimentación animal (Lojka y Martiník, 2014), a la fecha en esta plantación no se ha hecho uso de los frutos con este objetivo, posiblemente por su corta edad que limita la fructificación.

Respecto de la producción de la pradera, en los primeros 4 años los valores fueron similares a los obtenidos por Montecinos (2011) en la zona, lo que permite proponer este sistema agroforestal en nuevos emprendimientos.

El Carmen

En el caso de El Carmen, el estudio sugiere que es posible asociar el cultivo de pino piñonero con cultivos anuales intercalados y también con pastoreo controlado, con interesantes valores de crecimiento y desarrollo del árbol, al igual como se ha demostrado con otras especies fruto forestales (Chiffot *et al.*, 2005), en particular con nogal (Loewe y González, 2006) y cerezo (Balandier y Dupraz, 1999).

En los primeros cinco años desde que se establecieron estos sistemas agroforestales experimentales, las cosechas fueron más bajas que el promedio en el país en el monocultivo,

que alcanza valores 40% superiores en ambos casos (forraje de avena y papas). Sin embargo, también se debe considerar en las estimaciones las ovejas que se alimentan directamente en el campo y el establecimiento de los árboles.

La posibilidad de combinar pino piñonero y animales ya fue señalado por Agrimi y Ciancio (1994), quienes afirmaron que el pastoreo en pinares abiertos podría proporcionar algún ingreso, a pesar de que en Europa las principales especies asociadas a la ganadería son castaños, álamos, robles mediterráneos y árboles frutales, aunque también pinos (Pardini y Nori, 2011), por lo general en las zonas costeras.

La producción de forraje en estas plantaciones no es suficiente para mantener el pastoreo, pero el ganado ocasionalmente pasta allí; si el pastoreo es periódico, se reduce el crecimiento de arbustos, el costo de limpiezas mecánicas o químicas y el riesgo de incendios. Es más, si hay una regulación continua de la capacidad de carga, los árboles no serían dañados, como se observó en este estudio, y como se señaló anteriormente por Anderson *et al.* (1988).

También se observó una fragmentación del suelo y el enriquecimiento de nutrientes a través de las fecas de cabras durante el pastoreo, acelerando la descomposición de la hojarasca y la incorporación de nitrógeno, reduciendo la acumulación de acículas de pino y el riesgo de incendios (Mancilla-Leyton *et al.*, 2013). Este efecto del pastoreo es importante teniendo en cuenta el creciente número de incendios en plantaciones forestales y que las plantaciones son esenciales en la actividad forestal en Chile, ya que suministran el 98% de la madera utilizada por la industria (INE, 2014).

En cuanto al desarrollo de pino piñonero, se aprecia un crecimiento superior al registrado en Cataluña, España, donde en los primeros 15 - 20 años el crecimiento medio diamétrico se sitúa por sobre 1 cm año⁻¹, para luego reducirse rápidamente, y a partir de los 40 se estanca bajo 0,2 - 0,3 cm año⁻¹; de ahí según Piqué (2004) la importancia de realizar raleos precoces, antes de los 20 años, cuando la especie tiene mayor capacidad de respuesta. Respecto de Chile, los resultados son más altos que los reportados para la mejor macrozona de crecimiento para la especie definidos por Loewe *et al.* (2015), situada en el sur, donde la tasa de crecimiento es de 0,35 m año⁻¹ en altura y de 1,5 cm año⁻¹ en DAP. Esto podría ser debido a la corta edad de las plantaciones donde es característico un rápido crecimiento, y también por el efecto positivo de la asociación con los cultivos en los que la fertilización y el riego se han añadido 8 y 21 veces, respectivamente, en los primeros 5 años. El efecto positivo de la densidad de los árboles sobre el crecimiento en altura es característico de la especie debido a su intolerancia a la sombra, que requiere altos niveles de luz (Loewe y Delard, 2012).

El hecho que el 6,3% de los árboles de 5 años de edad en una de las parcelas tenga estróbilos, que debieran llegar a la madurez a los 8 años, dado el largo ciclo de desarrollo de la fruta (42 meses), es notable, ya que en su área de distribución natural la producción de conos comienza entre 10 años (Crawford, 1995) y 20 años (Goor y Barney, 1976). Esto indica los efectos beneficiosos generales del sistema en el desarrollo reproductivo de los árboles, y podría ser una ventaja para las plantaciones tradicionales en que no habrá necesidad de utilizar plantas injertadas, que son de mucho mayor costo que las plantas de semilla de un año de edad.

La planificación del manejo forestal proporciona un marco para establecer prioridades, fijar objetivos y diseñar estrategias para hacer frente a los riesgos (Day y Pérez, 2013). Desde el punto de vista de la gestión, esta combinación técnica resultó ser un esquema simple, fácil de

seguir por pequeños y medianos propietarios con capital y base de conocimientos limitado.

Cada año Chile se ve afectado por los incendios forestales que consumen grandes áreas de bosques nativos y plantaciones. En el caso de las plantaciones forestales, el área significativa plantada con pino radiata y varias especies de eucalipto crea un escenario en el que cada vez que se produce un incendio forestal se plantea un grave problema que afecta a los recursos forestales, la infraestructura, los servicios, los ecosistemas y, lo más importante, a vidas humanas (Pinilla, 2014).

La cantidad de combustibles asociados al manejo forestal es muy importante; se ha reportado que un manejo apropiado de la biomasa combustible a través de la silvicultura reduce la probabilidad de incendios forestales (Peña y Pedernera, 2004). En este contexto, se definió la silvicultura preventiva con el objetivo de reducir la amenaza y la vulnerabilidad a los incendios forestales, reduciendo el número de incendios, y lo más importante, su tamaño. En concordancia, USDA (2006) señaló que la disminución de la densidad de la masa forestal, del combustible del sotobosque y de la superficie son factores que explican las históricas tasas de incendios. Por lo tanto, los esfuerzos para prevenir daños y pérdidas en plantaciones apuntan a que se incluya medidas relacionadas al uso de cortafuegos, disminuyendo la continuidad del combustible vertical y horizontal, utilizando medidas de prevención en la cosecha o en áreas de raleo, manejo del combustible, una adecuada zonificación y manejo de plantaciones, entre otros, que contribuyan a la reducción de la probabilidad de incendios forestales, minimizando las pérdidas y apoyando las acciones para una rápida extinción si es que se producen. Los sistemas agroforestales propuestos entonces resultan ser no solo una solución productiva, sino también una práctica de gestión con efectos positivos previsible sobre la reducción de la probabilidad de incendios debido a la importante reducción de combustible y su continuidad definida por la menor densidad y por la presencia de pastoreo de animales, mientras que proporciona varios beneficios como la mejora del acceso, los ingresos extra y los reducidos riesgos de incendios.

Desde el punto de vista económico, se encontró que el sistema combinado es significativamente más rentable que el monocultivo de pino piñonero orientado a la producción de piñones. Los resultados obtenidos están en línea con las experiencias reportadas en Nueva Zelanda, donde se encontró que el sistema combinado era más económico que el pastoral, agricultura y plantaciones forestales de forma individual (Arthur-Worsop, 1984), y en Australia en los sistemas agroforestales de pino (Garland *et al.*, 1984), además de los beneficios ambientales, como la fuerte influencia ejercida por los árboles en la creación de un microclima favorable dentro de los sistemas silvopastorales (Dube *et al.*, 2013).

Respecto de los cultivos intercalados, los rendimientos de los cultivos fueron inferiores a la media en el país (INE, 2012), que ascienden a 5.070 kg ha⁻¹ de avena forrajera y 23.380 kg ha⁻¹ para papas. En los primeros 3 años de estos ensayos agroforestales se lograron 46 y 44% de los valores a nivel de país, respectivamente. Los cultivos ensayados no tuvieron un impacto negativo en el desarrollo de los árboles.

El pastoreo periódico tiene varios impactos positivos en las plantaciones de pino, como la reducción de malezas y crecimiento de arbustos, con la consecuente reducción de costos de limpieza mecánica o química periódica y de riesgo de incendios.

Aunque la producción de forraje en estas plantaciones no fue suficiente para mantener un pastoreo permanente, el ganado permaneció allí durante un número limitado de días por

meses durante 10 meses al año, lo que contribuye a la producción de carne de cordero. Es de interés que, a pesar que las ovejas se introdujeron en la plantación desde su establecimiento, no hay registro de daño en los árboles, ya que hubo un estricto control sobre la disponibilidad de forraje y de la presión animal, y adicionalmente el estiércol de oveja constituye un abono útil para incrementar la materia orgánica (Fernández, 2013).

Además, la producción agrícola/animal durante los primeros años genera ingresos que en una plantación tradicional de pino piñonero no existen hasta que se alcanza la madurez sexual de los árboles. Esta importante producción adicional no solo es atractiva debido a sus implicaciones económicas, sino también porque los propietarios de tierras necesitan ingresos anuales continuos.

Se han identificado brechas técnicas y comerciales importantes que afectan a pequeños y medianos propietarios forestales y pymes, que se caracterizan por la falta de opciones comerciales importantes en parte debido a su fragmentación. Los resultados preliminares del sistema productivo agroforestal propuesto son relevantes para futuras políticas de desarrollo, desde su implementación y adopción, ya que podría ser una manera de potenciar la incorporación de estos beneficiarios a una actividad forestal más sostenible, coincidiendo con lo recomendado por Loewe y Venegas (2005).

Asimismo, el ensayo de pino piñonero - cultivos agrícolas - sistema de pastoreo de ovejas mostró un desempeño económico que justifica un subsidio del gobierno para la creación y gestión de sistemas agroforestales para mejorar la economía rural.

CONCLUSIONES

Las experiencias evaluadas muestran que es posible realizar una actividad productiva en forma ambientalmente amigable, sostenible y que fomente el desarrollo rural y la biodiversidad, de acuerdo con las nuevas tendencias. En ese marco, es posible diseñar sistemas agroforestales adaptados a diferentes situaciones, teniendo en cuenta el capital disponible, los objetivos de los propietarios, la capacidad de gestión operativa, y las condiciones del mercado. La duración de la producción animal y de cultivos asociados depende del desarrollo de las copas de los árboles, pero de acuerdo con las experiencias evaluadas, se espera que dure entre 5 y 8 años.

Los ingresos anuales procedentes de los cultivos y de los animales en los sistemas agroforestales ensayados son relevantes para la economía predial, especialmente durante los primeros años de desarrollo de los árboles cuando todavía no producen fruta en el caso de aquellas especies fruto-forestales. La producción de forraje en estas plantaciones no es suficiente para mantener el pastoreo permanente, pero las ovejas pastan durante ciertos períodos programados, lo que contribuye a la producción de carne ovina; además, el pastoreo periódico reduce el crecimiento de arbustos, riesgo de incendio y el costo de limpiezas periódicas mecánicas o químicas. No se observaron daños causados por las ovejas en los árboles.

Los crecimientos anuales de los ensayos 5 a 19 años después del establecimiento de las distintas especies probadas son similares a los reportados en experiencias previas, por lo que su cultivo en sistemas agroforestales permitiría la generación de ingresos anuales sin castigar el crecimiento de los árboles, por lo que se concluye que la combinación de árboles para producción de fruta y madera, junto a cultivos agrícolas intercalados y pastoreo de animales es

factible técnicamente y positivo para la economía y el desarrollo predial.

Las plantaciones agroforestales constituyen un recurso con bajo riesgo de incendios dado su marco de plantación amplio, sin malezas y, en ciertos casos, con implementación de riego durante la temporada de mayor riesgo.

RECONOCIMIENTOS

Dada la duración del estudio, este se desarrolló gracias al apoyo de diferentes fuentes de financiamiento. En especial gracias a los siguientes proyectos que posibilitaron el establecimiento y mantención de las unidades experimentales: Silvicultura de especies no tradicionales, una mayor diversidad productiva financiado por FONSIPI (CORFO) y FIA entre 1995 y 1998; Silvicultura de especies no tradicionales, una mayor diversidad productiva (Fase II) financiado por FIA entre 1998 y 2003; Plantaciones mixtas: la productividad, la diversidad y la sostenibilidad para el desarrollo forestal financiado por FIA entre 2000 y 2008; El Piñón comestible del pino (*Pinus pinea* L.), un negocio atractivo para Chile financiado por INNOVA-CORFO entre 2008 y 2012; Desarrollo de técnicas de manejo para producir piñones de pino piñonero (*Pinus pinea* L.), una opción comercial atractiva para Chile financiado por FONDEF entre 2012 y 2016. Las autoras agradecen igualmente a los propietarios privados y empresas que colaboraron activamente en esta iniciativa.

REFERENCIAS

- Agrimi, M. and Ciancio, O., 1994.** Italian Stone Pine (El pino doméstico) (*Pinus pinea* L.). FAO Silva Mediterránea. Larnaca, Chipre.
- Aguayo, H. F., 2000.** Evaluación del crecimiento de una plantación de *Quercus robur* L. en un sector de la región de la Araucanía. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 4-29 p.
- 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
- Arthur-Worsop, M. J., 1984.** An economic evaluation of agroforestry: the national viewpoint. In: Proceedings of a technical workshop on agroforestry. Ministry of Agriculture and Fisheries, Wellington, New Zealand, Pp. 61-70.
- Badal, E., 2001.** La recolección de piñas durante la prehistoria en la Cueva de Nerja (Málaga). In: Villaverde V (Ed). De neandertales a cromañones, el inicio del poblamiento humano en las tierras valencianas. Universidad de Valencia, España, Pp. 101-104.
- Bagnaresi, U., 1986.** Il Castagno da Frutto. Il Divulgatore N° 28. Serie Regione Emilia Romagna. 52 p.
- BAILLIE, 2015.** Red Oak. [En línea] <http://www.baillie.com/red-oak>. [Revisado: 23/09/15]
- Balandier, P. and Dupraz, C., 1999.** Growth of widely spaced trees. A case study from young agroforestry plantations in France. *Agroforest Syst* 43: 151-167
- Balandier, P.; De Montard, F. X. and Curt, T., 2008.** Root competition for water between trees and grass in a silvopastoral plot of ten-year-old *Prunus avium*. In : "Ecological basis of agroforestry", D. R. Batish, R. K. Kohli, S. Jose and H. P. Singh, Eds., CRC Press, Boca Raton, FL, USA, Chapter 13, 253-270.
- BBC. 2014.** Eva Mueller: UN urges action on forest diversity. <http://m.bbc.com/news/science-environment-27963330>. Consultado 23 Junio 2014.

- Beer, J.; Kapp, G. B. and Lucas, C., 1994.** Alternativas de reforestación: Taungya y sistemas agrosilviculturales permanentes versus plantaciones puras. Publicación N° 7 Serie Generación y transferencia de tecnología, CATIE, 26 p.
- Benedetti, R. S.; Loewe, M. V.; López, L. C. y González, O. M., 2007.** Castaño, madera de alto valor para Chile. INFOR-FIA-INNOVA BIO BIO-FONDEF, 307 p.
- Benoit, I., 2006.** Ficha Árboles Urbanos. Roble común o Encino (*Quercus robur* L.). Chile Forestal 325: 61.
- Bourgeois, C.; Sevrin, E. et Lemaire, J., 2004.** Le chateignier, un arbre, une bois. Institut pour le Développement Forestier, 2da edición. Paris, Francia. 347 p.
- Buresti, E.; De Meo, I.; Falcioni, S. e Frattegiani, M., 1997.** L'utilizzo del noce comune, del noce nero e del noce ibrido in arboricoltura da lego. Primi risultati di una prova comparativa in impianti misti di 8 anni di eta. Annali Istituto Sperimentale Selvicoltura, Arezzo (XXV e XXVI): 243-260.
- Buresti, E. e De Meo, I., 1998.** L'impiego delle consociazioni nelle piantagioni di arboricoltura da legno: primi risultati di un impianto di noce comune (*Juglans regia* L.). Annali Istituto Sperimentale Selvicoltura, Arezzo (29): 57-66.
- CABI, 2012.** *Pinus pinea* (Stone Pine) Forestry Compendium. [En línea] <http://www.cabi.org/fc/?compid=2&dsid=41689&loadmodule=datasheet&page=2147&site=163> [Consulta: 10-8-2012].
- Carnevale, J. A., 1955.** Árboles forestales, descripción, cultivo y utilización. Buenos Aires, Argentina. 689 p.
- Chiffot, V.; Bertoni, G.; Cabanettes, A. and Gavaland, A., 2005.** Beneficial Effects of Intercropping on the Growth and Nitrogen Status of Young Wild cherry and Hybrid Walnut Trees. Agroforest Syst 66(1): 13-26.
- Claro, M., 2009.** Pequeñas explotaciones ovinas en la zona sur de Chile. [Online] <http://es.slideshare.net/miclaro/pequeas-explotaciones-ovina-zona-sur-de-chile?related=1> [Citado 12 Septiembre 2015]
- Crawford, M., 1995.** Nut pines. Yearbook, West Australian Nut and Tree Crops Association 19: 56-66.
- Cutini, A, Martini M, Buresti E. (1997).** Effetti della consociazione con ontano napoletano in impianti di farina. Annali Istituto Sperimentale Selvicoltura, Arezzo (25-26): 261-283.
- Cutini A. and Giannini, T., 2009.** Effects of thinning and mixed plantations with *Alnus cordata* on growth and efficiency of common Walnut (*Juglans regia* L.). Forest@ 6: 29-38.
- Day, J. K. and Pérez, D. M., 2013.** Reducing uncertainty and risk through forest management planning in British Columbia. Forest Ecology and Management 300: 117-124.
- Demagnet, R. y Contreras, R., 1988.** Especies de la pradera naturalizada. Investigación y Progreso Agropecuario Carillanca (Chile) 7 (2): 2-6.
- DGA, 2015.** Información pluviométrica, fluviométrica, estado de embalses y aguas subterráneas. Dirección General de Aguas. Boletín N° 449.
- Downs, A., 1942.** Early responses to weedings in some Eastern mountain hardwoods. Jour. Forestry 40: 865-872.
- Dube, F.; Thevathasan, N. V.; Stolpe, N.; Espinosa, M.; Zagal, E. and Gordon, A. M., 2013.** Selected carbon fluxes in *Pinus ponderosa*-based silvopastoral systems, exotic plantations and natural pastures on volcanic soils in the Chilean Patagonia. Agroforest Syst, 87(3): 525-542
- Eichhorn, M. P.; Paris, P.; Hderzog, F.; Incoll, L. D.; Liagre, F.; Mantzanas, K.; Mayus, M.; Moreno, G.; Papanastasis, V. P.; Pilbeam, D. J.; Pisanelli, A. and Dupraz, C., 2006.** Silvoarable systems in Europe – past, present and future prospects. Agroforest Syst 67: 29-50.
- Fernández, J. A., 2013.** Desarrollo sostenible y silvoagricultura. VI Congreso Forestal Español. Vitoria-Gasteiz, España.
- Garland, K. R.; Fisher, W. W. and Greig, P. J., 1984.** Agroforestry in Victoria. Technical Report Series (Victoria. Dept. of

Gil, L., 1999. La transformación histórica del paisaje: La permanencia y la extinción local del pino piñonero. In: Marín, F.; Domingo, J. y Calzado, A. (Eds.). Los montes y su historia, una perspectiva política, económica y social. España, Pp. 151-185.

Gordo, A. J.; Calama, S. R.; Rojo, G. L.; Madrigal, C. G.; Álvarez, M. D.; Mutke, R. S.; Montero, G. G. y Finat, G. L., 2009. Experiencias de clareos en masas de *Pinus pinea* L. en la meseta Norte. V Congreso Forestal Español. SECF, Junta de Castilla y León.

Gordo, J.; Mutke, S.; Calama, R. y Gil, L., 2011. El uso del pino piñonero en sistemas agroforestales. Jornadas de cultivos alternativos con especies forestales. Valladolid, España.

Goor, A. and Barney, C., 1976. Forest tree planting in arid zones. 2nd Ed., The Ronald Press Company, New York, US. 504 p.

Gutiérrez, P., 2007. Análisis del sector de la piña y el piñón y sus aprovechamientos en Andalucía. Trabajo Profesional Fin de Carrera, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Universidad de Córdoba, España. 355 p.

Hoare, M., 1996. Establecimiento y crecimiento inicial de *Quercus robur* L. en ex reserva forestal Contulmo, VIII región. Universidad de Concepción. Los Ángeles, Chile. 21-46 p.

Hoffmann, A., 1995. El árbol urbano en Chile (segunda edición). Ediciones Fundación Claudio Gay. Santiago, Chile, 255 p.

INE, 2012. Agropecuarias. Instituto Nacional de Estadísticas, Chile. [Online] http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/calendario_de_publicaciones/pdf/agropecuarias_informe_anual_2012.pdf [Revisado 23 Septiembre 2015].

INE, 2014. Agropecuarias. Instituto Nacional de Estadísticas, Chile. [Online] http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/calendario_de_publicaciones/pdf/agropecuarias_informe_anual_2014.pdf [Cited December 2, 2014] (in Spanish).

INFOR, 2004. Informe Técnico N°1, Anexo 1 "Caracterización productiva, socioeconómica y ambiental de pequeños y medianos productores asociados a bosque nativo, entre la VII a XI región". En: Proyecto FDI-CORFO Generación de modelos de manejo sustentable en bosque nativo y guías expertas de manejo forestal para pequeños y medianos productores. Instituto Forestal. Santiago, Chile.

IREN, 1964. Suelos, descripciones Proyecto aéreo fotogramétrico. Chile/O.A.E/B.I.D. Instituto de Investigación de Recursos Naturales, Chile. 391p.

Loewe, M. V., 1995. Proyecto Silvicultura de Especies no tradicionales, un aporte al proceso de diversificación productiva. Ciencias Forestales 10 (1-2): 63-72.

Loewe, M. V., 2003. Perspectivas para el desarrollo de la arboricultura para producción de madera de alto valor en Chile. INFOR-FIA, Santiago, Chile, 289 p.

Loewe, M. V., 2009. Usos y Mercados de la madera de Encino o Roble Europeo. Chile Forestal 345:45-49.

Loewe, M. V. y González, O. M., 2001. Producción de madera de alto valor: Tecnología productiva apta para un desarrollo rural con equidad. En: Congreso Latino Americano "Retos y perspectivas del desarrollo rural para alcanzar la equidad de género". CATIE, Turrialba, Costa Rica, Pp. 18-20.

Loewe, M. V. and González, O. M., 2002. High grafting, technique that allows producing wood and fruit of quality simultaneously. 17th Symposium of the International Farming Systems Association. Orlando, Florida, EE.UU. Pp. 17-20.

Loewe, M. V. and González, O. M., 2003. Sicomoro, grevillea, roble rojo americano, pino piñonero, castaño, ruil y cerezo americano, alternativas para producir madera de alto valor. INFOR-FIA, Santiago, Chile, 320 p.

Loewe, M. V. and González, O. M., 2004. Cerezo común: Alta cotización mundial. Chile Forestal 303:41-43.

Loewe, M. V. and González, O. M., 2005a. Los robles rojos americanos. Chile Forestal 315: 46-48.

Loewe, M. V. and González, O. M., 2005b. Castaño: Especie multipropósito. Chile Forestal 309:52-53.

- Loewe, M. V. y Venegas, V., 2005.** Escenarios y Desafíos del Desarrollo Forestal Chileno. En: Economía del Conocimiento y Nueva Agricultura. Eds. Barrera A.; Venegas V.; Tomic T.; Rojas H. Pp. 265-289. 325 p.
- Loewe, M. V. y González, O. M., 2006.** Plantaciones Mixtas, un modelo productivo con potencial para Chile. INFOR-FIA, Santiago, Chile, 299p.
- Loewe, M. V. y González, M., 2007.** Pino piñonero: El potencial de su madera y fruto. Chile Forestal 334: 49-53.
- Loewe, M. V. y González, O. M., 2009.** Evaluación del Crecimiento de Roble Rojo Americano (*Quercus rubra*), Encino (*Quercus robur*), Cerezo (*Prunus avium*) y Castaño (*Castanea sativa*) en plantaciones mixtas y pura orientadas a la producción de madera de alto valor en el sur de Chile en un periodo de siete años. XIII Congreso Forestal Mundial 2009, Buenos Aires, Argentina, 18 al 25 de Octubre 2009.
- Loewe, M. V. y Delard, R. C., 2012.** Un nuevo cultivo para Chile, el pino piñonero (*Pinus pinea* L.). INFOR-CORFO, 364 p.
- Loewe, M. V.; Neuenschwander, A. A. y Alvear, S. C., 1994.** El castaño en Chile: Un cultivo fruto-forestal promisorio. Santiago, Chile, Chile Forestal. 12 p. Chile Forestal. Documento Técnico N° 85.
- Loewe, M. V.; Toral, M.; Delard, C.; López, C. y Urquieta, E., 1998.** Monografía de pino piñonero (*Pinus pinea*). Santiago, Chile, CONAF-INFOR-FIA, Santiago, Chile, 81 p.
- Loewe, M. V.; Pineda, B. G. y Delard, R. C., 2001.** Cerezo común (*Prunus avium* L), una alternativa para producir madera de alto valor. INFOR-FIA, Santiago, Chile, 105 p.
- Loewe, M. V.; Álvarez, D. A. y Barrales, L., (2013a).** Growth development of hardwood high value timber species in central south Chile, South America. Proceedings International Scientific Conference on Hardwood Processing (ISCHP), Pp. 50-61. Florencia, Italia, 7-9 Octubre 2013.
- Loewe, M. V.; González, O. M. and Balzarini, M., 2013b.** Wild Cherry Tree (*Prunus avium*) growth in pure and mixed plantations of South America. Forest Ecology and Management (2013), Pp. 31-41. DOI information: 10.1016/j.foreco.2013.06.015.
- Loewe, M. V.; Delard, R. C.; Balzarini, M.; Álvarez, C. A. and Navarro-Cerrillo, R. M., 2015.** Impact of climate and management variables on Stone Pine (*Pinus pinea* L.) growing in Chile. Agricultural and Forest Meteorology 214-215: 106-116.
- Lojka, B. and Martiník, A., 2014.** Agroforestry in Czech Republic. 2da Conferencia EURAF, 4-6 Junio 2014, Cottbus, Alemania.
- Mancilla-Leyton, J. M.; Sánchez-Lineros, V. and Vicente, A. M., 2013.** Influence of grazing on the decomposition of *Pinus pinea* L. needles in a silvopastoral system in Doñana, España. Plant Soil 373: 173-181.
- Migeot, J.; Dufour, J.; Santi, F.; Vallée, B. e Gavaland, A., 2014.** Legname di ciliegio in 30 anni. Miglioramento genetico e agroforestazione in Francia. Sherwood 200: 20-22.
- Minotta, G., 1989.** Il rimboschimento dei terreni ex-agricoli: primi risultati sul confronto tra diverse tecniche di lavorazione del suolo. L' Italia Forestale e Montana XLIII, 6: 474-483.
- Mohni, C.; Pelleri, F. and Hemery, G. E., 2009.** The modern silviculture of *Juglans regia* L.: A literature review. Die Bodenkultur 59 (Sondernummer): 19-32.
- Montecinos, F. B., 2011.** Producción de forraje y calidad nutritiva de praderas mejoradas por diferentes métodos, en la zona sur de Chile. Memoria para para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Austral de Chile. Valdivia – Chile. 60 p.
- Morcillo, M.; Sánchez, M. y Vilanova, X., 2015.** Cultivar Trufas, una Realidad en Expansión. Micología Forestal y aplicada. 352 p.
- Mutke, S.; González-Martínez, S.; Soto, A.; Gordo, J. y Gil, L., 2008.** El pino piñonero, un pino atípico. Actas de la IV Reunión sobre Genética Forestal. Pontevedra, España. Cuad Soc Esp Cs For 24: 81-85.
- Muñoz, M., 2014.** Maíz: Producción, precios y comercio exterior. Avance a junio 2014. Publicación del a Oficina de Estudios y Políticas Agrarias del ministerio de Agricultura (ODEPA). 20 p.

- Najera, F. y Angulo, V. L. F., 1969.** Estudio de las principales maderas comerciales de frondosas peninsulares. INIA. 278 p.
- Palma, J. H. N.; Crous-Duran, J.; Merouani, H.; Paulo, J. A. and Tomé, M., 2014.** Innovating tree plantation design: Spiralographing agroforestry. 2da Conferencia EURAF, 4-6 Junio 2014, Cottbus, Alemania.
- Pardini, A. and Nori M., 2011.** Agro-silvo-pastoral systems in Italy: Integration and diversification. *Pastoralism: Research, Policy and Practice* 1(1): 26.
- Paris, P.; Cannata, F. and Olimpieri, G., 1995.** Influence of alfalfa (*Medicago sativa* L.) intercropping and polyethylene mulching on early growth of Walnut (*Juglans regia* L.) in central Italy. *Agroforestry Systems* 31: 169-180.
- Paris, P.; Pisanelli, A.; Buresti, E. and Cannata, F., 2001.** Agroforestry in Italy: Tradition of the practice and research indications on new models. En: *Forestry and Agroforestry for Environmental Protection and Rural Development. SINO-ITALIAN Workshop*. Pp. 91-100.
- Pellegrino, S. e Bassi, R., 1993.** Aspecti della tecnica colturale del noce. *Frutticoltura* (12) 53-59.
- Peña, E. y Pedernera, P., 2004.** Silvicultura preventiva para combatir incendios forestales. *Chile Forestal* 302:12-14.
- Pinilla, J. C., 2014.** El manejo forestal y su efecto sobre los incendios forestales. In: Loewe, Verónica; Vargas, Víctor (Eds.). 2014. Análisis de prefactibilidad de creación, desarrollo e implementación del sello SAFOR.INFOR, Santiago, Chile. 57 p.
- Piqué, M., 2004.** La modelización forestal como base para la gestión y aprovechamiento sostenible de los montes de *Pinus pinea* L. de Cataluña. *Rural Forest. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya*. 8 p.
- Prada, M. A.; Gordo, J.; De Miguel, J.; Mutke, S.; Catalán, G.; Iglesias, S. y Gil, L., 1997.** Las regiones de procedencia de *Pinus pinea* L. en España. Organismo Autónomo de Parques Naturales, Madrid.
- Reisner, Y.; De Filippi, R.; Herzog, F. and, Palma, J., 2007.** Target regions for silvoarable agroforestry in Europe. *Ecol Engineer* 29: 401-418.
- Roberts, S. J., 2001.** Bacterial canker of cherry (*Prunus avium*): Biology, epidemiology and resistance. Review Report WD0224/WD0234 Horticulture Research International. 10 p.
- Rollinson, T. J. D. and Evans, J., 1987.** The yield of Sweet Chestnut coppice N° 64.
- Ruas, M. P., 2005.** Aspects of early medieval farming from sites in Mediterranean France. *Veget Hist Archaeobot* 14: 400-415.
- Saavedra, O. E., 1981.** Perspectivas para el Desarrollo de Frutales Tipo Nuez en Chile. CORFO, Gerencia de Desarrollo AA 81/45.
- Savill, P. S., 2001.** The silviculture of trees used in British forestry. CABI, 143 p.
- Schoeneberger, M.; Bentrup, G.; de Gooijer, H.; Soolanayakanahally, R.; Sauer, T.; Brande, J.; Zhou, X. and Current, D., 2012.** Branching out: agroforestry as a climate change mitigation and adaptation tool for agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation* 67 (5): 128A-136A.
- Shanqing, Y.; Shuangshang, W.; Pinghe, W.; Zhaohua, Z.; Xinyu, L. and Yaomin, F., 1991.** A study in Paulownia – tea intercropping system: Microclimate modification and economic benefits. Pp. 150-161. In: *Agroforestry systems China*. Ed. Zhaoaug Z.; Mantang C.; Shiji W.; Youxu J. 217 p.
- Siebert, H., 2006.** Experiencias silvícolas con las especies *Quercus robur* y *Quercus rubra*. *Guía día silvícola*. 2-3 p.
- D.; Gysling, J. y Loewe, V., 2008.** Antecedentes del Mercado Internacional de Piñones de Pino. *Ciencia e Investigación Forestal* 14 (3): 599-623.
- Tani, A.; Maltoni, A.; Mariotti, B. and Buresti Lattes, E., 2006.** *Juglans regia* L. Tree plantations for wood production in mining area of S. Barbara (AR). Evaluation of N-fixing accessory trees effect. In: *Lingua E, Zano R, Minotta G, Motta R, Nosenzo A, Bovio G (Eds). Proceedings of the V SISEF Congress "Forests & Society - Changes, Conflicts, Synergies"*. 3: 588-597

Trap, L., 1996. *Pinus pinea*: An edible nut Pine of many uses. The Australian New Crops Newsletter N°6. 3 p.

USDA, 1965. Silvics of Forest trees of United States. Agriculture Handbook N° 271

USDA, 2006. Wildland Fire and Fuels Research and Development Strategic Plan: Meeting the Needs of the Present, Anticipating the Needs of the Future. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Research and Development. 50 p.

Van Noordwijk, M. and Purnomosidhi, P., 1995. Root architecture in relation to tree soil crop interactions and shoot pruning in agroforestry. *Agroforestry Systems* (30) 161-173.

Vieitez, E.; Vieitez, M. L. y Vieitez, F. J., 1996. El Castaño, Edilesa, León, Spain.

Zhanxue, Z.; Shoupo, L.; Xuezheng, G.; Zhenku, L. and Jinxian, Y., 1991. Intercropping with *Populus tomentosa* and its beneficial effects. Pp. 109-112. In: *Agroforestry systems China*. Ed. Zhaoaug Z.; Mantang C.; Shiji W.; Youxu J. 217 p.



..... IV

ZONAS FRÍAS DE LA PATAGONIA

Capítulo 8

SISTEMAS SILVOPASTORALES CON CONÍFERAS DE ZONAS FRÍAS. REGION DE AYSÉN, CHILE

Alvaro Sotomayor¹, Ivan Moya², Jaime Salinas²,
Osvaldo Teuber³, Bernardo Acuña²

RESUMEN

Se presenta en este capítulo un estudio que tuvo como objetivo evaluar la productividad de los suelos bajo sistemas silvopastorales en relación a un manejo ganadero tradicional sin árboles, y un sistema con manejo forestal con fines madereros en la comuna de Coyhaique, región de Aysén, Chile. Los sistemas silvopastorales están diseñados para proporcionar madera, forraje y producción animal. La especie forestal utilizada para este estudio fue *Pinus contorta Dougl. ex. Loud.*, introducida en Chile en la década de 1960, proveniente del hemisferio norte, Estados Unidos y Canadá, con un clima similar al de la región patagónica de Chile.

Se puede concluir mediante los resultados de este estudio que el establecimiento de árboles en arreglos silvopastorales, o manejo de plantaciones establecidas para reconversión a un sistema silvopastoral, permite el desarrollo productivo de las praderas, y por lo tanto la producción animal, y además pueden proporcionar madera tanto para fines industriales como para las necesidades de manejo predial y uso doméstico.

El factor que más influye en la productividad de la pradera y animal en los sistemas silvopastorales es la cobertura de copa, la cual redujo la velocidad del viento en un 200%. El uso de especies vegetales leñosas para la protección contra el viento en esta región demostró la importancia del uso de estos sistemas en la modificación de variables climáticas, especialmente viento y sensación térmica, en relación a áreas abiertas sin ningún tipo de protección arbórea.

Se determinó, mediante análisis de regresión de una variable, que existe una relación del 96% entre la cobertura de copa y la reducción del viento. Usando análisis de regresión de más de una variable, se pudo concluir que existe una positiva correlación entre la productividad animal y la interacción cobertura de copa*viento. Además, debido a la reducción del viento por los árboles en disposición de sistemas silvopastorales, propician la disminución de la erosión del suelo, que es un problema importante en la región patagónica de Chile.

Palabras clave: Sistema Silvopastoral – *Pinus contorta* – Cobertura de Copa - Viento

1 Instituto Forestal, Sede Biobío, Concepción, Chile. alvaro.sotomayor@infor.cl

2 Instituto Forestal (INFOR), Sede Patagonia, Coyhaique, Chile. imoya@infor.cl

3 Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Tamel Aike, Coyhaique, Chile.

SUMMARY

This chapter presents experiences with silvopastoral systems in the Aysén region, located in the extreme south of Chile. These systems can provide wood, fodder and animal production, by using cold-tolerant species like *Pinus contorta*, introduced in Chile since 1960, from areas of the northern hemisphere, with similar weather as the Patagonian Region of Chile, especially from the United States and Canada.

It is concluded that the establishment of trees, in silvopastoral systems, enables the improvement of prairies productivity, and therefore animal production, and can provide wood for industrial purposes and for farm needs.

The factor that most influenced increase in prairie productivity in silvopastoral systems is tree crown coverage, which reduced the wind speed by 200%. The use of trees established in silvopastoral arrangement in this region demonstrated the importance of these systems in farm properties, especially in open areas with any protection, in modifying climate variables such as wind, temperature, humidity and wind chill.

The use of trees for protection against the wind in this region showed the importance of using these systems in modifying climate variables such as wind and wind chill, in relation to open areas with any kind of tree protection.

It was determined by regression analysis of one variable that canopy cover accounts for a 95% of the reduction of wind in silvopastoral systems. Using regression analysis of more than one variable, it was concluded that there is a positive correlation between animal productivity with crown cover*wind interaction. In addition, due to the reduction of wind by the trees in silvopastoral systems arrangement would reduce soil erosion which is a major problem in the Patagonian region of Chile.

Key words: Silvopastoral system, *Pinus contorta*, Canopy, Wind

INTRODUCCIÓN

El principal uso de los suelos agrícolas de la Patagonia chilena, que incluye las regiones de Aysén y Magallanes, son las praderas naturales destinadas al uso ganadero extensivo. En la región de Aysén un 88,7% de la superficie agrícola es utilizada con fines ganaderos y el 56,5% de esta superficie usada con fines ganaderos pertenece a grandes propietarios (INE, 1997).

El otro gran uso es el forestal, la región posee la mayor superficie nacional de bosque nativo en Chile, con 4,8 millones de hectáreas, contrastando con una de las menores superficies de plantaciones del país, con solo 43 mil hectáreas (INFOR 2013).

Las bajas tasas de forestación se deben a la poca aceptación de los ganaderos a actividades de forestación tradicional, ya que usualmente ellos perciben una competencia de estas con sus usos productivos agropecuarios tradicionales, y a la escasa actividad industrial forestal en esta región. Esta visión de los productores ganaderos es similar a lo que ocurre en otras regiones del mundo (Arnold, 1983).

El cambio de percepción y actitud de los productores ganaderos de esta región, frente a la reintroducción de árboles en sus predios, en una forma complementaria a la ganadería, es un proceso lento, dado que el manejo de los recursos agrícolas y de suelos está firmemente arraigado en el sistema cultural y productivo de los agricultores (Arnold, 1983; Longhurst, 1983; Sotomayor, 1989)

La superficie cubierta con praderas extensivas en la región, está en su gran mayoría desprovista de vegetación arbórea, claramente sujeta a procesos erosivos y alcanza a una superficie de 4,9 millones de hectáreas (Teuber y Gandertaz, 2009), la cual equivale al 37,1% de la superficie regional. La erosión en Aysén es de carácter grave, no solo por su intensidad, sino también por el grado generalizado en que dicho proceso está abarcando la región (CIREN, 2010).

Sobre estos suelos y praderas se realiza una ganadería extensiva con baja productividad, debido fundamentalmente a limitaciones climáticas, como las bajas temperaturas invernales y la incidencia de fuertes vientos durante la primavera y verano.

En efecto, el viento es una de las causas principales de la erosión de los suelos y de la baja productividad animal en las regiones patagónicas de Chile, lo cual puede ser solucionado mediante el uso de cortinas cortavientos forestales o sistemas silvopastorales (Sotomayor *et al.*, 2009).

Además, otra práctica tradicional de uso ganadero es la introducción de animales en los bosques nativos, principalmente de especies del género *Nothofagus*, lo cual origina una degradación de estos al impedir su regeneración natural debido al ramoneo por lo animales (Larraín *et al.*, 2007)

El uso de sistemas silvopastorales, es una práctica que han estado estudiando desde el año 2002 el Instituto Forestal (INFOR) y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), ambas instituciones de investigación pertenecientes al Ministerio de Agricultura, para reintroducir el árbol en una forma amigable con los sistemas productivos ganaderos y con la cultura productiva de los propietarios en la Patagonia.

De esta forma, se espera entregar una nueva forma de manejo productivo de los suelos, para mejorar la productividad de estos, reducir el nivel de erosión de los suelos, y protegerlos del factor erosivo más importante en esa región, que es el viento (Sotomayor, 2010; Teuber y Ganderatz, 2009).

Se presentan en este capítulo experiencias de sistemas silvopastorales con coníferas adaptadas a zonas frías de la Patagonia chilena. Los resultados, después de 12 temporadas de evaluación, demuestran que la introducción de árboles establecidos bajo ordenamiento silvopastoral es factible, ayudando al mejoramiento productivo de la pradera y la producción animal, reduciendo significativamente la velocidad del viento, que es el principal agente de erosión de los suelos y de la baja productividad ganadera de la región.

El uso de bosque nativo con fines silvopastorales también es factible, cuando se conjugan adecuadamente los objetivos de sustentabilidad del bosque y producción animal, lo cual se expone en otros capítulos de este libro.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la productividad de los suelos bajo sistemas silvopastorales con *Pinus contorta* en relación a un manejo ganadero sin árboles y a un manejo forestal, en la comuna de Coyhaique, región de Aysén, Chile.

Objetivos Específicos

Analizar el comportamiento de las variables dasométricas en plantaciones de *Pinus contorta*, bajo manejo forestal y silvopastoral.

Comparar la productividad de una pradera natural mejorada, bajo la influencia de manejo silvopastoral con la especie *Pinus contorta*, en relación a una situación de manejo ganadero sin árboles.

Comparar la productividad animal con bovinos, bajo la influencia de un manejo silvopastoral con la especie *Pinus contorta*, en relación a una situación de manejo ganadero sin árboles.

Evaluar el efecto de los árboles manejados bajo ordenación silvopastoral en los parámetros climáticos, en relación a una situación de manejo ganadero sin árboles.

Analizar la fertilidad de los suelos bajo el efecto de tratamientos silvopastorales y ganadero.

MATERIAL Y MÉTODO

Ubicación de los Ensayos

Entre los años 2003 y 2004 se diseñó un estudio para evaluar la factibilidad de funcionamiento de los sistemas silvopastorales en la región de Aysén, Chile. Los ensayos fueron instalados en la Unidad Agroforestal San Gabriel, ubicada 30 km al norte de la ciudad de Coyhaique, a un altura sobre el nivel del mar de 650 m, LS 45°25'55'' y LW 72°00'41'', incluyendo sistemas silvopastorales que se compararon en términos de productividad con dos tratamientos testigos; sistema forestal manejado con fines madereros y sistema ganadero sin árboles.

Diseño Experimental

Los sistemas silvopastorales y el sistema forestal se instalaron en una plantación de *Pinus contorta*, de 12 años de edad, que al momento de intervención tenía 1.514 árb ha⁻¹; el sistema ganadero se instaló en un terreno con pradera sin árboles, colindante con los sistemas silvopastorales y forestal (Figura N° 1). Además, se evaluó el efecto de los árboles bajo manejo silvopastoral sobre algunos parámetros climáticos, utilizando estaciones climáticas que midieron temperatura del aire, velocidad del viento, precipitación, humedad, y *wind chill*, y la fertilidad de los suelos.

Se establecieron cuatro tratamientos en la Unidad Agroforestal San Gabriel, donde los tratamientos forestales y silvopastorales se instalaron en una plantación de *Pinus contorta* con densidad promedio de 1.514 arb ha⁻¹:

T1: Tratamiento forestal manejado (TF). Se rebajó la densidad inicial a 800 arb ha⁻¹ mediante raleo y se podó a 1,97 m de altura, bajo la premisa de podar no más del 40% de la copa para no afectar su desarrollo.

T2: Sistema silvopastoral tradicional (SST): Se raleó a 400 arb ha⁻¹, dejando los arboles residuales homogéneamente distribuidos en el terreno y podados a 2,01 m.

T3: Sistema silvopastoral en fajas alternas (SSF). Se raleó a 400 arb ha⁻¹ (Figura N° 1), dejando los árboles residuales dispuestos en tres líneas de plantación en curvas a nivel, espaciadas a 21 m entre estas, con árboles podados a 2,09 m.

T4: Sistema ganadero (SG). Terreno cubierto con pradera natural y sin árboles.



Figura N° 1

SISTEMA SILVOPASTORAL TRADICIONAL (IZQ), SISTEMA SILVOPASTORAL EN FAJAS (CENTRO) Y SISTEMA GANADERO (DER)

Durante el otoño del año 2009 se realizó poda en los tres tratamientos con presencia de árboles a una altura media de 2,91 m para TF, 3,28 para SST y 3,13 para SSF. El año 2013, los tratamientos nuevamente fueron manejados mediante raleo y poda, quedando TF, SST y SSF con una densidad de 583; 245 y 341 arb ha⁻¹, respectivamente, y altura media de poda de 4,9; 4,7 y 4,7 m, respectivamente.

En los tratamientos T2 - T3 - T4, se manejó la pradera natural, compuesta principalmente por trébol blanco (*Trifolium repens* L.), pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.) y otras gramíneas de menor importancia forrajera, con fertilizaciones anuales de acuerdo a análisis de suelos realizados a inicios de cada temporada. En la primavera del año 2004 se aplicaron 16 unidades de nitrógeno, 30 unidades de magnesio (MgO), 24 unidades de azufre (SO₄) y 55 unidades de azufre (S) por hectárea, y posteriormente se fertilizó con productos en base a NPK y S, de acuerdo al análisis químico del suelo realizado anualmente.

- Evaluación de Parámetros Forestales

Para la evaluación de los parámetros forestales en los sistemas silvopastorales, se utilizó un diseño de tres parcelas permanentes rectangulares de 1.008 m² (24 x 42 m), y en TF parcelas rectangulares de 200 m², distribuidas al azar dentro de los tratamientos, donde se midió altura total (H), diámetro a la altura del pecho (DAP), cobertura de copa (CC), y Área Basal (AB).

Para el análisis estadístico, se trabajó con Modelos Estadísticos Lineales Mixtos, para atender la falta de algún(os) de los supuestos clásicos que requiere un análisis de varianza tradicional; los datos deben presentar una distribución normal, independencia 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, prateses y animales, corresponde a:

$$\text{Modelo 1.} \quad \mathbf{Y} = \mu + T + t + (T * t) + E$$

Donde :

- μ = Constante,
- T = Tratamiento,
- t = Tiempo
- E = Error.

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:

$$\text{Índice AIC} = -2\log(MV) + 2n(p+q+1)/(n-(p+q)-2)$$

Dónde: MV: Máxima verosimilitud

q: número de parámetros de la estructura de covarianza

p: rango de la matriz de diseño x

n: número de observaciones.

En este criterio, a menor valor, mejor será el ajuste (Carrero *et al.*, 2008). 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.

- Productividad de la Pradera

La evaluación de la productividad de la pradera efectuó a través de un diseño de parcelas distribuidas al azar, modificando su ubicación cada año. Se utilizaron 7 jaulas de exclusión de 0,5 m² para cada tratamiento, donde se evaluó la pradera en materia seca por hectárea (kg ha⁻¹

de MS). La materia seca consiste en el material generado 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 diciembre y abril-mayo de cada temporada, según evaluación de la pradera, pesándose también para determinar peso en verde.

Los resultados de los estudios de producción 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 %, utilizando la Herramienta estadística INFOSTAT ©.

- Productividad Ganadera

Para la medición de la producción ganadera dentro de los tratamientos T2-SST, T3-SSF y T4-SG, se utilizaron animales vacunos criollos (diferentes cruza de razas híbridas, en base principalmente a las razas Hereford, Angus, overo colorado y Holstein, adaptados a la zona). Se utilizó un sistema de engorda animal, los cuales fueron ingresados en el mes de diciembre de cada año, y retirados en otoño (abril-mayo), según la condición de la pradera. Se usaron vacunos de 300 - 350 kg para engorda en el periodo y cada animal fue identificado con un crotal (plástico numerado) ubicado en la oreja, y pintado en el lomo con diferente color. Estos vacunos se pesaron al inicio de la temporada y luego cada 30 días, y al final de la temporada.

- Parámetros Climáticos

Se instalaron tres estaciones climáticas durante el año 2007, en los tratamientos SST, SSF y SG. Las estaciones fueron ubicadas en lugares representativos, a igual altitud y un distanciamiento medio entre árboles o fajas de árboles para los tratamientos silvopastorales; para SST fue de 2,5 m y para SSF de 10,5 m. Estas estaciones contaron con un computador, que registró los antecedentes cada media hora, y con un sistema de panel solar para cargar las baterías que dan la energía a la estación. Durante el periodo de crecimiento vegetativo de la temporada de 2007 (enero a diciembre) y parte del año 2008 (enero a junio), se midieron temperatura del aire (t), velocidad del viento (vv), humedad relativa (HR), precipitación (pp), e indirectamente *wind chill*.

- Fertilidad de Suelo

Para analizar la fertilidad de los suelos en los tratamientos silvopastorales y ganadero se realizó anualmente, en los años 2004, 2005, 2007 y 2008, un análisis de suelo para así determinar los requerimientos de fertilizantes a aplicar para el manejo de las praderas. Para ello se tomaron cuatro muestras de suelos en T4, distribuidas al azar cada año, y tres muestras para T2 y T3. Se extrajeron muestras con barreno, entre los 0,0 y 7,5 cm, que es donde se concentra el 90% de las raíces de los pastos presentes.

El análisis de suelos se realizó en el laboratorio de suelos en el Centro Regional de Investigación (CRI) Tamel-Aike, en Coyhaique, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), dependiente del Ministerio de Agricultura de Chile.

Para el análisis de cada uno de los nutrientes evaluados, se realizó un análisis de

mediciones anuales, con calicatas ubicadas en lugares diferentes y al azar cada año. Estas mediciones son independientes unas de otras, lo que origina cumplimiento de la independencia de datos (las mediciones del año 2 no dependen de las mediciones del año 1 y así sucesivamente), dado lo cual se usó un análisis de varianza tradicional.

RESULTADOS

Evaluación de los Parámetros Forestales

Para el análisis de las variables DAP, AB, H y CC, se realizó un análisis de mediciones repetidas en el tiempo, o también conocido como análisis longitudinal, y los resultados se presentan en el Cuadro N° 1.

Para analizar el parámetro DAP se evaluaron diversos modelos y el modelo no estructurado (UN) alcanzó los valores más bajos para el índice de AIC. En los Cuadros N° 1 y N° 2 se observa que todos los efectos testeados (tiempo, tratamiento e interacción tiempo*tratamiento) son significativos en la respuesta en DAP.

Cuadro N° 1
RESULTADOS DE DIÁMETRO A LA ALTURA DEL PECHO (DAP) Y ALTURA TOTAL (H)
EN TRATAMIENTOS SILVOPASTORALES Y FORESTAL CON *Pinus contorta*
2004 A 2015

Año	DAP (cm)			H (m)		
	T1 F ± EE	T2 SST ± EE	T3 SSF ± EE	T1 F ± EE	T2 SST ± EE	T3 SSF ± EE
2004	12,7 ± 0,4	12,9 ± 0,3	13,0 ± 0,4	5,3 ± 0,1	6,0 ± 0,1	5,6 ± 0,1
2005	13,6 ± 0,5	14,2 ± 0,3	14,1 ± 0,5	5,7 ± 0,1	6,4 ± 0,1	6,1 ± 0,1
2006	14,8 ± 0,5	16,0 ± 0,3	15,6 ± 0,5	6,1 ± 0,1	6,8 ± 0,1	6,5 ± 0,1
2007	16,0 ± 0,4	17,8 ± 0,2	17,1 ± 0,5	6,6 ± 0,1	7,2 ± 0,1	7,0 ± 0,1
2008	16,9 ± 0,4	19,1 ± 0,3	18,0 ± 0,4	7,0 ± 0,1	7,6 ± 0,1	7,5 ± 0,1
2009	17,1 ± 0,4	19,7 ± 0,3	18,4 ± 0,5	7,4 ± 0,1	8,1 ± 0,2	8,0 ± 0,1
2010	18,1 ± 0,4	20,8 ± 0,3	19,8 ± 0,7	7,8 ± 0,1	8,5 ± 0,2	8,4 ± 0,2
2011	18,8 ± 0,4	21,9 ± 0,4	20,7 ± 0,8	8,3 ± 0,2	8,9 ± 0,2	8,9 ± 0,1
2012	19,5 ± 0,4	22,6 ± 0,4	21,5 ± 0,8	8,8 ± 0,1	9,4 ± 0,2	9,2 ± 0,1
2013	20,5 ± 0,3	24,3 ± 0,3	22,4 ± 0,7	9,4 ± 0,0	10,1 ± 0,3	9,7 ± 0,2
2014	21,2 ± 0,4	25,3 ± 0,3	23,1 ± 0,8	9,7 ± 0,1	10,8 ± 0,4	10,1 ± 0,2
2015	21,8 ± 0,3	26,1 ± 0,2	23,6 ± 0,8	10,5 ± 0,3	11,3 ± 0,4	11,1 ± 0,2

EE: Error estándar

El tratamiento SST presenta un valor superior para el DAP respecto de los tratamientos SSF y TF a través del tiempo. Entre el tratamiento silvopastoral tradicional y el forestal, se presentan diferencias significativas a partir del año 2007 hasta el año 2015, y entre el tratamiento silvopastoral en fajas y el forestal, no se presentaron diferencias hasta el año 2010 donde se comenzaron a observar diferencias en el tiempo.

Cuadro N° 2
ANÁLISIS DAP CON MODELO NO ESTRUCTURADO (UN)

Efecto	DF	GL	F-Valor	Pr>F
Tiempo	11	273	524,98	<,0001
Tratamiento	2	275	13,19	<,0001
Tiempo*Tratamiento	22	274	11,01	<,0001

Se observa claramente la tendencia que a medida que aumenta la edad, se obtienen mayores diferencias en DAP en los tratamientos silvopastorales con respecto a tratamiento forestal, producto de la menor densidad (Figura N° 2) (Sotomayor *et al.*, 2010).

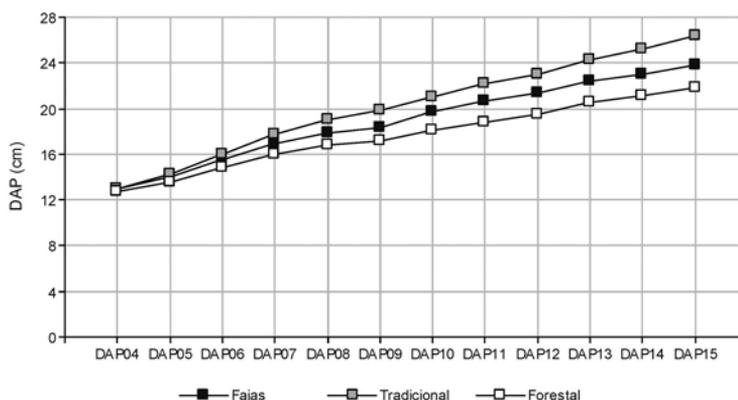


Figura N° 2
EVOLUCIÓN DEL DAP EN EL TIEMPO TRATAMIENTOS SILVOPASTORALES EN FAJA Y TRADICIONAL EN RELACIÓN A TRATAMIENTO FORESTAL

Para la altura (H), se utilizó para su análisis el modelo no estructurado (UN), dado que fue el que alcanzó los valores más bajos para el índice de AIC. Se observa que todos los efectos testeados (tiempo, tratamiento e interacción tiempo*tratamiento) son significativos en la respuesta generada por la variable altura, siendo el tratamiento T2-SST el que presenta un valor superior para altura respecto al tratamiento en fajas y forestal a través del tiempo, y no se presentan diferencias entre T1-SF y T3-SSF (Cuadro N° 1 y Figura N° 3).

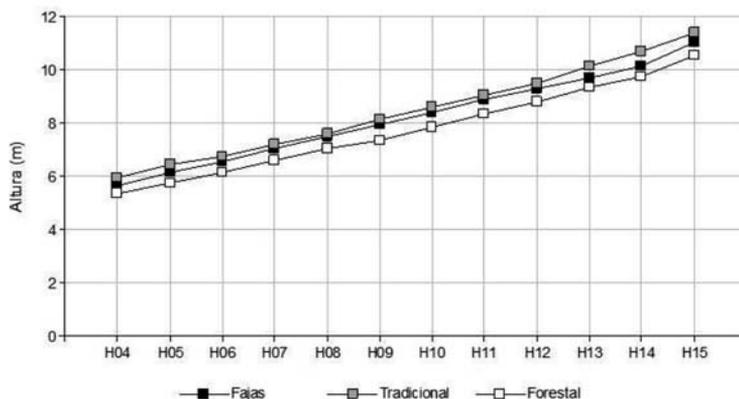


Figura N° 3
EVOLUCIÓN DE H EN EL TIEMPO TRATAMIENTOS SILVOPASTORALES EN FAJA Y TRADICIONAL EN RELACIÓN A TRATAMIENTO FORESTAL

Si bien al inicio del estudio, no se presentaron diferencias entre tratamientos para la variable altura, la mayor tasa de selección de los árboles remanentes y el raleo del año 2013, donde se dejaron los mejores árboles en cuanto a calidad y vigor, ha influenciado en un mayor valor para el tratamiento silvopastoral tradicional. ($m^2 ha^{-1}$)

Cuadro N° 3
RESULTADOS DE ÁREA BASAL (AB) Y COBERTURA DE COPAS (CC) EN TRATAMIENTOS SILVOPASTORALES Y FORESTAL CON *Pinus contorta* 2004 A 2015

Año	AB ($m^2 ha^{-1}$)			CC (%)		
	T1 F ± EE	T2 SST ± EE	T3 SSF ± EE	T1 F ± EE	T2 SST ± EE	T3 SSF ± EE
2004	10,6 ± 0,9	4,8 ± 0,3	5,4 ± 0,4	26,9 ± 1,8	14,5 ± 1,1	24,2 ± 0,2
2005	12,0 ± 1,0	5,8 ± 0,3	6,4 ± 0,4			
2006	14,2 ± 1,1	7,3 ± 0,4	8,3 ± 0,5	36,0 ± 1,6	21,7 ± 2,4	27,1 ± 0,5
2007	16,6 ± 1,1	9,1 ± 0,5	9,9 ± 0,5	55,1 ± 2,9	31,1 ± 1,7	28,9 ± 0,5
2008	18,3 ± 1,3	10,3 ± 0,5	11,0 ± 0,6	60,2 ± 2,5	32,2 ± 2,5	30,7 ± 0,6
2009	19,1 ± 1,1	10,9 ± 0,5	10,8 ± 0,5	44,1 ± 3,4	23,0 ± 2,5	27,6 ± 0,4
2010	21,4 ± 1,2	12,5 ± 0,6	12,5 ± 0,7	62,7 ± 5,1	33,8 ± 2,2	30,2 ± 0,7
2011	23,0 ± 1,3	13,9 ± 0,7	13,7 ± 0,6	89,4 ± 8,1	52,0 ± 5,2	34,7 ± 0,2
2012	24,8 ± 1,3	14,9 ± 0,5	14,8 ± 0,7	111,2 ± 8,5	62,8 ± 1,5	35,4 ± 0,3
2013	19,6 ± 2,3	11,5 ± 0,6	13,8 ± 1,1	30,1 ± 1,4	22,9 ± 0,6	25,2 ± 2,3
2014	20,8 ± 2,5	12,5 ± 0,8	14,5 ± 1,1	45,7 ± 0,8	28,7 ± 3,1	29,0 ± 1,4
2015	22,8 ± 2,2	13,3 ± 0,9	15,2 ± 1,2	59,6 ± 6,3	41,6 ± 5,8	32,5 ± 2,5

EE: Error estándar

Para AB, durante todos los años de evaluación existen diferencias significativas en relación a la interacción tratamiento*tiempo entre el tratamiento forestal en relación a los tratamientos silvopastorales, producto del mayor número de árboles por unidad de superficie del tratamiento forestal (Cuadros N° 3 y N° 4).

Cuadro N° 4
ANÁLISIS AB CON MODELO HETEROCEDÁSTICO (ARH (1))

Efecto	DF	GL	F-Valor	Pr>F
Tiempo	11	23,10	330,57	<,0001
Tratamiento	2	5,83	17,98	0,0032
Tiempo*Tratamiento	22	23,10	10,60	<,0001

El tratamiento forestal es el que presenta un valor superior para el AB respecto al tratamiento en fajas y tradicional, los cuales no difieren entre ellos, a través del tiempo (Figura N° 4). Se puede apreciar en la figura la disminución del AB producto de poda realizada el año 2009 y raleo efectuado el año 2013, y su recuperación a partir del año 2014.

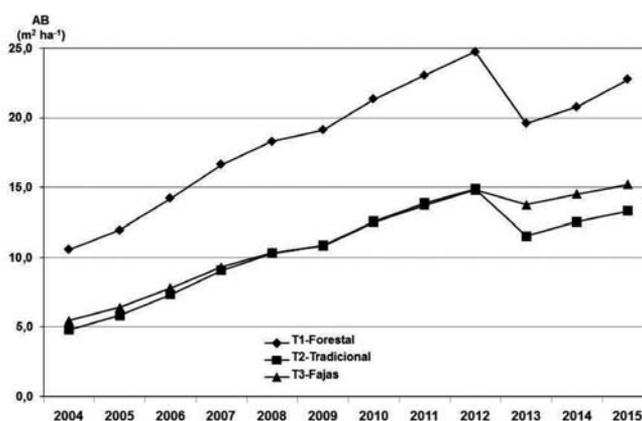


Figura N° 4
EVOLUCIÓN DEL AB EN EL TIEMPO POR TRATAMIENTO Y AÑO

Para analizar el parámetro CC (%), el modelo de Simétrica Compuesta Heterocedástica (CSH) es el que alcanzó los valores más bajos para el índice de AIC. Para cobertura de copa, se observa que para los efectos testeados (tratamiento, tiempo y tratamiento*tiempo) son significativos en la respuesta generada por la variable CC (%), existiendo diferencias significativas entre el tratamiento T1-Forestal respecto a SST y SSF, producto de la mayor densidad en el primero, y no se presentaron diferencias en el tiempo entre SSF y SST en el tiempo (Figura N° 5).

Se puede observar la reducción de la cobertura de copa en los tres tratamientos en el año 2009 producto de la poda realizada dicho año: En el año 2013 se observa la fuerte reducción de esta variable producto de la poda y raleo realizado con el fin de disminuir la cobertura de copa que afecta el desarrollo de la pradera y la competencia entre los árboles que ha originado una reducción del ICA (incremento corriente anual).

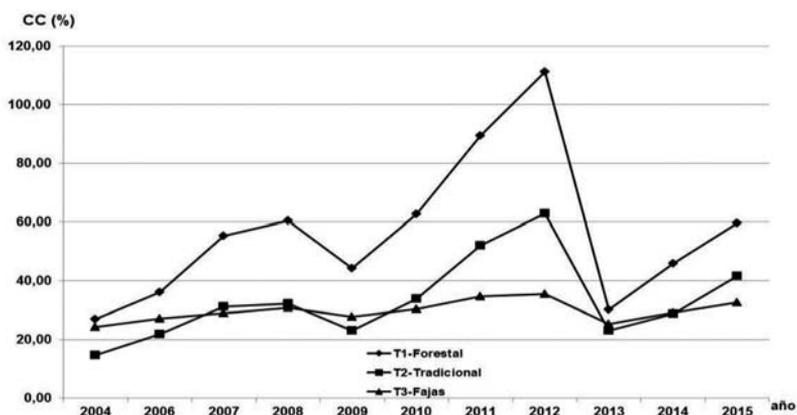


Figura N° 5
EVOLUCIÓN DE CC EN EL TIEMPO POR TRATAMIENTO Y AÑO

Evaluación de la Pradera

En la primera temporada de producción de la pradera no hubo diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Durante la segunda temporada, los dos tratamientos silvopastorales, y especialmente el tratamiento T3-SSF, comenzaron a mostrar una mayor productividad, con diferencias significativas en relación al ganadero.

Para las temporadas de evaluación 2006-2007 a 2007-2008, el tratamiento SSF mostró una mayor producción de la pradera, con diferencias significativas en relación a los otros dos tratamientos evaluados, y entre T2 y T4 no hubo diferencias significativas para dichas temporadas (Cuadro N° 5).

Cuadro N° 5
PRODUCCIÓN DE LA PRADERA POR TEMPORADAS DE CRECIMIENTO 2004-2005 A 2009-2010
POR TRATAMIENTO

Tratamiento	2004 - 2005	2005 - 2006	2006 - 2007	2007 - 2008	2008 - 2009	2009 - 2010
	(kg ha ⁻¹ MS ± EE)					
T2 SST	1.485,7 a ± 229	6.109,7 a ± 846	4.153,2 b ± 708	4.330,9 ab ± 465	3.423,6 b ± 432	3.382,2 b ± 116
T3 SSF	2.684,9 a ± 381	7.181,6 a ± 470	6.394,5 a ± 602	5.359,7 a ± 313	5.835,7 a ± 484	4.756,1 a ± 181
T4 SG	2.452,1 a ± 435	3.832,1 b ± 591	3.874,1 b ± 472	3.513,6 b ± 470	4.410,4 ab ± 597	3.847,0 b ± 230
Producción Media	2.207,6	5.707,8	4.807,3	4.401,4	4.556,6	3.995,1

*Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

En las temporadas 2008-2009 a 2009-2010, el tratamiento T3-SSF continuó con una mayor producción en relación a los otros tratamientos, y el tratamiento T2-SST fue afectado por el sombreado de las copas sobre la pradera, afectando la producción pratense, no encontrándose diferencias significativas entre T2 y T4.

Dado el decrecimiento de la producción en T2, se decidió podar ambos tratamientos

silvopastorales en el otoño del año 2009, para disminuir la cobertura de copa, no observándose la respuesta en la misma temporada de evaluación.

En general, la mejor producción en todas las temporadas fue para el tratamiento SSF. La peor temporada de producción fue el primer periodo de evaluación, 2004-2005, para los tres tratamientos, debido a que fue el primer año de producción después de la apertura del dosel en los tratamientos silvopastorales y la fertilización de la pradera.

La mejor fue la segunda temporada de evaluación, producto de las mismas razones expuestas, fertilización y reducción de cobertura de copa.

Evaluación Productividad Animal

En el Cuadro N° 6 se exponen los resultados de productividad animal y en ellos se observa que el efecto tiempo es significativo para la variable peso vivo, y no existen diferencias significativas para los tratamientos entre las temporadas 2004-2005 a 2006-2007. En la temporada 2007-2008 no existieron diferencias entre los tratamientos silvopastorales y tampoco entre T2-SST y T4-SG, pero si entre T3-SSF y T4-SG, con una mayor producción para el tratamiento en fajas.

En las dos siguientes temporadas no hubo diferencias entre T3-SSF y T4-SG, observándose la reducción en producción en el tratamiento silvopastoral tradicional, debido a la disminución en producción de la pradera producto del sombreadamiento producido por las copas de los árboles en SSF.

Cuadro N° 6
PRODUCTIVIDAD ANIMAL GANANCIA EN PESO VIVO POR HECTÁREA SEGÚN TRATAMIENTO
TEMPORADAS 2004 - 2005 A 2009 - 2010 Y TOTAL 2004 – 2010

Tratamiento	2004 - 2005	2005 - 2006	2006 - 2007	2007 - 2008	2008 - 2009	2009 - 2010	2004 - 2010
	(kg ha ⁻¹ ± EE)						(kg ha ⁻¹)
T2 SST	113,8 a ± 5,4	238,6 a ± 12	305,8 a ± 20,0	158,9 ab ± 5,2	80,7 b ± 11,5	228,5 b ± 10,4	1.126,3
T3 SSF	110,2 a ± 6,4	255,7 a ± 9,4	317,8 a ± 11,5	172,3 a ± 5,6	136,2 a ± 16,1	296,4 a ± 13,7	1.239,3
T4 SG	95,8 a ± 4,8	227,9 a ± 7,1	348,4 a ± 17,9	144,4 b ± 8,2	159,8 a ± 7,7	258,5 ab ± 14,9	1.191,7
Producción Media	106,6	240,7	324,0	158,5	125,6	230,3	1.185,7

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

(Fuente: Sotomayor et al., 2011)

Respecto al efecto tiempo, se presentaron diferencias entre todas las temporadas de evaluación, siendo la temporada 2006-2007 la de mejor producción, y la de menor producción la primera temporada de evaluación 2004-2005. La producción total entre 2004 y 2010 fue superior en SSF, siendo similar entre SST y SG.

Evaluación Parámetros Climáticos

- Velocidad Media y Media Máxima del Viento y *Windchill*

Las velocidades medias del viento, fueron mayores en el tratamiento ganadero (T4) en relación a los tratamientos silvopastorales (Figura N° 6a). También se observa que las velocidades

del viento son mayores en primavera-verano (agosto-diciembre) que en invierno (abril-julio), con una mayor diferencia en este periodo entre el tratamiento ganadero en relación a los tratamientos silvopastorales.

Las diferencias en velocidad media del viento para el mes de mayor valor obtenido, octubre de 2007, entre el tratamiento ganadero y silvopastoral en fajas, alcanzó a los $9,6 \text{ km h}^{-1}$ a favor del ganadero.

En verano, enero de 2008, las diferencias entre el ganadero y en fajas fue de $7,3 \text{ km h}^{-1}$ mayor para el primero, y con respecto a SST, de $8,3 \text{ km h}^{-1}$.

La información generada también indica que en el tratamiento T2-SST la velocidad del viento es inferior a T3-SSF, ya que el primero tiene una distribución más uniforme de los árboles en el sitio, por lo que intercepta más el viento que el tratamiento SSF, donde la distancia entre fajas de árboles es de 21 m (Sotomayor y Teuber, 2011; Sotomayor *et. al*, 2016).

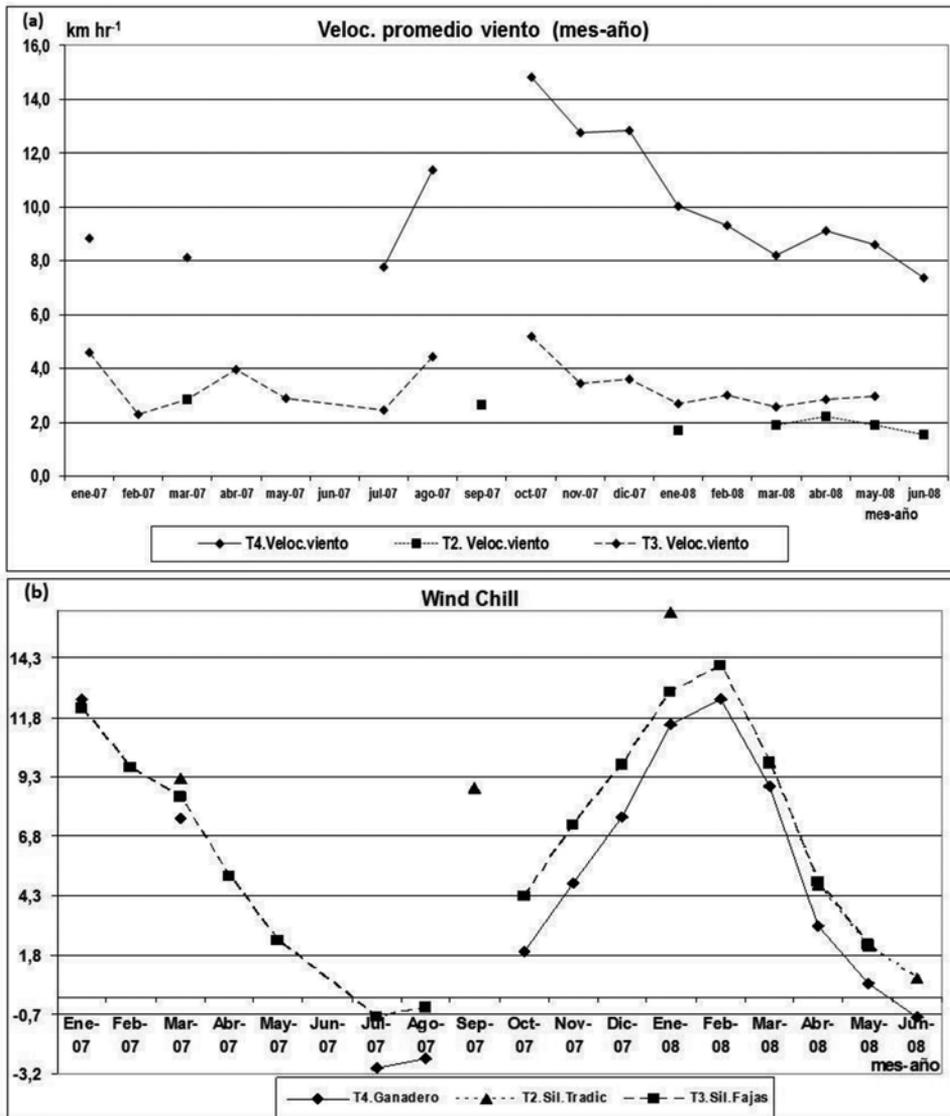


Figura N° 6
 VELOCIDAD VIENTO Y WINDCHILL PROMEDIOS POR TRATAMIENTO
 ENERO 2007 A JUNIO 2008

En relación a la velocidad máxima media, las mayores velocidades de los vientos comienzan a incrementarse a partir del mes de agosto (fin de invierno) hasta el mes de abril (principios de otoño).

El sistema ganadero es el que presentó las mayores velocidades máximas medias, con 29,2 km h⁻¹ en el mes de octubre. Para ese mismo mes, el tratamiento SSF registró 18,2 km h⁻¹, y en SST se registraron velocidades levemente inferiores a los 10 km h⁻¹.

Para *wind chill*, los menores valores se presentaron en el tratamiento ganadero (T4-SG) y los mayores valores, con resultados similares, en los tratamientos silvopastorales (T2-SST y T3-SSF) (Figura N° 6b). Este valor es importante para el manejo animal, ya que los animales deben utilizar más energía para regular la temperatura corporal (Quam y Johnson, 1999) lo cual hace disminuir la alimentación y hay una consecuente pérdida de peso, en especial en invierno, lo cual en casos extremos puede producir su muerte. Los tratamientos silvopastorales proporcionan mayor protección, reduciendo el gasto energético, lo que no ocurre en el tratamiento ganadero (Sotomayor y Teuber, 2011; Sotomayor *et. al*, 2016).

En el Cuadro N° 7 se entregan más antecedentes del efecto del viento en la temperatura ambiental, según tabla preparada en base a estudio de Quam *et al.* (1994). Se observa que a medida que la velocidad del viento aumenta la temperatura ambiental se reduce.

Por ejemplo, para una situación de viento de 40 km h⁻¹ y temperatura exterior de 13°C, la temperatura se reduce a -1°C. Las zonas marcadas con color indican las temperaturas de riesgo para los animales; el color amarillo indica temperaturas de mayor riesgo de muerte para los animales. Con la misma velocidad anterior y con -12°C en situación de calma, se reduce a -34°C, convirtiéndose en situación de riesgo para los animales.

Cuadro N° 7
VELOCIDAD DEL VIENTO INVERNAL Y SU RELACIÓN SOBRE LA DISMINUCIÓN DE LA TEMPERATURA AMBIENTE Y EL AUMENTO DEL RIESGO PARA LOS ANIMALES

T° Exterior (°C)		13	4	-1	-7	-12	-18	-23	-29	-34
Velocidad del Viento (km h ⁻¹)	Calma	13	4	-1	-7	-12	-18	-23	-29	-34
	8	9	3	-3	-9	-14	-21	-26	-32	-37
	16	4	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-43	-50
	24	2	-6	-13	-21	-28	-35	-43	-50	-58
	32	0	-8	-16	-23	-31	-39	-47	-55	-63
	40	-1	-9	-17	-26	-34	-42	-51	-59	-67
	48	-2	-11	-19	-28	-36	-45	-53	-62	-69
	56	-3	-12	-20	-29	-37	-47	-55	-63	-72
	64	-3	-12	-21	-29	-38	-47	-56	-64	-73
	72	-4	-13	-21	-30	-39	-48	-57	-65	-74
	Riesgo alto									
	Riesgo máximo									

(Adaptado de Quam *et al.*, 1994)

- Temperatura, Humedad Relativa y Precipitación

En relación a la temperatura ambiental no se presentaron diferencias entre los tratamientos. De acuerdo a los resultados recogidos entre octubre de 2007 a febrero de 2008, se observó que el tratamiento en fajas (SSF) tuvo valores promedios, para ese periodo, levemente mayores al tratamiento ganadero (SG), 10,2 contra 9,9 °C. En el periodo febrero a marzo 2008, estos valores bajan a 7,9 para silvopastoral en fajas, 7,7 °C para tradicional (SST) y 7,9 °C para el ganadero (SG) (Sotomayor y Teuber, 2011).

Acerca de la humedad relativa (HR), la tendencia entre los tratamientos es similar, con valores de 85% para los meses de invierno, y de 62% promedio en el mes más bajo, enero 2008, durante la época de verano. Para los meses de mayor crecimiento vegetativo (septiembre 2007 a enero 2008), los valores de humedad alcanzaron a 69,9% para el ganadero (SG) y 70,1% para el sistema en fajas (SSF). En otoño del año 2008 (marzo a mayo 2008), estos valores subieron a 77,0, 77,6 y 77,5% para SG, SST y en SSF, respectivamente.

El comportamiento de la precipitación promedio por mes y por tratamiento, al comparar el tratamiento ganadero y silvopastoral en fajas para el periodo julio 2007 a abril 2008, se observa que se registró mayor precipitación en el tratamiento silvopastoral en fajas que en el ganadero, con 259,9 y 229,0 mm, respectivamente. Durante el periodo marzo 2008 a junio 2008, se observa que la precipitación registrada fue mayor en el ganadero que en el silvopastoral tradicional, con 196 y 178,4 mm, respectivamente, debido a una mayor intercepción de la precipitación por los árboles, debido a su vez a la mayor cobertura de árboles en el sitio (Sotomayor y Teuber, 2011).

Evaluación de la Fertilidad del Suelo

Para analizar la condición de fertilidad de los suelos se realizó un primer análisis el año 2004 (Cuadro N° 8), para así poder determinar un régimen de fertilización apropiado para los tratamientos T2, T3 y T4.

Cuadro N° 8
ANÁLISIS DE SUELO AÑO 2004

Tratamiento	Profundidad Muestreo (cm)	N	P	K	S	pH	M.O. (%)
		(mg kg ⁻¹)					
T2-SST	0-7,5	31,7	33,7	300,0	3,9	6,4	16,1
T3-SSF	0-7,5	30,3	45,0	295,3	1,3	6,5	13,2
T4-SG	0-7,5	32,0	25,8	310,5	1,4	6,4	14,4

De acuerdo a estos resultados y en base a análisis entregado por Hepp (1996), para praderas australes, se determinó que era necesario aplicar azufre, dado que se considera el nivel de azufre como muy bajo en relación a nivel determinado como bueno según SIAR (2009).

Para homogenizar los tratamientos después de su instalación, se aplicó nitrógeno (N), aunque para esta zona de la Patagonia N no es un elemento deficitario y la presencia de leguminosas aporta suficiente nitrógeno para las necesidades de la pradera (Hepp, 1993; Hepp, 1996). Lo resultados indican también que no es necesario aplicar fósforo y potasio, dado que ambos presentaron niveles altos.

En los años 2004 y 2005 se aplicaron las unidades de fertilizantes indicadas en el Cuadro N° 9. En el mes de octubre del 2004, se preparó una fórmula compuesta por 450 kg de urea (46% de nitrógeno), 1.500 kg de magnesio (20% de azufre en forma de sulfato y 25% de magnesio en forma de óxido de magnesio) y 700 kg de azufre ventilado (99% de azufre elemental).

Lo anterior dio una aplicación total, considerando 12,6 ha de terreno de pradera, de aproximadamente 16 unidades de nitrógeno, 30 unidades de magnesio (MgO), 24 unidades de azufre (SO₄) y 55 unidades de azufre (S) por hectárea.

Cuadro N° 9
RESUMEN FERTILIZACIÓN PRADERAS AÑOS 2004 Y 2005

Nutrientes	Año de Aplicación (Unidades por hectárea)	
	2004	2005
Nitrógeno (Urea)	16	24
Magnesio (MgO)	30	17
Azufre (SO ⁴)	24	77
Azufre (S)	55	-

Posteriormente se realizaron análisis de suelos entre los años 2005 a 2009, y se determinó fertilizar nuevamente cuando los niveles de azufre bajaron de su condición recomendada según SIAR (2008).

Dado que de acuerdo a Hepp (1996) y SIAR (2008), se determinó que S, era considerado bajo para el sitio de trabajo, se presenta a continuación los análisis realizados para este elemento, y además pH, para determinar si la condición inicial de cobertura boscosa afectaba el pH del sitio donde se instalaron los sistemas silvopastorales.

- **Azufre (S)**

Según los resultados obtenidos para azufre (Cuadro N° 10), se observó que para el año 2004 este se situaba en la categoría de muy bajo, por lo cual se decidió fertilizar con este elemento en forma prioritaria, al realizar la fertilización durante el primer y segundo año de tratamiento.

El año 2005 y 2007 estos valores subieron a categoría de bajo, debido a las fertilizaciones aplicadas para subir sus niveles. El año 2008 nuevamente estos disminuyen (Figura N° 7).

Cuadro N° 10
RESULTADO PARA S AÑOS 2004 A 2008

Tratamiento	Azufre (mg kg ⁻¹)			
	2004	2005	2007	2008
T2. SST	3,9	8,0	9,0	4,3
T3. SSF	1,3	6,4	7,9	6,0
T4. SG	1,4	6,6	7,9	4,5

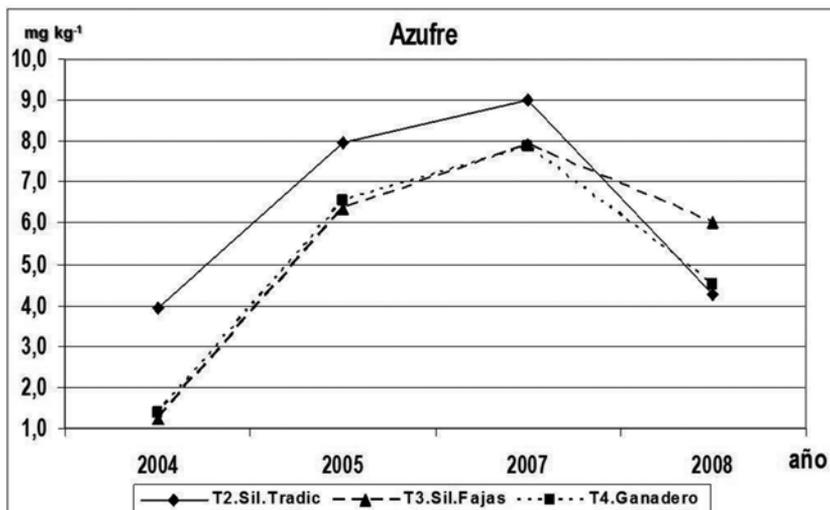


Figura N° 7
EVOLUCIÓN AZUFRE AÑOS 2004 A 2008

Según análisis de varianza se determinó que existen diferencias significativas para el efecto tiempo, y no existen diferencias para los efectos tratamiento y la interacción tratamiento*tiempo para S. Para el efecto tratamiento, no se encontraron diferencias significativas entre los sistemas en evaluación (Cuadro N° 11).

En cuanto al tiempo, existen diferencias entre los años 2005 y 2007 con respecto a 2008 y 2004, con los mayores valores el año 2007 y menores el año 2004 (Cuadro N° 12).

Cuadro N° 11
RESULTADO ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL EFECTO TRATAMIENTO EN S

Tratamiento	Medias	n	Significancia $p \leq 0,05^*$
T2. SST	6,3	12	a
T3. SSF	5,4	12	a
T4. SG	5,1	16	a

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

Cuadro N° 12
RESULTADO ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL EFECTO TIEMPO EN S

Año	Medias	n	Significancia $p \leq 0,05^*$
2004	2,2	10	c
2005	7,0	10	a
2007	8,3	10	a
2008	4,9	10	b

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

- **Acidez (pH)**

Respecto del pH, la evaluación efectuada el año 2004 indica que no existen diferencias entre tratamientos, pudiéndose afirmar que los 12 años de cobertura con pino ponderosa, no acidificaron el suelo donde se instalaron los tratamientos silvopastorales.

Los valores encontrados en los tres años de evaluación (Cuadro N° 13) se presentan en el rango de suelos ligeramente ácidos.

**Cuadro N° 13
VALORES DE pH POR TRATAMIENTO
AÑOS 2004, 2007 Y 2008**

Tratamiento	pH		
	2004	2007	2008
T2. SST	6,44	6,11	6,29
T3. SSF	6,51	6,07	6,31
T4. SG	6,36	6,20	6,34

El análisis de varianza para pH determinó que no se presentaron diferencias estadísticas para el efecto tratamiento (Cuadro N° 14) y tratamiento*tiempo, y si existen diferencias para el efecto tiempo (Cuadro N° 15). Estos valores, entre 6,1 a 6,5 encontrados en los tratamientos durante las temporadas evaluadas, entran en la categoría de ligeramente ácido. En cuanto al tiempo, se presentaron diferencias entre los años analizados, con una tendencia a disminuir el pH con el tiempo.

**Cuadro N° 14
RESULTADO ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL EFECTO TRATAMIENTO EN pH**

Tratamiento	Medias	n	Significancia $p <= 0,05^*$
T2. SST	6,28	9	a
T3. SSF	6,30	9	a
T4. SG	6,30	12	a

*Letras distintas indican diferencias significativas ($p <= 0,05$)

**Cuadro N° 15
RESULTADO ANÁLISIS DE VARIANZA, PARA EL EFECTO TIEMPO EN pH**

Año	Medias	n	Significancia $p <= 0,05^*$
2004	6,43	10	a
2007	6,13	10	b
2008	6,32	10	c

*Letras distintas indican diferencias significativas ($p <= 0,05$)

Análisis de Regresión entre Variables Climáticas y de Productividad del Sistema

A continuación se presentan análisis utilizando regresiones de una y más variables, sobre los factores, tanto forestales como ambientales, que más contribuyen en la producción de la pradera y animal, y que explican los resultados positivos de los sistemas silvopastorales.

- Análisis de Regresión de Una Variable

Para analizar cuál de los parámetros forestales tienen una mayor relación con la disminución del viento y la productividad de la pradera, se analiza la interacción de algunos de estos mediante regresión lineal. Para ello se ajustó el siguiente modelo (Modelo 2), el cual será utilizado también para los análisis de regresión tanto para la productividad de la pradera como para producción animal:

Modelo 2. Velocidad del viento en función de parámetros forestales

$$Vv = \mu + p * F + E$$

Donde: Vv = velocidad del viento
 μ = constante
p = factor
F = parámetro forestal
E = error

-Relación velocidad media del viento – parámetros forestales

Considerando los tratamientos silvopastorales y el tratamiento ganadero, los parámetros DAP, CC y AB, tuvieron un buen ajuste en relación a la velocidad del viento. A medida que el DAP, CC y AB aumenta, la velocidad del viento disminuye, con un r^2 de 0,96, 0,95 y 0,96, respectivamente (Figura N° 8).

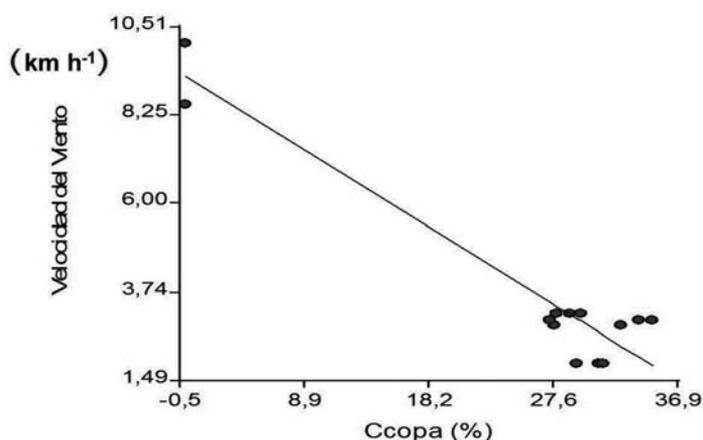


Figura N° 8

RELACION COBERTURA DE COPA- VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO PARA LOS TRATAMIENTOS SILVOPASTORALES Y GANADERO TEMPORADAS 2006 A 2008

-Relación efecto de los árboles * productividad de la pradera

Para analizar el efecto de los árboles, ordenados en sistema silvopastoral, sobre la producción de la pradera, se ajustaron los parámetros AB y CC en relación a la producción pratense.

El AB no muestra una buena correlación con la producción de pradera con $r^2=0,22$ y $r^2=0,35$ para silvopastoral tradicional y en fajas respectivamente.

En cambio hay una relación positiva de la cobertura de copa en relación a la pradera, con una correlación de $r^2=0,88$ y $r^2=0,69$ para el tratamiento silvopastoral tradicional y en fajas, respectivamente (Figura N° 9).

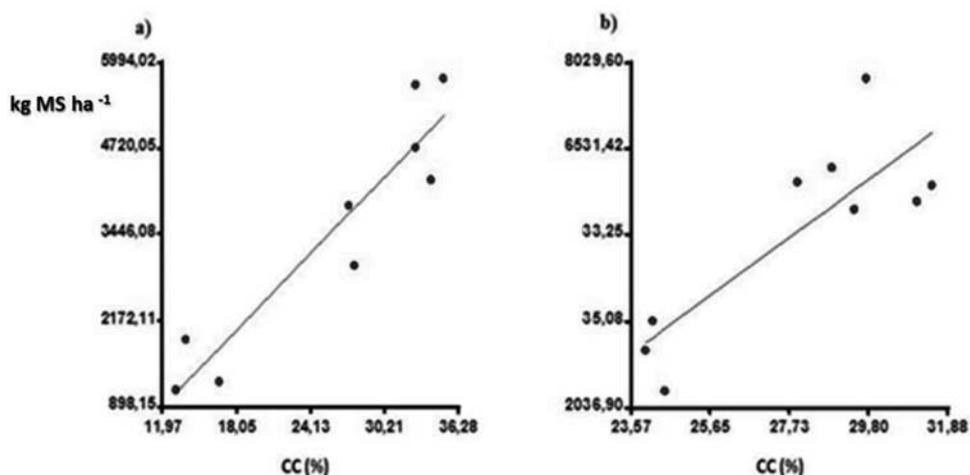


Figura N° 9
REGRESIÓN LINEAL COBERTURA DE COPA - PRODUCTIVIDAD PRADERA
TRATAMIENTO SILVOPASTORAL TRADICIONAL (a) Y SILVOPASTORAL EN FAJAS (b)
TEMPORADAS 2004 a 2008

- Análisis de Regresión de Más de Una Variable

Para el análisis de regresión de más de una variable, se ajustó el siguiente modelo (Modelo 3).

Modelo 3: Modelo de productividad pratense y animal.

$$Pp(a) = \mu + F + t + (F*t) + C + t + (C*t) + P + E$$

Donde: Pp(a) = Producción pradera (kg ha⁻¹ MS) o animal (kg ha⁻¹ peso vivo)

μ = constante

F = parámetro forestal

C = parámetro climático

t = tiempo

P = parcela

E = error

-Modelo productividad pratense – CC *viento

Para analizar el efecto de los árboles y el clima, en la producción pratense y animal, se ajustó la interacción de *cobertura de copa (CC%)*viento (vv)*. Con este modelo se obtuvo una buena correlación para el tratamiento silvopastoral tradicional con un r^2 de 0,68, y para silvopastoral en faja un r^2 de 0,53; la mejor correlación en SST, se debe a que este tiene una mejor distribución de los árboles sobre el terreno, dado lo cual se intercepta mejor el viento.

Como se indicó en punto anterior, CC (%) por si sola explica adecuadamente la productividad de la pradera (MS) con un r^2 de 0,88 y 0,69 para tratamientos tradicional y fajas, respectivamente. Al interactuar CC (%) y vv, no mejora el valor de CC (%) por sí solo, dado que es el aumento de la cobertura forestal el que hace reducir la velocidad del viento, y consecuentemente genera un aumento de la productividad de la pradera.

-Modelo producción animal - Ccopa*viento y Ccopa*viento*MS

Para analizar los factores que afectan la producción animal en la región de Aysén, en los tratamientos silvopastorales y ganadero analizados, entre las temporadas 2006 a 2008, se realizó un análisis con un modelo integrando la cobertura de copa que proporcionan los árboles y la velocidad del viento, y un segundo modelo agregando además la productividad de la pradera en materia seca por hectárea (MS). Con el primer modelo CC*vv, se obtuvo una excelente correlación de $r^2=0.92$, y al agregar DM, se aumentó la correlación a un r^2 de 0.96.

En base a estos dos modelos de regresión lineal múltiples analizados, para producción animal, se puede indicar que esta no se explica solo por la productividad de la pradera en la región de Aysén. Tal como se indica anteriormente, esta se explica principalmente por la interacción de las variables cobertura de copa (%) y viento (km h^{-1}), mejorando cuando se agrega producción de la pradera (MS).

CONCLUSIONES

Los tratamientos silvopastorales evaluados propiciaron una mayor producción de la pradera en las cuatro primeras temporadas evaluadas en la región de Aysén. En este periodo, como se expuso previamente, el factor que más influenció este aumento de la productividad de la pradera fue el efecto de las copas de los árboles que redujeron la velocidad del viento en un 200%. El solo efecto de cobertura de copa sobre el viento, explica en un 92% los resultados de producción animal. A partir de la temporada 2008-2009, se produjo un decrecimiento de la productividad pratense en SST, producto del aumento de la cobertura de copa, no existiendo diferencia con el tratamiento ganadero, lo que recomendó la necesidad de manejar el sistema para disminuir esta cobertura; el tratamiento SSF, continuo siendo el mejor tratamiento para la producción pratense, por la protección que le otorga a la pradera, sin afectar su desarrollo con las copas.

La producción animal también se relacionó con los factores viento y cobertura de copa arbórea, pudiéndose recomendar a los productores ganaderos el uso de los árboles en ordenamiento silvopastoral para aumentar la producción y también para mejorar el bienestar animal. Esto se expresa bastante bien al analizar *wind chill*, siendo el tratamiento ganadero el

cual obtuvo valores negativos, afectando el comportamiento animal, especialmente en invierno.

Se puede concluir que los árboles presentes en tratamientos silvopastorales modificaron algunos parámetros climáticos del ambiente. Para los efectos del presente estudio, el parámetro más afectado por los árboles fue el viento, reduciendo su valor, lo que beneficia especialmente la productividad de la pradera y la producción animal.

El desarrollo de los arboles también fue afectado positivamente por los diseños silvopastorales, en especial SST en relación a TF, ya que se obtuvo arboles más desarrollados en el tratamiento silvopastoral tradicional, lo que significará también trozas de mayor dimensión, y debido al esquema de poda, mayores valores de venta con objetivo de obtención de productos con madera libre de defectos, para aserrío o tableros.

De los resultados expuestos, se puede recomendar el uso de los sistemas silvopastorales en la región de Aysén, ya que por un lado aumenta la productividad de la pradera, lo que beneficia la producción animal y, por otro, la incorporación de árboles al sistema ganadero permite al productor ganadero generar una segunda producción del suelo, por medio de la producción forestal. Se obtienen productos madereros de buena calidad, por el manejo de los arboles con este doble propósito, se protege el suelo y la pradera, y se generan ingresos por madera, con esquemas de poda y raleo planificados para este fin. Esto puede significar para el productor un ingreso intermedio producto del raleo, con productos de menor valor como leña, postes y madera pulpable y, al final de la rotación del sistema productivo, obtener trozas podadas con madera libre de nudos de mayor valor, que le puede entregar interesantes ingresos a los productores (Sotomayor *et al.*, 2009).

REFERENCIAS

- ARNOLD, J. E. M., 1983.** ECONOMIC CONSIDERATIONS IN AGROFORESTRY PROJECTS. AGROFOR. SYST. 1:229-311.
- CIREN, 2010.** DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN ACTUAL Y POTENCIAL DE LOS SUELOS DE CHILE. SANTIAGO, CHILE, 2010.
- Dube, F.; Espinosa, M.; Stolpe, N.; Zagal, E.; Thevathasan, N. V. and Gordon, A. M., 2012.** Productivity and carbon storage in silvopastoral systems with *Pinus ponderosa* and *Trifolium spp.*, plantations and pasture on an Andisol in Patagonia, Chile. *Agroforest Syst*, 86:113-128
- Hepp, C., 1993.** Estimación de la fijación de nitrógeno por trébol blanco en praderas naturales mejoradas de Aysén. En: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Subestación Experimental Aysén. Programa Praderas 1992-1993. Coyhaique, Chile. pp: 84-91
- Hepp, C., 1996.** Praderas en la zona Austral: XI Región (Aysén). En: Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Santiago (Chile). pp. 623-638.
- INE, 1997.** VI Censo Nacional Agropecuario. Instituto Nacional de Estadísticas Santiago, Chile, 1997.
- INFOR, 2013.** El Sector Forestal Chileno 2013. Instituto Forestal. Santiago, Chile.
- Larrain, O.; Grosse, H. y Sotomayor, A., 2007.** Manual de Silvicultura en Bosques Nativos Dominados por Raulí, Roble y Coigüe para Pequeños y Medianos Productores. Instituto Forestal, Concepción, Chile.
- Longhurst, W. M., 1983.** Wildlife interactions with domestic animals and forests. In: *Foothills for Food and Forest*. Ed. by Hannaway, D. B. Oregon State Univ. Timber Press, Beaverton, Oregon. pp. 309-320.

- Quam, V. y Johnson, L., 1999.** Windbreaks for Livestock Operations. University of Nebraska Cooperative Extension EC 94-1766-X.
- SAS Institute Inc., 2003.** Proceedings of the Twenty-Eight Annual SAS(r) Users Group International Conference. Cary, NC: SAS Institute Inc
- SIAR, 2009.** Toma de muestras e interpretación de análisis de fertilidad de suelo. Disponible en http://www.siar.cl/docs/protocolos/analisis_suelo.pdf, Julio 2009.
- Sotomayor, A., 1989.** Sistemas Silvopastorales y su Manejo. Documento técnico N° 42. Revista Chile Forestal, Diciembre 1989. CONAF. 8p.
- Sotomayor, A., 2010.** Sistemas silvopastorales, alternativa de producción integrada para un desarrollo sustentable de la agricultura en Chile. Ciencia e Investigación Forestal, Vol 16 N°1, abril 2010. pp: 19-51.
- Sotomayor, A.; Moya, I. y Teuber, O., 2009.** Manual de Establecimiento y Manejo de Sistemas Silvopastorales en Zonas Patagónicas de Chile. Manual N° 41, Coyhaique, Chile.
- Sotomayor, A.; Moya, I. y Acuña, B., 2010.** Comportamiento de las variables dasométricas en plantaciones de *Pinus contorta* Doug. Ex Loud., bajo manejo silvopastoral y forestal en la región de Aysén, Chile. Ciencia e Investigación Forestal, Vol 16 N°3, diciembre 2010. pp: 265-290.
- Sotomayor, A. y Teuber, O., 2011.** Evaluación del efecto de los árboles manejados bajo ordenación 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*, 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.
- Sotomayor, A.; Schmidt, H.; Salinas, J.; Schmidt, A.; Sanchez-Jardon, L.; Moya, I. y Teuber O., 2016.** Silvopastoral Systems in the Aysen and Magallanes Regions of the Chilean Patagonia. In: Silvopastoral Systems in Southern South America. Eds: by Peri p., Dube F. and Varella A. Advances in Agroforestry, Vol 11. Springer International Publishing, Switzerland, 2016. Pp: 213-320.
- Teuber, O. y Ganderatz, S., 2009.** Características Geográficas y Edafoclimáticas de la Región de Aysén. En: Sistemas Agroforestales para la Región de Aysén: Cortinas Cortaviento y Silvopastoreo. Ed. Teuber, O., Coyhaique, Chile 2009. pp: 9-16.

Capítulo 9

CORTINAS CORTAVIENTOS, Y SU IMPACTO EN LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA DE LA REGIÓN DE AYSÉN

Oswaldo Teuber¹, Alvaro Sotomayor²,
Iván Moya³, Jaime Salinas³

RESUMEN

En el presente capítulo se dan a conocer resultados de un estudio realizado en el sector del Valle Simpson, comuna de Coyhaique, en la Zona Intermedia de la región de Aysén, en el cual se evaluaron distintos cultivos forrajeros perennes y anuales, ubicados a sotavento y a barlovento de una cortina cortaviento forestal adulta. El efecto de la cortina sobre la producción y crecimiento de cultivos forrajeros se evaluó desde el 2003 al 2006. La cortina forestal cortaviento utilizada en el estudio, ubicada al interior del predio Los Ñires, estaba compuesta por especie adultas de *Pinus ponderosa*, *Pinus silvestrys* y *Pinus contorta*. Previo al establecimiento de los cultivos forrajeros, se le realizó un manejo forestal, consistente en poda lateral de ramas y raíces, para evitar la competencia con los cultivos a estudiar.

De acuerdo a los resultados de este estudio, se puede señalar que las cortinas cortavientos forestales, dependiendo de las condiciones climáticas imperantes, pueden otorgar importantes beneficios a los sistemas productivos de la región de Aysén. Las cortinas cortavientos, logran una reducción de la velocidad del viento, lo que se traduce en una mejora de las condiciones microclimáticas en la zona de protección, lo que es aprovechado por varios de los cultivos forrajeros ensayados.

Además, se exponen en este capítulo aspectos teóricos del funcionamiento y el establecimiento de cortinas cortavientos forestales, con el objetivo de maximizar los beneficios que una cortina bien establecida puede entregar a los productores de la Patagonia chilena.

Palabras clave: Cortinas cortaviento, Cultivos Forrajeros, Velocidad del Viento, Condiciones Microclimáticas.

SUMMARY

This chapter provides results from a study developed in the Simpson Valley, Coyhaique county, Aysén region's intermediate zone, where different evergreen and annual fodder cultures, located leeward and windward of a mature forest windbreak, were evaluated. The windbreak effect over the cultures growth and production was evaluated from 2003 to 2006. The forest windbreak is located at the Los Ñires farm and composed by *Pinus ponderosa*, *Pinus silvestrys* and *Pinus*

1 Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA-Tamel Aike, Coyhaique, Chile. o.teuber@inia.cl

2 Instituto Forestal (INFOR), Sede Bio Bio, Concepción, Chile. asotomay@infor.cl

3 Instituto Forestal (INFOR), Sede Patagonia, Coyhaique, Chile. imoya@infor.cl, jsalinas@infor.cl

contorta mature trees. Previous to the fodder cultures establishment a forest management was realized, including lateral branches and roots pruning, to avoid competition between trees and cultures.

The study results indicate that the forest windbreaks, depending on the prevailing local climate conditions, can offer important benefits to the regional productive systems, reducing the wind speed and improving this way the microclimate conditions over their protection area favouring several of the studied fodder cultures.

The chapter provides as well theoretical aspects on the functioning and the establishment of forests windbreaks in order to maximize the benefits that a properly established windbreak can offer to the farmers at the Chilean Patagonia.

Key words: Forest windbreaks, Fodder cultures, Wind speed, Microclimate conditions.

INTRODUCCIÓN

Son muchos los motivos por los cuales los productores de la Patagonia desean establecer cortinas cortavientos en sus predios, entre los más relevantes están, la reducción de la erosión eólica, la protección de las plantas de cultivos agrícolas, el mejoramiento del manejo de la nieve, la protección de las infraestructuras y construcciones del campo, la protección del ganado, el aumento del hábitat para la vida silvestre, el mejoramiento de la eficiencia del riego, la captura de carbono atmosférico, la disminución de olores provenientes de explotaciones ganaderas y la disminución del polvo en suspensión proveniente de labores de labranza. Adicionalmente, por corresponder a una práctica forestal, las cortinas cortavientos generan también beneficios directos como la generación de productos madereros obtenidos directamente de la explotación de la cortina en edad adulta (madera aserrable, postes, polines, pulpa, otros) y la de subproductos de los árboles como, frutos, flores, hongos micorrízicos, piezas ornamentales, entre otros. Estos beneficios serían imposibles de concretar si la cortina no se establece o construye desde el inicio de forma adecuada.

El conocer cómo las cortinas cortaviento trabajan para reducir la velocidad del viento ha despertado el entusiasmo de muchos científicos y la realización de muchas investigaciones alrededor del mundo. Todos los resultados han podido corroborar que las hileras de árboles y arbustos establecidos correctamente en el campo, proveen una real protección a las plantas y/o animales, contra la fuerza y turbulencia del viento (Horvath, 2002).

El éxito en la tarea de obtener una cortina cortaviento funcional, no siempre está asegurado, va a depender de las características de su establecimiento inicial y del cuidado dado en sus primeros años. En este sentido, aspectos como la preparación del terreno, el control de malezas, la calidad de las plantas, la especie a utilizar, los distanciamientos entre las plantas y entre las hileras que conforman la cortina, el riego, la reposición de plantas, la protección contra animales (mayores y menores) y la fertilización, entre otros, son de gran importancia y deben ser considerados para asegurar el éxito en el establecimiento de una cortina cortaviento sana y operativa.

Antes de establecer una cortina forestal cortaviento o de protección, es importante considerar los aspectos técnicos más relevantes al momento de diseñarla, dentro de los aspectos

más relevantes están la altura de la cortina, la densidad o número de hileras, la orientación, la disposición y diseño, y las especies a utilizar.

La altura de la cortina (H) es el factor más importante y es el que determina la distancia total del efecto protector, que a su vez determina la magnitud del área a proteger por la cortina. La altura va a depender de la o las especies a utilizar, los distanciamientos entre las plantas, la calidad del sitio y la edad de la cortina. En cortinas cortavientos con múltiples hileras la protección la dará siempre la hilera con la especie más alta de la cortina.

De acuerdo a estudios realizados por (Brandle y Finch, 1991), la disminución en la velocidad del viento puede alcanzar hasta la distancia de 10H (10 veces la altura de la cortina) en el sector de barlovento (lugar desde donde viene el viento) y hasta 30H (30 veces la altura de la cortina), en el sector de sotavento (lugar hacia dónde va el viento) (Figura N°1). Esta reducción en la velocidad del viento provoca cambios en el microclima dentro de la zona protegida, los que finalmente pueden afectar positiva o negativamente a las plantas y/o animales que se desarrollan y crecen en estos sectores. Dentro de los cambios más importantes que se pueden observar se encuentra la modificación de la temperatura y humedad (aire y suelo), cuyos niveles generalmente aumentan en el área protegida, decreciendo la evaporación y la pérdida de agua por parte de las plantas y el suelo (Brandle y Finch, 1991).

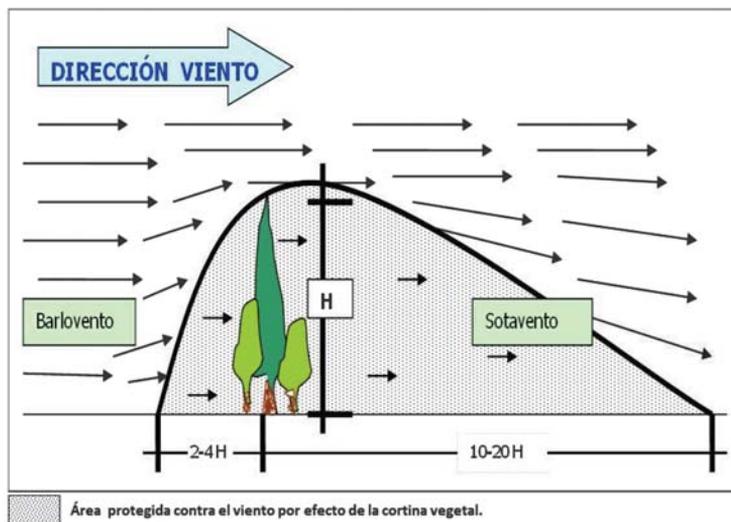


Figura N° 1
EFECTO PROTECTOR DE UNA CORTINA CORTAVIENTO, ANTES Y DESPUÉS DE ELLA

La densidad de una cortina cortaviento determina el grado de movimiento de la masa de aire a través de la cortina y como consecuencia del tipo de densidad dependerá la protección que la cortina otorgará a la superficie adyacente. Se calcula como el cociente entre la porción sólida de la cortina (sumatoria de hojas, ramas y fuste) y el área total de la misma. Si la estructura presenta una baja densidad, el paso del viento a través de los espacios de la cortina no encontrará mayor resistencia; en tanto si la densidad de una cortina forestal es muy alta, la protección será deficiente, ya que en el lado de sotavento (detrás de la cortina) se forma una zona de baja presión que mueve el aire que pasa por sobre la cortina hacia abajo generando turbulencias

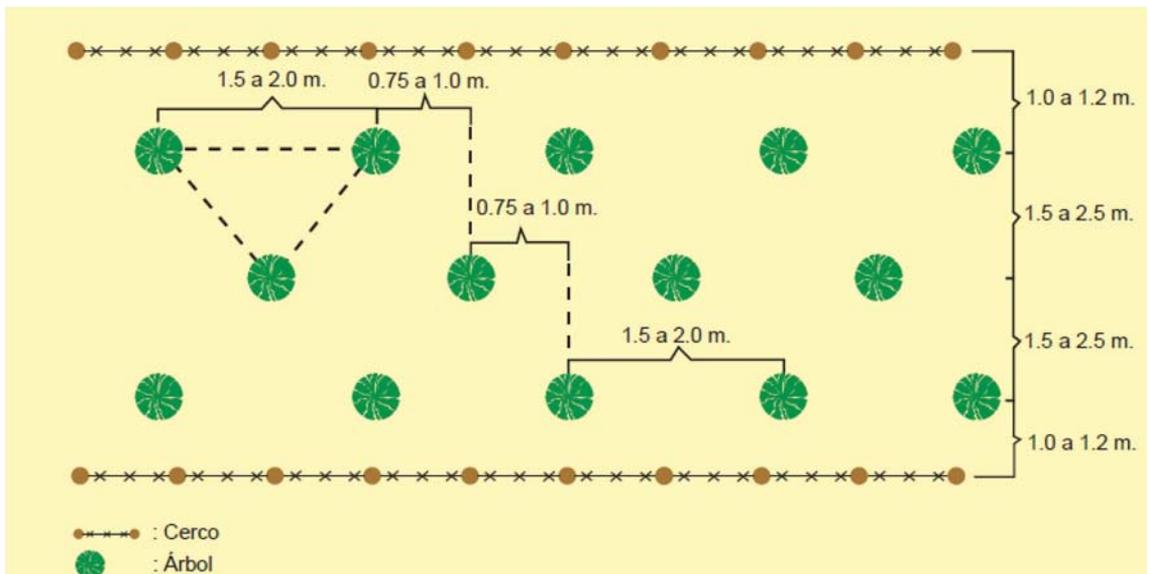
que reducen la protección. Se considera que una cortina con una densidad intermedia, con una porosidad de 35-45%, es ideal para disminuir la turbulencia y aumentar el área de protección. La densidad es el factor más importante para determinar la magnitud de la reducción de la velocidad del viento (Brandle y Finch, 1991).

Dentro de una cortina forestal cortaviento los factores que determinan la densidad de la misma son el número de hileras, la distancia entre los árboles y la composición de especies. La interacción entre la altura, la densidad y la longitud de la cortina, determinan el grado de reducción de la velocidad del viento como también el área a proteger detrás de ella.

Las cortinas cortavientos pueden considerar 1 o más números de hileras, siendo lo más común de 2 a 3 hileras, lo cual es importante de considerar en el diseño dado que influirá en la protección que otorgará en la zona que se desea proteger de los efectos negativos del viento. El tema de los distanciamientos tanto de los árboles sobre la hilera como la distancia entre las hileras que conforman la cortina es un tema que no puede ser definido con precisión, pues depende de varios factores, como especies a utilizar (arbustos, árboles), relieve del lugar, número de hileras y condición de sitio (Brandle y Finch, 1991).

Sin embargo, recopilando la información de distintas investigaciones realizadas, se puede indicar que la distancia de plantación entre las hileras será de un mínimo de 1,5 m y de un máximo de 5 m; el distanciamiento de los árboles y/o arbustos sobre la hilera será de 1 m como mínimo y de 3,5 m como máximo.

En el caso de una plantación de 3 hileras se recomienda establecer las plantas en tres bolillo (Figura N° 2), quedando una planta de la otra, haciendo una proyección horizontal entre las hileras, entre 0,75 y 1,0 m.



(Fuente: Sotomayor *et. al*, 2011)

Figura N° 2

EJEMPLO DE ESQUEMA CON DISTANCIAMIENTOS ADECUADOS PARA ESTABLECER UNA CORTINA CORTAVIENTOS DE TRES HILERAS CON PLANTACIÓN EN TRES BOLILLO

Otros aspectos importantes para el funcionamiento de una cortina forestal cortaviento son la orientación, la disposición y su diseño. Una cortina cortaviento será más eficaz en la reducción de los efectos negativos del viento mientras más perpendicular a la dirección del viento se establezca. Generalmente la dirección de los vientos varía dependiendo de la estación del año, sin embargo al diseñar la cortina se debe considerar la orientación perpendicular a los vientos predominantes y que provocan mayores daños a los cultivos, animales o edificaciones (Brandle y Finch, 1991). Si localmente hubiere más de una dirección predominante, se debería diseñar cortinas con forma de "L" en T o perimetrales en todo el contorno del potrero o área a proteger (Figura N°3), lo cual incide en el tamaño de la zona de protección.

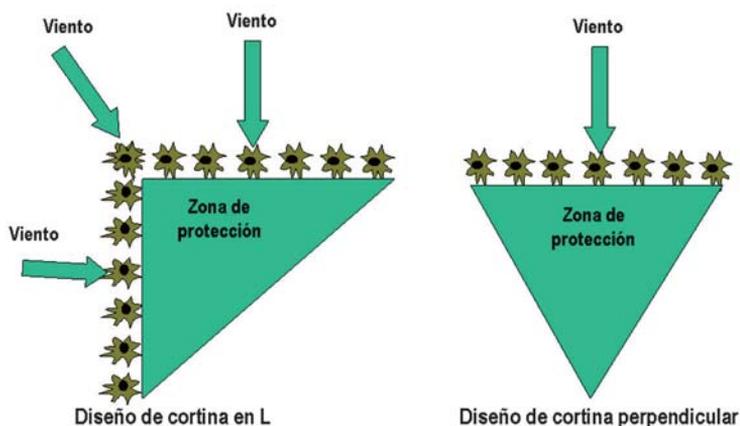


Figura N° 3

FORMA Y ORIENTACIÓN DE CORTINAS CORTAVIENTOS DEPENDIENDO DE DIRECCIÓN DEL VIENTO.

Es muy importante antes de plantar identificar el área que se desea proteger y la disposición y la longitud que tendrá la cortina cortaviento en aquella superficie. Se debe tener presente las especies a utilizar, la densidad adecuada y considerar aspectos como la ubicación de edificaciones, caminos, cercos, pendientes, silos, y otros. Si se desea dar protección a un sector de unos 100 m de ancho, la cortina por lo menos debe tener un largo de 150 m, esto es 25 m más larga en ambos lados que la distancia que se quiere proteger.

La longitud de una cortina determina la superficie total que recibe la protección. Para obtener una máxima eficiencia de la cortina, se requiere que la longitud ininterrumpida de esta exceda su altura en una relación de 10 a 1, con ello se minimiza la turbulencia generada hacia los bordes laterales de la cortina (Brandle y Finch, 1991). La continuidad está muy ligada a la longitud, ya que las aberturas que se generan en una cortina forman un embudo que concentra el flujo del aire, creando áreas en sotavento donde la velocidad del viento frecuentemente excede la velocidad del viento a campo abierto (Brandle y Finch, 1991).

Las especies a utilizar en una futura cortina forestal cortaviento deben estar adaptadas a las condiciones de clima y suelo de donde crecerán, es muy importante para el éxito de la futura cortina, comprar plantas de muy buena calidad y, si es posible, adquirir plantas con mayor desarrollo que las destinadas a plantaciones forestales tradicionales.

Algunas de las especies adaptadas a la zona patagónica son, entre otras pino oregón (*Pseudotsuga menziessi*), pino ponderosa (*Pinus ponderosa*), pino contorta (*Pinus contorta*), álamos (*Populus spp.*) y algunas especies nativas como coigüe (*Nothofagus dombeyi*), coigüe de Magallanes (*Nothofagus betuloides*), lenga (*Nothofagus pumilio*) y ñirre (*Nothofagus antarctica*). También se pueden considerar especies arbustivas como calafate (*Berberis sp.*), grosella (*Ribes sp.*), salicáceas (*Salix sp.*), y otras. Dada la alta población de liebre europea presente en gran parte de la Patagonia, se debe considerar la protección contra el daño que provocan a través de la colocación de protectores individuales a las plantas o algún sistema de cerco tradicional con malla “conejera”.

Existen muchos estudios a nivel mundial, donde se ha evaluado el impacto de las cortinas sobre la producción. Si bien estos aumentos en la productividad pueden variar de año en año, de acuerdo a las condiciones climáticas imperantes, se tiene la certeza que pueden fluctuar entre un 5% y 45%, sobre el promedio de productividad del mismo cultivo sin esta protección (Brandle y Hodges, 2000). Quam *et al.* (1994), analizando los rendimientos de heno de pradera mixta (leguminosas/gramíneas) durante 14 años, determinaron aumentos de producción de 20% en los sitios protegidos, en comparación con los no protegidos. En la región de Aysén, trabajando con alfalfa y avena con cortinas artificiales, se determinaron aumentos de rendimientos entre 9,8 y 56,6% en el cultivo de alfalfa y entre 24,8 y 29,6% en el cultivo de avena (Alarcón, 2002).

Los animales también se ven fuertemente beneficiados por una cortina cortaviento forestal. En primer término obtienen un beneficio directo, dado por la reducción de la velocidad del viento invernal y, por ende, la reducción de la temperatura fría crítica, lo que les permite pasar el invierno en condiciones más adecuadas. Adicionalmente, les entrega sombra y brisa fresca durante el verano, evitando el estrés por calor. En segundo término hay un beneficio indirecto, ya que al aumentar el rendimiento de la pradera, hay una mayor disponibilidad de forraje para la alimentación y en consecuencia una mayor producción secundaria, expresada en ganancia de peso y aumento en la producción de leche y lana, por parte de los animales alimentados en estos sistemas (Quam *et al.*, 1994).

A pesar de la información internacional disponible, en Chile no existen muchas experiencias ni trabajos al respecto. Las casi 37.000 ha de cortinas cortaviento forestales existentes en el país son en su mayoría de regular a mal diseño y con un escaso o nulo manejo, por lo que un importante porcentaje del total generaría más daños que beneficios (Alarcón, 2002).

Comparando la realidad mundial y nacional con la de la región de Aysén, se puede observar aún un menor desarrollo y mayor desconocimiento local sobre esta técnica agroforestal. Algunos sectores de la región cuentan con una alta utilización de cortinas cortaviento forestales, especialmente para la protección de cultivos de chacarería, hortalizas y frutales (Zona de Microclima). Sin embargo, el establecimiento y utilización de estas estructuras sobre otro tipo de cultivos y en otras zonas, es mucho más escasa o nula.

La existencia de fuertes vientos durante una buena parte del año, que generan erosión de suelos, así como también efectos negativos sobre los cultivos agrícolas y animales, hacen necesario generar información local sobre cortinas cortaviento forestales que permitan aumentar su establecimiento y masificación a nivel regional. Debido a lo anterior, desde finales de los años 90 se han desarrollado algunas iniciativas de investigación y desarrollo en la región de Aysén, en la cual han participado el Instituto Forestal (INFOR) y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), con la finalidad de generar conocimiento sobre cortinas cortaviento forestales, que sean

validados localmente y que permitan entregar conocimiento a los productores locales sobre el beneficio de estas estructuras, así como sus normas de manejo más adecuadas.

Parte de estos estudios y resultados de investigación efectuados en la región, son los que se presentan en el presente capítulo. Estos han buscado determinar el efecto que tiene una cortina cortaviento forestal sobre el crecimiento y desarrollo de cultivos de especies forrajeras anuales y perennes de amplio uso en los sistemas ganaderos tradicionales de la región de Aysén.

OBJETIVOS

El objetivo general fue incrementar la productividad de los predios de la región de Aysén, mediante la introducción y evaluación de las cortinas cortavientos forestales.

El objetivo específico fue evaluar el efecto de una cortina cortaviento forestal sobre la producción y el crecimiento de cultivos forrajeros perennes, como el pasto ovilla (*Dactylis glomerata*), y una mezcla forrajera de ballica (*Lolium perenne*), festuca (*Festuca arundinacea*) y trébol blanco (*Trifolium repens*), además de cultivos forrajeros anuales, como maíz (*Zea mays*), avena (*Avena sativa*), lupino (*Lupinus angustifolius*), nabo forrajero (*Brassica rapa*) y col forrajera (*Brassica oleracea*).

MATERIALES Y METODOS

El estudio se desarrolló entre septiembre de 2003 y junio de 2006, en el sector de Valle Simpson, de la comuna de Coyhaique, Zona Intermedia de la región de Aysén. Para este fin se seleccionó una cortina cortaviento forestal constituida por tres hileras de pinos, siendo estos *Pinus sylvestris* (enfrentando al viento o barlovento), *Pinus ponderosa* (hilera central) y *Pinus contorta* (hilera protegida del viento o sotavento), de 14 m de altura y aproximadamente 35 años de edad. La cortina fue manejada para adecuar su porosidad a un 50-60%, realizándose podas laterales, hasta la altura de 6 m. Debido a la ausencia de ramas en la parte basal, se instaló una cortina artificial de malla Raschel de 65% de porosidad y de 3 m de altura, para homogeneizar la porosidad en todo el alto de la cortina. Finalmente, se procedió a realizar una poda de raíces, a una distancia de 5 m de la última hilera de árboles y a una profundidad de 60-80 cm, utilizando para ello un arado subsolador.

En torno a la cortina se seleccionó un terreno plano, constituido por una pradera permanente polifítica. Se seleccionó y cercó una superficie de 55 m de ancho por 80 m de largo en el sector de barlovento y de 55 m de ancho por 215 m de largo en el sector de sotavento. La pradera fue eliminada en forma química usando un herbicida sistémico de acción total (6 L ha⁻¹ de glifosato, en 300 L de agua). La preparación del terreno se realizó a través de labranza tradicional (rastra de discos, arado cincel, *rotovator* y rodillo compactador), lo que permitió contar con un terreno preparado para la siembra.

La siembra de las especies forrajeras perennes se realizó con máquina cerealera (Semeato®), con separación de discos de 18 cm, mientras que los cultivos forrajeros anuales se sembraron con una regeneradora (Connor Shea®), con separación de discos de 15 cm. Las hileras de siembra se efectuaron perpendiculares a la cortina y paralelas a la dirección del viento

predominante. Las especies perennes establecidas fueron el pasto ovido (cv. Potomac), como siembra pura y la mezcla forrajera de ballica perenne, festuca y trébol blanco (cv. Jumbo, Maximize y Huia, respectivamente), con dosis de siembra de 12; 20; 10 y 6 kg ha⁻¹, respectivamente. Los cultivos forrajeros anuales fueron maíz, avena, lupino, nabo forrajero y col forrajera (hibrido precoz Pioneer y cv. Nehuen, Wonga, Rival y Soberana, respectivamente).

La fertilización aplicada a la siembra fue similar para todas las especies, siendo de 100 - 200 - 160 - 50 kg ha⁻¹ (N-P-K-S, respectivamente), mientras que en la primavera de la segunda temporada se aplicaron 100 - 100 - 80 - 30 kg ha⁻¹ (N-P-K-S, respectivamente), en cobertera. Las fuentes de nutrientes fueron urea (nitrógeno), súper fosfato triple (fósforo), muriato de potasio (potasio) y azufre ventilado (azufre). La excepción la representó el lupino, ya que por ser leguminosa no fue fertilizada con nitrógeno.

Para evaluar el desarrollo y rendimiento de todas estas forrajeras, se procedió a dividir cada faja de cultivo, en sectores o tramos de avance de 14 m (14 m = H, que era la altura de la cortina). Por lo tanto el sector de barlovento se dividió en cinco tramos, desde 1H hasta 5H y el sector de sotavento se dividió en quince tramos, desde 1H hasta 15H (Figura N° 4).

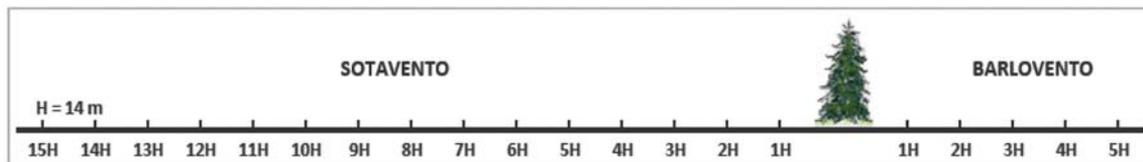


Figura N° 4
DISTRIBUCIÓN DE LAS DISTANCIAS A LAS CUALES FUERON EVALUADOS LOS CULTIVOS FORRAJEROS

En cada una de estas alturas o tramos (20 alturas en total) se procedió a evaluar el crecimiento de las plantas (altura disturbada medida como largo de hojas y largo de panojas o espigas, según fuera el caso), para posteriormente realizar tres cortes (toma de tres muestras), dentro de cada una de las alturas y por cada una de las repeticiones. Cada una de estas muestras fue pesada, para determinar la producción de materia verde y, posteriormente, una sub-muestra fue extraída para realizar los análisis de laboratorio (determinación de materia seca y composición botánica). Con el detalle de la producción y la superficie muestreada y el porcentaje de materia seca determinado en el laboratorio, se procedió a determinar la producción de materia seca por superficie de muestreo, la que posteriormente fue extrapolada a producción de materia seca por hectárea (Mg ha⁻¹ MS).

El diseño experimental seleccionado para el experimento con pasto ovido y mezcla forrajera, correspondió a bloques completos al azar, con tres repeticiones. Los resultados productivos fueron analizados estadísticamente a través de análisis de varianza para comparar los promedios y se usó la prueba de hipótesis específica LSD (*Least Significant Difference*), para determinar el nivel de significancia, al 0,05 %. En tanto que los cultivos forrajeros anuales fueron evaluados solo como jardines de variedades, con comparación de sus medias.

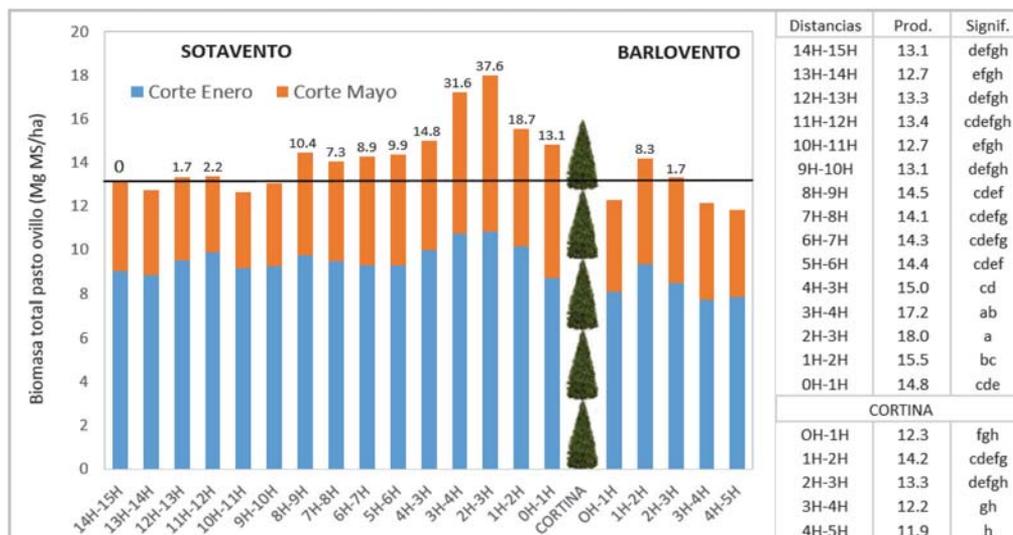
RESULTADOS Y DISCUSION

Desarrollo y Rendimiento del Pasto Ovillo

Esta especie es la principal gramínea forrajera perenne de las praderas naturalizadas y sembradas de la Zona Intermedia de Aysén, producto de su buena adaptación al déficit hídrico y a su buen comportamiento bajo sistemas de pastoreo.

Este ensayo fue evaluado en dos cortes (31 de enero y 30 de mayo de 2006) y en ambos las plantas alcanzaron un mayor desarrollo en el sector de sotavento, comparado con barlovento. La altura de plantas (largos de hojas) en el primer corte fluctuó entre 110 a 127 cm, entre 0H y 6H. A partir de 7H en adelante la altura fue disminuyendo, para llegar a mínimos de 96 cm. En barlovento la altura aún fue más baja, fluctuando entre 75 a 96 cm. La altura de las panojas presento una tendencia similar, con medias de 136 a 152 cm (0H a 8H) en sotavento y solo 108 a 130 cm de altura en barlovento. Durante el segundo corte, si bien el desarrollo de las plantas fue menor, la tendencia fue similar. La altura de plantas alcanzó medias entre 62 a 73 cm en sotavento (0H a 4H) y solo de 43 a 52 cm en barlovento. En el segundo corte no hubo desarrollo de panojas, por lo que no fue evaluado.

En cuanto a la producción de biomasa, en la primera cosecha se observó una tendencia a producir más en los sectores más protegidos de sotavento (Figura N° 5). Entre 1H y 5H se alcanzaron producciones de 8,7 a 10,8 Mg ha⁻¹ MS, valores que fueron levemente superiores a los alcanzados desde los 6H hasta los 15H en sotavento (8,8 y 9,9 Mg ha⁻¹ MS). En tanto en barlovento las producciones fueron aun menores con rendimientos entre 7,7 y 9,3 Mg ha⁻¹ MS.



Letras distintas en la misma columna, señalan diferencia estadísticamente significativa con prueba LSD ($p < 0.05$).

Figura N° 5

PRODUCCIÓN POR CORTE Y ACUMULADA DE PASTO OVILO A DIFERENTES DISTANCIAS DE LA CORTINA DURANTE LA TEMPORADA 2005-2006 Y PORCENTAJE DE AUMENTO CON RESPECTO A LO PRODUCIDO A 15H (VALORES SOBRE LAS BARRAS)

En la segunda cosecha realizada en mayo de 2006, la producción fue inferior a la obtenida en el mes de enero. En la zona de mayor protección de sotavento (0H a 6H) el rendimiento fluctuó entre 5,0 y 7,2 Mg ha⁻¹ MS, mientras que desde 6H hasta 15H la producción fue inferior (3,5 a 5,0 Mg ha⁻¹ MS). La producción en barlovento alcanzó rendimientos intermedios, con valores entre 4,0 a 4,8 Mg ha⁻¹ MS.

La producción acumulada de ambas cosechas fue alta comparada con los rendimientos regionales habituales, alcanzando valores de hasta 18 Mg ha⁻¹ MS. En la zona de mayor protección de sotavento (0H a 5H) los rendimientos fluctuaron entre 14,8 y 18,0 Mg ha⁻¹ MS. Posterior a los 5H los rendimientos descendieron visiblemente, para ubicarse entre 12,7 y 14,4 Mg ha⁻¹ MS. En tanto en barlovento la producción fue aún más baja, con rendimientos que fluctuaron entre 11,9 y 14,2 Mg ha⁻¹ MS. Estos rendimientos son superiores a los alcanzados por Teuber y Almonacid (2006), al evaluar 9 genotipos distintos de pasto ovillo en un sistema sin cortinas cortavientos. Los rendimientos del cultivar Potomac durante cuatro temporadas (marzo 2002 hasta junio 2006) fueron de 4,7, 12,5, 10,3 y 11,7 Mg ha⁻¹ MS, respectivamente, que son solo comparables, aunque incluso inferiores, a la producción obtenida en el sector más desprotegido de sotavento (13,1 Mg ha⁻¹ MS).

Adicionalmente, si se considera que para este experimento la altura de 15H en sotavento y la altura de 5H en barlovento son las más desprotegidas, se puede observar que hubo un sustantivo incremento del rendimiento por efecto de la cortina cortaviento. Entre 0H y 9H en sotavento el rendimiento de pasto ovillo aumentó entre un 7,3% y 37,6%, comparado con el rendimiento a 15H. En tanto en barlovento solo entre 2H y 3H se observó un aumento en la producción, fluctuando este entre 1,7% y 8,3%. Esto concuerda con lo planteado por Brandle y Hodges (2000), quienes reportan aumentos de rendimientos entre 5% y 45% como promedio en diferentes cultivos, al usar cortinas cortavientos.

Desarrollo y Rendimiento de una Mezcla Forrajera

El establecimiento de mezclas forrajeras es una de las formas más habituales de establecimiento de praderas en la región de Aysén. Con estas mezclas se puede aprovechar el potencial y características productivas y de calidad de todas las especies de la mezcla. La mezcla forrajera para este experimento estuvo compuesta por ballica perenne, festuca y trébol blanco, siendo evaluada durante la temporada 2005-2006, en dos fechas de cosecha (31 enero 2006 y 30 de mayo 2006).

En el primer corte la altura de las plantas de ballica (largo de hojas) fluctuaron entre 100 a 112 cm, entre 0H y 3H en sotavento. A partir de los 4H hasta los 15H la altura fue disminuyendo levemente, hasta llegar a valores de 80 cm (12H). En tanto en barlovento las alturas fueron inferiores a las alcanzadas en sotavento, ya que estas fluctuaron entre 75 a 95 cm. Adicionalmente, al analizar la altura de las espigas de las ballicas la tendencia fue parecida al largo de hojas. Las mayores alturas se alcanzaron en sotavento entre 0H y 3H, con promedios de 132 y 141 cm. A partir de los 4H la altura comenzó a disminuir para hacerse mínima a los 12H, con solo 108 cm. En tanto en barlovento las Alturas fueron inferiores comparadas con sotavento, ya que los valores fluctuaron entre 103 y 124 cm.

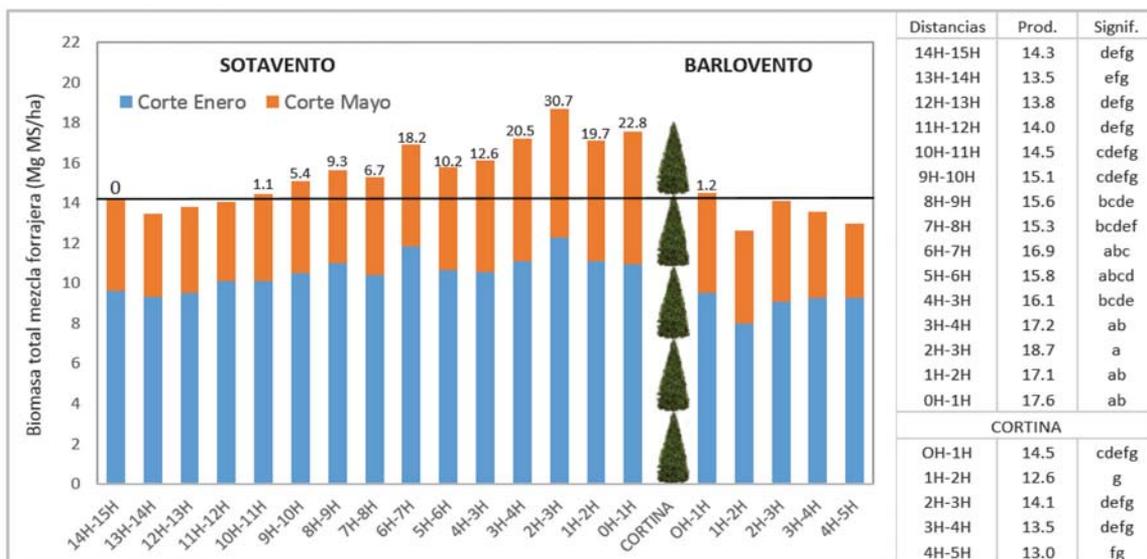
En cuanto a la producción de biomasa de la primera cosecha, se pudo observar una tendencia a producir más en los sectores más protegidos de sotavento (Figura N° 6). Entre 1H

y 9H el rendimiento fluctuó entre 10,4 y 12,3 Mg ha⁻¹ MS, valores levemente superiores a los alcanzados entre los 10H y 15H (9,3 a 10,4 Mg ha⁻¹ MS). En tanto en barlovento las producciones fueron aun menores con rendimientos entre 7,7 y 9,3 Mg ha⁻¹ MS.

En la segunda cosecha la producción fue inferior a la obtenida en el mes de enero, pero de igual forma se observó la tendencia de mayor producción en los sectores más protegidos de sotavento. Entre 0H y 5H los rendimientos promedios fueron de 5,5 a 6,6 Mg ha⁻¹ MS. A partir de 6H y hasta 15H la producción comenzó a descender, fluctuando entre 3,9 y 5,1 Mg ha⁻¹ MS. La producción en barlovento alcanzo rendimientos parecidos a los obtenidos en los sectores menos protegidos de sotavento, con valores entre 3,7 a 5,0 Mg ha⁻¹ MS.

La producción acumulada de ambas cosechas podría ser considerada como alta, ya que esta alcanzo máximos de 18,7 Mg MS ha⁻¹. En la zona de mayor protección de sotavento (0H a 8H) los rendimientos fluctuaron entre 15,2 y 18,7 Mg ha⁻¹ MS. Posterior a los 8H los rendimientos fueron visiblemente menores, con producciones entre 13,5 y 15,6 Mg ha⁻¹ MS. En tanto en barlovento la producción fue aún más baja, con rendimientos que fluctuaron entre 12,6 y 14,5 Mg ha⁻¹ MS.

Estos rendimientos son considerablemente altos y muy superiores a los cerca de 7 Mg ha⁻¹ MS alcanzados en praderas polifíticas naturalizadas y mejoradas (fertilizadas) de la Zona Intermedia de la región de Aysén (Hepp, 1996). De igual manera, son superiores a los rendimientos alcanzados con ballicas, los cuales alcanzaron máximos de 12 Mg ha⁻¹ MS al segundo año de establecimiento (Elizalde *et al.*, 1998).



Letras distintas en la misma columna, señalan diferencia estadísticamente significativa con prueba LSD ($p < 0.05$).

Figura N° 6

PRODUCCIÓN POR CORTE Y ACUMULADA DE LA MEZCLA FORRAJERA A DIFERENTES DISTANCIAS DE LA CORTINA, DURANTE LA TEMPORADA 2005-2006 Y PORCENTAJE DE AUMENTO CON RESPECTO A LO PRODUCIDO A 15H (VALORES SOBRE LAS BARRAS)

Considerando nuevamente la altura de 15H en sotavento y la altura de 5H en barlovento como las zonas más desprotegidas, se puede observar que hubo un aumento importante del rendimiento por efecto de la cortina cortaviento. Entre 0H y 9H en sotavento los rendimientos de la mezcla aumentaron entre un 6,7% y 30,7%, comparado con el rendimiento a 15H.

En tanto en barlovento no se observó aumento de producción a excepción del leve aumento a la altura de 1H. Esto valores nuevamente concuerdan con los valores de 5% a 45% mencionados por Brandle y Hodges (2000) y levemente superiores al 20% de incremento que determinaron Quam *et al.* (1994), trabajando con praderas mixtas de gramíneas y leguminosas para heno.

Evaluación de Cultivos Forrajeros Anuales

Adicional a la evaluación de las fuentes forrajeras perennes (pasto ovillo y mezcla forrajera), se evaluó un jardín de variedades con forrajeras anuales. Las especies seleccionadas fueron maíz forrajero, avena, lupino, nabo forrajero y col forrajera.

- Desarrollo y Rendimiento de Maíz Forrajero

Se utilizó un híbrido precoz (Pioneer), estableciéndolo a una densidad de 102.775 plantas/ha. Durante la temporada 2004/2005 el cultivo de maíz pudo desarrollarse entre inicios de noviembre y 30 de marzo, momento en que una helada detuvo completamente su crecimiento. Durante este período las plantas mostraron una tendencia a crecer más en altura y a producir más biomasa en los sectores más protegidos de sotavento.

Entre las distancias de 0H a 5H, las plantas alcanzaron alturas entre 1,5 y 2,1 m, producciones de mazorcas entre 0,45 y 2,5 Mg ha⁻¹ MS y rendimiento total de biomasa entre 3,4 y 9,1 Mg ha⁻¹ MS (Figura N° 7). Desde los 6H hasta los 15H todos los parámetros decrecieron fuertemente, las alturas de las plantas fluctuaron entre 1,3 y 1,6 m, la producción de mazorcas entre 0,4 y 1,2 Mg MS ha⁻¹ y la producción total entre 2,5 y 4,4 Mg ha⁻¹ MS. En tanto en barlovento, los parámetros antes analizados fueron inferiores a los valores obtenidos en los sectores más desprotegidos de sotavento. Las Alturas de plantas fluctuaron entre 0,9 y 1,2 m, la producción de mazorcas fue menor a 0,2 Mg ha⁻¹ MS y la producción total fluctuó entre 1,4 y 3,3 Mg ha⁻¹ MS.

Al comparar el rendimiento alcanzado a 15H en sotavento con los rendimientos en las demás distancias, se pudo observar un fuerte impacto de la cortina cortaviento. Entre las distancias de 0H y 9H el rendimiento aumento entre un 10,1% y un 203%, con la mayor concentración de incremento a las distancias de 2H y 4H.

Durante la temporada 2005/2006 nuevamente se estableció un jardín de maíz forrajero, con las mismas características y manejo de la temporada anterior. En esta temporada las plantas ubicadas entre 11H y 15H en sotavento y todas las plantas de barlovento, fueron prácticamente aniquiladas por dos heladas (21/01 y 8/02), por lo que solo las plantas ubicadas entre 0H y 10H en sotavento lograron crecer y alcanzar algo de producción. Esto permitió determinar que las cortinas cortaviento también son capaces de proteger a los cultivos de las heladas de advección (movimiento de masas de aire frío). Estas plantas sobrevivientes alcanzaron alturas de 1 a 2.4 m, con rendimientos que fluctuaron entre 1,1 y 7,6 Mg ha⁻¹ MS, con la mayor producción concentrada entre las distancias de 2H y 4H (Figura N° 8).

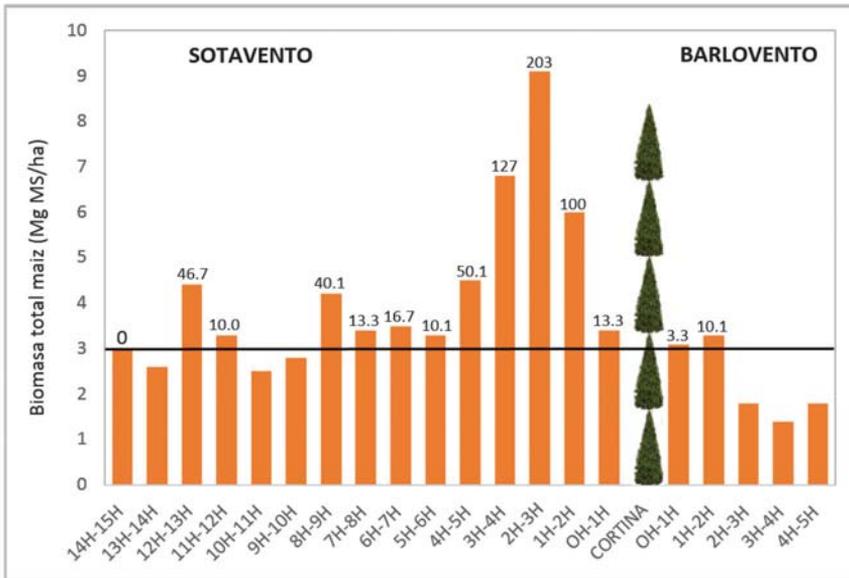


Figura N° 7
PRODUCCIÓN TOTAL DE MAÍZ A DIFERENTES DISTANCIAS DE LA CORTINA, DURANTE LA TEMPORADA 2004-2005. NÚMEROS SOBRE LAS BARRAS REPRESENTAN EL PORCENTAJE DE AUMENTO CON RESPECTO A LO PRODUCIDO A 15H.

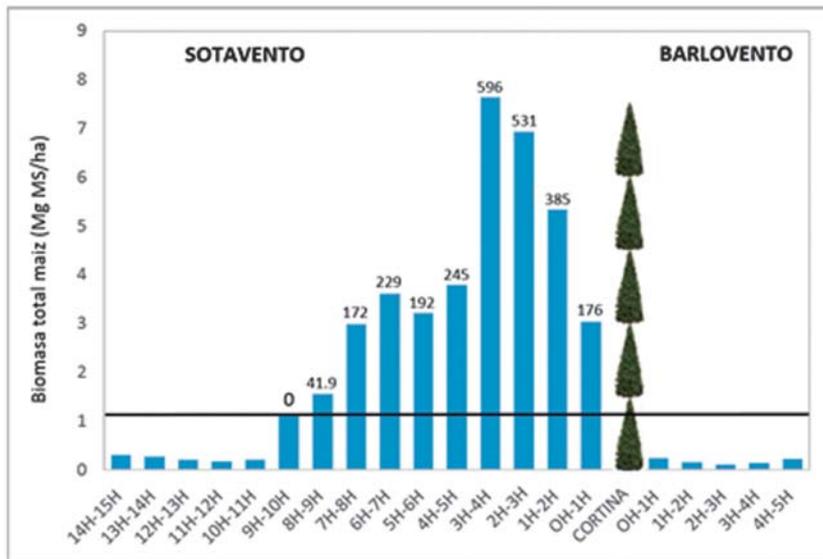


Figura N° 8
PRODUCCIÓN TOTAL DE MAÍZ A DIFERENTES DISTANCIAS DE LA CORTINA, DURANTE LA TEMPORADA 2005-2006. NÚMEROS SOBRE LAS BARRAS REPRESENTAN EL PORCENTAJE DE AUMENTO CON RESPECTO A LO PRODUCIDO A 10H.

En esta segunda temporada se observa aún un mayor efecto de la cortina cortaviento, ya que su efecto protector se vio maximizado debido a las condiciones climáticas más adversas de esa temporada. Al comparar el rendimiento alcanzado a 10H en sotavento, con los rendimientos en las demás distancias, se pudo observar que entre 0H y 9H el incremento del rendimiento fluctuó entre 41,9% y 596%. Nuevamente entre las distancias de 2H y 4H es donde se concentró el mayor incremento del rendimiento de biomasa.

Estos resultados son muy superiores a los incrementos de 10 a 15% reportados por Brandle y Hodges (2000). Igualmente, son superiores a los incrementos de 12% reportados por Kort (1988), que recopiló los resultados de 209 experimentos realizados con maíz y cortinas cortaviento, en diferentes lugares del mundo. Esta gran diferencia entre los resultados obtenidos en Aysén y los reportados por estos autores, hacen reafirmar que la región de Aysén tiene un limitado potencial para producción de maíz. Adicionalmente, se puede afirmar que la protección entregada por las cortinas cortaviento se verá incrementada cuando esta esté protegiendo a cultivos más sensibles a las adversas condiciones climáticas, como viento excesivo, baja temperatura, sequía, heladas.

- **Desarrollo y Rendimiento de Avena Forrajera**

Este cereal corresponde al de más amplio uso en la Zona Intermedia de Aysén, debido principalmente a su alto rendimiento, adecuada calidad como alimento animal y uso estratégico en los sistemas productivos locales (cabecera de rotación y cultivo asociado).

En la temporada 2005/2006 se estableció este cultivo para evaluar su desarrollo, producción de biomasa y rendimiento de grano. En todos estos parámetros evaluados se pudo observar un efecto positivo de la cortina cortaviento, principalmente en los sectores más protegidos de sotavento. Entre 0H y 8H la altura de las plantas supero los 110 cm, mientras que entre 9H y 15H esta fluctuó entre 102 y 104 cm. En tanto en barlovento la altura promedio se ubicó entre 102 y 106 cm, muy similar a la alcanzada en los sectores desprotegidos de sotavento.

La producción total de biomasa igualmente se vio mejorada por la protección de la cortina cortaviento, con una tendencia similar a lo observado para las alturas de plantas. Entre 0H y 9H los rendimientos fluctuaron entre 12,8 y 15,3 Mg ha⁻¹ MS (Figura N° 9), mientras que entre 10H y 15H esta producción se redujo, alcanzando promedios de 11,6 y 12,2 Mg ha⁻¹ MS. En tanto en barlovento la producción fue similar a la alcanzada en los sectores más desprotegidos de sotavento, con rendimientos entre 11,5 y 12,4 Mg ha⁻¹ MS. Estos valores fueron ligeramente superiores a los alcanzados por Teuber (2003), quien evaluando cuatro distintos cultivares de avena, en sistemas sin cortina cortaviento, alcanzó rendimientos de 10,4 a 13,1 Mg ha⁻¹ MS. Además, son muy superiores a los resultados obtenidos por Elizalde *et al.* (1998), quien obtuvo rendimientos de 9 Mg ha⁻¹ MS con el cultivar Llaofen.

La producción de granos igualmente se benefició de la protección de la cortina cortaviento, los sectores más protegidos alcanzaron mayores rendimientos (Figura N° 9). Entre 0H y 8H se alcanzó una producción entre 34 y 44 qqm ha⁻¹, mientras que entre 9H y 15H la producción fue inferior, con rendimientos promedios entre 31 y 35 qqm ha⁻¹. En tanto en barlovento la producción fue similar a la alcanzada entre 9H y 15 H de sotavento, con valores que fluctuaron entre 30 y 33 qqm ha⁻¹. Estos valores fueron comparables a los 39 qqm ha⁻¹ reportados por Elizalde *et al.* (1998).

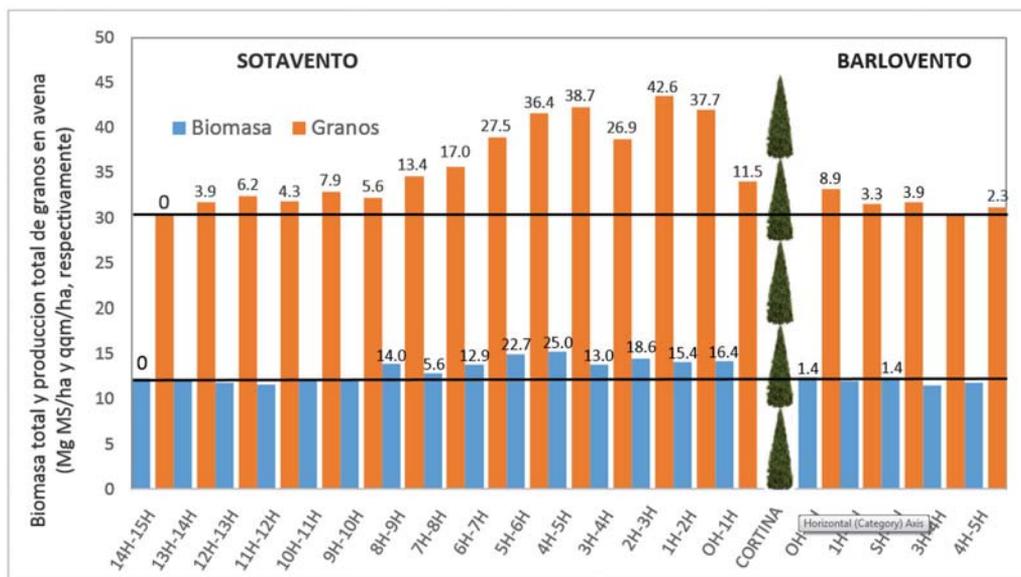


Figura N° 9

PRODUCCIÓN TOTAL DE BIOMASA Y GRANOS DE AVENA A DIFERENTES DISTANCIAS DE LA CORTINA, DURANTE LA TEMPORADA 2005-2006. NÚMEROS SOBRE LAS BARRAS REPRESENTAN EL PORCENTAJE DE AUMENTO CON RESPECTO A LO PRODUCIDO A 15H.

Finalmente, si se compara la producción de biomasa total obtenida a las distintas distancias con la obtenida a 15H, se puede observar que esta aumentó entre un 5,6% y un 25%, concentrando este aumento entre las distancias de 0H y 9H en el sector de sotavento. En barlovento el aumento fue mínimo. Adicionalmente, al comparar la producción de granos, esta muestra aún un mayor incremento con respecto a la producción a 15H. En sotavento se observaron aumentos desde un 3,9% hasta un 42,6%, sin embargo los mayores aumentos se registraron en los sectores más protegidos de la cortina (0H a 8H), donde el aumento fue superior al 11,5%, con un máximo de 42,6% a la distancia de 3H. En tanto en barlovento el aumento no superó el 8,9%. Estos valores fueron superiores a los 5% a 7% reportados por Brandle y Hodges (2000) y al 6% de incremento reportado por Kort (1988).

- Desarrollo y Rendimiento de Lupino

Esta especie no ha sido explotada hasta ahora con fines comerciales en la región de Aysén. Sin embargo, tiene un alto potencial como productora de granos con alto contenido proteico (concentrados animales), productora de biomasa para consumo animal (consumo directo o conservado) y como mejoradora de la fertilidad del suelo (fijación de nitrógeno y liberación de fósforo adsorbido). Debido a ello fue seleccionada para ser evaluada dentro del sistema con cortinas cortaviento.

En la temporada 2005/2006 se evaluó el desarrollo de las plantas de lupino, a través de la altura de plantas, observándose un efecto positivo de la cortina cortaviento sobre este parámetro. Entre 0H y 6H en sotavento se alcanzaron alturas de 63 a 71 cm. A partir de los 7H y hasta los 15H la altura comenzó a disminuir, alcanzando valores de 44 a 59 cm. En tanto en barlovento la altura alcanzó un rango intermedio, con valores entre 54 y 59 cm. Las alturas alcanzadas en los sectores más desprotegidos de sotavento (7H a 15H) estuvieron relacionadas

con las alturas reportadas por Teuber (2006), que analizando el comportamiento del cultivar Wonga, dentro de un experimento con dos especies de lupinos (*L. luteus* y *L. angustifolius*) y cinco cultivares, establecidos en tres fechas de siembra, reportó alturas entre 40,6 y 53,9 cm.

La producción de biomasa mostro un comportamiento más errático, ya que en barlovento se alcanzaron rendimientos más altos que en sotavento (Figura N° 10). En la distancia de 0H a 6H en sotavento la producción total fluctuó entre 6,5 y 10,2 Mg ha⁻¹ MS, mientras que a partir de 7H y hasta 15H esta producción se movió entre 6 y 8,5 Mg ha⁻¹ MS, lo que avalaría una mayor producción en los sectores más protegidos de sotavento. Sin embargo, en barlovento los rendimientos fueron más homogéneos y en la mayoría de los casos más altos que la mayoría de los rendimientos obtenidos en sotavento. En promedio se alcanzaron rendimientos entre 7,1 y 10,7 Mg ha⁻¹ MS.

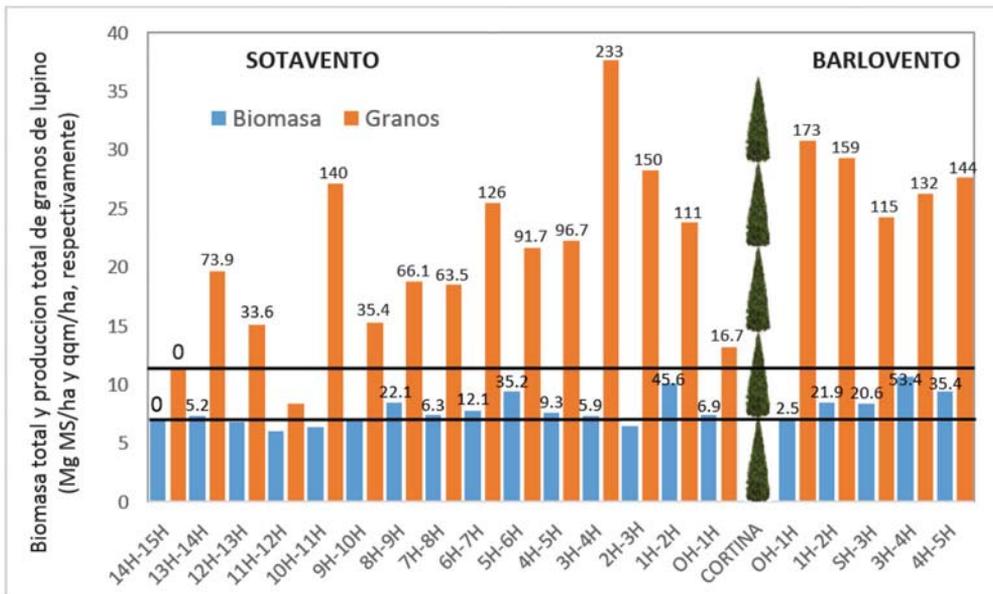


Figura N° 10
PRODUCCIÓN TOTAL DE BIOMASA Y GRANOS DE LUPINO A DIFERENTES DISTANCIAS DE LA CORTINA, DURANTE LA TEMPORADA 2005-2006. NÚMEROS SOBRE LAS BARRAS REPRESENTAN EL PORCENTAJE DE AUMENTO CON RESPECTO A LO PRODUCIDO A 15H.

Por su parte, la producción de semillas mostro una tendencia similar a la observada en la producción de biomasa. Entre los 0H y 6H en sotavento la producción fluctuó entre 13,2 y 37,6 qqm ha⁻¹, mientras que desde 7H y hasta 15H los rendimientos fueron algo inferiores, con mínimos de 8,4 y máximos de 27,2 qqm ha⁻¹.

En tanto en sotavento nuevamente se observaron las producciones más altas, con rendimientos que fluctuaron entre 24,2 y 30,8 qqm ha⁻¹. Todos estos valores fueron inferiores a los obtenidos por Teuber (2006a), quien utilizando el cultivar Wonga alcanzó producciones entre 50,2 y 51,2 qqm ha⁻¹, lo que representó entre 10 a 20 qqm ha⁻¹ más, comparado con las producciones más altas obtenidas en el sistema de cortinas.

Si bien es cierto que tanto la producción de biomasa como la producción de semilla de lupino presentaron rendimientos heterogéneos y un tanto erráticos, no es menos cierto que se observó la misma tendencia que en las especies anteriores a una mayor producción en los sectores más protegidos, comparado con los sectores más desprotegidos.

Considerando que a la distancia de 15H la producción total de biomasa fue 7 Mg ha⁻¹ MS, el sector más protegido de sotavento (0H a 6H) obtuvo producciones con aumentos netos de 5,9% a 45,6 %. Entre las distancias de 7H a 14H, los aumentos netos de producción fluctuaron entre 5,2% y 22,1%, aunque también se observaron algunos sectores con pérdidas netas.

En tanto en barlovento los incrementos fueron entre 2,5% y 53,4%. Por otra parte, al ver lo sucedido en la producción de semillas, se observaron ganancias netas muy elevadas, ya que entre 0H y 6H estas fluctuaron entre 16,7% y 233%, mientras que entre 7H y 14H estas fluctuaron entre 33,6% y 140%. Sin embargo, las ganancias netas más claras y homogéneas se observaron en barlovento, con aumentos entre 115% y 173%.

- **Desarrollo y Rendimiento de Nabo Forrajero**

Esta especie es relativamente nueva en la historia de los sistemas agrícolas de la región de Aysén, pero con un interesante futuro debido a su buena adaptación al clima y suelos de la región, a su alta producción y calidad y a su uso estratégico dentro de los sistemas ganaderos regionales. Debido a ello se decidió incorporarla y evaluarla en los ensayos asociados a cortinas cortaviento forestales.

Durante la temporada 2005/2006 se evaluó el rendimiento de biomasa de hojas y raíces, observándose un efecto positivo de la cortina cortaviento (Figura N° 11). Entre las distancias de 0H y 6H en sotavento la producción de raíces fluctuó entre 7,3 y 12,8 Mg ha⁻¹ MS, mientras que desde 7H en adelante esta fue inferior, alcanzando rendimientos de 4,7 a 7,9 Mg ha⁻¹ MS.

En barlovento la producción fue aún inferior, con rendimientos entre 3,0 y 5,0 Mg ha⁻¹ MS. Adicionalmente, se observó que la producción de hojas fue más homogénea a las distintas distancias desde la cortina cortaviento. Desde 0H a 7H en sotavento los rendimientos fluctuaron entre 1,9 y 5,0 Mg ha⁻¹ MS, en tanto que entre 8H y 15H estos rendimientos se movieron entre 3,3 y 5,1 Mg ha⁻¹ MS. En tanto que en barlovento los rendimientos fueron inferiores, con promedios entre 2,5 y 4,9 Mg ha⁻¹ MS.

El rendimiento total (raíces + hojas) mostro una tendencia a ser mayor en los sectores más protegidos de sotavento. Entre las distancias de 0H y 6H la producción total fluctuó entre 10,2 y 16,4 Mg ha⁻¹ MS, mientras que a partir de 7H y hasta 15H, los rendimientos fluctuaron entre 8,6 y 13 Mg ha⁻¹ MS.

En tanto en barlovento la producción fue inferior, con rendimientos entre 5,5 y 9,9 Mg ha⁻¹ MS. Los valores más altos alcanzados en sotavento son comparables con las 15 a 16 Mg ha⁻¹ MS reportadas por Teuber (2006b) y a las 8 a 16 Mg ha⁻¹ MS reportadas por Salvo y Teuber (2011) y superiores a las 11,4 Mg ha⁻¹ MS obtenidos por el cultivar Rival en la Zona Intermedia de Aysén (Teuber *et al.*, 2009).

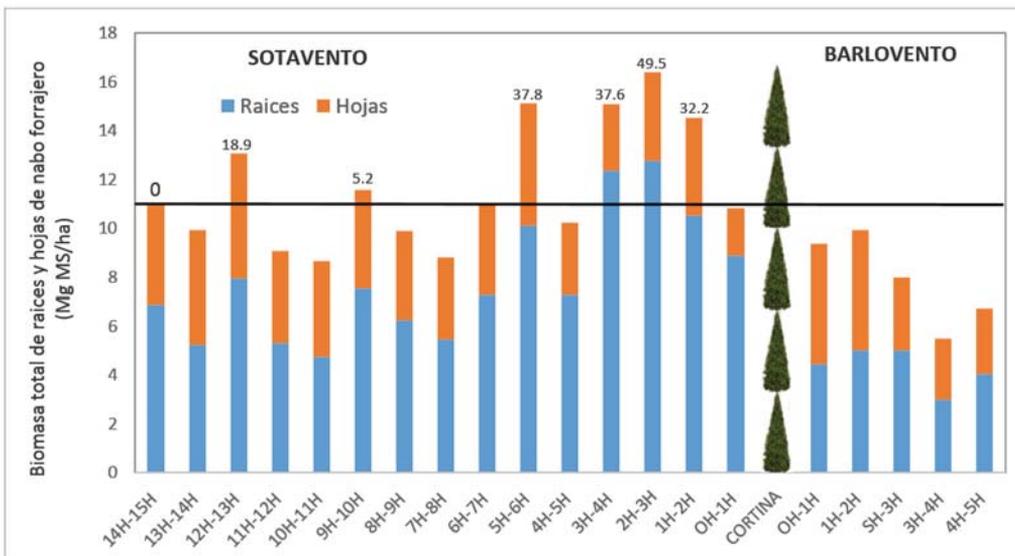


Figura N° 11

PRODUCCIÓN TOTAL DE BIOMASA (RAÍCES Y HOJAS) DE NABO FORRAJERO A DIFERENTES DISTANCIAS DE LA CORTINA DURANTE LA TEMPORADA 2005-2006. NÚMEROS SOBRE LAS BARRAS REPRESENTAN EL PORCENTAJE DE AUMENTO CON RESPECTO A LO PRODUCIDO A 15H.

Al comparar este aumento neto de biomasa total (raíces + hojas), se pudo ver que en los sectores más protegidos de sotavento (0H a 6H) se obtuvieron las mayores ganancias, con aumentos que fluctuaron entre 32,2% y 49,5%, mientras que en casi todas las demás distancias en sotavento y barlovento, no se observaron ganancias netas de rendimiento total, e incluso en algunos casos existieron pérdidas netas, comparada con la producción obtenida a los 15H.

- Desarrollo y Rendimiento de Col Forrajera

Esta especie es muy utilizada en los sistemas ganaderos de la zona sur de Chile, pero prácticamente no es utilizada en los sistemas ganaderos de Aysén, pese a su adecuada adaptación a las condiciones agroecológicas de esta región, y a su alta producción, con elevados niveles de calidad nutricional.

Durante la temporada 2005/2006 se evaluó el rendimiento de biomasa en la col forrajera, determinándose que esta especie fue afectada positivamente por la protección de la cortina cortaviento (Figura N° 12). Entre las distancias de 0H y 7H en sotavento los rendimientos fluctuaron entre 15,3 y 22 Mg ha⁻¹ MS, mientras que desde 8H hasta 15H, estos rendimientos fueron inferiores, con valores que se movieron entre 13,1 y 15,7 Mg ha⁻¹ MS.

En tanto en barlovento los rendimientos fueron aún inferiores a los obtenidos en los sectores más desprotegidos de sotavento, ya que en esta zona los valores fluctuaron entre 12,1 y 14,6 Mg ha⁻¹ MS. Todos estos rendimientos fueron superiores a los alcanzados en situaciones sin cortinas cortaviento, ya que Teuber *et al.* (2009) y Salvo y Teuber (2013) reportaron que en la Zona Intermedia los rendimientos con col forrajera alcanzaron entre 5 y 6 Mg ha⁻¹ MS. Aparentemente esta especie tiene una mejor adaptación a las condiciones húmedas, ya que

en la Zona Húmeda de Aysén los rendimientos potenciales son de 12 a 14 Mg ha⁻¹ MS (Salvo y Teuber, 2013).

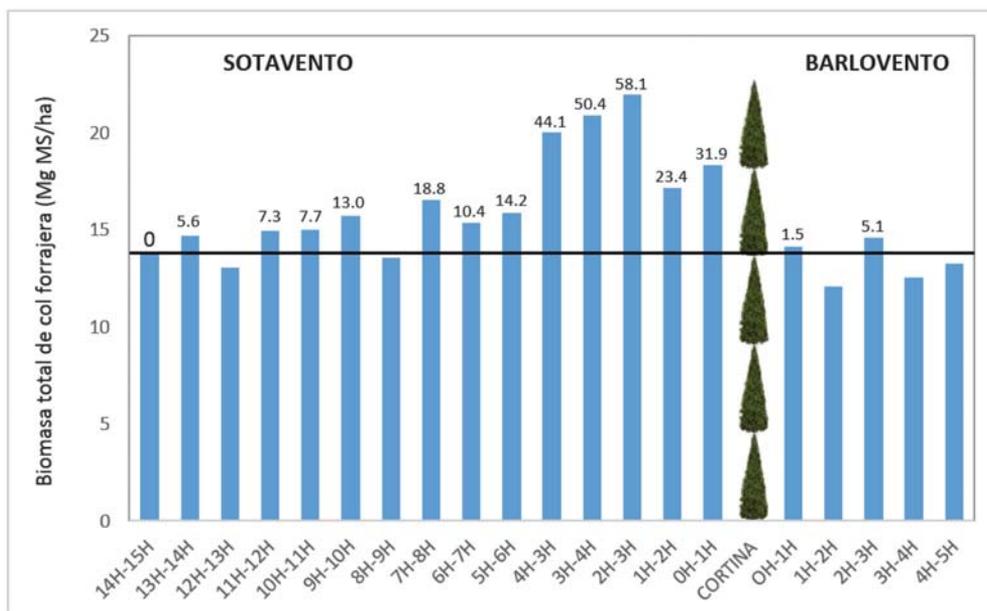


Figura N° 12

PRODUCCIÓN TOTAL DE BIOMASA DE COL FORRAJERA A DIFERENTES DISTANCIAS DE LA CORTINA, DURANTE LA TEMPORADA 2005-2006. NÚMEROS SOBRE LAS BARRAS REPRESENTAN EL PORCENTAJE DE AUMENTO CON RESPECTO A LO PRODUCIDO A 15H.

La producción total de biomasa fue positivamente incrementada por la acción protectora de la cortina cortaviento, ya que entre 0H y 8H en sotavento, los incrementos netos fluctuaron entre 10,4% y 58,1%, con máximos entre los 0H y 5H (incrementos netos sobre 23,4%). En tanto en el sector de barlovento prácticamente no hubo incremento en la producción de biomasa total.

CONCLUSIONES

Las cortinas cortaviento forestales son estructuras que pueden otorgar importantes beneficios a los sistemas productivos de la región de Aysén. La reducción de la velocidad del viento y los cambios microclimáticos generados en la zona de protección se traducen en mejores condiciones para el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

Dentro de las especies perennes y anuales evaluadas, se pudo observar el efecto protector de la cortina cortaviento, manifestándose en aumentos de crecimiento (altura) y producción total (biomasa y granos), al comparar los sectores protegidos con los desprotegidos. Sin embargo, esta mayor o menor respuesta productiva observada en el sistema de cortinas, esta directamente ligada a las condiciones climáticas imperantes en la temporada y a la especie vegetal utilizada.

El pasto ovillo y la mezcla forrajera aumentaron sus rendimientos hasta en un 38% y 31%, respectivamente, cuando se desarrollaron en los sectores más protegidos de la cortina cortaviento, comparado con los sectores de menor protección.

Las especies forrajeras anuales (maíz, avena, lupino, nabo forrajero y col forrajera) presentaron distintos porcentajes de aumento en sus rendimientos al ser cultivados en un sistema de cortinas cortavientos, pero en todas ellas se observe una tendencia a producir más en los sectores más protegidos por la cortina, comparado con los sectores de menor protección.

RECONOCIMIENTOS

A la Corporación de Fomento a la Producción e Innova Chile, por el financiamiento recibido en el Proyecto “Innovación Tecnológica para Sistemas de Manejo Integrado de Producción Forestal-Ganadera en la Región de Aysén”, bajo cuya ejecución se desarrollaron los experimentos presentados en este capítulo.

A la Estancia Rio Cisnes, por facilitar el terreno en el predio Los Ñires (Valle Simpson, región de Aysén), donde se instaló el módulo de cortinas cortaviento forestales y se desarrollaron los experimentos descritos en este capítulo.

REFERENCIAS

Alarcón, C., 2002. Importancia agroforestal de las cortinas forestales en Chile. *In:* Seminario Cortinas Forestales: Una alternativa de optimización productiva. Valdivia (Chile).

Brandle, J. y Finch, S., 1991. How Windbreaks Work. University of Nebraska Extension. Recuperado el 14 de mayo del 2002 de World Wide Web: www.ianr.unl.edu/pubs/Forestry/ec1763.htm.

Brandle, J. y Hodges, L., 2000. Field Windbreaks. University of Nebraska Extension. Recuperado el 14 de mayo del 2002 de World Wide Web. www.ianr.unl.edu/pubs/Forestry/ec1778.htm.

Elizalde, F.; Valencia, V.; Mejías, J. y Hepp, C., 1998. Conservación de Forraje y su Uso en la Alimentación del Ganado en la XI Región. *In:* Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile). INIA Tamei Aike. Informe Final. 108 p.

Hepp, C., 1996. Praderas en la Zona Austral: XI Región (Aysén). *In:* (Ruiz, I. Ed.) Praderas Para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. Santiago (Chile). Pág. 623 – 638.

Horvath, G., 2002. What is a Field windbreak?. Windbreak research at Iowa State University. Recuperado el 15 de mayo del 2002 de World Wide Web: www.forestry.iastate.edu/res/Shelterbelt.html.

Kort, J., 1988. Benefits of Windbreaks to Field and Forage Crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 22/23: 165-190.

Quam, V.; Johnson, L.; Wight, B. y Brandle, J., 1994. Winbreaks for Livestock Operations. University of Nebraska Cooperative Extension. Recuperado el 14 de mayo del 2002 de World Wide Web. www.ianr.unl.edu/pubs/Forestry/ec1766.htm.

Salvo, R. y Teuber, O., 2011. Establecimiento y Manejo de Brassicas Forrajeras en Aysen. *In:* (Hepp, C. ed.): Cultivo y Utilización de Brassicas Forrajeras en la Patagonia Húmeda (Aysén). Boletín INIA N° 228. 116 p.

Sotomayor, A.; Teuber, O. y Moya, I., 2011. Manual de Diseño, Establecimiento y Manejo de Cortinas Cortavientos

Vegetales. Boletín N° 43, Instituto Forestal, Santiago, Chile. 48 p.

Teuber, O., 2003. Comportamiento Productivo de Diferentes Cultivares de Trigo, Triticale, Avena y Cebada, en la Zona Intermedia de Aysén, Chile. *In: XXVIII Reunión Anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal*. Talca (Chile), 15-17 de octubre de 2003.

Teuber, O., 2006a. Comportamiento Productivo de Diferentes Especies y Cultivares de Lupinos (*Lupinus angustifolius* y *Lupinus luteus*), bajo Tres Fechas de Establecimiento, en la Zona Intermedia de Aysén. INIA Tamei Aike. Informe Final. Coyhaique (Chile). 46 pág.

Teuber, O., 2006b. Recursos Forrajeros Introducidos a Ambientes de la Patagonia Húmeda. *In: (Hepp, C. ed.) Taller Grupo de Estudio Pastizales Patagónicos-FAO, "Degradación de Ecosistemas Pastoriles en la Patagonia"*. Coyhaique (Chile), 4-6 de abril del 2006. Pág. 113-121.

Teuber, O. y Almonacid, P., 2006. Comportamiento Productivo de Ocho Cultivares Comerciales y un Ecotipo Local de Pasto Ovillo (*Dactylis glomerata*), en la Zona Intermedia de Aysén, Patagonia (Chile). *In: XXXI Reunión Anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal*. Chillan (Chile), 18-20 de octubre de 2006. Pág. 45-46.

Teuber, O.; Almonacid, P.; Monsalve, M. y Monsalve, E., 2009. Producción y Calidad Nutricional de Cinco Especies de Brassicas Forrajeras (*Brassica spp.*), en la Zona Intermedia de Aysén, Patagonia (CHILE). *In: XXXIV Reunión Anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal*. Temuco (Chile), octubre de 2009. Pag. 79-80.

Capítulo 10

MANEJO SILVOPASTORAL EN RENOVALES COETANEOS DE *Nothofagus antarctica* (G.Forst.) Oerst. (Ñire) EN LA REGIÓN DE AYSÉN, CHILE

Jaime Salinas¹

RESUMEN

La estructura y dinámica de los bosques de *Nothofagus* de Sudamérica están asociadas a disturbios o alteraciones periódicas, tales como volteos por viento, incendios, movimientos de masas y tectonismo. Los disturbios a pequeña escala, donde solo se produce la caída de árboles individuales o de un grupo de ellos, dan lugar a una dinámica de claros o *gaps*.

Los bosques de ñire (*Nothofagus antarctica*) no se alejan de esta dinámica de disturbios, estos ecosistemas durante largo tiempo se asocian a una presión de ganado doméstico, al ataque de insectos por su distribución de transición estepárica y han sido asolados durante décadas por incendios forestales, resultando esto en una pérdida estructural y un escaso valor comercial. El tamaño arbustivo o achaparrado de la especie, con troncos retorcidos, no ha permitido que sea utilizada con fines madereros.

Desde el punto de vista botánico, los bosques de ñire se adscriben mayoritariamente a la clase *Nothofagetea pumilionis-antarcticae*. Se los clasifica en tres morfotipos para ñire en el centro-sur de Chile, atendiendo al desarrollo del sistema aéreo vegetativo; arborescente, arbustivo achaparrado y camefítico. Esta plasticidad ecomorfológica le permite a la especie tolerar variadas y rigurosas condiciones físicas, con grandes variaciones térmicas diarias y déficits de saturación atmosférica, y le ha permitido ser la especie que alcanza la mayor amplitud ecológica de los *Nothofagus* sudamericanos.

En Aysén el ñire habita una amplia diversidad de ambientes como fondos de valle, laderas empinadas con suelos someros, ambientes inundables (turberas, mallines), hasta el límite altitudinal de la vegetación, creciendo hasta los 1.200 msnm.

Los ecosistemas dominados por ñire en la región de Aysén se extienden latitudinalmente desde los 43°57,9' LS hasta los 48°29,3' LS y están presentes en asociación dentro del Tipo Forestal Lengua y clasificados como Subtipo Ñire. Sin embargo, la legislación forestal vigente no los reconoce como tal. El Subtipo Ñire representa regionalmente una superficie de 131.593,4 ha, con presencia en casi todas las comunas a excepción de la comuna de Las Guaitecas. Las mayores poblaciones de ñire se presentan en las Provincias de Coyhaique y Capitán Prat con 61.630,6 ha y 37.241,3 ha, respectivamente.

En este capítulo se presenta una experiencia de investigación de manejo silvopastoral en bosques ñire en la región de Aysén. La iniciativa corresponde a un proyecto de investigación denominado *Pautas de Manejo Silvopastoral para Bosques de Nothofagus antarctica en la*

¹ Ingeniero Forestal, Instituto Forestal, Sede Patagonia, Coyhaique, Chile. jsalinas@infor.cl

Región de Aysén, financiado por el Fondo de Investigación del Bosque Nativo (FIBN). El objetivo de dicho proyecto es definir pautas de manejo silvícola para bosques de ñire, que hagan posible la producción silvopastoral sustentable en bosques pertenecientes a pequeños productores forestales de la región.

Palabras claves: Ñire, *Nothofagus antártica*, Sistemas Silvopastorales, Renovales

SUMMARY

Structure and dynamics of *Nothofagus* forests in South America are associated to recurring disturbances and changes such as forest fires, wind damages, mass movements and tectonics. Small scale disturbances, producing individual trees or small stands falls, drive to a dynamic of forest clearings or gaps.

Ñire (*Nothofagus antarctica*) forests are not the exception and for a long time have been associated to different pressures because of ranching, forest fires, insect attacks and other pressuring factors. As a result, most of the remaining forests have lost their structure and commercial value, and right now their shrubby and twisted size has not allowed their use to wood production.

From the botanical point of view, most Ñire forests belong to the *Nothofagetea pumilionis-antarcticae* class and according to their aerial vegetative system are classified in to three morphological types; trees, shrubs and camefitic. This ecomorphological plasticity allows the species to tolerate a variety of harsh environmental conditions; such as wide daily thermic variations and atmospheric saturation deficit being the species reaching the wider ecological range within the Southamerican *Nothofagus*. In the Aysén region Ñire covers a wide environmental diversity; valley bottoms, thin soil slopes and wet areas, reaching also the vegetational altitude limit up to 1,200 masl.

Ñire ecosystems in the Aysén region extends between 43°57,9' SL and 48°29,3' SL and are present in association on the Lengua Forest Type (*Nothofagus pumilio*) classified as the Ñire Subtype. However, are not recognized as such a subtype by the current forest legislation.

The Ñire Subtype covers at the Aysén region 131,593 ha and is present in almost all the communes with the exception of Las Guaitecas commune. Mayor Ñire populations are located at the Coyhaique and Capitán Prat provinces, covering 61,630.6 and 37,241.3 ha, respectively.

This chapter presents a research experience on silvopastoral systems in Ñire forests at the Aysén region. This experience was carried out under de framework of the Silvopastoral Management in Ñire Forests at the Aysén Region research project, supported by the Native Forest Research Fund. Main project objective is the development of silvopastoral management schemes to allow a sustainable production in forests belonging to small owners.

Key words: Ñire, *Nothofagus antártica*, Silvopastoral Systems, Second Growth Forests.

INTRODUCCIÓN

La Patagonia chilena comprende los territorios de la provincia de Palena en la región de Los Lagos, la región de Aysén y la región de Magallanes.

En la Patagonia norte de Chile, la región de Aysén se ubica entre los 43°38'S y 49°16'S (Vergara y Jerez, 2010).

La zona representa una historia reciente de colonización (ILPES 2002, Ortega y Brüning, 2004), que ha transformado grandes extensiones de bosques caducifolios de lenga (*Nothofagus pumilio* [Poepp. & Endl.] Krasser) y ñire (*N. antarctica* [Forster] Oerst.) en explotaciones ganaderas y fragmentos dispersos de estos bosques nativos (Veblen *et al.*, 1996).

Desde un punto de vista ecorregional terrestre, la región de Aysén corresponde a un ecotono entre la zona climática templada septentrional y el dominio austral con marcado acento antártico.

A esta rigurosidad climática, la cual es creciente de Oeste a Este y de Norte a Sur, se agregan las características de un relieve montañoso abrupto y fragmentado por las glaciaciones pleistocénicas (Naruse y Aniya, 1995).

En Aysén los bosques nativos cubren una superficie de 4,3 millones de ha (CONAF, 2012). Los bosques del género *Nothofagus* son los de mayor relevancia económica en Chile.

Existen 11 *taxa* de este género en el territorio nacional, correspondientes a 9 especies, un híbrido y una variedad (Ramírez, 1987). Lenga y ñire son dos de las nueve especies del género con presencia en la zona austral y cubren una superficie de 1.400.376 ha en la región de Aysén (CONAF, 2012).

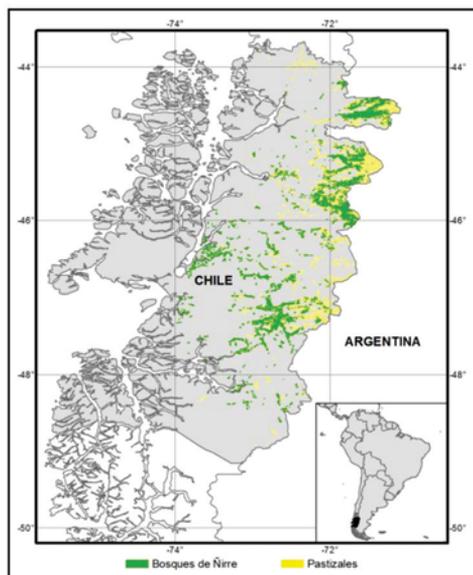
En la zona intermedia de Aysén, entre el bosque siempreverde y la estepa patagónica, originalmente dominada por los bosques caducifolios de lenga y ñire, extensas explotaciones ganaderas y fragmentos dispersos de bosque nativo y plantaciones dan forma a los amplios valles ganaderos (Hepp *et al.*, 1988).

El uso ganadero en los bosques en la región, se remonta a la introducción del ganado ovino y bovino durante la colonización en el siglo XIX. En un comienzo, la ganadería ejerció una fuerte presión sobre el bosque, que se mantiene en la actualidad.

En Aysén aún existe controversia en el área total deforestada, la pérdida de superficie de bosque original a partir de 1930 se estima en más del 60% de la superficie original (Veblen *et al.*, 1996).

En Patagonia Sur (Argentina) se ha desarrollado investigación sobre sistemas silvopastorales basados en la ganadería bovina y ovina en zonas de bosque de ñire.

En Chile existe escasa información sobre sistemas de producción mixto silvopastoral en bosques nativos. Por lo anterior, en el presente trabajo se examina una experiencia de manejo silvopastoral en dos condiciones de bosques de *Nothofagus antarctica* realizados en la región de Aysén de Chile.



(Fuente: Elaboración propia y CONAF, 2012)

Figura N° 1
BOSQUES DE ÑIRE Y ZONAS DE PASTIZALES EN LA REGIÓN DE AYSÉN

Cuadro N° 1
SUPERFICIE DE BOSQUES DE ÑIRE, CLASIFICADOS DENTRO DEL TIPO FORESTAL LENGUA Y MATORRALES DE ÑIRE, REGIÓN DE AYSÉN

Provincia	Comuna	Tipo Forestal Lengua		Matorrales de Ñire
		Subtipo Ñire	Ñire Especie Dominante	
		(ha)		
Aysén	Cisnes	298,6	275,2	1.084,1
	Aysén	15.838,4	13.938	4.754,8
	Guaitecas	-	-	-
	Subtotal	16.137	14.213,2	5.838,9
Coyhaique	Lago Verde	26.001,5	25.363,4	16.998,2
	Coyhaique	35.629,1	35.160,8	7.464,2
	Subtotal	61.630,6	60.524,2	24.462,4
General Carrera	Chile Chico	9.800	8.908,6	13.563,6
	Río Ibáñez	6.784,5	6.313,9	2.361,2
	Subtotal	16.584,5	15.222,5	15.924,8
Capitán Prat	Cochrane	29.058,6	25.128,6	38.364,1
	Tortel	5.237,1	5.032,2	4.518
	O'Higgins	2.945,6	2.684,3	4.493,5
	Subtotal	37.241,3	32.845,1	47.375,6
Total		131.593,4	122.805	93.601,7

(Fuente: CONAF, 2012 y Elaboración propia)

MATERIAL Y MÉTODO

Área de Estudio

El presente estudio se llevó cabo en dos ñirantales de la comuna de Coyhaique, que poseen diferencias edafoclimaticas marcadas. El primero corresponde al predio Vista Hermosa ubicado en un sitio en el sector de Balmaceda ($45^{\circ} 52' 22''$ LS y $71^{\circ} 49' 08''$ LW) a 530 msnm, caracterizado por un bosque secundario coetaneo de ñire sobre un mallín (napa freática superficial). El segundo sitio está cercano, en el predio Los Mallines en el sector denominado Galera Chico ($45^{\circ} 50' 25''$ LS y $71^{\circ} 50' 01''$ LW) a 580 msnm, donde ocurre un boque coetaneo en transición con la estepa (condición seca). El uso histórico de ambos ñirantales ha sido el de ganadería bovina extensiva desde principios del siglo XX. En ambos casos se compara la situación de un bosque sin intervenir (testigo forestal), con un bosque intervenido (raleo por lo bajo) y la situación pastoril sin bosque (pradera aleña al bosque, para analisis de la estrata herbacea).

Cuadro N° 2
TRATAMIENTOS EVALUADOS EN DOS CONDICIONES DE ÑIRANTAL
COMUNA COYHAIQUE, CHILE

Tratamiento	Tratamiento	Descriptor
A	Testigo forestal	Bosque de ñire sin intervenir
B	Silvopastoral	Bosque de ñire raleado (40% área basal)
C	Pradera natural	Situación pastoril (100% transmisividad luminica)

Componente Forestal

La caracterización de la estructura forestal fue evaluada a partir de un inventario de 10 parcelas circulares de 100 m² distribuidas al azar en cada condición de bosque de ñire. Para el caso del tratamiento Silvopastoral la medición se realizó antes y después de la intervención.

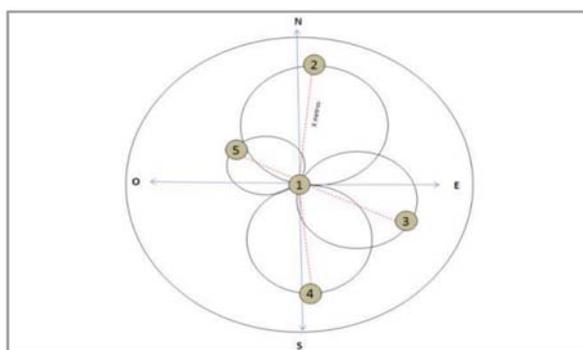


Figura N° 2
DIAGRAMA DE MEDICIÓN DEL DISTANCIAMIENTO MEDIO ENTRE ÁRBOLES

En cada parcela se midieron el diámetro a 1,3 m (DAP), la altura total (medida con Vertex), la cobertura de copas (medida con fotografías hemisféricas) y la regeneración existente se evaluará a través de cuatro parcelas de 1 m², cada una dispuesta en el sentido de los puntos cardinales (N, S, E, O). El distanciamiento medio entre árboles fue determinado a través de la selección de un árbol central y medición de los cuatro árboles más cercanos, orientados en los puntos cardinales (Figura N° 2). A partir de la información del inventario se estimó el área basal (m² ha⁻¹), densidad de la población (arb ha⁻¹), el diámetro medio cuadrático (cm) y las existencias (m³ scc ha⁻¹), para estimar este parámetro se utilizó la función de volumen propuesta por Cisternas *et al.* (2015).

$$\text{Volumen total (m}^3 \text{ scc)} = 0,0000426656 * \text{DAP}^2 * \text{HT} \quad R^2 = 99,9633$$

La evaluación y monitoreo de la dinámica y estructura forestal a largo plazo se evaluará a partir de un conglomerado, compuesto de 3 parcelas permanentes circulares de 200 m² (radio= 7,98 m) distribuidas sistemáticamente en forma de “L” invertida. Cada árbol de la parcela fue identificado, numerado y marcado a la altura de 1,3 m para tener mayor precisión en las mediciones anuales.

Para el levantamiento de la información dasométrica se medirá de cada árbol de las parcelas la altura total utilizando Vertex, el DAP con forcipula, y las clases de copa (dominante, codominante, intermedia y suprimida). La variación lumínica (cobertura de copas) y la regeneración natural serán evaluadas usando la misma metodología anteriormente descrita. A partir de mediciones anuales en el mes de mayo, se estimará el área basal, dinámica de densidad (mortalidad) y crecimiento en volumen del rodal.

Garantizar la continuidad del estrato arbóreo es un componente central en la implementación de sistemas silvopastorales (Peri *et al.*, 2009), con este fin se abordan distintos ensayos; estudio de germinación de semillas, enraizamiento de estacas, regeneración natural en el boque y regeneración agámica.

- Estudios de Germinación

Se realizaron análisis físicos de semillas de ñire siguiendo la metodología de la norma ISTA (*International Seed Testing Association*). Para determinar los parámetros de energía germinativa, periodo de energía y capacidad germinativa se usó la metodología del valor máximo de Czabator (1962). Se montaron cuatro repeticiones de 50 semillas para cada tratamiento (Cuadro N° 3) en placas Petri con papel humedecido, para luego ser dispuestas en cámara germinadora, en ausencia de luz, a temperatura constante de 23°C.

Cuadro N° 3
TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS DE SEMILLAS

Tratamiento	Descriptor	Semillas (N°)
E1	Control sin estratificación	200
E2	Estratificación 30 días	200
E3	Estratificación 45 días	200
E4	Estratificación 60 días	200

- **Enraizamiento de Estacas**

Para realizar las pruebas de producción vegetativa se colectó material vegetal procedente de las dos condiciones de sitio del ñirantal (mallín, seco). Este material fue obtenido del último crecimiento anual o bianual de cada árbol seleccionado (Salinas *et al.*, 2011) y evaluado a través de tres repeticiones de 20 estacas a diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (T1= 0 ppm, T2= 3.000 ppm, T3= 100 ppm, T4= 200 ppm, T5= 500 ppm, T6= 1.000 ppm, T7= 2.000 ppm).

- **Regeneración Natural**

La evaluación de la regeneración natural existente en cada condición de sitio fue evaluada considerando presencia y ausencia de ganado. En cada parcela forestal se evaluó la regeneración natural con presencia de pastoreo, a través de cuatro parcelas de 1 m², distanciadas 5 m desde el árbol central y orientada en el sentido de los puntos cardinales (N, S, E, O).

El total de parcelas a evaluar en cada tratamiento (testigo forestal, silvopastoreo) fue de 12 parcelas por sitio. En paralelo se instalaron tres jaulas metálicas de 1 m², con ello se evaluó la instalación de plántulas de regeneración natural sin presencia de ganado (aislando la herbivoría). Ambas evaluaciones se realizaron al inicio (diciembre) y final (abril) de cada período de crecimiento (Bahamonde *et al.*, 2011).

- **Regeneración Agámica**

El ñire presenta alta capacidad de reproducción vegetativa, reproduciéndose por raíz, tocón y esquejes, gracias a estas características la silvicultura de monte bajo se debe considerar relevante para asegurar el bosque en sistemas mixtos silvopastorales.

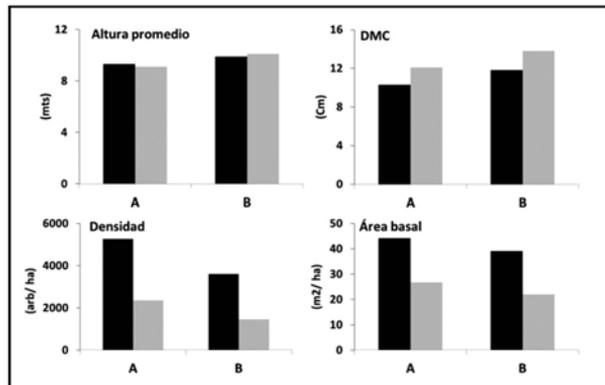
En este contexto, en el bosque manejado (tratamiento silvopastoral) de ambos sitios, se protegieron 18 tocones utilizando dos tipos de protectores individuales; el primero (T1) construido con malla gallinera (aislando vacuno y liebre), el segundo (T2) de alambre liso y púas (aislando vacuno), y (T3) sin protector.

En cada repetición se evaluaron parámetros del tocón (DAT: diámetro altura tocón, Htoc: altura tocón, Nb: número de brotes, Lb: largo de brotes y Nm: número de muñones) y porcentaje de ramoneo para cada tratamiento.

Componente Herbáceo y Suelo

Previo al inicio del experimento se tomó una muestra de suelo, para cada tratamiento en los dos sitios experimentales, con el propósito de evaluar la composición química inicial (micro y macroelementos) de cada sector. Para ello se realizó un muestreo en cada sitio mediante un barreno (10 cm profundidad). En cada caso se tomaron 20 submuestras, las que luego fueron mezcladas para formar una muestra compuesta, la que se destinó a análisis en laboratorios de INIA.

En cada unidad experimental (testigo forestal, silvopastoral y pradera natural) se instalaron cuatro jaulas de exclusión (0,5 m²), las cuales fueron distribuidas al azar, en sitios donde existiera cierta cubierta herbácea, aunque esta fuera incipiente.



A = Condición de Sitio Mallín, B = Condición de Sitio Seco.
 El color negro de las barras representa dosel completo y el color gris dosel intervenido

Figura 3
IMPACTO DE LA APERTURA DEL DOSEL SOBRE VARIABLES FORESTALES EN DOS CONDICIONES DE BOSQUES

- Luminosidad

Las variables fotométricas y radiométricas se evaluaron a través de fotografías hemisféricas (lente SUNEX *fisheye*, campo visual 185°). Estas fotografías fueron tomadas evitando la influencia directa del sol, bajo un cielo cubierto de nubes, temprano en la mañana o durante la tarde luego de la caída del sol (Roxburgh & Kelly, 1995). El análisis de 10 fotografías antes y otras 10 fotografías después del raleo (Figura N° 4), permitió cuantificar el cambio en el régimen lumínico a nivel de rodal.

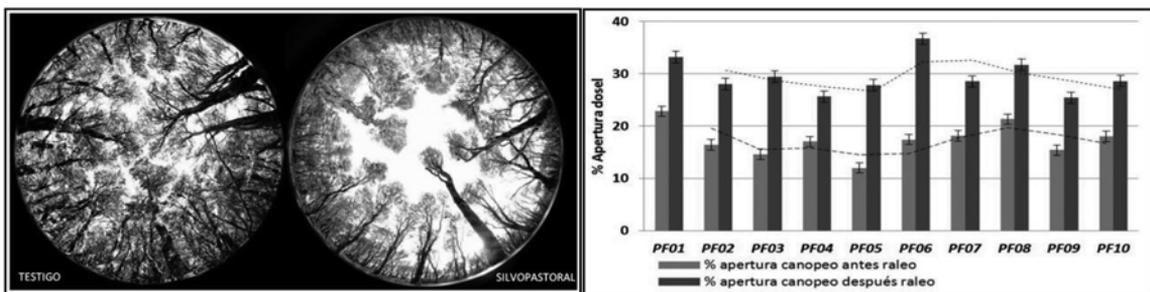


Figura N° 4
IMPACTO DE UN RALEO SILVOPASTORAL EN LA APERTURA DEL CANOPEO DE UN ÑIRANTAL CERCANO A LA ESTEPA (CONDICIÓN SECA) UTILIZANDO FOTOGRAFÍAS HEMISFÉRICAS

Para estimar la cobertura del dosel en cada condición boscosa se evaluaron fotografías hemisféricas en tres parcelas permanentes en orientaciones norte-sur y este-oeste. La cobertura boscosa antes de la intervención fue de 72,5% en el ñirantal en condición seca y 71,4% en condición de mallín (Cuadro N° 5). Posterior al raleo los parámetros cambiaron moderadamente a 46,2% y 46,9%, respectivamente.

Cuadro N° 5
PARÁMETROS DE COBERTURA DEL DOSEL EN DIFERENTES CONDICIONES DE ÑIRANTAL
EVALUADO A TRAVÉS DE FOTOGRAFÍAS HEMISFÉRICAS

Sitio	Tratamiento	Cobertura del Dosel (%)						Media (± DE)
		N - S			E - O			
		P1	P2	P3	P1	P2	P3	
Mallín	Testigo forestal	69,49	70,24	69,30	71,30	74,22	74,13	71,4 ± 2,2
	Silvopastoral	46,60	47,71	48,57	45,75	46,45	46,40	46,9 ± 1,0
Seco	Testigo forestal	72,76	72,55	71,10	74,45	73,25	70,59	72,5 ± 1,4
	Silvopastoral	49,50	45,04	44,90	46,20	44,90	46,61	46,2 ± 1,8

DE= Desviación estándar.

- Parámetros Reproducción Sexual y Asexual

Entre los parámetros físicos de semillas de ñire se determinó el peso de semillas, que corresponde a una variable establecida por las normas internacionales ISTA y consiste en el peso de 1.000 semillas a fin de conocer el tamaño y viabilidad de las especies. Mientras menor sea el peso de una semilla, más pequeño será su tamaño o más baja su viabilidad (Escobar, 2012).

Cuadro N° 6
PARÁMETROS FÍSICOS DE SEMILLAS EN DOS CONDICIONES DE SITIO

Sitio	(año)	Pureza (%)	Semillas (N° kg ⁻¹)	Peso Semillas (g)*	Tamaño Semillas	
					Largo (mm)	Ancho (mm)
Mallín	(2014)	95,8	784.450	1,27	3,10 ± 0,40	3,30 ± 0,50
	(2015)	98,8	972.000	1,45	2,87 ± 0,30	2,91 ± 0,43
	(2015)	98,6	718.000	1,63	2,44 ± 0,20	2,41 ± 0,35

* N=1.000 semillas.

El peso de semillas de ñire procedente de un ñirantal en condición de mallín vario entre 1,27 y 1,45 g y el número de semillas por kilogramo entre el rango de 784.450 y 972.000. El ñirantal en condición seca en tanto presentó un mayor peso de semillas de 1,63 g y menor cantidad de semillas por kilogramo (718.000 sem kg⁻¹). Valores similares fueron entregados por Bahamonde *et al.* (2013), quienes evaluaron el peso de 1.000 semillas de ñire en diferentes clases de sitio en la Patagonia argentina, encontrando valores entre los rangos 1,1 y 1,6 g. Los parámetros germinativos para ñire presentan baja capacidad de germinación, alcanzando un máximo de 28% (estratificación de 45 días). Similares resultados fueron presentados por Premoli (1991), quien observó que las respuestas a la germinación fueron muy bajas, por diversos factores, entre ellos; herbivoría por insectos, en particular del Orden *Lepidoptera* (Gentili y Gentili, 1988), generación de tumores por ataque de bacterias, hongos y/o virus (Braun, 1969), o desarrollo partenocárpico de las semillas por tratarse probablemente de un año de escasa floración (Poole, 1950).

Cuadro N° 7
PARÁMETROS DE GERMINACIÓN DE SEMILLAS PROCEDENTES DE LA CONDICIÓN DE MALLÍN

Sitio	Tratamiento Pregerminativo	Capacidad Germinativa (%)		Energía Germinativa (%)		Periodo de Energía (Días)	
		2014	2015	2014	2015	2014	2015
Mallín (45° 52' LS y 71° 49' LW)	E1	14,5	2,7	12,5	2,7	12	18
	E2	16,0	12,0	14,0	9,3	13	8
	E3	28,0	-	21,5	-	12	-
	E4	-	2,0	-	1,3	-	7
Seco (45° 50' LS y 71° 50' LW)	E1	-	16,7	-	13,3	-	11
	E2	-	19,3	-	14,7	-	8
	E3	-	-	-	-	-	-
	E4	-	6,7	-	4,7	-	8

La evaluación de la reproducción vegetativa de material procedente de la condición de mallín, presentó los niveles más aceptables de formación de raíces, bajo una concentración de 500 ppm (T5), obteniendo 53% de enraizamiento a los 60 días en la cama caliente. El tratamiento sin aplicación de enraizante (T1) presentó nula formación de raíces, confirmando lo presentado por (Salinas *et al.*, 2011; 2014).

El material vegetal colectado del ñirantal en condición seca, presentó valores de 7% de enraizamiento (T4 y T6 a los 60 días), muy por debajo en comparación con el de mallín.

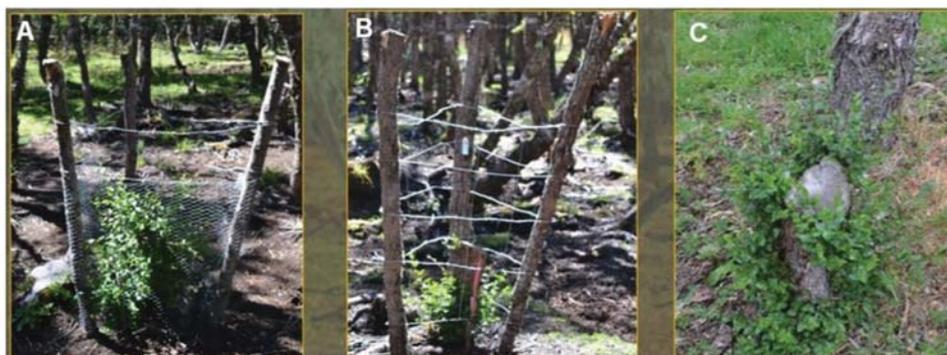
Otra opción para dar continuidad al bosque en sistemas silvopastorales, es a través del estudio de protección de tocones, al menos hasta los 2 m de altura.

En el Cuadro N° 8 se muestra la información de la primera temporada de evaluación de tocones protegidos en dos condiciones de bosques de ñire.

Cuadro N° 8
EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE TOCÓN Y PORCENTAJE DE RAMONEO DE BROTES DE ÑIRE EN
BASE A DOS TIPOS DE PROTECTORES INDIVIDUALES

T	Sitio Seco						Sitio Mallín					
	Dat (cm)	Htoc (cm)	Brotos (N°)	Muñón (N°)	Largo Brotos (cm)	R (%)	Dat (cm)	Htoc (cm)	Brotos (N°)	Muñón (N°)	Largo Brotos (cm)	R (%)
T1	14,22	40,92	57,89	9,11	17,21	0,0	11,91	41,22	67,74	6,56	32,16	4,0
T2	16,24	44,33	70,63	8,50	10,29	70,0	13,59	41,78	52,67	7,89	12,65	58,3
T3	14,94	42,28	61,00	9,14	10,14	90,0	13,00	43,80	55,40	9,20	4,90	74.4

T1 = Protector malla (aislando presión de vacuno – liebre)
T2 = Protector alambre (aislando presión de vacuno)
T3 = Sin protector (libre a ramoneo)
Dat = Diámetro altura tocón
Htoc = Altura tocón
R = Ramoneo



A= Protector Malla (Aislando Presión de Vacuno – Liebre)
B= Protector Alambre (Aislando Presión de Vacuno)
C= Sin Protector (Libre a Ramoneo)

Figura N° 5
PROTECTORES INDIVIDUALES DE TOCÓN

CONCLUSIONES

Desde el punto de vista dasonómico, los bosques estudiados presentan mayoritariamente una forma de masa de monte medio (compuesta por árboles cuyo origen es un brote de cepa o de raíz y regeneración natural). Si bien no se presentaron rastros de acción antrópica, bosques contiguos muestran vestigios de fuego y de aprovechamiento de leña.

La aplicación de raleos en ambos renovales, con una intensidad cercana al 50% de la densidad, origina una mayor calidad del rodal remanente y un aumento del diámetro medio. Del mismo modo, la estabilidad de la masa remanente del bosque frente al viento y nieve no fue perjudicada producto de la intervención. En paralelo, ocurre una activación pratense producto de mayor luminosidad, aumentando la productividad de la pradera.

La coberturas del dosel en las diferentes condiciones de bosque presentaron diferencias cercanas a un 35% entre la luminosidad del bosque intervenido (tratamiento silvopastoral) con la del bosque original (testigo). Esta diferenciación fue similar en ambas condiciones de sitio.

Los resultados de germinación obtenidos en laboratorio con una procedencia de semillas de la zona de Coyhaique confirman la baja capacidad germinativa de las semillas de la especie y entregan como mejor resultado el originado con el tratamiento estratificación fría por 45 días, con una germinación acumulada a los 30 días de 28%. El resultado de este tratamiento prácticamente duplica a los obtenidos con el testigo (sin estratificación) y con la estratificación fría por 30 días, que llegaron a 14,5% y 16% de germinación, respectivamente, confirmando el efecto positivo de la estratificación fría sobre la capacidad germinativa de ñire. Este resultado indica que la producción de plantas por semilla de ñire es posible, pero con un alto insumo de semillas, y las diferencias mostradas por los tratamientos de estratificación hacen recomendable continuar esta línea de investigación incorporando nuevos períodos de estratificación.

Una alternativa para especies con semillas de baja capacidad germinativa, aunque de mayor costo, es la propagación vegetativa o asexual. En este sentido nuevos estudios debieran incorporar, por ejemplo, material rejuvenecido de rebrotes de cepa, diferentes procedencias del material, variantes de temperatura en cama caliente e invernadero, una época más propicia como la primavera cuando el material vegetal no está en receso invernal y tal vez AIB en mayores concentraciones.

Es necesario considerar criterios o indicadores de clasificación específicos en los estudios vinculados a la estructura de los bosques de ñire (como la edad y la calidad de sitio aún no descrita para la especie en la región). No es posible en la descripción de estas masas boscosas, compararlas a otras masas de *Nothofagus*, que son totalmente disímiles.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece al Fondo de Investigación del Bosque Nativo (FIBN) por el financiamiento del proyecto 022/2013 Pautas de Manejo Silvopastoral de Bosques de Ñire en la Región de Aysén.

Se agradece igualmente al técnico de INFOR Bernardo Acuña y a INIA Tamel Aike por su importante ayuda en el proyecto.

REFERENCIAS

Bahamonde, H.; Peri, P.; Monelos, L. y Pastur, G., 2011. Aspectos ecológicos de la regeneración por semillas en bosques nativos de *Nothofagus antarctica* en Patagonia Sur, Argentina. Bosque 32(1): 20-29.

Bahamonde, H.; Peri, P.; Monelos, L. y Pastur, G., 2013. Regeneración por semillas en bosques nativos de *Nothofagus antarctica* bajo uso silvopastoral en Patagonia Sur, Argentina. Bosque (Valdivia), Vol.34, N° 1, p.89-101. ISSN 0717-9200.

Braun, A. C., 1969. Abnormal Growth in Plants. En: Plant Physiology, a Treatise, vol. VB, F.C. STEWARD (Ed.). Academic Press, New York: 379- 420.

Cisternas, J.; Pinto, R. y Cossio, A., 2015. Raleo en bosque de ñire para un aprovechamiento multipropósito. VIII Congreso Internacional de Sistemas Agroforestales. Puerto Iguazú, Misiones, Argentina. 8 pág.

- CONAF, 2012.** Catastro Vegetacional del Bosque Nativo. Actualización de la XI región de Aysén. Coyhaique, Chile.
- Czabator, F. P., 1962.** Germination value: An index combining speed and completeness of Pine seed germination. *Forest Science* 8 (4): 386 – 396.
- Escobar, R., 2012.** Semillas. En: Producción de Plantas en Viveros. Consejo Federal de Inversiones – CIEFAP. 1ra Edición. Buenos Aires. 190 pág.
- Gentili, M. y Gentili, P., 1988.** Lista comentada de los insectos asociados a las especies sudamericanas del género *Nothofagus*. Monografías de la Academia Nacional de Cs. Exactas, Físicas y Naturales. Simposio sobre *Nothofagus*. Bs. As. N° 4: 85-105.
- Hepp, C.; Thiermann, H. y Ramírez, C., 1988.** Praderas en la zona austral XI región (Aysén). In: Ruiz Núñez, I. (Ed.), Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.
- Naruse, R. y Aniya, M., 1995.** Synopsis of glacier research in Patagonia. *Bulletin of Glaciers Research* 13:1-10.
- Ortega, H. y Brüning, A., 2004.** Aysén. Panorama histórico y cultural de la XI región. Ediciones LOM, Chile. Disponible en <http://www.aisenpanorama.cl/libro.htm> (07/09/2015).
- Peri, P.; Hansen, N.; Rusch, V.; Tejera, L.; Monelos, L.; Fertig, M.; Bahamonde, H. y Sarasola, M., 2009.** Pautas de manejo de sistemas silvopastoriles en bosques nativos de *Nothofagus antarctica* (ñire) en Patagonia. In Actas del Primer Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, Posadas, Misiones, Argentina mayo de 2009. Actas. p. 151-155.
- Poole, A., 1950.** Studies of the New Zealand *Nothofagus* species. 2. Nut and cupule development. *Trans. Roy. Soc. N.Z.* 78:502-508.
- Premoli, A., 1991.** Morfología y capacidad germinativa en poblaciones de *Nothofagus antarctica* (Forster) Oerst del noroeste andino patagónico. *Bosque* 12(2): 53-59.
- Ramírez, C., 1987.** El Género *Nothofagus* y su Importancia en Chile. *Bosque* 8(2): 71-76.
- Roxburgh, J. R and Kelly, D., 1995.** Uses and limitations of hemispherical photography for estimating forest light environments. *NZ J Ecol* 19:213-217.
- Salinas, J.; Acuña, B.; Ovando, V. y Díaz, E., 2011.** Estándares de producción vegetativa en plantas de *Nothofagus antarctica* (G. Forst.) Oerst. en la región de Aysén. MINAGRI-INFOR. 11p.
- Salinas, J.; Acuña, B.; Koch, L. y Uribe, A., 2014.** Producción de árboles nativos con fines de recuperación de bosques y áreas degradadas en la región de Aysén. Propagación sexual y asexual de *Nothofagus antarctica* (Forster) Oerst. Ñire. MINAGRI – INFOR. 53 p.
- Veblen, T. T.; Kitzberger, B. y Rebertus, A., 1996.** Perturbaciones y dinámica de regeneración en bosques andinos del Sur de Chile y Argentina. In: Armesto, J.J., Villagrán, C., Arroyo, M.K. (Eds.), *Ecología de los bosques nativos de Chile*. Editorial Universitaria, Santiago de Chile, pp. 169-197.
- Vergara, Olivia, y Jerez, Viviane, 2010.** Insectos e infestaciones asociadas al follaje de *Nothofagus antarctica* (Forst) Oerst (Nothofagaceae) en la cuenca del río Baker, región de Aysén, Chile. *Gayana (Concepción)*, 74(2), 83-93

Capítulo 11

RALEO EN BOSQUE DE ÑIRE (*Nothofagus antarctica* (Forster) Oerst.) PARA UN APROVECHAMIENTO MULTIPROPÓSITO

Juan Carlos Cisternas¹

RESUMEN

El año 2011 en Bahía Murta, comuna de Río Ibáñez, región de Aysén, se instaló un ensayo con distintas intensidades de raleos en un rodal de ñire de 60 años para evaluar los resultados bajo un enfoque de aprovechamiento multipropósito. Se seleccionó y excluyó un área de ensayo de 1,5 ha, en donde se instalaron cuatro parcelas de 3.800 m² cada una, de acuerdo con el siguiente esquema: (1) extracción del 40% del área basal inicial; (2) tala rasa; (3) testigo; y (4) extracción del 70% del área basal inicial. Posterior a la intervención, se instalaron 10 parcelas de regeneración de 1 m² en cada tratamiento, distribuidas sistemáticamente. Después de tres años de evaluación no hay diferencias significativas en los parámetros dasométricos, pero la regeneración natural mostró diferencias significativas, siendo el tratamiento 4 el con mayor cantidad de plantas y mayor crecimiento.

Palabras clave: Ñire, *Nothofagus antactica*, Raleos. Regeneración natural.

SUMMARY

At Bahía Murta, Río Ibáñez commune, Aysén Region, in a 60 years old Ñirre stand a different thinning intensities trial was established in 2011 in order to evaluate the results under a multi purpose productive frame. It was selected and excluded a 1.5 ha area where four 3,800 m² plots were settled according to the following treatments: (1) Extraction of 40% of the initial basal area; (2) Complete felling; (3) Control; and (4) Extraction of 70% of the initial basal area. After the intervention ten 1 m² regeneration plots in each treatment were established under a systematic distribution. After three years there are no significant differences between treatments on stand parameters, but natural regeneration shows significant differences being (4) the treatment with the higher number of plants and the better growing.

Key words: Ñire, *Nothofagus antactica*, Thinning, Natural regeneration.

INTRODUCCIÓN

La escasa información relativa al manejo forestal en ñire (*Nothofagus antarctica*) y la presión de uso alternativo a los suelos en los cuales se desarrolla, han motivado a la Corporación Nacional Forestal (CONAF) a generar puntos de encuentros que permitan compartir experiencias, proponer iniciativas y comprometer medidas concretas que permitan el aprovechamiento

¹ Ingeniero Forestal, Corporación Nacional Forestal, Puerto Aysén, Chile. juan.cisternas@conaf.cl

sustentable de este recurso. En este mismo ámbito se estableció el compromiso de generar propuestas técnicas para su manejo y conservación, para lo cual se ha estado recopilando información, transcribiendo conocimientos empíricos y experimentando con propuestas silvícolas que permitan generar recomendaciones técnicas simples y pertinentes.

El año 2010, durante una actividad en terreno con propietarios usuarios de CONAF en Bahía Murta, la comunidad planteó el desafío de investigar cuánto crece y cuánto tiempo tarda en establecerse la regeneración de ñire. La idea era generar conocimiento práctico que orientara y respondiera las inquietudes de los propietarios respecto al tiempo que debe excluirse de ganado doméstico un bosque, para permitir su recuperación después de haber sido intervenido.

OBJETIVOS

Objetivo General

Establecer criterios técnicos, actividades estandarizadas y plazos para implementar modelos de aprovechamiento combinados en los bosques de ñire de la región de Aysén.

Objetivos Específicos

Determinar el efecto de la intensidad de extracción en el crecimiento de los árboles residuales.

Cuantificar los procesos de establecimiento de la regeneración natural.

Determinar el periodo de necesario de exclusión de animales en la implementación de un modelo silvopastoral.

Determinar tipos de aprovechamientos no madereros compatibles con modelos silvopastorales.

MATERIAL Y MÉTODO

Se excluyó una superficie 1,5 ha en un rodal de ñire de 60 años. Posteriormente se subdividió en cuatro parcelas de superficie similar, en las cuales se evaluaron todos los árboles en pie (diámetro a la altura del pecho, calidad y altura total). Una vez establecidos los criterios de extracción (Cuadro N°1), se marcaron los árboles a extraer. A medida que se iba realizando el volteo se corregía la marcación para controlar el distanciamiento medio, la cobertura de copa y el área basal residual.

Cuadro N° 1
ASIGNACIÓN DE TRATAMIENTOS

Tratamientos	Superficie (m ²)	Intensidad de Extracción (%)	
		Densidad	Área Basal
1	3.822	30	40
2	3.712	100	Tala rasa
3	3.804	0	Testigo
4	3.779	60	70

Después de la intervención (septiembre del año 2011), se efectuó una medición y los árboles volteados fueron cubicados para la elaboración de funciones de volúmenes (Cuadro N° 2) y relaciones DAP / Altura.

Cuadro N° 2
FUNCIONES DE VOLUMEN AJUSTADAS PARA ÑIRE

Factor de forma constante	$V = B_0 * DAP^{2*H}$
VARIABLES combinadas generalizadas	$V = B_0 + B_1 * DAP^2 + B_2 * H + B_3 * DAP^{2*H}$
Logarítmico sin intercepto	$V = B_0 * DAP^{b1*H^{b2}}$
VARIABLES transformadas de Honer	$V = DAP^2 / (B_0 + B_1 * H^2)$
Clase de forma	$V = B_0 + B_1 * DAP^{2*H*f}$
Australiana de Stoa	$V = B_0 + B_1 * DAP^2 + B_2 * DAP^3 + B_3 * H + B_4 / H$

En cada parcela los árboles remanentes fueron numerados al igual que los tocones para hacer un seguimiento del crecimiento y de la regeneración vegetativa. Para evaluar la regeneración por semillas se instalaron 40 parcelas cuadradas de 1 m² cada una, sistemáticamente distribuidas (10 por cada tratamiento).

El monitoreo de la regeneración (por semilla y vegetativa), como originalmente estaba previsto, fue posible hasta el año 2013, año en que se cambió a un muestreo aleatorio simple con parcelas de 50 m² por tratamiento. Lo anterior debido a la dificultad de ubicar los tocones originales, entremedio de los pulsos de regeneración; y en el caso de la regeneración por semillas, porque la abundante vegetación herbácea acompañante dificultó la identificación de plantas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tratamientos Aplicados

El resultado residual de las intervenciones se aprecia en el Cuadro N° 3. Si bien las extracciones efectivamente logradas difieren levemente de las propuestas (por la dificultad de controlar las variables al momento de aplicar las intervenciones), esto en nada altera los objetivos del ensayo.

Cuadro N° 3
TRATAMIENTOS APLICADOS

N°	Tratamientos Esquema de Manejo	Superficie. (m ²)	Densidad (árb ha ⁻¹)		Extracción (%)	Área Basal (m ² ha ⁻¹)		Extracción (%)
			Inicial	Final		Inicial	Final	
1	Raleo al 40% del área basal	3.822	374	201	46,2	21,5	12,8	40,7
2	Tala rasa	3.712	194	-	100	10,8	-	100
3	Testigo	3.804	321	321	0,0	19,6	19,6	0,0
4	Raleo al 70% del área basal	3.779	352	103	70,7	18,8	6,1	67,6

Funciones de Altura

Previa depuración de los datos originales, se generó una base de datos validada y depurada de 51 árboles. El objetivo del análisis fue generar funciones de volumen, a través de mediciones provenientes de análisis fustal y de un modelo general del tipo:

$$V = B_0 + B_1 * DAP^{2*H}.$$

Los modelos ajustados fueron los siguientes:

Cuadro N° 4
FUNCIONES DE VOLUMEN AJUSTADAS

Volumen total = 0,0000426656*DAP^2*AT
Volumen total = 0,0288021 +0,00017986* DAP^2 -0,00455193* AT + 0,0000346193*DAP^2*AT
Volumen total = 0,0227353 * DAP ^0,708882*AT^ 0,333453
Volumen total = DAP^2/(1.808,94 + -1,31291*AT^2)
Volumen total = -0,125947+ 0,0000644893* DAP^2+0,000014757* DAP^3+ 0,0206158* AT -0,860877/AT

Posteriormente se elaboró un ranking basado en la bondad del error medio cuadrático y el coeficiente de determinación, el resultado de este ranking se presenta en el Cuadro N° 5.

Cuadro N° 5
RANKING DE FUNCIONES AJUSTADAS

Ranking	Función	R^2	ECM
2	VARIABLES combinadas generalizadas	984115%	0,00140577
1	Factor de forma constante	999633%	0,0000345198
4	VARIABLES transformadas de Honer	632707%	0,03385760
3	Logarítmico sin intercepto	976348%	0,00213578
2	VARIABLES combinadas generalizadas	987196%	0,00123159

De acuerdo al ranking generado, el modelo que mejor se ajusta al ñire de Bahía Murta corresponde al de *VARIABLES Combinadas Generalizadas*.

VARIABLES DASOMÉTRICAS

Para evaluar diferencias en las respuestas a las intervenciones, se contrastaron los incrementos promedios por árbol en diámetro, área basal y volumen total, en el período a través de un análisis de varianza (ANOVA); y para determinar si las eventuales diferencias eran significativas se las sometió a un test de comparaciones múltiples (test de Tukey).

Cuando el valor de significancia (significancia bilateral) es mayor al nivel de significancia establecido (0,05%), o los intervalos de confianza tienen signos opuestos, se entiende entonces que las medias de las muestras son homogéneas o dicho de otra forma, las diferencias no son significativas.

Cuadro N° 6
ANÁLISIS DE VARIANZA

ANOVA		Suma de Cuadrados	GL	Media Cuadrática	F	SIG.
DMC	Inter-grupos	0,000	2	0,000	0,000	1,000
	Intra-grupos	75,471	18	4,193		
	<i>Total</i>	<i>75,471</i>	<i>20</i>			
G	Inter-grupos	0,000	2	0,000	0,285	0,755
	Intra-grupos	0,002	18	0,000		
	<i>Total</i>	<i>0,002</i>	<i>20</i>			
V	Inter-grupos	0,002	2	0,001	0,108	0,898
	Intra-grupos	0,187	18	0,010		
	<i>Total</i>	<i>0,189</i>	<i>20</i>			

En el cuadro anterior, se aprecia que el nivel de significancia (significancia bilateral) es mayor al establecido (0,05%), por tanto, las diferencias no son significativas. Esta misma condición se comprueba al aplicar el test de comparación múltiples (Cuadro N° 7), en donde no hay subconjuntos diferentes en ninguna de las variables analizadas.

Cuadro N° 7
TEST DE COMPARACIONES MÚLTIPLES

DMC			ÁREA BASAL			VOLUMEN		
Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0,05	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0,05	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0,05
1	7	30,25714	3	7	0,06843	3	7	0,66757
3	7	30,25714	4	7	0,07043	4	7	0,67300
4	7	30,25714	1	7	0,07214	1	7	0,69171
Sig.		1	Sig.		0,735	Sig.		0,898

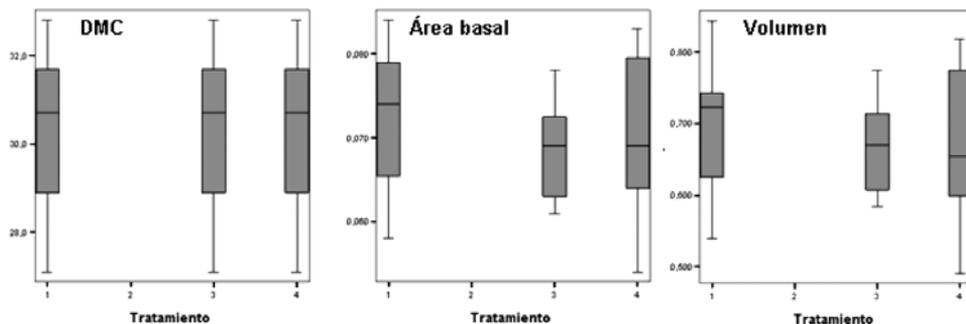


Figura N° 1
DIAGRAMAS DE CAJA PARA LAS VARIABLES ANALIZADAS

Regeneración Natural

Los dos primeros años después de la intervención se pudo discriminar el tipo de regeneración (por semilla y vegetativa). Aunque los valores han cambiado, las tendencias se han mantenido. Después del primer período vegetativo post-intervención el porcentaje de tocones con regeneración vegetativa bajó. El tratamiento más intensamente intervenido presenta la mayor cantidad de plantas (Cuadro N° 8).

Cuadro N° 8
TEST DE COMPARACIONES MÚLTIPLES

Tratamiento	Tocones Rebrotados (%)		Plantas por Semillas (N°)		Plantas 2015 (N° ha ⁻¹)
	2012	2013	2012	2013	
1	32,5	20,7	21.000	19.000	6.040
2	24,3	10,5	3.000	3.000	6.120
3			2.000	2.000	3.840
4	65,1	46,3	24.000	29.000	14.960

En el caso de las plantas de semilla no fue posible discriminar cuanto de ella era pre-existente y cuanto es producto de la intervención. A partir del tercer año (2015), ya no fue posible discriminar el origen de las plantas debido al proceso de degradación de los tocones así como a la abundante presencia de especies herbáceas.

A pesar de las diferencias entre tratamientos (señalados anteriormente), al hacer los análisis estadísticos correspondientes, se tiene que éstas diferencias no son significativas, tal cual puede apreciarse en la Figura N° 2.

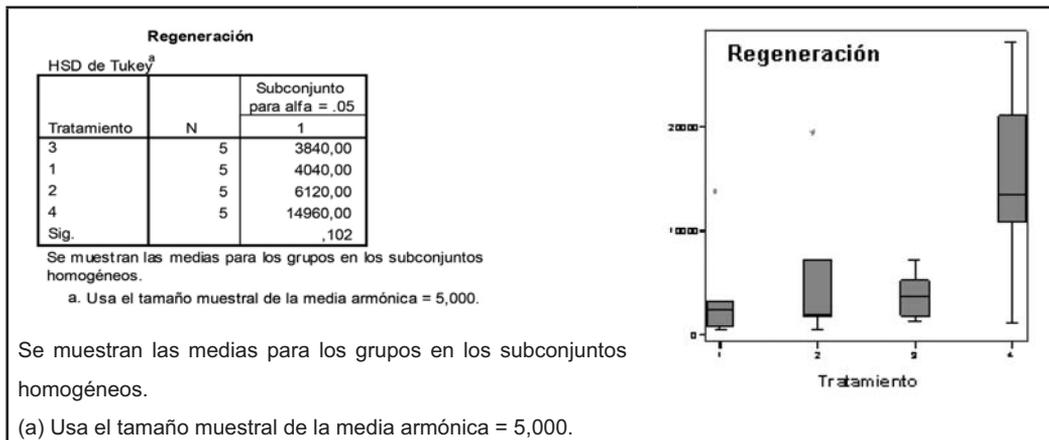


Figura N° 2
DIAGRAMAS DE CAJA PARA LAS VARIABLES ANALIZADAS

CONCLUSIONES

Que las diferencias aún no sean concluyentes se debe muy probablemente a los resultados aún incipientes y habrá que esperar algunos años más de evaluación para detectar tendencias significativas.

Sin perjuicio de lo anterior y de acuerdo a lo observado en terreno, es posible inferir que, a pesar de ser una especie intolerante a la sombra, en las condiciones del ensayo el mayor porcentaje de regeneración vegetativa no se logra en los tocones sin cubierta vegetal (tala rasa), sino que bajo la protección de un dosel superior cercano al 40% de cobertura de copas (parcela 4). Esta misma tendencia está reportada en un trabajo de Tejera *et al.* (2006), en la provincia del Chubut, Argentina, cuyo objetivo fue cuantificar la regeneración establecida por semilla al primer año de emergencia bajo diferentes coberturas de ñire y evaluar el efecto del ganado sobre las mismas.

REFERENCIAS

Tejera, L.; Hansen, N.; Ferig, M., 2006. Efecto de la cobertura arbórea y del pastoreo vacuno sobre el establecimiento de la regeneración de *Nothofagus antarctica* (G.Forst.) Oerst. INTA EEA Esquel. Argentina7 p.

Capítulo 12

BASES ECOLÓGICAS PARA IMPLEMENTAR UN SISTEMA SILVOPASTORAL EN BOSQUES DE LENGUA (*Nothofagus pumilio*) EN LA REGIÓN DE AYSÉN

Laura Sánchez Jardón¹

RESUMEN

En la región de Aysén, Patagonia norte de Chile, grandes extensiones de bosques nativos se transformaron en explotaciones ganaderas mediante incendios forestales a principios del siglo XX.

Una gestión integrada de bosques y praderas debe estar basada en el conocimiento de las interacciones ecológicas entre el componente forestal y pastoral para permitir la producción forestal y ganadera simultáneamente sin comprometer su valor de conservación.

Entre 2006 y 2008 se estudiaron variables productivas y ecológicas del pasto en zonas de contacto espacial entre bosques de lenga y praderas y en el gradiente de cobertura arbolada, dentro de un paisaje mosaicista típico de los valles ganaderos en la zona intermedia de esta región de la Patagonia.

Los resultados indicaron que, comparado con praderas no mejoradas sin árboles, la presencia de árboles nativos aumenta la productividad y calidad del pasto, así como su diversidad biológica. Se encontró que el arbolado y el comportamiento del ganado determinan la estructura de las comunidades herbáceas, y que el abandono ganadero modifica las comunidades herbáceas de forma diferente en praderas y bosques.

La gestión silvopastoral debe considerar que las zonas de arbolado medio-denso aumentan la producción primaria del pasto y su contenido proteico, mientras que las zonas de arbolado denso permiten la conservación de plantas herbáceas nativas.

Palabras clave: Abandono ganadero; composición florística de los pastizales; dinámica sucesional; diversidad biológica; efecto del arbolado; estructura de pastizales; gestión ganadera; producción de pastizales; *Nothofagus pumilio*; Patagonia chilena; sistemas agroforestales.

SUMMARY

Until the beginning of the XX century large areas of native forests were transformed into cattle breeding lands through forest fires in the Aysén región, Chilean northern Patagonia.

¹ Dra. Departamento de Ecología, Facultad de Biología, Universidad Complutense de Madrid, España. Actualmente: Departamento de Biología, Centro Universitario Coyhaique, Universidad de Magallanes.

Grasslands and forests integrated management has to be based on the knowledge of the ecological interactions between the cattle and the forest components in order to allow the simultaneous production without its conservation value reduction.

Between 2006 and 2008 the grass productive variables were studied in áreas located in spatial contact zones of Lenga forests and prairies and in the forest cover gradient, within the typical split-screen landscape of the cattle breeding valleys of the región intermediate zone.

The results indicated that, in comparison to non improved prairies without trees, the native trees presence increases grass productivity and quality as well as its biological diversity. It was found that the trees and the cattle behavior determine the herbaceous communities structure, and also that the cattle abandonment modifies these communities in a different way in prairies and forests.

Silvopastoral management has to consider that medium density forests increase grass primary production while dense forest areas allow native herbaceous plants conservation.

Key words: Cattle abandonment; prairie floristic composition; successional dynamics; biological diversity; trees effect; grassland structure; cattle management, grassland production; *Nothofagus pumilio*; Chilean Patagonia; Agroforestry systems.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la ganadería ha promovido la expansión de praderas mejoradas en detrimento de los bosques, obviando el papel del árbol como beneficioso para la producción y calidad del pasto. Por su parte, el uso forestal se ha centrado en recursos exclusivamente forestales en los que la ganadería apenas ha tenido cabida. Los sistemas silvopastorales son sistemas de gestión integrados que aprovechan las sinergias resultantes de las interacciones entre bosques y praderas. Existe evidencia empírica en diferentes regiones climáticas del mundo sobre que tanto los objetivos de producción como los de conservación de biodiversidad y otros servicios ecosistémicos se pueden abordar simultáneamente si se mantiene cierta cobertura arbolada en el sistema agropecuario (Tschardtke *et al.* 2005; Pastur *et al.*, 2012). En la cuenca del Mediterráneo, por ejemplo, estos agroecosistemas existen desde hace más de 5.000 años.

El arbolado representa un sistema de fertilidad natural y gratuita, lo que constituye un aspecto fundamental en la eficiencia de los sistemas silvopastorales (de Miguel. 1999). Además, la capacidad de retener humedad y materia orgánica alrededor de sus raíces da lugar a un ambiente fisicoquímico edáfico más favorable para los procesos biológicos (actividad microbiana). Como resultado, el suelo en las proximidades de los árboles tiene altas concentraciones de materia orgánica, nitrógeno y cationes intercambiables, con una mayor capacidad de infiltración de agua en comparación con zonas adyacentes desarboladas, lo cual influye en los ciclos de nutrientes edáficos y en la vegetación herbácea (Manning *et al.*, 2006; Barbier *et al.*, 2008). En general, el arbolado reduce la erosión del suelo y previene la desertificación.

La región de Aysén, en la Patagonia norte de Chile, representa una historia reciente de colonización y uso de los recursos naturales, donde grandes extensiones de bosques nativos se transformaron en explotaciones ganaderas mediante incendios forestales en las primeras décadas

del siglo XX (Veblen *et al.*, 1996; Gowda *et al.*, 2012). La transformación del paisaje afectó todos los tipos forestales presentes en la región; el bosque siempreverde próximo a la costa, la estepa patagónica y el bosque caducifolio en la zona intermedia. Resultaron especialmente afectados los bosques caducifolios de lenga (*Nothofagus pumilio*) y ñire (*N. antarctica*), por su coincidencia espacial con las condiciones más favorables para el establecimiento humano (Otero, 2006). Actualmente algunos fragmentos dispersos de los bosques nativos persisten en un paisaje dominado por praderas ganaderas (Figura N° 1).



Figura N° 1
PAISAJE DE MOSAICOS TÍPICO DE LOS ACTUALES VALLES GANADEROS
EN LA ZONA INTERMEDIA DE AYSÉN

Las consecuencias ambientales de la gestión de bosques y praderas de forma separada apenas han sido examinadas, aunque son evidentes los signos de una intensa erosión del suelo en algunas zonas, la pérdida de hábitat para las especies de plantas nativas asociadas a los bosques originales y la dificultad para la regeneración natural del bosque (Quintanilla, 2008). La presencia de arbolado nativo en los sistemas ganaderos podría evitar los problemas de erosión edáfica asociados a la deforestación, además de disminuir la pérdida de biodiversidad al proporcionar un hábitat similar al bosque nativo y permitir la conectividad del mismo (Breshears, 2006).

Después de los grandes incendios de principios del siglo XX, los remanentes de bosques caducifolios de lenga se mantienen en las mayores altitudes. Los fondos de valle se transformaron en amplias praderas ganaderas. En ocasiones, cuando en ellas se ha regenerado el arbolado nativo, comienza un conflicto por el tipo de uso productivo (ganadero o forestal) que debe implementarse. Los sistemas de uso silvopastoral proponen considerar el recurso ganadero y el recurso forestal simultáneamente, en planes de manejo integrados compatibles con la conservación de los recursos naturales.

Una gestión integrada de bosques y praderas, que permita la producción forestal y ganadera simultáneamente sin comprometer su valor de conservación, debe estar basada en el conocimiento de las interacciones ecológicas entre el componente forestal y pastoral. En este contexto, un grupo multidisciplinario de investigadores chilenos y españoles desarrolló un proyecto con el objetivo de identificar las bases científicas para implementar un sistema de uso silvopastoral en los fragmentos dispersos de bosques nativos. El uso silvopastoral se propone como una alternativa a la ganadería extensiva en praderas desarboladas, que preserve el interés agronómico y ecológico del sistema de producción.

OBJETIVOS

Objetivo General

El objetivo general es cuantificar y caracterizar el efecto de la cobertura arbolada de lenga sobre la estructura y productividad del pasto, en un contexto de uso ganadero y de conservación de valores naturales de la región.

Objetivos Específicos

Cuantificar el efecto de la cobertura arbolada sobre la capacidad productiva y calidad bromatológica del pasto.

Caracterizar el efecto del arbolado sobre la composición florística y diversidad biológica del pasto.

Identificar los patrones de variación espacio-temporal de la composición florística y la diversidad biológica en zonas de contacto entre bosques y praderas abiertas.

Caracterizar la respuesta de la comunidad de herbáceas al abandono reciente de la actividad de pastoreo.

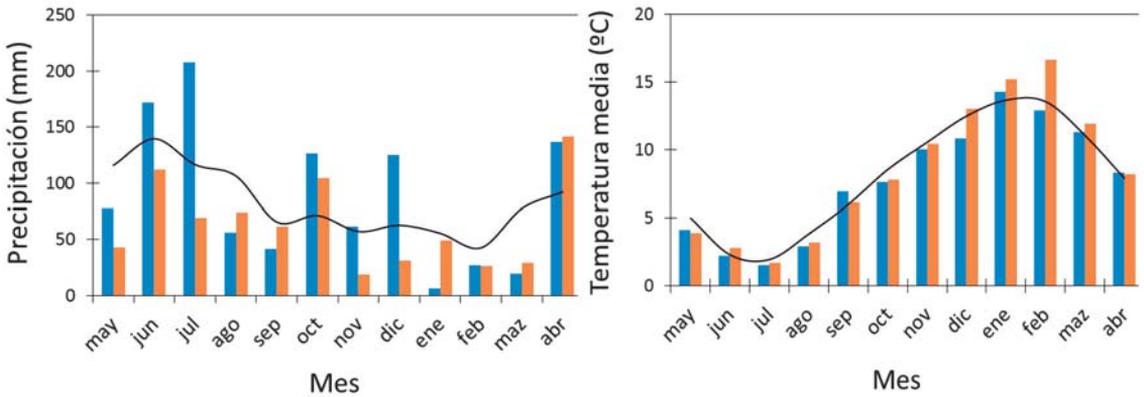
METODOLOGÍA

El estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental Tamel Aike (45° 77' S, 72° 06' W, 619 msnm) del centro regional de investigación del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), en el valle Simpson, ubicado en la zona agroclimática intermedia (Hepp *et al.*, 1988).

Se trata de uno de los primeros valles ganaderos colonizados y poblados por los pioneros a principios del siglo XX en la región (Otero, 2006). La vegetación original era una cubierta más o menos continua de bosques monoespecíficos de lenga. Actualmente el predio contiene un fragmento de bosque de lenga que se ha raleado y pastoreado en verano de forma intermitente desde hace al menos 12 años. Para este estudio se delimitó un sector de unas 50 ha con un paisaje de mosaicos que combina manchas de arbolado y praderas abiertas desarboladas.

Durante dos temporadas de crecimiento consecutivas, se analizaron variables productivas y ecológicas relativas a la vegetación herbácea. Las dos temporadas difirieron en condiciones

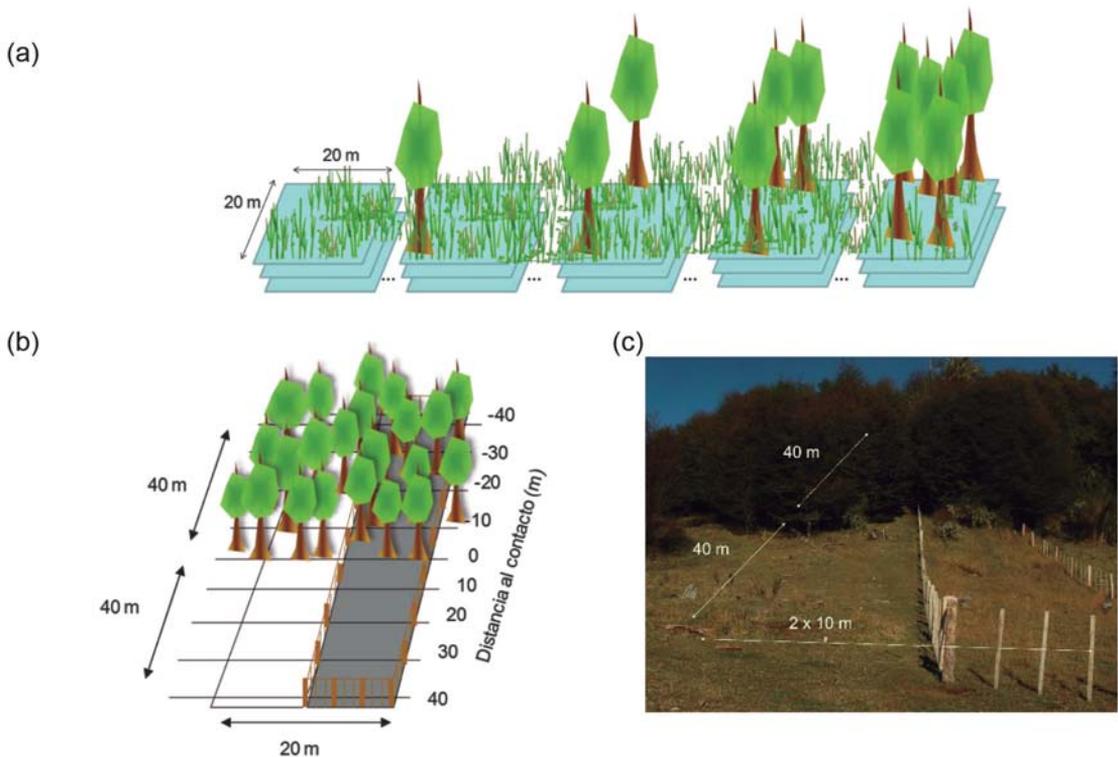
meteorológicas; la primera (2006-07) fue similar a la media climática mientras que la segunda (2007-08) fue más seca y calurosa (Figura N° 2).



(Fuente: Anuarios climatológicos de la Dirección Meteorológica Nacional en la estación meteorológica del aeropuerto Teniente Vidal, Coyhaique)
 Valores mensuales temporadas 2006-07 (barras azules) y 2007-08 (barras naranjas), y promedio climático 1980-2006 (línea)

Figura N° 2
CONDICIONES METEOROLÓGICAS DE LAS TEMPORADAS DE ESTUDIO

El diseño experimental de este estudio utiliza dos enfoques complementarios; el análisis del contacto espacial entre los extremos de un gradiente de cobertura y el gradiente de cobertura arbolada. Para el primero, se seleccionaron 15 parcelas de 20 x 20 m en un gradiente de cobertura de arbolado, considerando 5 clases de 0, 25, 50, 75 y 100% de cobertura, cada una con 3 réplicas (Figura N° 3a). Para el segundo, se seleccionaron 4 zonas de contacto entre bosque denso y pradera en cada una de las cuales se delimitó un transecto de 10 m de ancho y 80 m de largo (40 m de bosque y 40 m de pradera). En cada transecto se dispusieron 9 pasillos equidistantes a 10 m, paralelos a la línea de contacto entre bosque y pradera (Figura N° 3b). Para evaluar el efecto del abandono de la actividad ganadera se instalaron exclusiones permanentes en un transecto paralelo de iguales dimensiones (Figura N° 3c).



Gradiente de cobertura de arbolado (a) y en zonas de contacto entre bosques y praderas sin arbolado (b). En estas últimas se instalaron cercado permanentes (c).

Figura N° 3
ESQUEMA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL UTILIZADO PARA ANALIZAR LA VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LAS HERBÁCEAS

En ambos experimentos se registró la biomasa herbácea aérea mensualmente a lo largo de las dos temporadas (octubre a marzo-abril). En cada lugar de muestreo se instalaron pequeñas jaulas (70 x 100 x 50 cm) que evitan el consumo por grandes y medianos herbívoros. La biomasa se cortó a nivel del suelo usando una cortadora eléctrica, dentro y fuera de las jaulas. Después de cada muestreo, las jaulas se movieron para evitar áreas previamente muestreadas y así recoger el efecto del pastoreo sobre la producción. En el laboratorio, se separó una submuestra para analizar la composición florística. Las muestras se secaron 48 h a 60 °C y se calculó su peso seco.

Los valores de biomasa registrados en las jaulas móviles permitieron calcular la producción primaria neta (PPN) mensual (producción desde el mes anterior, $PPN_i = D_t - F_{t-1}$ siendo D_t la biomasa dentro de la jaula de exclusión en el tiempo t , y F_{t-1} la biomasa fuera de ella en el muestreo anterior) y el consumo mensual (diferencia de biomasa dentro y fuera de las jaulas). Los valores anuales de producción primaria neta y consumo se calcularon como la suma de los valores mensuales.

La composición florística se evaluó una vez cada año, durante el periodo de máximo crecimiento vegetativo (diciembre-enero). Se establecieron regularmente cuadrados elementales de muestreo de 50 x 50 cm. En cada cuadrado se registró la abundancia de todas las especies herbáceas. La determinación taxonómica de las especies siguió a Marticorena y Quezada (1985) y a Correa (1969-1999); se herborizaron al menos dos ejemplares de cada especie.

En cada parcela del gradiente de cobertura arbolada se utilizaron diez cuadrados elementales de muestreo. Utilizando como referencia el punto central de los cuadrados se establecieron sendos círculos de 2,5 m de diámetro donde se registraron diferentes variables físicas; recubrimientos leñoso, herbáceo, hojarasca, suelo desnudo, troncos caídos y excrementos, radiación fotosintéticamente activa (PAR) transmitida a través del dosel y algunas variables fisicoquímicas del suelo.

Para alcanzar de forma satisfactoria los objetivos, el estudio realizado trata de reproducir un sistema de uso similar al que tradicionalmente se aplica en los fragmentos de bosque de lenga remanentes en las praderas ganaderas de la región. Por ello, se utilizó un tipo de manejo ajustado a la práctica tradicional, según el criterio de profesionales locales.

Se pretendió que la carga ganadera fuese uniforme en el área de estudio, para que el ganado pudiera seleccionar libremente las áreas de pastoreo y descanso. Para ello, dentro del predio experimental se delimitaron dos sectores, de aproximadamente 20 ha cada uno.

Cada sector se rodeó de cerco eléctrico para contener al ganado. Un grupo de unas 20 vacas con sus terneros se trasladó entre los dos sectores, en ciclos de rotación de 2 semanas, durante los 4 meses centrales de la temporada de crecimiento (diciembre-enero a marzo-abril).

RESULTADOS

Niveles intermedios de cobertura arbolada de lenga en esta región de la Patagonia aumentan la producción primaria neta de los pastizales.

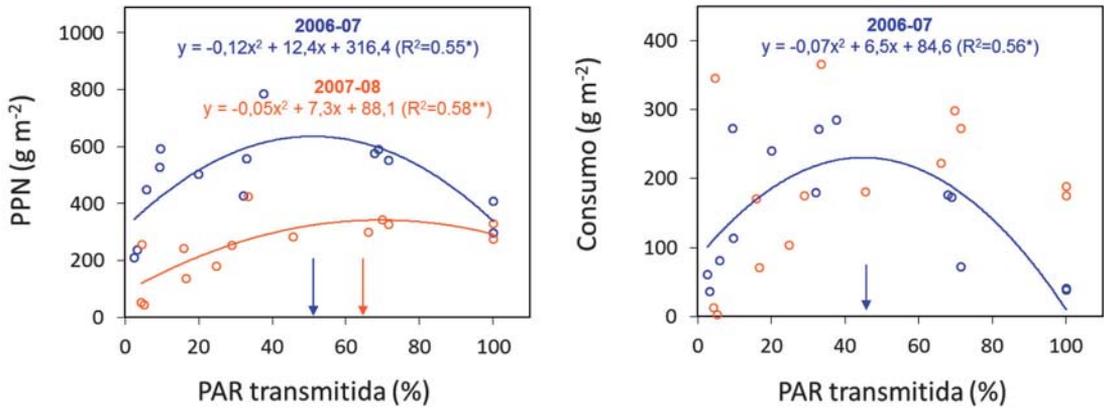
Las funciones que mejor describieron la relación entre los valores de PAR transmitida y la PPN a lo largo del gradiente de cobertura fueron polinómicas de segundo orden, en las dos temporadas de crecimiento (Figura N° 4).

Los valores máximos de PPN se obtuvieron al 50,9% y 69,4% de PAR transmitida, en el primer y el segundo año, respectivamente.

La producción fue menor en el segundo año (prueba t para muestras relacionadas: $t_{14} = 5,8$; $p < 0,001$), lo que podría estar asociado a unas condiciones meteorológicas menos favorables de temperatura y precipitación en este año.

El consumo mostró un comportamiento similar a la PPN (ambas variables estuvieron altamente correlacionadas: r de Pearson = 0,886 en el primer año y 0,963 en el segundo; $p < 0,001$) frente a la variación de la radiación, si bien solamente fue significativo en el primer año, cuando el consumo máximo se obtuvo a 44,9% de PAR transmitida; en el segundo año los animales parecieron consumir más en las parcelas con mayor cobertura (menores valores de PAR).

En ambos años, las praderas sin árboles presentaron valores de consumo animal más bajos que las arboladas. Los análisis bromatológicos mostraron que áreas con cobertura intermedia tienen una calidad aceptable en términos de proteína, azúcares y fibras (Sánchez-Jardón *et al.*, 2010).



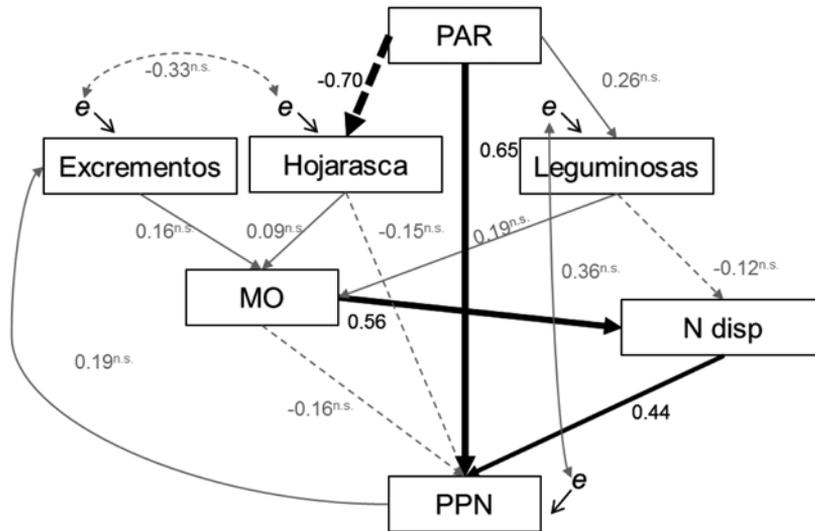
Las flechas indican el valor de PAR transmitido al que el modelo polinómico predice los valores máximos de PPN y consumo. Se indica la ecuación y los coeficientes de determinación (R²) para las funciones significativas (* P < 0,05; ** P < 0,01).

Temporadas 2006–07 (azul) y 2007-08 (naranja).

Figura N° 4
RELACIÓN ENTRE LA PAR TRANSMITIDA Y LA PRODUCCIÓN PRIMARIA NETA (PPN)
Y EL CONSUMO POR EL GANADO

No se observaron patrones espaciales en la producción primaria neta herbácea relacionados con la distancia al contacto entre el bosque y la pradera. Si bien esta es mayor en las praderas ($300 \pm 29 \text{ g m}^{-2}$) que en zonas de arbolado denso ($164 \pm 40 \text{ g m}^{-2}$), algunos pastizales bajo arbolado poco denso presentaron valores máximos de producción.

Cuando se exploran las variables físicas que determinan la producción herbácea (Figura N° 5), se comprueba que los suelos son más ricos en nutrientes en el interior de los bosques, lo que parece estar asociado a la fertilidad residual del suelo forestal, al menor consumo de biomasa por el ganado y a un proceso sostenido de fertilización a través de sus excrementos (Sánchez-Jardón *et al.*, 2014a).



La letra e representa el error residual. Las líneas continuas y discontinuas indican efectos positivos y negativos, respectivamente. El ancho de las flechas es proporcional a los coeficientes estandarizados; coeficientes no significativamente diferentes de cero (n.s.; $P > 0,05$) son de color gris claro.

Figura N° 5

MODELO DE ECUACIONES ESTRUCTURALES QUE REPRESENTA LAS RELACIONES CAUSALES ENTRE LA RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA TRANSMITIDA (PAR), LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO (MO) Y EL NITRÓGENO DISPONIBLE (N DISP), LAS FUENTES DE NUTRIENTES EDÁFICOS Y LA PRODUCCIÓN PRIMARIA NETA DE HERBÁCEAS (PPN) EN UN SISTEMA SILVOPASTORAL CON LENGUA EN LA PATAGONIA CHILENA

En total se registraron 36 especies de plantas herbáceas, distribuidas en 33 géneros y 17 familias; aproximadamente la mitad eran nativas. Además, se identificaron 8 especies de arbustos, todos ellos nativos (Sánchez-Jardón *et al.*, 2014a).

Las especies más abundantes fueron *Dactylis glomerata*, *Trifolium repens* y *Taraxacum officinale*, con valores medios de cobertura de 29, 20 y 12 %, respectivamente.

La caracterización ecológica de las especies mostró que la mayoría de las especies exóticas introducidas toleraban bien los diferentes ambientes, creciendo tanto en zonas de alta exposición (praderas sin arbolado) como bajo el arbolado (Cuadro N° 1).

Por su parte, la mayoría de las especies nativas presentaron hábito estrictamente forestal, unas pocas estaban asociadas a las praderas desarboladas y varias aparecían indistintamente en ambos ambientes (Sánchez-Jardón *et al.*, 2014b).

El efecto del arbolado, especialmente en su papel como filtro de la luz, y el derivado del pastoreo por ganado son los dos factores que explican la variación espacial de la estructura de las comunidades herbáceas (Figura N° 6).

Los bosques pastoreados mantienen mayor riqueza de nativas que las praderas, si bien estas registran los mayores valores de riqueza total por la mayor ocurrencia de especies exóticas introducidas (Sánchez-Jardón 2012). La coexistencia de ambos tipos de manchas incrementaría

los valores de diversidad de plantas a escala local, dado que coexistirían las especies asociadas a los bosques y las asociadas a la estepa.

Cuadro N° 1
CARACTERIZACIÓN SINTÉTICA DE LAS ESPECIES MÁS FRECUENTES
SEGÚN SU HÁBITO FORESTAL EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Forestales	Indiferentes al Ambiente Forestal	No Forestales
<i>Acaena ovalifolia</i> *	<i>Bromus setifolius</i> *	<i>Acaena pinnatifida</i> *
<i>Adenocaulon chilense</i> *	<i>Cerastium glomeratum</i>	<i>Botrychium dusenii</i> *
<i>Blechnum penna-marina</i> *	<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Cerastium arvense</i>
<i>Codonorchis lessoni</i> *	<i>Elymus angulatus</i>	<i>Crepis capillaris</i>
<i>Galium aparine</i>	<i>Fragaria chiloensis</i> *	<i>Holcus lanatus</i>
<i>Geum magellanicum</i> *	<i>Geranium magellanicum</i> *	<i>Plantago lanceolata</i>
<i>Osmorhiza chilensis</i> *	<i>Hypochaeris radicata</i>	
<i>Vicia nigricans</i> *	<i>Poa pratensis</i>	
<i>Viola maculata</i> *	<i>Rumex acetosella</i>	
	<i>Taraxacum officinale</i>	
	<i>Trifolium repens</i>	
	<i>Veronica arvensis</i>	
	<i>Veronica serpyllifolia</i>	

*Las especies nativas (Marticorena y Quezada 1985) se señalan con asterisco.

El abandono de la actividad ganadera modifica la composición florística y la diversidad de los pastizales de forma diferente en bosques y en praderas.

Dos años después de instalar los cercos de exclusión, la riqueza disminuyó en los bosques y aumentó en las praderas.

Después de ocho años, el abandono ganadero favorece a las herbáceas nativas y perjudica la abundancia de especies exóticas introducidas (datos no publicados).

La regeneración natural del bosque no resulta especialmente beneficiada por la exclusión del aganado, probablemente debido a la competencia con las herbáceas que han proliferado en el interior de la exclusión, lo que tiene importantes implicaciones para diseñar el manejo que permita garantizar la continuidad del sistema silvopastoral.

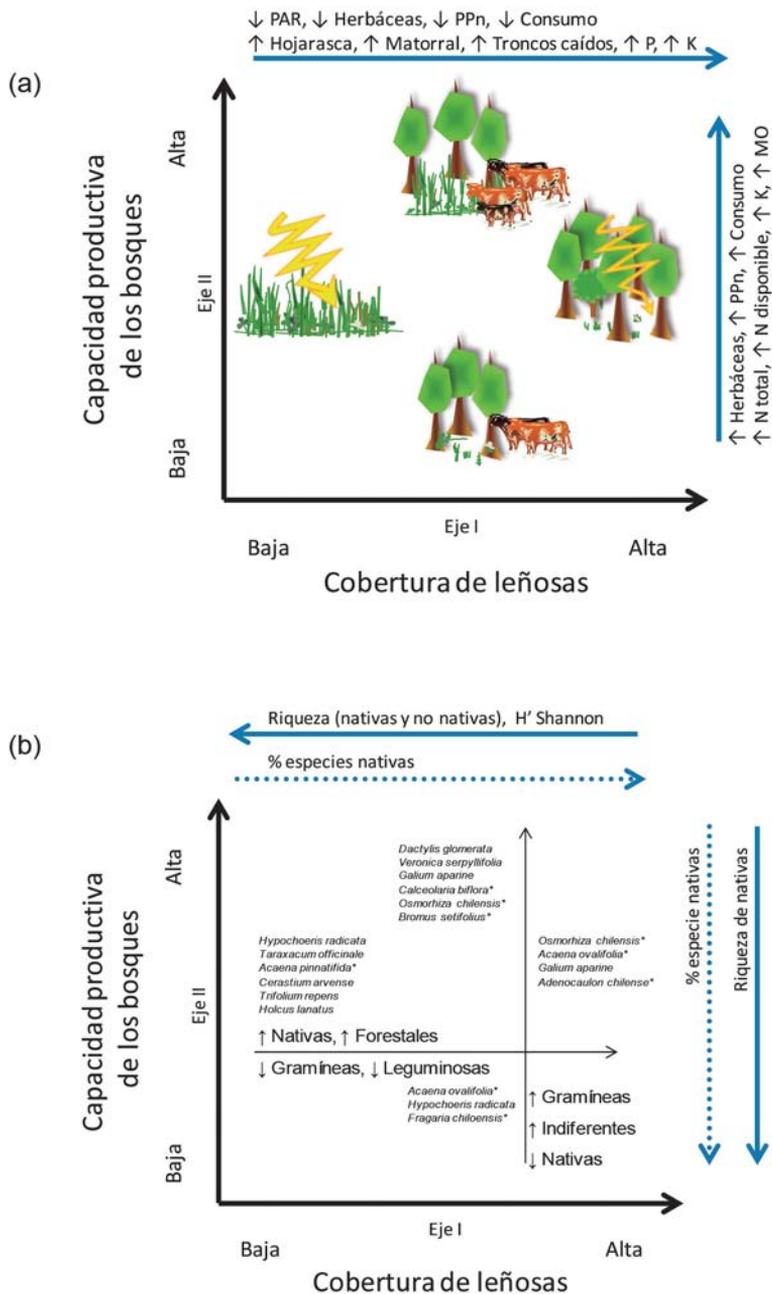


Figura N° 6

ESQUEMA SINTÉTICO DE LAS PRINCIPALES TENDENCIAS DE VARIACIÓN ESPACIAL DE LA ESTRUCTURA DE LOS PASTIZALES DE BOSQUES Y PRADERAS (A), Y DE SU RELACIÓN CON LAS VARIABLES ECOLÓGICAS Y AGRONÓMICAS (B).

CONCLUSIONES GENERALES

Las zonas de arbolado medio-denso mantienen valores altos de producción primaria neta (y con elevado contenido proteico).

Las zonas de arbolado denso permiten la conservación de plantas herbáceas nativas.

El arbolado y el comportamiento del ganado determinan la estructura de las comunidades herbáceas.

El abandono ganadero altera las comunidades herbáceas de forma diferente en praderas y bosques.

En resumen, los resultados obtenidos en este estudio permiten afirmar que la implementación de un sistema silvopastoral en fragmentos remanentes de bosques de lenga tendrá considerables beneficios para la productividad y calidad del pasto, así como su diversidad biológica, comparado con praderas no mejoradas sin árboles.

REFERENCIAS

- Barbier, S.; Gosselin, F. and Balandier, P., 2008.** Influence of tree species on understory vegetation diversity and mechanisms involved. A critical review for temperate and boreal forests. *Forest Ecology and Management* 254, 1-15.
- Breshears, D. D., 2006.** The grassland–forest continuum: Trends in ecosystem properties for woody plant mosaics? *Frontiers in Ecology and the Environment* 4, 96-104.
- Correa, M. N., 1969-1999.** Flora Patagónica. Colección Científica del INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires.
- De Miguel, J. M., 1999.** Naturaleza y configuración del paisaje agrosilvopastoral en la conservación de la diversidad biológica en España. *Revista Chilena de Historia Natural* 72, 547-557.
- Gowda, J.; Kitzberger, T. and Premoli, A., 2012.** Landscape responses to a century of land use along the northern Patagonian forest-steppe transition. *Plant Ecology* 213, 259-272.
- Hepp, C.; Thiermann, H. y Ramírez, C., 1988.** Praderas en la zona austral XI Región (Aysén). In: Ruiz Núñez, I. (Ed.), Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.
- Manning, A. D.; Fischer, J. and Lindenmayer, D. B., 2006.** Scattered trees are keystone structures -Implications for conservation. *Biological Conservation* 132, 311-321.
- Marticorena, C. y Quezada, M., 1985.** Catálogo de la flora vascular de Chile. *Gayana Botanica* 42, 1-157.
- Otero, L., 2006.** La huella del fuego. Historia de los bosques nativos, poblamiento y cambios en el paisaje del sur de Chile. Pehuén Editores, Chile.
- Pastur, G.; Andrieu, E.; Iverson, L. and Peri, P., 2012.** Agroforestry landscapes and global change: Landscape ecology tools for management and conservation. *Agroforestry Systems* 85, 315-318.
- Quintanilla, V., 2008.** Estado de recuperación del bosque nativo en una cuenca nordpatagónica de Chile, perturbada por grandes fuegos acaecidos 50 años atrás (44°-45° S). *Revista de Geografía Norte Grande* 39, 73-92.
- Sánchez-Jardón, L.; Acosta, B.; del Pozo, A.; Casado, M. A.; Ovalle, C.; Elizalde, H. F.; Hepp, C. and de Miguel, J. M., 2010.** Grassland productivity and diversity on a tree cover gradient in *Nothofagus pumilio* in NW Patagonia. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 137, 213-218.

Sánchez-Jardón, L., 2012. Bases ecológicas para implementar un sistema de uso silvopastoral en la región patagónica de Aysén, Chile. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Disponible en: <http://eprints.ucm.es/17764/>

Sánchez-Jardón, L.; Acosta-Gallo, B.; del Pozo, A.; Casado, M. A.; Ovalle, C. and de Miguel, J. M., 2014a. Variability of herbaceous productivity along *Nothofagus pumilio* forest-open grassland boundaries in northern Chilean Patagonia. *Agroforestry Systems* 88, 397-411.

Sánchez-Jardón, L.; del Pozo, A.; Casado, M. A.; Ovalle, C. and de Miguel, J. M., 2014b. Native and non-native herbaceous species dependence on tree cover in grazing systems from northern Chilean Patagonia. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 184, 41-50.

Tscharntke, T.; Klein, A. M.; Kruess, A.; Steffan-Dewenter, I. and Thies, C., 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management. *Ecology Letters* 8, 857-874.

Veblen, T. T.; Kitzberger, B. y Rebertus, A., 1996. Perturbaciones y dinámica de regeneración en bosques andinos del Sur de Chile y Argentina. In: Armesto, J. J., Villagrán, C., Arroyo, M. K. (Eds.), *Ecología de los bosques nativos de Chile*. Editorial Universitaria, Santiago de Chile.

Capítulo 13

SISTEMAS SILVOPASTORALES EN BOSQUES DE *Nothofagus antarctica* (G. Forst.) Oerst. Y *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser EN LA PATAGONIA SUR DE CHILE

Máximo Alonso¹, Andreas Schmidt² y Harald Schmidt³

RESUMEN

La vocación ganadera y forestal de la región de Magallanes y Antártica Chilena es indiscutible. Entre sus distintos tipos de bosque, aquellos de Ñirre (*Nothofagus antarctica*) y de Lengua (*Nothofagus pumilio*) constituyen un recurso importante para la ganadería regional por el alimento y abrigo que ofrecen al ganado.

Gran parte de estos bosques se encuentran en zonas de contacto con praderas, en terrenos ubicados a menos de 400 m de altitud y con pendientes menores al 30%, lo que los hace accesibles al pastoreo gran parte del año. A pesar de ello, las interacciones entre la estrata arbórea, herbácea y el componente animal no han sido suficientemente estudiadas, desconociéndose el real efecto del pastoreo sobre la regeneración del bosque. Este desconocimiento ha ocasionado que aún no exista una normativa que regule el uso silvopastoral de los bosques en la región.

Diversos proyectos han permitido estudiar los sistemas silvopastorales en bosques de ñirre y de lengua en Magallanes. Los resultados confirman el valor de estos bosques y demuestran que la presencia de una estrata arbórea produce un fuerte aumento en la disponibilidad de forraje, prolonga la curva de crecimiento de la pradera asociada a ésta e influye favorablemente en el comportamiento animal, no sólo por la mayor disponibilidad de alimento, sino también por las mejores condiciones ambientales que le permiten a los animales ahorrar energía que utilizarían en termorregulación, para destinarla a producción.

Los resultados también demuestran que especies herbáceas de alto valor forrajero, como *Dactylis glomerata*, *Trifolium repens*, *Holcus lanatus*, entre otras, se ven favorecidas por la protección que proporciona el dosel arbóreo, mientras que malezas de relevancia regional como *Hieracium pilosella* y *Rumex acetosella* son más frecuentes en condiciones de praderas abiertas.

La regeneración de la estrata arbórea está fuertemente influenciada por la radiación que llega al suelo del bosque. El pastoreo, por su parte, no elimina la regeneración de los árboles, pero retrasa su crecimiento por el fuerte ramoneo de los brotes de la temporada.

Un mayor estudio de los sistemas silvopastorales en Magallanes permitirá la formulación de pautas de manejo silvopastoral que se adecuen a la realidad regional, aumentando la productividad ganadera y forestal y la diversidad de bienes y servicios ecológicos, recuperando aquellos ecosistemas degradados y perpetuando los sistemas silvopastorales en la región.

Palabras clave: Silvopastoral, *Nothofagus*, Patagonia, Magallanes

1 Ingeniero Agrónomo, Ph. D. Instituto de Producción Animal, Universidad Austral de Chile maximo.alonso@uach.cl

2 Ingeniero Forestal, Dr. BIO+ Consultores Ltda.

3 Ingeniero Forestal, Dr.

SUMMARY

The Magallanes and Chilean Antarctica Region has a forestry and livestock vocation. Among its different types of forests, those of ñirre (*Nothofagus antarctica*) and lenga (*Nothofagus pumilio*) constitute an important resource for the regional livestock due to the food and protection that they offer to the cattle. An important part of these forests are at the contact zone with prairies, at sites located under 400 m of altitude and slopes up to 30%, what make them accessible to the cattle year around. However, tree, grass and animal interactions have not sufficiently studied, and the real effect of grazing on tree regeneration is not known yet. This is the reason why there are not regulations for the silvopastoral use of the forests at the region.

Different funded projects allowed studying silvopastoral systems on ñirre and lenga in Magallanes. Results confirm the great value of these forests and demonstrate that a tree cover increases the forage production and the growth curve of the prairie associated to it. The effect in the animal performance is favorable not only by an increase in the food availability, but also by the improved environmental conditions that allow animals to save the energy used for thermoregulation and destine it for production.

Results also demonstrate that high fodder value species as *Dactylis glomerata*, *Trifolium repens*, *Holcus lanatus*, among others, are favored by the protection by the tree canopy, whereas weeds of regional relevance as *Hieracium pilosella* and *Rumex acetosella* are more frequently found in open grasslands. Tree regeneration is strongly influenced by radiation at the ground level. Grazing does not suppress tree regeneration, but delays growth due a heavy browse of the regrowth of the season. Studies of silvopastoral systems in Magallanes would allow the formulation of silvopastoral schemes suitable to the local reality, increasing the forestry and livestock productivity as well as the diversity of ecological goods and services, restoring degraded ecosystems and perpetuating the silvopastoral systems at the region.

Keywords: Silvopastoral systems, *Nothofagus*, Patagonia, Magallanes

INTRODUCCIÓN

En la región de Magallanes y de la Antártica Chilena existen aproximadamente 3,2 millones de hectáreas destinadas a la actividad ganadera, siendo la producción ovina, que nace junto a la colonización de la Patagonia, la más representativa de la región. Esta actividad se desarrolla en forma extensiva y con técnicas de manejo marcadamente tradicionales. Algo similar ocurre con la ganadería bovina, introducida a la región en años posteriores y que, junto a la ganadería ovina, se sustenta en el pastoreo directo de las praderas naturales.

Según datos del Censo Agropecuario (INE, 2007) en la región existen 1.255 predios con actividad agropecuaria y forestal, y la masa ganadera alcanza a los 2.205.270 ovinos y 141.759 bovinos. Estas cifras dan cuenta de una disminución en los casi 3 millones de ovinos y un aumento en los 126.000 bovinos que habían en la región en 1975. Al año 2010 las exportaciones del sector pecuario, mayoritariamente carne y lana, alcanzaron los US\$ 65,3 millones.

Algunas estimaciones indican que desde el inicio de la colonización y hasta mediados del siglo pasado se eliminaron aproximadamente 300.000 ha de bosques mediante el uso del fuego, para habilitar terrenos para establecer praderas. Hoy estas praderas, por su alta productividad,

son fundamentales para la actividad ganadera en la región y cubren una superficie cercana a las 200.000 ha, principalmente en los sectores de Skyring, Río Rubens, Agua Fresca, Isla Riesco y en la costa del seno de Almirantazgo en Tierra del Fuego.

La actividad ganadera regional, sin embargo, no se limita únicamente a las praderas, sino que también aprovecha las condiciones de abrigo y el alimento que ofrecen los bosques ubicados en las zonas de contacto con el pastizal. Además, una parte de las praderas establecidas durante la colonización en las zonas de contacto con los bosques se cubrieron nuevamente con renovales de ñirre y de lenga, en una superficie que bordea las 100.000 ha.

En la actualidad, prácticamente la totalidad de estos bosques y renovales o bosques secundarios no están siendo manejados con criterios silvícolas y una gran parte de ellos está siendo sometida a un uso ganadero marginal. El uso para pastoreo de los bosques de ñirre y de lenga sin criterios silvopastorales pone en riesgo la conservación del bosque y subutiliza el potencial productivo de la pradera, lo que se traduce en menores beneficios económicos para los productores de Magallanes.

La implementación de esquemas de manejo silvopastoral adecuados a la realidad regional permitiría hacer estos bosques más productivos, mejorando la calidad de los productos madereros y ganaderos a obtener, así como perpetuar en el tiempo la provisión de otros innumerables bienes y servicios que proporcionan estos bosques a la región.

Bosques de Ñirre y de Lenga

Los bosques de ñirre (*Nothofagus antarctica* (G.Forst.) Oerst.) corresponden a ecosistemas xerofíticos con precipitaciones anuales entre 300 a 500 mm. Se desarrollan en una amplia gama de condiciones edafoclimáticas, desde suelos con problemas de drenaje a bajas y altas altitudes, sitios expuestos con sustratos inestables, depresiones frías, suelos secos y delgados, hasta las zonas de contacto con la estepa patagónica (Veblen *et al.*, 1996).

Sin embargo, aproximadamente el 60% de la superficie de estos bosques en la región se encuentra en terrenos ubicados a menos de 400 m de altitud y con pendientes menores al 30%, lo que los hace accesibles al pastoreo gran parte del año.

A pesar de lo anterior, los bosques de ñirre son considerados un subtipo forestal del tipo lenga y no existe una normativa que regule su manejo. En consecuencia, se está produciendo un deterioro paulatino de estos bosques, el que se refleja en la degradación de la estrata herbácea y en la dificultad para renovar la estrata arbórea, poniendo en riesgo la perpetuación de estos bosques.



Figura N° 1
GANADO VACUNO EN UN SISTEMA SILVOPASTORAL DE USO TRADICIONAL

La madera de los bosques de ñirre no se explota comercialmente, obteniéndose de ellos principalmente leña y postes para el autoconsumo en las estancias. Sin embargo, estos bosques son muy apreciados tanto en Chile como en Argentina por su uso ganadero y por su alto valor ecológico y paisajístico.

De acuerdo a la actualización del Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales de Chile realizado por CONAF en el año 2008, en la región los bosques de ñirre abarcan una superficie de 220.045 ha.

Los bosques de lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. & Endl.) Krasser) se encuentran entre el nivel del mar y los 2.000 msnm en un amplio rango de distribución por sobre los 400 mm de precipitación, formando bosques puros de gran extensión o asociados con ñirre (Veblen *et al.*, 1996). A diferencia de los bosques de ñirre, su madera se explota comercialmente en forma exitosa en la región.

A pesar de la importancia de los bosques de ñirre y de lenga, son pocos los estudios que se han realizado sobre ellos, por lo que poco se sabe de su dinámica, de sus procesos de regeneración, de los manejos silviculturales necesarios para estimular su establecimiento y desarrollo y de las densidades arbóreas requeridas para favorecer la producción de la estrata herbácea y el pastoreo.

Sistemas Silvopastorales

La actividad ganadera de la región se sustenta en la capacidad productiva de praderas naturales, las que en su mayoría constituyen ecosistemas frágiles debido a que presentan suelos delgados y de baja fertilidad, en zonas de baja pluviometría, vientos intensos y altas tasas de evapotranspiración.

La implementación de sistemas extensivos de producción ha sido acompañada, en muchos casos, con un deterioro de las praderas y la disminución de su capacidad sustentadora del ganado, debido a una utilización prolongada con cargas animales superiores a las óptimas (MINAGRI, 2012). Según el SAG (2003, 2004a y 2004b), un 61,5% de las praderas de la región presentan una condición productiva “pobre”.

Las praderas que sustentan la ganadería en la región se encuentran formando un mosaico con formaciones boscosas, principalmente de ñirre y de lenga (Figura N° 2). Esto se traduce en una presión talajera permanente sobre este tipo de bosques por parte del ganado y los animales silvestres (MINAGRI, 2012).

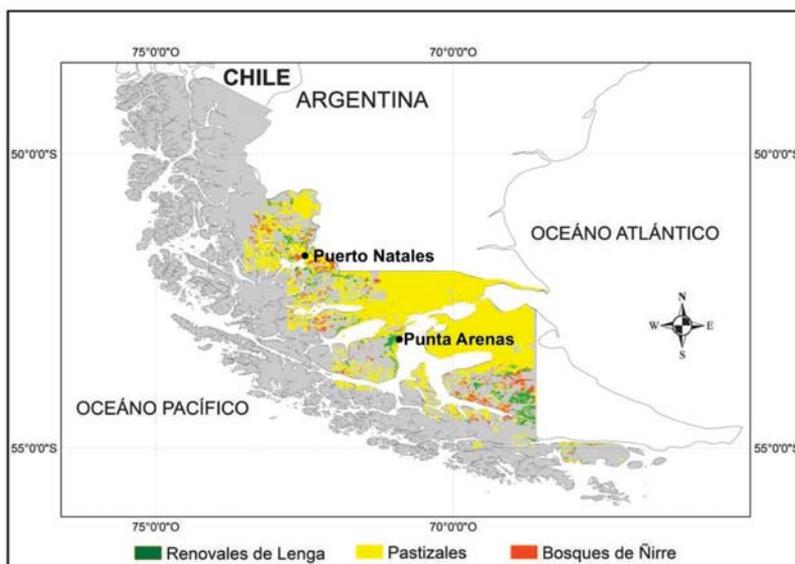


Figura N° 2
DISTRIBUCIÓN DE PASTIZALES Y BOSQUES DE ÑIRRE Y DE LENGA
EN LA REGIÓN DE MAGALLANES

Experiencias de manejo silvopastoral a nivel internacional (Bahamonde *et al.*, 2012; Barnes *et al.*, 2011; Benavides *et al.*, 2009; Peri, 2005; Peri, 2008; Peri, 2009) han demostrado que la presencia de una estrata arbórea produce un fuerte aumento en la disponibilidad de forraje, prolonga la curva de crecimiento de la pradera asociada a ésta e influye favorablemente en el comportamiento animal, no sólo por la mayor disponibilidad de alimento, sino también por las mejores condiciones ambientales que le permiten a los animales ahorrar energía, que de otro modo utilizarían en termorregulación, para destinarla a producción.

Otro de los efectos medidos es el ahorro significativo en el consumo de agua de bebida de los animales, debido a las condiciones ambientales favorables dentro del bosque. Sin embargo, existen pocos trabajos que aborden la ecología de los bosques de ñirre y de los renovales de ñirre y de lenga y su interacción con el ganado, siendo éste uno de los obstáculos para su manejo silvopastoral y el freno a su degradación.

Ensayos de manejo silvopastoral realizados en las provincias de Magallanes y de Última Esperanza, tanto en bosques de ñirre como de lenga (Schmidt, 2008; Schmidt *et al.*, 2013a y 2013b; Schmidt y Alonso, 2016), confirman lo valioso de estos bosques y las ventajas de su manejo con criterios silvopastorales.

Sin embargo, aún falta estudiar el sistema silvopastoral en forma integral, estudiar la dinámica bosque-pradera-ganado en cuanto al potencial productivo de la estrata herbácea, al ajuste estacional de cargas animales y a la regeneración natural del bosque, para desarrollar esquemas de manejo que permitan asegurar la provisión de bienes y servicios y la perpetuación de los bosques Magallánicos.

La implementación de sistemas silvopastorales en los bosques de ñirre y de lenga se traduciría en múltiples beneficios, como son la incorporación de extensas superficies subutilizadas a la actividad económica regional, la diversificación productiva de los bosques y el aumento de la superficie de praderas disponibles para la ganadería.

OBJETIVOS

El trabajo que origina este capítulo tuvo por objetivo el estudio de la interacción entre los componentes arbóreo-arbustivo, pratense y animal, en los bosques de ñirre y de lenga de la región de Magallanes y Antártica Chilena, de modo de generar el conocimiento necesario para formular pautas de manejo silvopastoral que se adecuen a la realidad regional, aumentando la productividad ganadera y forestal y la diversidad de bienes y servicios ecológicos, recuperando ecosistemas degradados y perpetuando los bosques de ñirre y lenga de la región.

MATERIAL Y MÉTODO

Descripción de los Ensayos

El estudio se llevó a cabo en 5 diferentes predios en un transecto de aproximadamente 80 km entre el Río Rubens por el Sur y la Península de Antonio Varas por el Norte (Figura N° 3).

De Sur a Norte, el ensayo en lenga se estableció en el predio Monte Alto, mientras que los ensayos en ñirre fueron establecidos en los predios Tranquilo, El Palenque, Los Cerritos y Antonio Varas. En cada uno de los ensayos se evaluaron distintos componentes del sistema silvopastoral.

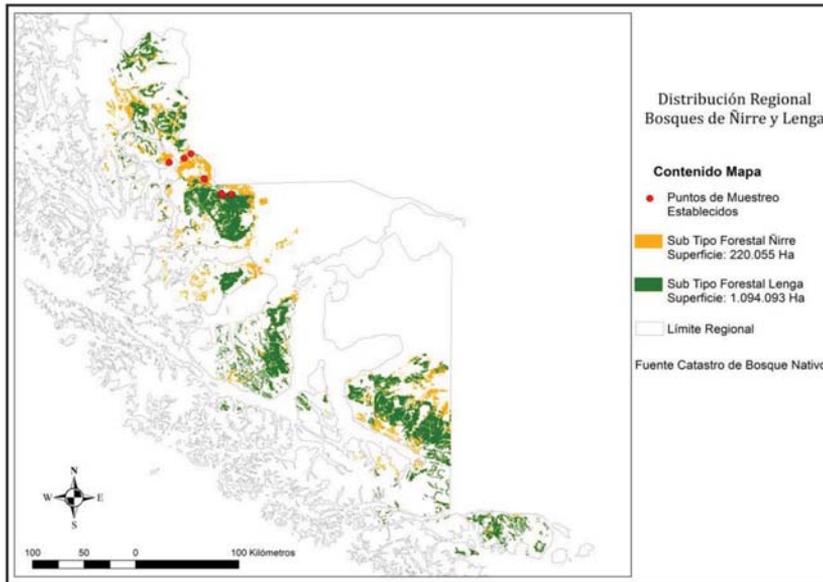


Figura N° 3
UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO

- **Monte Alto**

Corresponde a un renewal puro de lenga de 60 años de edad, que no ha sido sometido a intervenciones de manejo silvicultural, con una densidad de 7.300 árboles por hectárea. La altura promedio de los árboles del renewal alcanza los 14 m, mientras que los individuos en la fase fustal alcanzan los 22 m. Este renewal se originó después de que el bosque original fuera cosechado durante la década de los 50.

En Monte Alto se establecieron 4 tratamientos en el año 2009: Un testigo, un raleo a 1.000 árboles ha⁻¹, un raleo a 600 árboles ha⁻¹ y una pradera sin árboles. En ellos se estudió el efecto de la cobertura arbórea en la estrata herbácea. De acuerdo a los datos entregados por una estación meteorológica ubicada en el ensayo, las precipitaciones bordean los 600 mm anuales.

- **Tranquilo**

Corresponde a un bosque puro de ñirre, con una altura de los árboles dominantes de 13 m, históricamente sometido a pastoreo. En el predio se establecieron cuatro exclusiones de 900 m² cada una en el año 2006, para niveles de cobertura arbórea alta (>75%), media (51-75%) y baja (26-50%) y sin cobertura arbórea.

En este ensayo se evaluó el estado de la regeneración de ñirre bajo distintos niveles de cobertura arbórea, con y sin ganado. En las zonas bajo pastoreo, se instalaron exclusiones individuales (jaulas) para estudiar la regeneración de los árboles. De acuerdo a la información climática disponible en la base de datos de WorldClim (www.worldclim.org), las precipitaciones en el sector donde se ubica el ensayo bordean los 431 mm anuales.

- **El Palenque**

Corresponde a un sector con bosques puros de ñirre, con una altura de los árboles dominantes de 8 m. Gran parte de los bosques en esta área fueron quemados durante la primera mitad del siglo XX para habilitar praderas para la ganadería.

Actualmente, el sitio del ensayo es sometido a pastoreo por ganado bovino y guanacos. De acuerdo a la información climática disponible en la base de datos de WorldClim (www.worldclim.org), las precipitaciones en el sector bajo estudio alcanzan los 416 mm anuales.

- **Los Cerritos**

Corresponde a un sector con bosques puros de ñirre, con una altura de los árboles dominantes de 5 m. En el pasado, este predio ha sido sometido a pastoreo ovino y bovino. En la actualidad se pastorea con ganado bovino.

En el predio se han realizado distintos manejo históricos, por lo que es posible encontrar renovales en estado de latizal, sectores de bosque abierto con coberturas arbóreas menores a 30%, praderas arboladas y sectores con fajas. De acuerdo a la información climática disponible en la base de datos de WorldClim (www.worldclim.org), las precipitaciones en el sector donde se ubica el ensayo alcanzan los 398 mm anuales.

- **Antonio Varas**

Corresponde a un renoval denso de ñirre, con una abundante estrata arbustiva, que se originó a partir de incendios en la primera mitad del siglo XX. En el año 2005 se establecieron cuatro tratamientos de 1 ha: Un testigo, una tala rasa, fajas alternas de ancho variable y un raleo en el que se eliminó el 40% del área basal, bajando de 1.830 a 560 árboles por hectárea, dejando un 40% de cobertura arbórea.

Desde su establecimiento el año 2005, la superficie de este ensayo no ha sido sometida a pastoreo. De acuerdo a la información climática disponible en la base de datos de WorldClim (www.worldclim.org), las precipitaciones en el sector donde se ubica el ensayo bordean los 486 mm anuales.

Descripción del Suelo en los Ensayos

Los suelos de los sitios de muestreo se desarrollan en un relieve plano a ligeramente inclinado y han evolucionado a partir de materiales fluvió-glacio-volcánicos. En general, estos suelos se caracterizan por presentar un drenaje imperfecto provocado por un abrupto cambio textural o bien por la presencia de capas compactadas entre los 40 y 60 cm de profundidad. El subsuelo (Horizontes C), generalmente compacto, está constituido por till glacial. Figuras redoximórficas características de drenajes impedidos son frecuentes de observar en los horizontes sub-superficiales C. Esto último, es más notorio en las localidades de mayor precipitación.

Los perfiles de suelos en los sitios de muestreo son similares en cuanto a los horizontes y sus espesores promedio. En los distintos sitios de muestreo los horizontes A y Ap son poco profundos, variando entre los 5 y 8 cm de espesor. Los horizontes sub-superficiales AB o B son poco evolucionados (Bw), presentan espesores entre 20 y 35 cm, y generalmente constituyen el

límite para el desarrollo radicular de la vegetación arbórea. Las texturas en general varían desde franco a franco-arenosas, aumentando en el caso de Antonio Varas el contenido de arcillas en profundidad (horizonte C). Este tipo de texturas hace inferir que los suelos presentan una buena permeabilidad.

Los suelos son fuertemente a moderadamente ácidos presentando valores de pH (H₂O 1:1) entre 4,6 y 6,1. El contenido de materia orgánica del suelo sigue una tendencia normal con una marcada disminución en profundidad en todas las situaciones y coberturas analizadas. Diferencias entre los sitios de estudio son perceptibles al comparar condiciones más áridas (Palenque y Cerritos) con las de mayor precipitación efectiva (Tranquilo y Antonio Varas). En estas últimas, los contenidos de materia orgánica en superficie son notablemente mayores.

Los sectores de Antonio Varas y Tranquilo presentan los mayores contenidos de NPK aprovechables, preferentemente en los primeros 10 cm de suelo y con tendencias a una disminución en profundidad. Las coberturas medias y bajas tienden a presentar mayores concentraciones de NPK aprovechables. El N aprovechable sigue una tendencia en función de los contenidos de materia orgánica. El N aprovechable en los ensayos corresponde a un nivel medio (25-50 ppm). En términos de P aprovechable, éste tiende a presentarse mayoritariamente en niveles bajos (7-15 ppm) a muy bajos (<7 ppm). Sólo en los primeros 10 cm del suelo en Tranquilo, el P aprovechable está en cantidades adecuadas para el óptimo crecimiento de la vegetación. El K aprovechable no es un elemento limitante, encontrándose en general niveles altos de este elemento (>50 ppm).

Descripción de la Cobertura Arbórea y Radiación Global en los Ensayos

Cada sitio de muestreo se caracterizó en términos de la cobertura de copas y la radiación global disponible bajo el dosel arbóreo (Figura N° 4). La cobertura arbórea y la radiación disponible bajo el dosel arbóreo se determinaron mediante el uso de fotografías hemisféricas.



Figura N° 4

FOTOGRAFÍAS HEMISFÉRICAS EN RALEO ANTONIO VARAS (IZQUIERDA) Y FAJAS CERRITOS (DERECHA)

Las fotografías se tomaron en forma sistemática a intervalos de 30 m en transectos paralelos separados 20 m unos de otros. Las fotografías se tomaron a 1,2 m de altura desde el suelo, en condiciones de cielo cubierto siguiendo los protocolos del fabricante del equipo CoolPix 5400, Nikon®, Japan (Delta-T Devices Ltd., United Kingdom). Posteriormente, las

fotografías fueron procesadas mediante el software Hemiview® 2.1 (Delta-T Devices Ltd., United Kingdom). La cobertura arbórea corresponde a la superficie de dosel proyectada verticalmente por unidad de superficie del suelo. El cielo visible corresponde a la proporción de cielo visible en un determinado sector del cielo relativo a su contribución al hemisferio celeste completo. La radiación global corresponde a la suma de la fracción de radiación difusa e indirecta que llega a cada sitio respecto a la que llegaría a un sitio equivalente a cielo abierto, teniendo en cuenta la latitud del sitio (Valladares y Guzmán, 2006).

Bosques de Ñirre

- Caracterización de la Regeneración de la Estrata Arbórea

Regeneración Natural en Fajas

En un sector con Fajas del Predio Los Cerritos, se establecieron transectos cada 30 m en los que se utilizaron cuadrantes de muestreo de 1 m² cada 6 m en el interior del bosque y en la orilla, centro y extremo opuesto de las fajas, siguiendo la dirección del viento según la descripción de la Figura N° 5. A partir de los resultados obtenidos, se logró identificar una tendencia en la ocurrencia de la regeneración natural de ñirre en sectores abiertos.

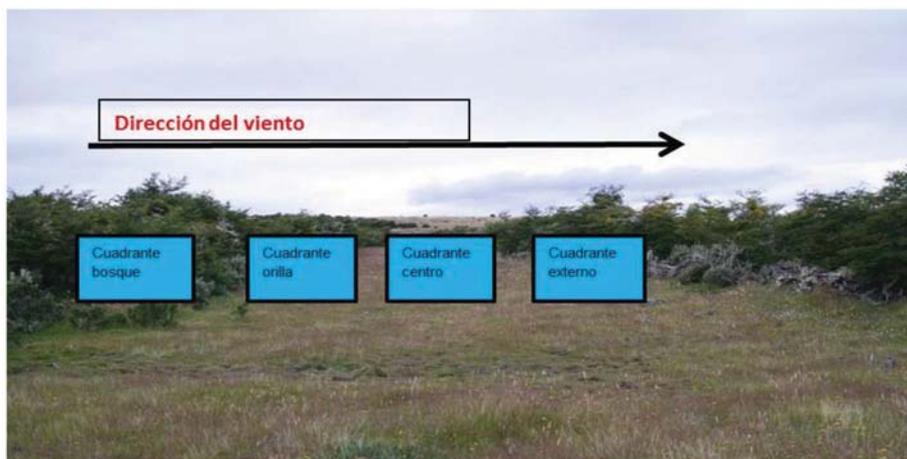


Figura N° 5
MUESTREO DE REGENERACIÓN EN SECTOR CON FAJAS

Regeneración en Bosques

Se realizaron barridos en todos los sitios de muestreo, tanto en sectores de raleo como de tala rasa, en busca de regeneración natural y tocones con rebrote. En cada punto donde se verificó la presencia de regeneración, se tomó una fotografía hemisférica, se georreferenció y se registraron las condiciones de cobertura arbórea y radiación global bajo las cuales se establece y prospera la regeneración (Figura N° 6).



Figura N° 6
REGENERACIÓN NATURAL EN FAJAS (IZQUIERDA) Y EN RALEO (DERECHA)

Regeneración en Función de los Vientos Predominantes

La región de Magallanes está sometida a intensos vientos cuya dirección predominante es el Oeste. De acuerdo al estudio sobre la Matriz Energética de Magallanes (CERE, 2015), los vientos alcanzan velocidades de 6 m s^{-1} a 20 m sobre el nivel del suelo (msns), en las cercanías de Puerto Natales. De acuerdo a los resultados obtenidos en Programa de Investigación Ensayo de Manejo Silvopastoral en Renovales de Lengua (Schmidt *et al.*, 2013b), la dirección sería predominantemente Sur Oeste, con velocidades promedio de $2,3 \text{ m s}^{-1}$ a 2 msns . Esto es de gran importancia para entender el patrón de dispersión de semillas y regeneración.

- **Caracterización de la Estrata Arbustiva**

Para caracterizar la estrata arbustiva, en cada uno de los ensayos se establecieron 4 parcelas de 600 m^2 ($20 \times 30 \text{ m}$), distribuidas en forma sistemática a lo largo de la superficie. En cada parcela se registró la cantidad y la altura de las distintas especies arbustivas presentes.

- **Caracterización de la Estrata Herbácea**

En cada sector estudiado se realizaron muestreos sistemáticos de la estrata herbácea mediante transectos en los cuales se establecieron cuadrantes de muestreo de 1 m^2 cada 15 m . En cada cuadrante se registró el porcentaje de suelo desnudo, mantillo y cubierta vegetal. Adicionalmente, se determinó la composición botánica de la estrata herbácea de cada cuadrante. Para determinar la productividad se cosecharon los cuadrantes y se determinó su peso fresco en terreno. Las muestras fueron secadas en un horno a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta alcanzar peso constante, para determinar su contenido de humedad y así determinar el rendimiento en materia seca (MS) de la estrata herbácea en cada uno de los ensayos (Figura N° 7).



Figura N° 7

CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRATA HERBÁCEA Y COSECHA DE BIOMASA PARA ESTIMAR RENDIMIENTO

- Establecimiento de Exclusiones

En los ensayos bajo pastoreo se instalaron exclusiones individuales (jaulas de 1 m²), tanto para proteger la regeneración como la pradera de la defoliación por parte de los animales. Estas jaulas se utilizaron para medir el crecimiento anual de los árboles y la producción de MS de la pradera (Figura N° 8).



Figura N° 8

JAULAS INDIVIDUALES PARA PROTECCIÓN DE REGENERACIÓN (IZQUIERDA) Y PRADERA (DERECHA)

Renovales de Lengua

- Caracterización del Efecto del Raleo del Dosel Arbóreo en la Radiación Disponible

La densidad y distribución de la cobertura de copas influye directamente sobre la cantidad, calidad y distribución espacial y temporal de la radiación solar disponible a nivel del suelo, la que a su vez influye en la regeneración del bosque y en el rendimiento y composición de la estrata herbácea.

Para analizar el efecto del raleo de los árboles sobre la cobertura del dosel arbóreo y el crecimiento de la estrata herbácea, se tomaron en forma sistemática 10 fotografías hemisféricas en cada tratamiento. Las fotografías permitieron cuantificar el porcentaje de cobertura, el índice área foliar y la radiación global disponible para el desarrollo de la pradera en cada tratamiento.

Las fotografías hemisféricas fueron analizadas mediante el software HemiView® y los resultados fueron procesados con el software estadístico Spss 13.0. En el Cuadro N° 1 se entregan los resultados del análisis de las fotografías hemisféricas obtenidas en los distintos ensayos.

- Caracterización de la Estrata Herbácea

Dada la heterogeneidad del área de estudio respecto a la estrata herbácea, se estableció una metodología sistemática de muestreo. En cada tratamiento se determinaron 3 sectores representativos. En cada sector se estableció un transecto de 20 m de largo sobre el cual se distribuyeron 2 cuadrantes de 0,25 m² a los 5 y 15 m.

En cada cuadrante se evaluó visualmente la presencia de suelo desnudo, mantillo y material vegetal, correspondiente a la estrata herbácea. La estrata herbácea se caracterizó en función del porcentaje de cobertura de cada especie presente.

La producción de materia seca de la estrata herbácea fue evaluada a partir de la cosecha del material vegetal de cada uno de los cuadrantes en los que se evaluó la cobertura herbácea. El material recolectado fue pesado en fresco en una balanza de campo. Posteriormente fue secado a 65° C en una estufa de aire forzado hasta que alcanzó un peso constante y pesado nuevamente para determinar su contenido de humedad y rendimiento de MS.

Con el objetivo evaluar el potencial de la estrata herbácea del sotobosque del renoval manejado con fines silvopastorales en el proceso de engorda de ganado, al final del estudio, el ensayo en Monte Alto se sometió a pastoreo con 5 vaquillas de raza Hereford. Los animales ingresaron al ensayo el día 19 de enero de 2013 y se retiraron el 18 de febrero del mismo año.

RESULTADOS

Bosques de Ñirre

- Cobertura Arbórea de los Sectores Estudiados

Los sectores estudiados corresponden mayoritariamente a bosques abiertos (26-50% cobertura arbórea) y semidensos (51-75% de cobertura arbórea). Algunos de los sectores estudiados, si bien presentan árboles y en algunos casos abundante regeneración, no clasifican en la categoría de bosques, ya que presentan coberturas arbóreas muy bajas (<20%), constituyendo praderas arboladas tipo sabanas (Figura N° 9). Es precisamente en las condiciones más abiertas donde se concentra la actividad ganadera.



Figura N° 9
BOSQUE SEMIDENSO (IZQUIERDA), ABIERTO (CENTRO) Y PRADERA ARBOLADA (DERECHA)

En el Cuadro N° 1 se entregan los resultados de la cobertura arbórea, cielo visible y radiación global disponible bajo dosel (GSF) de los sectores bajo estudio.

Cuadro N° 1
COBERTURA ARBÓREA, CIELO VISIBLE Y RADIACIÓN GLOBAL DISPONIBLE BAJO DOSEL EN LOS SECTORES ESTUDIADOS

Sector	Categoría*	Cobertura arbórea (%)	Cielo Visible (%)	GSF (%)
Tranquilo – Densidad Alta	Bosque semidenso	54,1	21,5	26,9
Tranquilo – Densidad Media	Bosque abierto	44,1	27,9	37,4
Tranquilo – Densidad Baja	Bosque abierto	32,3	58,7	59,4
Tranquilo – Sin cobertura	Pradera arbolada	0,2	91,0	99,0
Antonio Varas – Raleo	Bosque abierto	40,1	45,1	49,8
Antonio Varas – Faja	Pradera arbolada	16,8	70,9	75,6
Antonio Varas – Tala rasa	Pradera arbolada	1,6	91,5	96,4
Antonio Varas – Testigo	Bosque semidenso	57,4	28,4	31,7
Cerritos Faja	Pradera arbolada	0,7	84,3	95,2
Cerritos Ralo	Pradera arbolada	0,8	84,7	94,9
Cerritos Inter-Faja	Bosque abierto	47,4	37,2	39,0
Palenque	Bosque abierto	38,9	42,1	46,9

* Bosque semidenso: 51-75% cobertura arbórea;
 Bosque abierto: 26-50% cobertura arbórea;
 Pradera arbolada tipo sabana: 0-25% cobertura arbórea

- **Estabilidad del Dosel Arbóreo Post Raleo**

La estabilidad del dosel arbóreo post raleo se estudió en el ensayo de Península Antonio Varas. Tras casi 10 años desde el establecimiento del ensayo no se encontraron árboles muertos o quebrados por acción del viento. Tampoco se encontraron diferencias significativas en la cobertura del dosel arbóreo y por ende en la radiación global disponible entre los años 2005 y 2015 (Cuadro N° 2).

Cuadro N° 2
ESTABILIDAD DEL DOSEL ARBÓREO EN ENSAYO RALEO

Bosque	Densidad (arb ha⁻¹)	Cobertura de Copas (%)	Radiación Global Disponible (%)
Bosque original	1.830	57	36,7
Raleo año 2005	560	41	48,2
Raleo año 2015	554	40	49,8

* La radiación global disponible fue medida a 1,2 m del suelo

- **Riqueza de Especies Herbáceas**

La pradera resultó ser la condición con mayor riqueza, con un total de 30 de especies herbáceas. En la estrata herbácea del bosque abierto y del bosque semidenso se encontraron un total de 24 y 23 especies, respectivamente (Cuadro N° 3).

- **Cobertura de Especies Herbáceas**

El porcentaje de suelo desnudo, mantillo y cobertura de las distintas especies herbáceas asociadas a los bosques de ñirre se muestra en el Cuadro N° 3. Sólo se detectó suelo desnudo en el bosque semidenso (1,56%). El mantillo, que corresponde a material en descomposición, alcanzó un 10,6, 13,9 y 6.7% de la superficie en el bosque semidenso, bosque abierto y pradera, respectivamente.

En el bosque semidenso, la mayor cobertura está dada por *Trifolium repens* (17,6%), *Blechnum penna-marina* (15,3%) y *Festuca rubra* (11,9%). Otras especies de importancia forrajera presentan baja cobertura, como es el caso de *Festuca arundinacea* (2,8%), *Holcus lanatus* (2,5%) y *Festuca magellanica* (2,1%).

En bosques abiertos *Trifolium repens* representa el 20,2% de la cobertura vegetal. Otras especies de valor forrajero son *Festuca arundinacea* (8,1%), *Holcus lanatus* (6,9%) y *Festuca magellanica* (3,2%).

En praderas abiertas, la cobertura herbácea está dominada por *Festuca arundinacea* (28,5%). Con menor cobertura destacan *Trifolium repens* (9,8%), *Festuca rubra* (6,7%), *Agrostis spp.* (4,6%), *Festuca magellanica* (3,1%) y *Holcus lanatus* (2,6%). Un aspecto importante es el alto nivel de cobertura que alcanza *Hieracium pilosella* (7,9%) en la pradera.

Al analizar la cobertura de especies herbáceas según condición y valor forrajero, se puede apreciar que aquellas especies de mejor calidad nutricional presentan una mayor cobertura en bosques abiertos. Tal es el caso de *Trifolium repens*, *Dactylis glomerata*, *Holcus lanatus* y *Poa pratensis* (Figura N° 10). En condición de bosque abierto es mayor la cobertura de especies deseables, desde el punto de vista forrajero y menor la cobertura de malezas de importancia en la región, existe una menor cobertura de malezas de importancia, como es el caso de *Hieracium pilosella*, *Hieracium patagonicum* y *Rumex acetosella*, las que se encuentran mayoritariamente en praderas más expuestas. Por su parte *Blechnum penna-marina* tiene una mayor cobertura en condiciones de mayor sombra en bosques semidensos (Figura N° 11).

Cuadro N° 3
COBERTURA DE ESPECIES HERBÁCEAS ASOCIADA A BOSQUES DE ÑIRRE

Especie Herbácea	Bosque Semidenso (%)	Bosque Abierto (%)	Pradera (%)
<i>Acaena magellanica</i>	2.31	2.85	1.67
<i>Acaena pinnatifida</i>	1.25	0.62	0.24
<i>Achillea millefolium</i>	0.31	0.38	2.43
<i>Adenocaulon chilense</i>	1.25	1.46	0.10
<i>Agrostis magellanica</i>	0	0	4.57
<i>Baccharis magellanica</i>	3.44	0	2.00
<i>Berberis buxifolia</i>	0.75	0.65	0.29
<i>Berberis microphylla</i>	0.13	0	0
<i>Blechnum penna marina</i>	15.31	11.35	0.14
<i>Bromus coloratus</i>	0	0.19	0.95
<i>Carex gayana</i>	0.94	0	0
<i>Carex macloviana</i>	0	0	0.10
<i>Cerastium arvense</i>	0	0	1.62
<i>Dactylis glomerata</i>	0	2.12	0.71
<i>Empetrum rubrum</i>	0	0	0.24
<i>Escallonia rubra</i>	0	0	0.71
<i>Festuca arundinacea</i>	2.81	8.12	28.48
<i>Festuca magellanica</i>	2.06	3.19	3.10
<i>Festuca rubra</i>	11.88	4.62	6.67
<i>Gaultheria mucronata</i>	5.63	7.35	0.48
<i>Gentianella magellanica</i>	0	0.12	0.24
<i>Gunnera magellanica</i>	0.31	3.00	0
<i>Hieracium patagonicum</i>	0.31	3.54	8.71
<i>Hieracium pilosella</i>	6.56	0.19	7.86
<i>Holcus lanatus</i>	2.50	6.92	2.62
<i>Hypochoeris radicata</i>	0	0.69	0
<i>Luzula alopecurus</i>	0	0	0.29
<i>Musgo spp.</i>	0	0.19	0
<i>Nothofagus antarctica</i>	0.94	0.15	0
<i>Osmorhiza chilensis</i>	5.69	0.46	0
<i>Phleum commutatum</i>	0.06	0	1.05
<i>Poa pratensis</i>	0	3.62	2.52
<i>Rumex acetosella</i>	0.50	0	0.90
<i>Senecio patagonicus</i>	0	0	0.95
<i>Taraxacum officinale</i>	5.31	4.08	2.24
<i>Trifolium repens</i>	17.56	20.23	9.81
<i>Trifolium spadiceum</i>	0	0	1.57



Dactylis glomerata



Trifolium repens



Holcus lanatus

Figura N° 10
ESPECIES DE ALTO VALOR FORRAJERO



Hieracium pilosella



Rumex acetosella



Blechnum penna-marina

Figura N° 11
MALEZAS DE IMPORTANCIA REGIONAL

- Frecuencia de Especies Herbáceas

La frecuencia de especies varía en forma significativa de acuerdo a la cobertura del dosel arbóreo.

En los bosques semidensos, las especies más frecuentes son *Blechnum penna-marina* y *Trifolium repens*, las que están presentes en 62,5% de los cuadrantes muestreados. *Acaena magellanica* y *Taraxacum officinale*, dos importantes malezas, están presentes en un 50% de los puntos de muestreo. *Osmorhiza chilensis* tiene una frecuencia de un 37,5%. Dentro de las especies con valor forrajero, destacan *Festuca rubra* y *Holcus lanatus* con una frecuencia de 43,8% y 18,8%, respectivamente.

En los bosques abiertos la especie más frecuente es *Trifolium repens*, presente en un 61,5% de los puntos de muestreo. Otras especies de valor forrajero son *Festuca arundinacea* y *Festuca rubra*, las que se encuentran con una frecuencia de 38,5% y 30,8%, respectivamente. *Holcus lanatus* y *Dactylis glomerata* están presentes sólo en un 23,1% y 7,7% de los cuadrantes muestreados. Por el contrario, las malezas *Blechnum penna-marina*, *Acaena magellanica*, *Taraxacum officinale* y *Hieracium patagonicum* tienen una frecuencia de 46,2%, 34,6%, 34,6% y 30,8%, respectivamente. Por su parte, *Hieracium pilosella*, maleza de creciente importancia en la región, está presente solo en 3,8% de los puntos de muestreo.

En las praderas abiertas muestreadas las especies forrajeras de mayor frecuencia son *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens*, *Festuca rubra*, *Festuca magellanica* y *Dactylis glomerata*, con 85,7%, 61,9%, 28,6%, 14,3%, y 9,5%, respectivamente.

Las malezas más frecuentes son *Hieracium patagonicum*, *Hieracium pilosella*, *Taraxacum officinale*, *Acaena magellanica* y *Rumex acetosella* con un 66,7%, 33,3%, 33,3%, 23,8% y 23,8%, respectivamente. Cabe hacer notar la alta frecuencia de *Hieracium pilosella* y *Rumex acetosella*, dos malezas cuya importancia ha ido en aumento en la región.

- Producción de Materia Seca de la Estrata Herbácea

El rendimiento de MS de la estrata herbácea en los distintos tratamientos se muestra en la Figura N° 12. El bosque semidenso produjo el equivalente a 1.131 kg ha⁻¹ MS. El bosque abierto y la pradera alcanzaron los 1.842 y 1.834 kg ha⁻¹ MS, respectivamente, siendo esta diferencia no significativa.

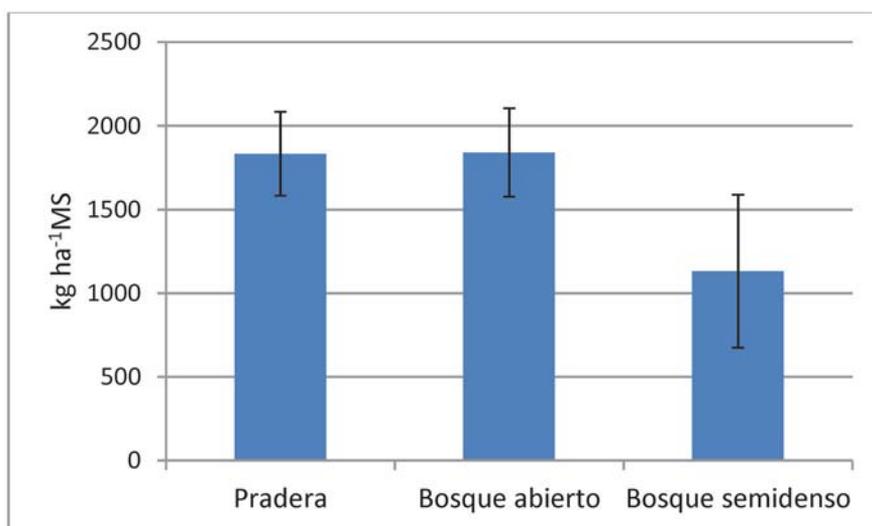


Figura N° 12

RENDIMIENTO DE LA ESTRATA HERBÁCEA EN DIFERENTES CONDICIONES DE COBERTURA ARBÓREA

- Riqueza y Frecuencia de Especies Arbustivas

En términos de riqueza de especies, en el bosque abierto, la pradera no sometida a pastoreo y la pradera pastoreada se identificaron 9, 8 y 3 especies arbustivas, respectivamente. Las especies arbustivas más frecuentes en un bosque abierto son *Gaultheria mucronata* (74,5%), *Berberis microphylla* (10,9%), *Nothofagus antarctica* (7,6%), *Senecio patagonicus* (3,9%), *Chiliodendron diffusum* (1,9%), *Maytenus magellanica* (0,6%), *Ribes magellanicum* (0,3%), *Escallonia rubra* (0,2%) y *Discaria chacaye* (0,03%).

En una pradera no sometida a pastoreo, las especies más frecuentes son *Gaultheria mucronata* (95,1%), *Berberis microphylla* (2,3%), *Nothofagus antarctica* (1,4%), *Chiliodendron diffusum* (0,8%), *Discaria chacaye* (0,2%), *Ribes magellanicum* (0,2%), *Embothrium coccineum* (0,03%) y *Escallonia rubra* (0,03%).

Por último, las especies más frecuentes en una pradera pastoreada son *Berberis microphylla* (51,7%), *Nothofagus antarctica* (33,1%) y *Chiliodendron diffusum* (15,2%). Cabe notar la alta frecuencia de regeneración natural de ñirre en una condición de pradera bajo pastoreo.

- **Efecto de Cobertura Arbórea y Radiación Solar sobre la Regeneración de Ñirre**

A pesar de la abundante producción de semillas observada en los árboles, durante las dos temporadas de medición no se encontraron bancos de plantas en los bosques semidensos ni en gran parte de los bosques abiertos. Estos resultados contrastan con lo observado en los sectores más abiertos, donde se encontró abundante regeneración de ñirre en distintas fases de desarrollo. De acuerdo a los resultados obtenidos, la ocurrencia de regeneración en los sectores estudiados está supeditada a la existencia de semilleros cercanos y a la disponibilidad de abundante radiación solar (Figura N° 13).

Los resultados obtenidos a partir de fotografías hemisféricas tomadas en 825 individuos provenientes de regeneración natural, indican que este tipo de regeneración en el caso del ñirre ocurre en sectores en los cuales, aparte de existir aportes de semillas, la radiación global disponible supera el 50%.

Esto concuerda con la clasificación de ñirre como una especie intolerante a la sombra. En general, estas condiciones de radiación se dan bajo coberturas arbóreas menores al 40%, ya sea en la periferia del bosque o en sectores de pradera (Figuras N°14 y N° 15).



Figura N° 13
SECTORES DONDE SE ENCUENTRA LA REGENERACIÓN DE ÑIRRE
EN CONDICIONES DE ALTA RADIACIÓN DISPONIBLE

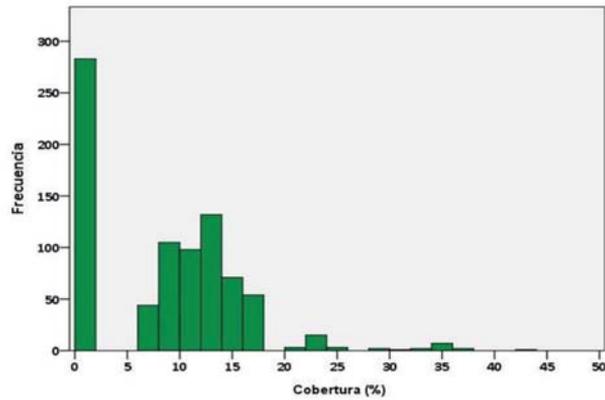


FIGURA N° 14
OCURRENCIA DE REGENERACIÓN DE ÑIRRE
EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DE COBERTURA ARBÓREA

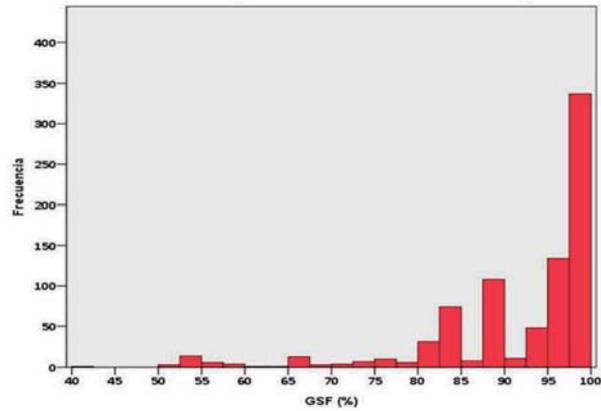


Figura N° 15
OCURRENCIA DE LA REGENERACIÓN DE ÑIRRE
EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DE RADIACIÓN GLOBAL DISPONIBLE

A pesar de que en el bosque contiguo a las fajas no se encontró regeneración, la densidad de la regeneración en las fajas osciló entre 206.470 y 24.706 plantas ha⁻¹, en función de la cercanía a los árboles semilleros y de la dirección del viento (Figura N° 16).



Figura N° 16
SECTORES DONDE SE ENCUENTRA LA REGENERACIÓN DE ÑIRRE

La altura promedio de los individuos no es un buen indicador del crecimiento de la regeneración en sectores donde hay pastoreo, ya que prácticamente la totalidad de las plantas de ñirre evaluadas presentó ramoneo. En el Cuadro N° 4 se indica la variación espacial de la regeneración a lo ancho de las fajas.

Cuadro N° 4
DENSIDAD DE LA REGENERACIÓN Y ALTURA PROMEDIO DE LAS PLANTAS EN LAS FAJAS

Posición	Densidad (plantas ha ⁻¹)	Desviación Estándar	Altura Promedio (cm)
Al interior del bosque	0	0	-
Extremo de la faja	200.588	261.569	9,2
Centro de la faja	57.647	89.759	11,0
Extremo opuesto faja	24.706	58.000	8,3

En base a 26 transectos, con 4 parcelas de regeneración de 1 m² cada una

- Ramoneo y Protección de la Regeneración

En sectores con abundante pastoreo de ganado es difícil encontrar regeneración sin daño por ramoneo. En las exclusiones o jaulas, el crecimiento de la regeneración a inicios de febrero alcanzó los 17,5 cm en promedio.

En los sectores donde a la fecha de las mediciones aún no se había introducido el ganado, el crecimiento de la regeneración fuera de las jaulas fue en promedio 5 cm menor al crecimiento en las jaulas, debido al ramoneo por liebres.

Después del ingreso del ganado, la regeneración que se encontraba fuera de las jaulas de exclusión perdió prácticamente la totalidad del crecimiento conseguido en la temporada, quedando a una altura de 4 a 6 cm, independientemente de la edad de la planta (Figura N° 17).



Figura N° 17
DAÑO POR RAMONEO EN PLANTAS DE ÑIRRE

Renovales de Lengua

- Efectos del Raleo del Dosel Arbóreo en la Radiación Disponible

La radiación solar disponible a nivel del suelo es inversamente proporcional a la cobertura de copas, la que depende de la densidad arbórea en los tratamientos.

Es así como, la cobertura de copas que en el Testigo con 7.300 árboles ha⁻¹ alcanza un 49 %, disminuyó a un 32 % en el tratamiento de Raleo a 1.000 árboles ha⁻¹ y a un 12 % en el Raleo a 600 árboles ha⁻¹ (Cuadro N° 5).

El índice de área foliar por su parte, disminuyó de 1,55 m² m⁻² en el Testigo a solo 0,51 m² m⁻² en el Raleo a 600 árboles por hectárea.

Así, la radiación global disponible a nivel del suelo, respecto a la radiación disponible sobre el dosel arbóreo, aumentó desde un 23 % en el Testigo a un 46 % en el Raleo con 1.000 árboles ha⁻¹ y a 62 % en el Raleo con 600 árboles ha⁻¹.

Cuadro N° 5
RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LAS FOTOGRAFÍAS HEMISFÉRICAS PARA CADA TRATAMIENTO

Tratamiento	Cobertura de Copas (%)	Índice de Área Foliar (m ² m ⁻²)	Cielo Visible (%)	Radiación Global (%)
Testigo 7.300 arb ha ⁻¹	49 a	1,55 a	22 a	23 a
Raleo 1.000 arb ha ⁻¹	32 b	0,77 b	41 b	46 b
Raleo 600 arb ha ⁻¹	12 c	0,51 c	51 c	62 c

Las letras indican diferencias significativas entre tratamientos usando el test de Tukey p<0,05

- Grado de Cobertura Herbácea

El mayor porcentaje de suelo desnudo y de mantillo (material vegetal muerto o en estado de descomposición) se presentó en los tratamientos Testigo y Raleo a 1.000 árboles ha⁻¹, los cuales también presentaron la mayor heterogeneidad en estos dos indicadores.

El Raleo a 600 árboles ha⁻¹ presentó valores de cobertura herbácea superiores al 67%, la que llegó a un 85% en el tratamiento de Faja. En el tratamiento Testigo, la cobertura herbácea fue cercana a cero.

Al ponderar los tratamientos Raleo a 1.000 y a 600 árboles ha⁻¹, el porcentaje de cobertura herbácea alcanzó un promedio de 54%, algo mayor al reportado por Márquez (1999), quien indica que la cobertura media en este tipo de ambientes es de un 47%.

- Composición Botánica de la Estrata Herbácea

En el área de estudio se identificó un total de 35 especies. Del total de especies identificadas, las de mayor relevancia son las pertenecientes a la familia de las *Poaceas*, con un 25,71% del total de especies.

Le siguen las especies de la familia *Asteraceae* con un 11,43%. En tercer lugar se encuentran aquellas especies pertenecientes a las familias *Rosaceae* y *Fabaceae*, con un 8,57% del total de especies.

Las especies que se vieron más favorecidas con la apertura del dosel arbóreo fueron *Dactylis glomerata*, *Ozmorhiza chilensis*, *Taraxacum officinale*, *Lolium perenne*, *Trifolium repens*, *Festuca magellanica*, *Holcus lanatus*, *Acaena ovalifolia*, *Rumex acetosella*, *Poa pratensis*, *Phleum commutatum* y *Hieracium pilosella*. De estas especies, *Dactylis glomerata*, *Lolium perenne*, *Trifolium repens*, *Festuca magellanica*, *Holcus lanatus* y *Poa pratensis* constituyen un valioso recurso forrajero.

- **Productividad de la Estrata Herbácea**

Las diferencias en producción de forraje de la estrata herbácea entre los distintos niveles de raleo fueron significativas. La mayor producción anual se obtuvo en las Fajas, rendimiento equivalente a 2.231 kg ha⁻¹ MS, seguido por el raleo a 600 árboles ha⁻¹, rendimiento de 1.713 kg ha⁻¹ MS y finalmente, el raleo a 1.000 árboles ha⁻¹, con un rendimiento equivalente a 737 kg ha⁻¹ MS. El rendimiento de la tala rasa fue equivalente a 1.703 kg ha⁻¹ MS, es decir, similar al del raleo a 600 árboles ha⁻¹. La mayor producción de forraje obtenida en las fajas puede deberse a la combinación de una alta radiación a nivel del suelo y al efecto de protección contra el viento dado por el renoval circundante.

Las producciones de MS reportadas en este estudio son similares a los valores encontrados por Bahamonde *et al.* (2012) en ñirrantales de la Patagonia Argentina, los que fluctúan entre los 250 y 1.800 kg ha⁻¹ MS anuales.

Las diferencias en rendimiento entre los distintos tratamientos podrían ser explicadas por la mayor cantidad de radiación que llega al suelo a medida que aumenta el nivel de raleo. El efecto de la luz sobre el aumento de MS acumulada fue descrito por Bahamonde *et al.* (2012) en renovales de ñirre. Estos autores indican que a medida que la cantidad de radiación fotosintéticamente activa en contacto con el sotobosque es mayor, el crecimiento de las especies vegetales que componen la estrata herbácea también lo es. Por su parte Peri (2005), estudiando la productividad de la estrata herbácea en ñirrantales Argentinos, indica que existiría una disminución lineal de la producción de MS con la disminución de la luminosidad, desde los 2.800 kg ha⁻¹ MS en sectores sin árboles (100% de luminosidad) a 400 kg ha⁻¹ MS en lugares con un 5% de transmisibilidad.

- **Potencial Ganadero de la Estrata Herbácea**

Las vaquillas ingresaron al ensayo con un peso promedio de 241,8 kg de peso vivo (PV) y luego de 30 días de pastoreo fueron retiradas con un peso promedio de 253,2 kg PV. En promedio la ganancia de peso fue del orden de los 11,4 kg PV, con una tasa de crecimiento de 367 g día⁻¹, un 20 % menor a los valores máximos esperado para novillos de la raza Hereford pastoreando en Magallanes.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los bosques de ñirre y de lenga sometidos a pastoreo en la región de Magallanes no están siendo manejados con criterios silvopastorales, con la consiguiente pérdida de crecimiento y calidad del bosque futuro, utilización ineficiente de la pradera y pérdida de potencial de engorda animal. La implementación de esquemas silvopastorales permitiría manejar dichos bosques haciéndolos más productivos desde el punto de vista forestal y ganadero, asegurando además, su permanencia en el tiempo.

La existencia de una cobertura arbórea densa implica una menor cantidad de radiación solar disponible para las estratas arbustiva y herbácea. Al abrir el dosel arbóreo mediante el raleo, se produce un aumento en la radiación disponible, así como en la temperatura y humedad del suelo, respecto a los renovales sin intervención. La velocidad del viento también aumenta, pero a niveles inferiores a la observada en praderas más abiertas.

Esta situación permite el desarrollo de una estrata herbácea dominada por especies de alto valor forrajero, sin poner en riesgo la regeneración de la estrata arbórea. Muchas de las especies identificadas en los ensayos corresponden a las habitualmente asociadas a los bosques de ñirre y de lenga en la región, lo que permite concluir que el manejo silvopastoral propuesto no implica la pérdida de las especies nativas propias de estos bosques.

Los resultados indican, además, que la estrata herbácea que se establece en los bosques raleados presenta rendimientos similares o incluso superiores a los observados en praderas abiertas, representando un importante recurso para la actividad ganadera regional. La productividad de la pradera aumenta en la medida que aumenta la cantidad de radiación solar que llega al suelo y la humedad de éste. Por ello, en las fajas, la productividad fue superior a la de una pradera naturalizada, probablemente debido a que por su diseño y tamaño, éstas obtienen una gran radiación y la protección de los bosques aledaños. En el caso del raleo a 600 árboles ha⁻¹, la productividad de la estrata herbácea fue comparable a aquella de una pradera naturalizada. Sin embargo, cuando el raleo es menos intenso la menor radiación disponible a nivel de suelo resultante no permite un buen desarrollo de la estrata herbácea y su productividad es menor.

Además de las diferencias en rendimiento, existen diferencias en la composición botánica entre una pradera naturalizada y una pradera bajo un bosque abierto. Así, en esta última existe un mayor predominio de especies de alto valor forrajero, como *Dactylis glomerata* y *Trifolium repens*, lo que se traducen en una mejor calidad nutricional de la estrata herbácea.

Los animales que pastorearon el ensayo en Monte Alto, mostraron ganancias de peso similares a los valores obtenidos en praderas abiertas. Ensayos de pastoreo por tiempos más prolongados podrían reducir el impacto en la ganancia de peso por el estrés evidenciado por los animales durante los primeros días de pastoreo debido al cambio desde una condición de pradera abierta al de encierro y tránsito entre pilas de desechos producto del raleo.

Por lo anterior, la implementación de sistemas silvopastorales en bosques raleados debiera contemplar el manejo de desechos. Si bien en los ensayos los desechos fueron ordenados en fajas, esta actividad es costosa.

Además, a diferencia de lo que ocurre en otras latitudes, la descomposición de la biomasa en la región es muy lenta, por lo que las fajas de residuos pueden permanecer en el terreno por décadas, interfiriendo el libre tránsito de los animales y restando superficie a la pradera.

La Ley 20.283, sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal, contempla el fomento a los raleos, pero debiera también considerar las actividades de ordenación de los residuos. Otra alternativa sería el utilizar estos residuos, así como aquellos, producto del manejo “tradicional”, con fines energéticos. Lo anterior permitiría ayudar a financiar parte de las intervenciones necesarias para establecer sistemas silvopastorales.

La acumulación de residuos, la hojarasca y la heterogeneidad espacial de la cobertura arbórea hacen que las condiciones de la pradera que se establece bajo el dosel arbóreo sea muy heterogénea en comparación con la pradera abierta, pasando de sectores con buen crecimiento y especies de alto valor forrajero a sectores sin cubierta vegetal o en los cuales sólo se han podido establecer especies con escaso valor ganadero. Se requiere mayor investigación en este aspecto.

Si bien hubo muy poco daño por viento en los tratamientos de menor cobertura arbórea (<5%), numerosos estudios tanto en Chile como en el extranjero, así como la experiencia acumulada por décadas de manejo forestal en la región, sugieren que es un aspecto importante a considerar al momento de planificar el manejo de estos bosques. Lo anterior sugiere poner especial cuidado, al momento de elegir los sitios para implementar un manejo silvopastoral.

Finalmente, los resultados de los estudios presentados en este trabajo demuestran que es técnicamente factible implementar esquemas de manejo silvopastoral en los bosques de ñirre y de lenga de Magallanes.

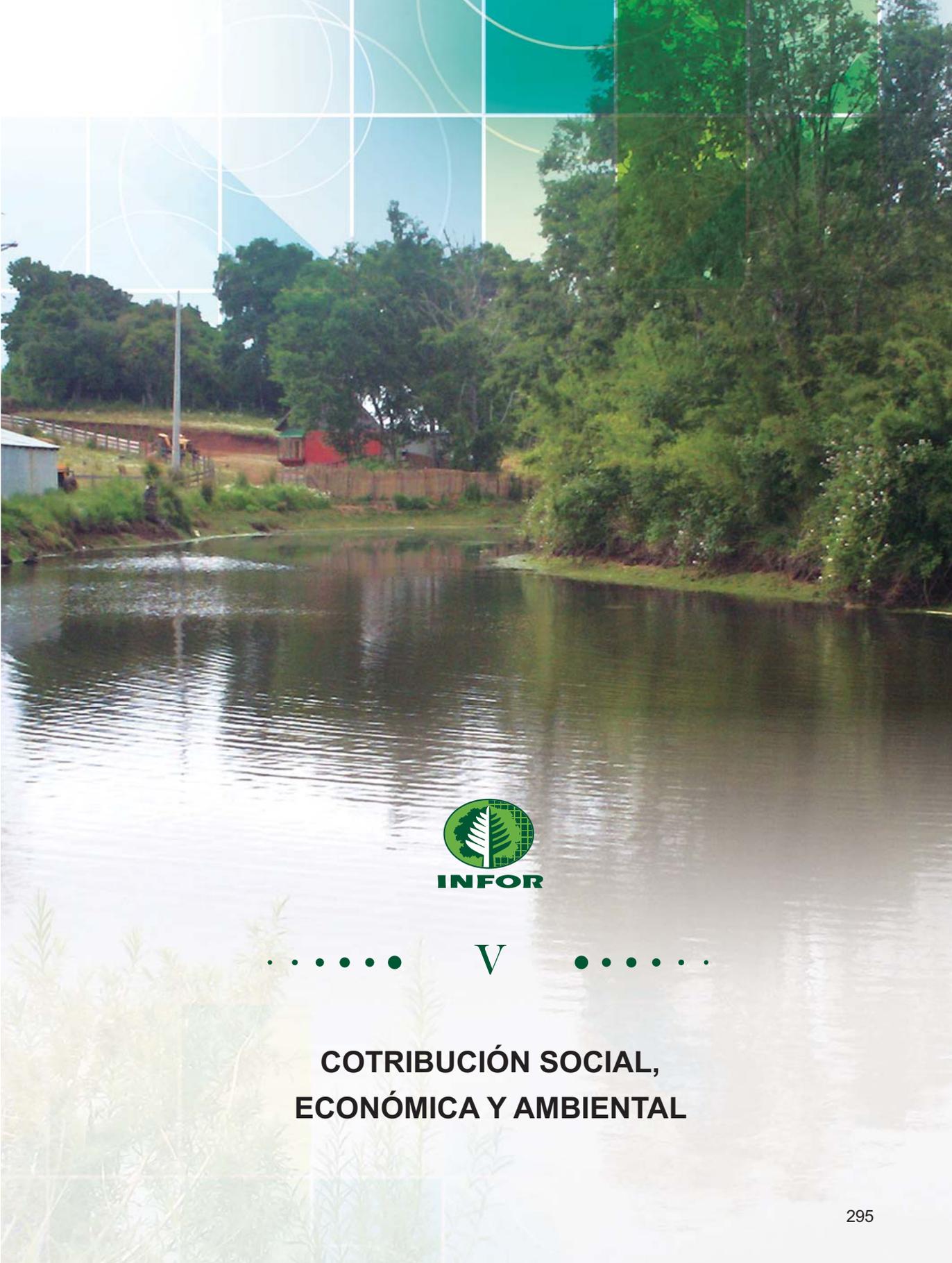
La implementación de esquemas silvopastorales adecuados a la realidad regional, permitiría hacer estos bosques más productivos y perpetuar en el tiempo la provisión de sus innumerables bienes y servicios.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen al Gobierno Regional de Magallanes, a la Secretaría Regional Ministerial de Agricultura de Magallanes, a CONAF Magallanes y al Programa de Investigación del Bosque Nativo por el apoyo otorgado para la ejecución de estas investigaciones, las que se enmarcan en el proyecto FIA Mejoramiento de la Productividad Ganadera a través del Manejo Silvopastoral de los Bosques de Ñirre en la Región de Magallanes, en el Programa FONDEMA Investigación, Mejoramiento, Productividad y Silvopastoreo en la Región de Magallanes y en el Proyecto Manejo Silvopastoral de los Bosques de Ñirre en la Región de Magallanes del Fondo de Investigación del Bosque Nativo. También agradecen muy especialmente a los Sres. Luis Mladinic y Mauricio Kusanovic, por permitir generosamente la implementación de los ensayos en sus propiedades y por las siempre estimulantes conversaciones sobre el manejo silvoagropecuario en la región.

REFERENCIAS

- Bahamonde, H.; Peri, L.; Álvarez, A. y Barnei, A., 2012.** Producción y calidad de gramíneas en un gradiente de calidades de sitio y coberturas en bosques de *Nothofagus antarctica* (G. Forster) Oerst. en Patagonia. *Ecología Austral* 22:62-73.
- Barnes, P.; Wilson, B. R.; Trotter, M. G.; Lamb, D. W.; Reid, N.; Koen, T. and Bayerlein, L., 2011.** The patterns of grazed pasture associated with scattered trees across an Australian temperate landscape: An investigation of pasture quantity and quality. *Rangeland Journal* 33, 121-130.
- Benavides, R.; Douglas, G. and Osoro, K., 2009.** Silvopastoralism in New Zealand: Review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics. *Agroforestry Systems* 76, 327-350
- CERE, 2015.** Elaboración de Propuesta de Matriz Energética para Magallanes al 2050. Punta Arenas. 474 p.
- CONAF, 2008.** Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales de Chile.
- INE, 2007.** Censo Agropecuario.
- Márquez, I., 1999.** Caracterización del Sotobosque en Bosques Vírgenes de Lengua (*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl) Krasser), en una Gradiente Altitudinal en Skyring, XII Región. Memoria Ingeniería Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 77 p.
- MINAGRI, 2012.** Estrategia para la competitividad del sector agroalimentario y forestal. Región de Magallanes y la Antártica Chilena 2012 - 2020.
- Peri, P., 2005.** Sistemas Silvopastoriles en Ñirantales. IDIA XXI Forestal.
- Peri, P., 2008.** Respuesta de ovinos a pastizales creciendo en diferentes cobertura de copas en sistemas silvopastoriles de ñire (*Nothofagus antarctica*) en Patagonia Sur, Argentina. *Zootecnia Tropical* 26, 363-366.
- Peri, P., 2009.** Evaluación de pastizales en bosques de *Nothofagus antarctica*-Método Ñirantal Sur, 1er Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. INTA, Posadas, Misiones, Argentina, pp. 335-342.
- SAG, 2003.** El pastizal de Tierra del Fuego. Guía de uso, condición actual y propuesta de seguimiento para determinación de tendencia. Punta Arenas, Chile. 120 p.
- SAG, 2004a.** El pastizal de Magallanes. Guía de uso, condición actual y propuesta de seguimiento para determinación de tendencia. Punta Arenas, Chile. 132 p.
- SAG, 2004b.** El pastizal de Última Esperanza y Navarino. Guía de uso, condición actual y propuesta de seguimiento para determinación de tendencia. Punta Arenas, Chile. 132 p.
- Schmidt, H., 2008.** Mejoramiento de la productividad ganadera a través del manejo silvopastoril de los bosques de ñirre en la XII Región. Informe Final Proyecto FIA Código FIA-PI-C-2004-1-F-054. Santiago, Chile. 54 p.
- Schmidt, H.; Schmidt, A. y Alonso, M., 2013a.** Investigación, Mejoramiento, Productividad y Silvopastoreo en la XII Región. Informe Final, Programa FONDEMA Código BIP 30077120-0. Santiago, Chile. 211 p.
- Schmidt, H.; Schmidt, A. y Alonso, M., 2013b.** Manejo silvopastoril en renovales de lenga en la Región de Magallanes. Universidad de Chile y Gobierno Regional de Magallanes y Antártica Chilena. 38 pp.
- Schmidt, A. y Alonso, M., 2016.** Manejo silvopastoril de los bosques de ñirre en la XII Región de Magallanes. Informe Final, Proyecto Fondo de Investigación en Bosque Nativo CONAF Código 029/2013. Santiago, Chile. 70 p.
- Valladares, F. and Guzmán, B., 2006.** Canopy structure and spatial heterogeneity of understory light in an abandoned Holm Oak woodland. *Annals of Forest Science* 63: 749-761.
- Veblen, T. T.; Hill, R. S. and Read, J., 1996.** The Ecology and Biogeography of *Nothofagus* Forests. Yale University Press. New Haven and London. 403 p.



**COTRIBUCIÓN SOCIAL,
ECONÓMICA Y AMBIENTAL**

Capítulo 14

SISTEMAS AGROFORESTALES Y SU CONTRIBUCIÓN SOCIAL, ECONOMICA Y AMBIENTAL EN CHILE

Álvaro Sotomayor¹

RESUMEN

En Chile se han estudiado durante los últimos 12 años sistemas alternativos a la forma tradicional de establecimiento forestal, con fines industriales. Un modelo alternativo ha sido el estudio de sistemas agroforestales, destinados a los pequeños productores agrícolas, con la introducción de los árboles en los campos considerando la identidad cultural y los sistemas productivos de los agricultores, lo que puede ser llamado plantaciones de nueva generación que incorporan aspectos sociales y ambientales a los tradicionales objetivos productivos.

Los sistemas agroforestales más aceptados por los propietarios de suelos de secano durante el periodo 2003-2013, en el que se han establecido 1.114 ha en 1.600 propiedades, han sido los sistemas silvopastorales (44,4%) y cortinas cortavientos (43,7%). Esta preferencia, avalada por diversos estudios, se da no solo por los ingresos económicos, sino que también por razones ambientales y sociales.

Se han verificado disminuciones en procesos erosivos por la introducción de árboles en combinación con cultivos agrícolas, conformando sistemas agroforestales, con reducción de pérdidas de suelos de más 1.700%; reducción del viento en un 200% por el establecimiento de árboles en praderas; aumento de la productividad praterense por el uso de sistemas silvopastorales en un 41%; reducción de contaminantes en los cauces por uso de biofiltros o protecciones de riberas, mitigación del cambio climático por el uso de árboles en sistemas ganaderos, y otros beneficios sociales, como la recolección de productos forestales no madereros, y la permanencia de los agricultores en los campos, disminuyendo la migración a ciudades.

Palabras clave: Campesinos, Silvopastoral, Viento, Erosión, Evaluación económica

SUMMARY

In Chile it has been studied for the last 12 years alternative models to the traditional afforestation for industrial purposes. An alternative model has been agroforestry systems, for small size farmers, with the introduction of trees in their farms considering cultural identity and production systems of farmers, what can be called new generation plantations, incorporating social and environmental aspects to the traditional productive considerations.

The agroforestry systems most accepted by the owners of inland soils without irrigation, during the period 2003-2013, which were established 1,600 ha in 1,114 properties, have been

¹ Dr. Ciencias Forestales, Instituto Forestal. Concepcion, Chile. asotomay@infor.cl

silvopastoral systems (44.4%) and windbreaks (43.7%). This preference has been supported by several studies, which have been verified reductions in erosion by the introduction of trees in combination with agricultural crops, with soil loss reduction over 1,700%; wind reduction by 200% by the establishment of trees in pastures; increased prairie productivity by 41% using silvopasture; reduction of pollutants in streams by use of biofilters; climate change mitigation and other social benefits, like recollection of non wood forest products from the forest or agroforestry systems, and permanence of the rural families in the farms .

Key words: Peasants, Silvopastoral, Wind, Erosion, Economic evaluation.

INTRODUCCIÓN

En general los agricultores en Chile han percibido una incompatibilidad entre la producción agropecuaria y los árboles o bosques presentes en las propiedades rurales. Para ellos los árboles han representado un competidor o un estorbo para su actividad productiva, percibiendo que las especies forestales reducen la producción agropecuaria, dado lo cual los árboles y arbustos han sido extraídos, cortados o quemados, modificando el paisaje rural a situaciones donde en muchos casos el árbol es escaso (Sotomayor, 2009). Como consecuencia vastos territorios y terrenos agrícolas están desprotegidos, originándose erosión, pérdida de suelos y de fertilidad de estos. Además, al disminuir la cubierta leñosa, muchos campesinos o pequeños productores agrícolas no tienen leña para cocinar sus alimentos o calefaccionar sus hogares, debiendo recorrer amplios territorios para conseguir este elemento energético.

Cambiar esta percepción y establecer las bondades de la reintroducción de los árboles en el paisaje agropecuario puede ser un proceso lento y difícil, dado que el uso tradicional de la tierra, el arraigo cultural y el escaso manejo o cuidado de los recursos naturales, a menudo están firmemente establecidos y socialmente aceptados en las comunidades locales, por lo que se requiere un largo proceso de educación y convencimiento con métodos demostrativos y un trabajo participativo con las comunidades para lograr cambios.

Una forma de demostrar la compatibilidad del uso integrado de las especies leñosas (árboles y arbustos) con la agricultura y ganadería es a través del establecimiento de los árboles en una forma amigable con los usos agropecuarios tradicionales, utilizando técnicas o sistemas agroforestales en el mundo rural. Se denominan Sistemas Agroforestales a la “combinación de árboles y/o arbustos en conjunto con usos agrícolas y/o ganaderos en el mismo sitio, en alguna forma de ordenamiento espacial o territorial” (Sotomayor *et al.*, 2008; Sotomayor, 2009). El propósito de la inclusión del componente leñoso en conjunto con los usos agropecuarios en un mismo terreno es lograr una sinergia entre estos componentes productivos, lo cual puede conducir a mejoras netas en una o más características, tales como productividad y sostenibilidad, así como también a diversos beneficios ambientales y no comerciales.

En este capítulo se exponen experiencias de ordenación agroforestal en Chile, con resultados de más de 12 años de trabajo, en el cual el Instituto Forestal (INFOR), en conjunto con el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), el Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA), y con el apoyo del Ministerio de Agricultura, ha realizado una labor de investigación, difusión y transferencia tecnológica para la implementación de sistemas agroforestales en la agricultura familiar campesina en Chile, que demuestran el aporte de los sistemas agroforestales, tanto desde el punto de vista económico como desde el ambiental y social.

Se presentan a resultados obtenidos por el Programa Agroforestal Nacional de Chile (PAN) (INFOR, 2013) y de otras investigaciones realizadas en el país sobre la importancia de estos sistemas agroforestales y la viabilidad de su implementación, con un análisis de la percepción de los agricultores en relación a preferencias por establecer sistemas agroforestales (SAF), problemas para su implementación, y diversos estudios que demuestran y avalan la importancia de los sistemas agroforestales en Chile para su implementación e incorporación en políticas públicas.

PROGRAMA AGROFORESTAL NACIONAL

El Instituto Forestal de Chile (INFOR) ha desarrollado el Programa Agroforestal Nacional (PAN), desde el año 2002 a 2012, con diversas fuentes de financiamientos, tanto del Ministerio de Agricultura de Chile, como del Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), y utilizando instrumentos de fomento a la forestación. Este programa tuvo el objetivo de generar información que permita evaluar la potencialidad de establecer sistemas agroforestales en Chile, realizando investigación sobre los diversos sistemas aptos para implementar en diversas zonas agroecológicas del país, considerando las especies con más potencialidad y estableciendo unidades demostrativas y de investigación agroforestal para ser usadas como herramientas de extensión e investigación, y finalmente estableciendo un programa para fomentar su uso preferentemente orientado hacia los pequeños productores silvoagropecuarios. A continuación se expone los resultados de este programa.

Disposición a Forestar en Sistemas Agroforestales por Pequeños Productores Agrícolas y Beneficios Percibidos por su Implementación

- Regiones del Biobío y de La Araucanía

Entre los años 2007 y 2008 se realizó un estudio, mediante encuestas personales dirigidas a agricultores de la Región del Biobío y de La Araucanía, en la zona central de Chile, para conocer la disposición de estos a establecer sistemas agroforestales en sus predios. De un total de 189 productores potenciales, fueron encuestados 83 productores. Del total de los propietarios entrevistados en las comunas de trabajo; Hualqui, Los Álamos y El Carmen, de la Región del Biobío, y Los Sauces Melipeuco y Teodoro Schmidt, de la Región de la Araucanía, que han participado en charlas agroforestales y actividades de capacitación del programa, un 93,1% estuvo dispuesto a establecer árboles con algún diseño agroforestal en sus predios y solo un 27,5% una plantación tradicional, es decir a alta densidad con fines industriales (Cuadro N° 1).

Esta diferencia entre los sistemas agroforestales y las plantaciones tradicionales, radica en la reticencia de los agricultores para establecer plantaciones forestales a densidades altas, solo con fines madereros, dado que se percibe que esto originará una disminución en la capacidad de producción agropecuaria, la cual es su principal fuente de ingreso; mientras que los sistemas agroforestales, como silvopastoral y cortinas cortavientos, les permiten establecer praderas, cultivos y mantener producción animal, a la vez que obtener protección de los suelos y cultivos por los árboles, y en el futuro otro ingreso económico por la madera.

Cuadro N° 1
DISPOSICIÓN A FORESTAR O MANEJAR BOSQUES

Disposición	Biobío				La Araucanía				Promedio Total
	Hualqui	Los Álamos	El Carmen	Promedio	Los Sauces	Melipeuco	Teodoro Schmidt	Promedio	
	(%)								
Forestación Agroforestal	100,0	100,0	100,0	100,0	91,7	100,0	66,7	86,1	93,1
Forestación Tradicional	22,2	42,9	50,0	38,4	25,0	0,0	25,0	16,7	27,5
Manejo Plantaciones	88,9	35,7	83,3	69,3	8,3	20,0	0,0	9,4	39,4
Manejo Bosques Nativos	33,3	21,4	75,0	43,2	0,0	20,0	16,7	12,2	27,7

Fuente: (Sotomayor *et al.*, 2009b)

En relación a los beneficios que los productores identificaron de la implementación de sistemas agroforestales en sus predios, destacan entre otros que mejoran los ingresos familiares con un 81,8%, junto con mejorar la calidad de vida (57,7%), el aumentar la productividad del predio y controlar la erosión con un 50,5% y luego el asegurar un abastecimiento energético con un 44.1%, relacionado con la necesidad de energía para calefacción y alimentación, y de los beneficios que ven del árbol. También se indican aspectos como incorporar fuente de trabajo y la conservación de recursos naturales como opciones interesantes (Cuadro N° 2).

Cuadro N° 2
BENEFICIOS PERCIBIDOS DE ESTABLECER SISTEMAS AGROFORESTALES, REGIONES DEL BIOBIO Y ARAUCANÍA, CHILE.

Beneficios Percibidos	Biobío				La Araucanía				Promedio Total
	Hualqui	Los Álamos	El Carmen	Promedio	Los Sauces	Melipeuco	Teodoro Schmidt	Promedio	
	(%)								
Mejorar Ingreso Grupo Familiar	55,6	71,4	88,9	72,0	100,0	100,0	75,0	91,7	81,8
Incorporar Nueva Fuente de Trabajo	77,8	28,6	66,7	57,7	0,0	0,0	75,0	25,0	41,4
Aumentar Productividad Predio	88,9	57,1	88,9	78,3	8,3	60,0	0,0	22,8	50,5
Asegurar Conservación Tierra, Agua y Otros	33,3	71,4	55,6	53,4	33,3	0,0	0,0	11,1	32,3
Evitar Migraciones Grupo Familiar	0,0	28,6	44,4	24,3	0,0	0,0	25,0	8,3	16,3
Controlar Erosión	88,9	71,4	44,4	68,2	41,7	40,0	25,0	35,6	51,9
Asegurar Abastecimiento Energético Hogar	88,9	100,0	22,2	70,4	33,3	20,0	0,0	17,8	44,1
Mejorar Calidad Vida	55,6	85,7	66,7	69,3	0,0	80,0	16,7	32,2	50,8
Mejorar Bosque	11,1	42,9	0,0	18,0	0,0	0,0	8,3	2,8	10,4
Otros	0,0	28,6	0,0	9,5	33,3	0,0	0,0	11,1	10,3

Fuente: (Sotomayor *et al.*, 2009b)

- Región de Aysén

Un medio de reintroducir los árboles en una forma amigable y culturalmente aceptable para los productores ganaderos de la región de Aysén, es la aplicación de sistemas agroforestales, principalmente silvopastoreo y cortinas cortavientos. Se realizó un estudio para determinar el grado de aceptación de los sistemas agroforestales entre los productores agropecuarios de la región. La muestra consideró 59 propietarios, concentrándose la captura de información en las provincias de Coyhaique, Aysén y General Carrera, zonas donde la actividad ganadera es de mayor importancia

De los resultados obtenidos, los productores perciben la forestación como importante en un 93%, y un 90% estaría dispuesto a seguir forestando. Al consultar por disposición a forestar o establecer árboles en sus predios con fines agroforestales y sus preferencias, en la Figura N° 1 se muestran diversos objetivos relacionados con este tipo de forestación. El objetivo con mayor importancia es el de forestar con cortinas cortaviento (100%) y la forestación de protección, con el fin de proteger cultivos y animales (92,5%). Luego, en orden de importancia, figura el de protección del suelo y el uso silvopastoral (62,3%), siendo esto último similar en sus objetivos a la respuesta respecto a forestación con fines de protección animal, por lo que existiría un cruce entre ambas opciones.

Se percibe, entre los propietarios participantes en este diagnóstico a la actividad de forestación y manejo forestal más relacionada con la protección del ambiente y sus recursos naturales, y como ayuda de esta hacia recursos productivos, ligados principalmente a la actividad agropecuaria (ganadería y cultivos), más que a la producción de madera. Esto último, debido a que en la región la actividad industrial maderera, relacionada en los últimos cinco décadas con procesos de aserrío de especies del bosque nativo, se ha reducido fuertemente, quedando relegada a aserraderos con producción menor a los 10.000 m³ anuales, para provisión de madera para actividades locales; y además, debido a que las plantaciones existentes aún no han madurado para que sean proveedoras de madera para actividades industriales.

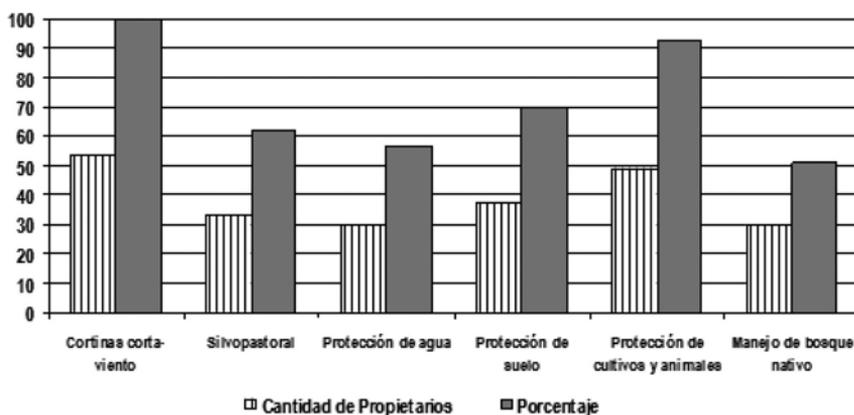


Figura N° 1
DISPOSICIÓN A FORESTAR O MANEJAR BOSQUES, REGION DE AYSÉN, CHILE.

Respecto de los beneficios percibidos del establecimiento agroforestal, un 76% considera que la forestación incide principalmente de manera favorable en la protección, tanto de suelos y aguas como de cultivos y animales (Figura N° 2). Solo un 7% indica un aspecto negativo, que es que limita la producción agropecuaria.

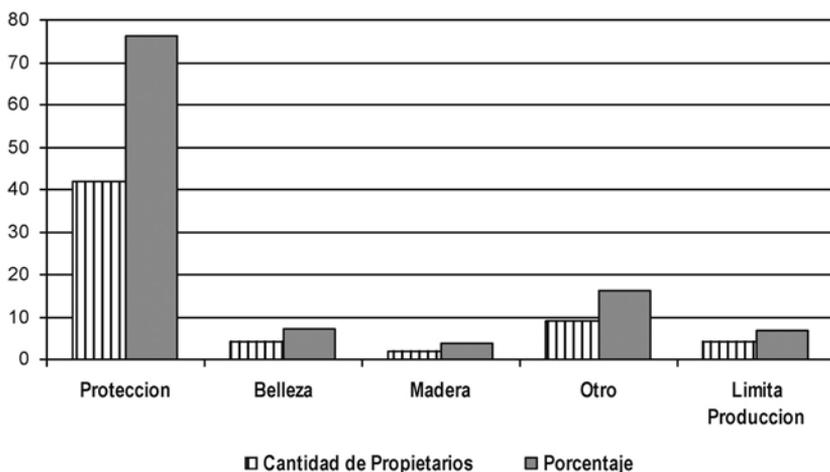


Figura N° 2
BENEFICIOS PERCIBIDOS DE ESTABLECER SISTEMAS AGROFORESTALES

Resultados del Fomento al Establecimiento Agroforestal en el Período 2006-2013

Como se indicó anteriormente, en un trabajo de nueve años se logró establecer 1.113,7 ha con sistemas agroforestales, en 1.600 propiedades silvoagropecuarias, entre las regiones de Coquimbo y Magallanes, con un promedio de 0,7 ha por propiedad, dado que principalmente se trabajó con pequeños propietarios, que disponen de una escasa superficie para establecer forestación.

Los sistemas más aceptados por los agricultores fueron los sistemas silvopastorales y las cortinas cortavientos.

Dentro de los principales problemas detectados para establecer plantaciones agroforestales o tradicionales, los propietarios mencionan la falta de financiamiento con un 47,9% en promedio, y la pequeña superficie predial que les impide destinar terrenos para forestar, con un alto porcentaje (97,2%) en el caso de la región de La Araucanía (Sotomayor *et al.*, 2009b).

Otros aspectos mencionados son que no saben cómo hacerlo por falta de información tecnológica con un 25,7%. También mencionan que no pueden hacerlo solos por su edad u otras razones, porque que hay falta de mano de obra y de capacitación, y debido a malos accesos a los bosques (Cuadro N° 3).

Cuadro N° 3
PROBLEMAS PARA ESTABLECER SISTEMAS AGROFORESTALES

Problemas	Biobío				La Araucanía				Promedio Total
	Hualqui	Los Álamos	El Carmen	Promedio	Los Sauces	Melipeuco	Teodoro Schmidt	Promedio	
	(%)								
Falta Financiamiento	25,0	66,7	87,5	59,7	0,0	100,0	8,3	36,1	47,9
Escasez Mano Obra	12,5	33,3	62,5	36,1	0,0	0,0	0,0	0,0	18,1
No puede Hacerlo Solo (Edad, genero, otro)	25,0	33,3	37,5	31,9	0,0	0,0	0,0	0,0	16,0
No Sabe Cómo (tecnología)	50,0	33,3	62,5	48,6	0,0	0,0	8,3	2,8	25,7
Endeudamiento	0,0	0,0	12,5	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1
Lejanía a Poderes Compradores	12,5	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1
Muy Bajos Precios de Venta	0,0	16,7	0,0	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8
Malos Accesos al Bosque	12,5	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1
Superficie muy Pequeña	0,0	0,0	0,0	0,0	91,7	100,0	100,0	97,2	48,6
Otros	0,0	16,7	0,0	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8

(Sotomayor *et al.*, 2009b)

Hasta el año 2012 Chile contó con un instrumento que fomentaba la forestación, DL.701 de 1974 y sus modificaciones, el cual contemplaba también incentivos para establecer sistemas silvopastorales y cortinas cortavientos.

Esta legislación de fomento expiró en diciembre de 2012, lo cual agrava lo indicado por los agricultores, en cuanto a disponibilidad de financiamiento, haciendo más difícil promover estos sistemas.

CONTRIBUCIÓN SOCIOECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES

Una pregunta recurrente entre autoridades del Gobierno, tanto nacional como local, y entre los propios agricultores y asesores es si existen antecedentes para probar la contribución de los sistemas agroforestales a la economía rural y su sustentabilidad en el país, para así promover su uso.

Existen diversos estudios, tanto de autores de Chile como de otros países, que valoran el aporte de los árboles y arbustos en sistemas agroforestales en la protección del medio natural, en los cuales se ha documentado que pueden reducir la erosión y modificar algunos aspectos climáticos del entorno en beneficio de la agricultura y ganadería, si estos se usan en forma inteligente y con algún ordenamiento espacial (Sotomayor, 2010).

Algunos de los beneficios que se han identificado de la integración de especies arbóreas y animales bajo sistemas silvopastorales en predios ganaderos, agrícolas de secano y forestales tradicionales, son la protección que puede ofrecer el árbol, tanto a los animales como a la pradera y cultivos, frente a condiciones climáticas adversas (Sotomayor, 1989); diversificar la actividad productiva de la mediana y pequeña empresa agrícola, haciendo un uso eficiente y sustentable de los recursos prediales disponibles (Snaydon y Harris, 1979); mejorar la belleza escénica del predio y el valor de la propiedad (Sotomayor y Cabrera, 2008; Sotomayor 2009a), y protección y mejoramientos de los suelos (Nair, 1987; Murgeitio, 2009), entre otros. Estos antecedentes son los que han permitido promover el uso de sistemas agroforestales en Chile.

A continuación se exponen algunos resultados sobre los beneficios de los árboles en sistemas agroforestales, al dar protección al suelo, a cultivos y ganado, y al moderar algunos parámetros agroclimáticos.

Disminución de la Erosión

Los árboles, al interceptar con su follaje las gotas de lluvia, reducen el impacto directo de estas sobre el suelo, disminuyendo su energía y ayudando a disminuir los procesos erosivos. Existen diversos estudios que reflejan lo anterior.

En un estudio realizado en la comuna de Illapel, región de Coquimbo en Chile, por Perret y Valdebenito (1999), se evaluó la pérdida de suelos aplicando seis tratamientos, con la introducción de árboles en sistemas agroforestales y comparando esto con uso agrícola tradicional y sin uso del suelo se comprueba la importancia de los árboles en la protección de los suelos.

T1: Testigo, suelo sin cultivo.

T2: Cultivo tradicional agrícola con trigo.

T3: Plantación de *Acacia saligna* a un distanciamiento de 4 m por 1 m y *Phalaris tuberosa* (falaris) cada 20 cm entre las hileras de acacias, intercalada con cultivo de trigo y *Medicago polymorpha* (hualputra).

T4: Plantación de *Acacia saligna* a un distanciamiento de 3 m por 2 m y falaris cada 20 cm entre las acacias, intercalado con cultivo de hualputra.

T5: Plantación de *Acacia saligna* en terrazas individuales de 1 m en disposición de tresbolillo.

T6: Plantación de *Acacia saligna* intercalada cada 3 m con hileras de *Cassia closiana* y a un distanciamiento en la hilera de 1 m.

Los resultados del estudio (Cuadro N° 4) indicaron que los tratamientos que obtuvieron una menor pérdida de suelos, después de siete años de evaluación, fueron los que tienen algún grado de cobertura vegetal, especialmente con una combinación de árboles y pastos, y el tratamiento testigo donde no se aplicó laboreo al suelo.

Cuadro N° 4
PÉRDIDA DE SUELOS SEGÚN TRATAMIENTO Y AÑO, ILLAPEL, CHILE

Tratamiento	Pérdida de Suelos							
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Total
	(kg ha ⁻¹)							
T1	230,5	280,0	369,1	74,5	224,2	0	76,6	1.254,9
T2	766,3	806,1	866,5	547,3	21.569,8	0	538	25.094,0
T3	541,5	506,7	666,7	341,2	3.068,6	0	384,8	5.509,5
T4	391,4	331,9	179,5	158,8	520,0	0	194,8	1.776,4
T5	176,0	175,1	191,3	115,8	569,1	0	149,5	1.376,8
T6	285,5	250,1	131,4	146,9	470,8	0	188,5	1.473,2
Pp (mm)	232,7	101,6	101,8	72,5	537,6		180,0	

Pp: Precipitaciones del año
(Fuente: Perret y Valdebenito, 1999)

El tratamiento que refleja el uso agrícola tradicional de la zona (T2), con cultivo de trigo, labranza tradicional, con barbecho preparado el año anterior, y arado y rastraje para la siembra de trigo, fue el que arrojó mayores pérdidas de suelo, sumando los resultados durante el periodo de evaluación 1993-1999, registrándose pérdidas de 25 t ha⁻¹ de suelo en el periodo (Cuadro N° 4). Esto significa un 1.700% de mayor pérdida de suelos en relación a los tratamientos con menor pérdida (T5 y T6) que contienen árboles solo para protección de los suelos, sin labranza de estos.

Cuando se compara el tratamiento agrícola en relación a un tratamiento agroforestal (T4), con una mezcla de árboles (*A. saligna*), asociado a una mezcla de pastos (falaris y hualputra), la reducción de pérdida de suelos alcanza a un 1.313 %, reflejando la importancia de la cobertura vegetal en la reducción de la erosión, con técnicas productivas sustentables.

Estos resultados de pérdida de suelos están directamente ligados a la intensidad de la precipitación. Se destaca el año 1997, donde ocurrieron precipitación intensas, concentradas en un corto periodo de tiempo, con un total anual de 537,6 mm, perdiéndose por este hecho en el tratamiento agrícola con trigo, más de 21 t ha⁻¹ de suelo, debido principalmente a que el suelo al momento de recibir la precipitación se encontraba mullido, poco compactado y sin protección vegetal.

Modificación de Factores Climáticos

La incorporación de árboles en sectores destinados al uso exclusivo de pastoreo conforma un sistema sustentable, con variados beneficios ambientales dados por la protección invernal otorgada por lo arboles a los animales, en especial respecto del viento que hace descender la temperatura, por el mejoramiento de la capacidad de retención de humedad del suelo (Mead, 2009), por el bombeo de nutrientes desde la parte más profunda del perfil a la porción más superficial (Nair, 1987), y por el aumento del contenido de materia orgánica del suelo (Murgeitio, 2009; Sotomayor *et al.*, 2009a).

Entre los aspectos microclimáticos afectados o modificados por los árboles en un sistema agroforestal están la radiación solar que llega a los vegetales creciendo bajo la influencia de los árboles (Lewis *et al.*, 1983; Watson *et al.*, 1984; Percival *et al.*, 1984; Peri *et al.*, 2007; Mead, 2009), el viento, la humedad y la temperatura (Anderson, 1977; Lee, 1978; Sotomayor, 1989; Mead, 2009).

Otro aspecto importante en la acción protectora de los árboles es que, al disminuir la velocidad del viento, se atenúa la acción del frío en el invierno y de las altas temperaturas de verano, por tanto se reduce la pérdida de humedad durante el verano, permitiendo que la cubierta herbácea permanezca por más tiempo disponible para el ganado (Solangarachchi y Harper 1997; Sotomayor *et al.*, 2009a).

En un estudio realizado en la región de Aysén, Sotomayor y Teuber (2011) concluyeron que árboles de *Pinus contorta*, ordenados en dos sistemas silvopastorales (T2: Silvopastoral Tradicional con pradera natural, 400 arb ha⁻¹, y T3: Silvopastoral en Fajas con pradera natural, 400 arb ha⁻¹) redujeron la velocidad promedio del viento en relación al tratamiento testigo (T4: Sistema ganadero sin árboles) en un 200%, aproximadamente. Cuando se evaluaron las velocidades máximas, que afectan fuertemente el crecimiento de los vegetales, ya que rompen o desecan los puntos de crecimiento de los pastos, la reducción fue del 51% en tratamiento silvopastoral tradicional en el año 2007 y del 67% para el año 2008, dado que las copas se expandieron de 31 a 32% de cobertura aumentando la intercepción del viento.

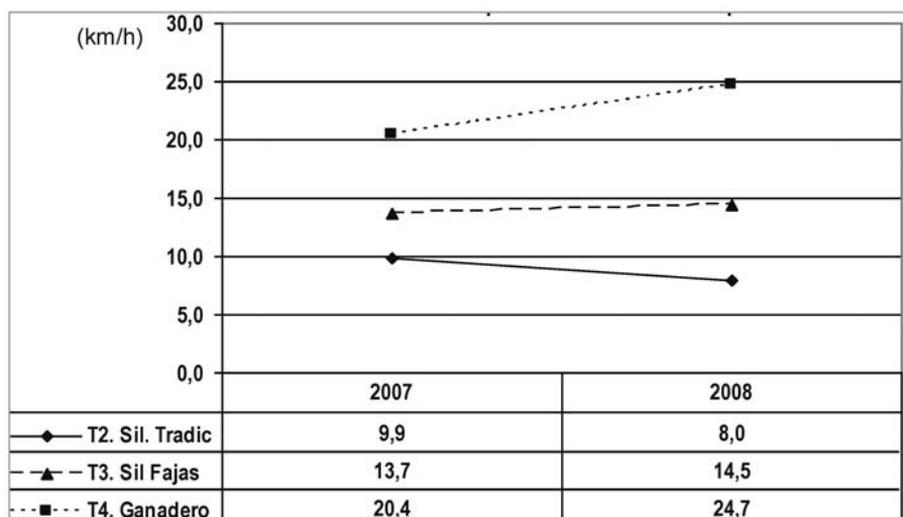


Figura N° 3
COMPARACIÓN VELOCIDAD MÁXIMA PROMEDIO DEL VIENTO POR TRATAMIENTO VERANO (DICIEMBRE-MARZO) DE LOS AÑOS 2007 Y 2008, UNIDAD AGROFORESTAL SAN GABRIEL, COYHAIQUE, REGIÓN DE AYSÉN, CHILE

En relación a la sensación térmica (*wind chill*), se registraron valores superiores entre un 22 y 26 %, para el tratamiento silvopastoral tradicional y en fajas, respectivamente, en relación a tratamiento ganadero. Entre los tratamientos silvopastorales evaluados, el sistema silvopastoral tradicional, con árboles homogéneamente distribuidos en el terreno, obtiene valores de sensación térmica más altos que en arboles ordenados en fajas alternadas en el sitio.

Protección de Riberas y Cursos de Agua

Los árboles, arbustos y pastos son un efectivo medio para la protección del nacimiento y riberas de cursos de agua en predios agrícolas, y para la recuperación del cauce cuando se encuentra degradado (Sotomayor *et al.*, 2007). Se trata de medidas correctivas usando vegetación protectora, aislando las áreas afectadas, y de obras físicas en riberas y cauce, para evitar la pérdida de suelo, la disminución de la calidad del agua, y el embancamiento de cursos de agua por efecto de la erosión y arrastre de sedimentos.

Entre los beneficios del manejo y protección de cauces, se encuentran:

La vegetación protectora actúa como un filtro biológico efectivo de sedimentos y productos químicos, provenientes de pesticidas, herbicidas y fertilizantes, disminuyendo su concentración en el agua, mejorando así su calidad.

La vegetación proporciona sombra al agua, reduce variaciones de su temperatura y mejora las condiciones para la vida acuática existente en ella; y además constituye una fuente de alimento para esta.

La vegetación también sirve de protección y de hábitat para la vida silvestre.

Los árboles y arbustos presentes en esta zona sirven de estabilizador de sus riberas y áreas adyacentes.

Se mejoran las características físicas, químicas y biológicas del agua.

Se aumenta la biodiversidad biológica.

Se incrementa la captura de carbono (CO₂) y se mejora el paisaje rural.

Un modelo común para el manejo de áreas ribereñas es el empleo de una o más especies leñosas (árboles y arbustos), en combinación con pastos, en los sectores cercanos a los cursos de agua, para conformar una zona protectora ribereña. Esto disminuye la velocidad del agua, retiene los elementos químicos aplicados a los cultivos (fertilizantes, herbicidas y otros) y entrega protección y alimento a la fauna.

En general, en una primera fase, se utilizan especies de rápido crecimiento, las cuales incrementan la estabilidad de las riberas en el corto plazo. El uso posterior de especies nativas de crecimiento más lento, permite un ciclo de nutrientes más largo y a su vez mejora la biodiversidad biológica local.

Con la experiencia obtenida en el establecimiento y evaluación de Unidad Agroforestal Hualqui, región del Biobío (Figura N°4), se puede recomendar trabajar en el área del cauce de agua, pero también en el sector circundante para evitar la recepción de aguas con energía suficiente para producir rupturas en las riberas y conducir tanto sedimentos sólidos como químicos provenientes de fertilizantes, herbicidas y otros.

- Trabajos en el Cauce

Homogeneizar el Talud: Se debe trabajar este borde formando un talud con una pendiente de compensación más suave (menor a 45°) para poder establecer vegetación protectora en el lugar (Figura N° 4).

Establecimiento de Vegetación Protectora: Una vez que se ha formado la pendiente de compensación, se debe establecer en este talud una cubierta protectora con especies arbóreas y/o arbustivas apropiadas a la zona de trabajo (Figura N° 4).

Limpieza del Cauce: Se debe realizar una limpieza del curso de agua, sacando basura, troncos, raíces u otros elementos que puedan entorpecer el libre movimiento del agua, y homogeneizar el curso, desviándolo en caso de estar impactando en el talud, y reforzar estas áreas afectadas.

Protección de Taludes: En caso de cauces degradados, donde el agua está impactando el talud provocando desmoronamiento y embancamiento del curso, considerar el uso de obras físicas para su protección y recuperación como diques de sacos con arena o tierra, de madera o gaviones, en conjunto con elementos vegetales.



Figura N° 4

CAUCE DEGRADADO SIN TRATAMIENTO (IZQ), CAUCE TRATADO CON PROTECCIÓN FÍSICA Y PLANTACIÓN DESPUÉS DE 6 MESES DE ESTABLECIMIENTO (CENTRO), CAUCE TRATADO DESPUÉS DE 7 AÑOS (DER) UNIDAD AGROFORESTAL HUALQUI, REGION DEL BIOBÍO, CHILE.

- Trabajos en Área Circundante al Cauce

Cercado: Para evitar la entrada de animales en el curso de agua a proteger y dar protección a las plantas a establecer, instalar cerco de 5 - 7 hebras de alambre púa, o malla Ursus con dos hebras de alambre en la parte superior, postes de pino impregnado (7,5 - 10 cm), u otro de similar o mayor duración, cada 3 m y patas de cabra cada 20 m en todo el contorno del área a proteger.

Plantación: Considera la preparación del suelo para la plantación, control de malezas cuando sea necesario a nivel de planta, tratando de no usar elementos químicos, sino que elementos orgánicos como *mulch*. Establecimiento de especies arbóreas y arbustivas a una densidad entre 1.333 y 2.000 plantas ha⁻¹, con especies apropiadas para la zona, de preferencia pantas en maceta o contenedor. Dependiendo de la región en que se trabaje

pueden ser, entre otras, especies nativas como maitén, arrayán, quillay, roble, notro u otras adaptadas a la zona de trabajo, considerando protección lateral, y especies exóticas como pino radiata, pino oregon, aroma australiano, aroma del país, eucalipto rojo, álamo, sauce y otras apropiadas para la zona. También considerar especies arbustivas y, en terrenos degradados, especies herbáceas perennes. En el área cercana al borde del cauce (2 m), establecer plantas en casilla de plantación para evitar deteriorar o alterar su borde.



Figura N° 5

***Acacia dealbata* y *Acacia mearnsii*, en un perímetro de 10 m paralelo al cauce de agua, 6 meses DESPUÉS DE ESTABLECIMIENTO (izq); plantación protectora 7 años después de establecimiento (DER). UNIDAD AGROFORESTAL HUALQUI, REGION DEL BIOBÍO, CHILE.**

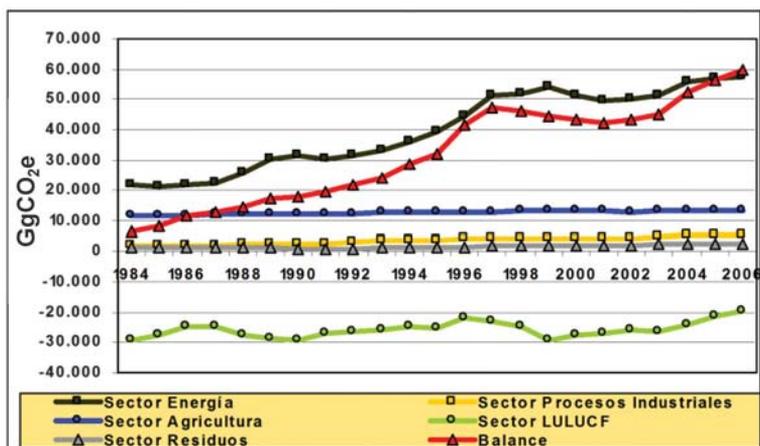
Contribución a la Mitigación del Cambio Climático

Existe preocupación mundial por el cambio climático y el aumento de los gases efecto invernadero. En Chile, según Barrera (2011) (Figura N° 6), el balance se ha ido tornando cada año más negativo, por el aumento explosivo en las emisiones del sector energía, sumado a un paulatino aumento en los sectores agricultura, procesos industriales y residuos. Este aumento se mitiga en gran parte por el sector LULUCF², que con sus plantaciones y bosques, que capturan carbono, ayudan a reducir el efecto de los otros sectores. El sector forestal ha reducido su aporte en los últimos años, ya que la tasa de forestación ha disminuido de un promedio de 80 mil hectáreas por año en la década del 90, a menos de 40 mil en los últimos 5 años.

El sector agrícola ha estado aumentando sus emisiones por el crecimiento sectorial de los últimos años (Figuras N° 6 y N° 7), llegando a un 25% del total de emisiones de Chile. Especialmente se destaca el efecto del manejo de los suelos por uso de fertilizantes, y la fermentación entérica y el manejo del estiércol, ligados al sector ganadero.

Dado este aumento de las emisiones, se han propuesto diferentes medidas en el sector agrícola, entre otras la reducción de fertilizantes y un buen manejo de los residuos ligados a la ganadería. Otro aspecto interesante de analizar es la promoción del establecimiento de árboles en los campos para mitigar este aumento.

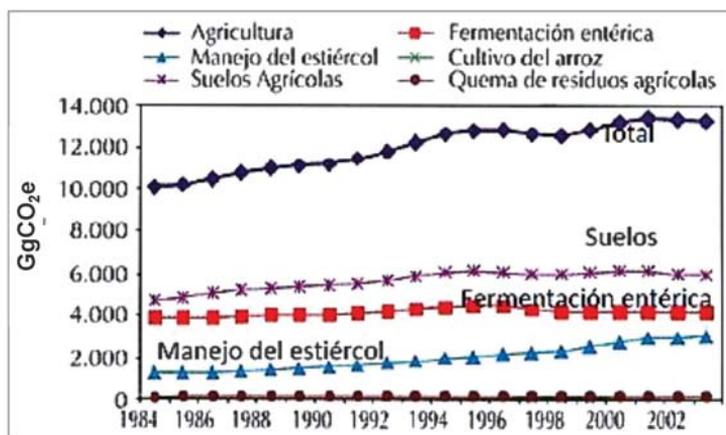
² Land use, land-use change and forestry



(Fuente: Barrera, 2011)

Figura N° 6
Inventario de los gases efecto invernadero en Chile
1984-2006

Es conocida la eficiencia de los árboles en la captura de carbono, dado que en la estructura de la madera se deposita el carbono y este es mantenido hasta que los árboles mueren o son procesados industrialmente, aunque el carbono continúa retenido en la madera en uso. En el proceso de la fotosíntesis los arboles capturan los gases (dióxido de carbono) emitidos por efecto de la fermentación de los alimentos por los animales y del estiércol y de los fertilizantes usados para cultivos y praderas, y emiten oxígeno a la atmosfera.



(Fuente: Barrera, 2011)

Figura N° 7
Contribución del sector agrícola en las emisiones DE CO₂ en Chile, 1984-2002.

Es importante entonces promover el establecimiento de árboles en los campos para proteger los cursos de agua, reducir la erosión, morigerar las condiciones climáticas, mitigar los gases emitidos por actividades agropecuarias y retener carbono. Sin embargo, aún más, se

obtienen beneficios sociales y económicos directos de los productos madereros y no madereros que proporcionan los árboles.

Entre los sistemas agroforestales que se pueden usar en los campos, están las cortinas vegetales cortavientos y de protección, los sistemas silvopastorales, los sistemas agrosilvícolas con especies nobles y frutales, y el establecimiento de *riparian buffers*, o biofiltros, para proteger los cursos de aguas y evitar su contaminación, tanto química como orgánica.

Beneficios Productivos y Económicos de los Sistemas Agroforestales

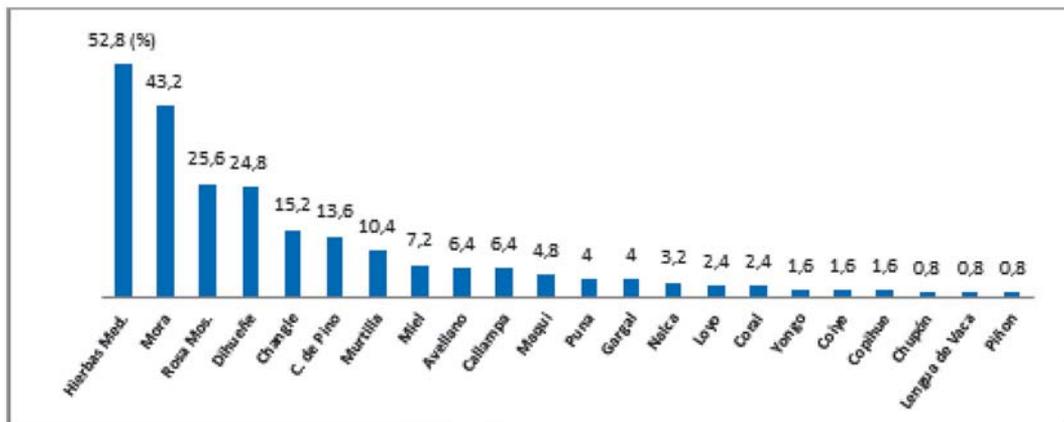
Se presenta a resultados resumidos de estudios sobre la importancia de los Productos Forestales No Madereros (PFNM) en la alimentación y en los ingresos de los recolectores, y algunas experiencias con especies forestales introducidas en Chile, como pino radiata y pino contorta, con fines madereros, pero que cuando son establecidas en base a diseño silvopastoral, entregan otros beneficios como son la protección al suelo, a las praderas y ganado.

- Importancia de los PFNM en los Ingresos y la Alimentación de los Productores en la Región del Biobío.

Para conocer el impacto de los PFNM en las poblaciones rurales de la región del Biobío, se realizó una encuesta que fue validada por diferentes actores relacionados con el tema a nivel regional. Esto permitió establecer en forma directa un diagnóstico preliminar de la situación actual del aporte de los PFNM a los pequeños propietarios y recolectores en torno al autoconsumo familiar y a los ingresos por en la región (Chung *et al.*, 2011). Para acotar la muestra, se seleccionaron 6 comunas de la región, distribuidas en 2 comunas de la zona costera, Tirúa y Cobquecura; 2 comunas del sector de secano interior, Quirihue y Yumbel; y 2 del área precordillerana, Santa Bárbara y El Carmen, para así tener una visión completa del territorio regional.

La aplicación de dicha encuesta se efectuó en forma directa por encuestadores a los propietarios. El número de encuestas en base al total de propietarios de las comunas seleccionadas, para obtener un error de un 5%, se calculó en 381 encuestas, sin embargo limitantes de tiempo y recursos hicieron reducir este número a 120 con un error de muestreo de un 8,9 %. Esta metodología se adaptó a la realidad de los territorios seleccionados, con algunas dificultades de acceso en las zonas rurales y de ausencia de algunos propietarios al momento de las visitas.

Los datos analizados determinaron que un 18,92% de los pequeños propietarios encuestados actuaba como recolectores y vendedores de PFNM. De estos, las mujeres realizan el mayor esfuerzo en las tareas de recolección, participando en un 49,35%, en tanto que los hombres alcanzaron un 28,57%, existe además una participación no menor de jóvenes de 18 años y menos, con un 22,08%. Tomando el conjunto de los PFNM presentes en las 6 comunas encuestadas, dentro de los tres grupos de productos de importancia, en cuanto al uso de ellos en la alimentación, se encuentran las hierbas medicinales, con un 52,8%; los frutos silvestres, como mora, rosa mosqueta, murtilla, maqui y avellana; los hongos, con predominio del digüeñe, seguido del changle y la callampa del pino; y otros productos con menor importancias en la alimentación (Figura N°8).

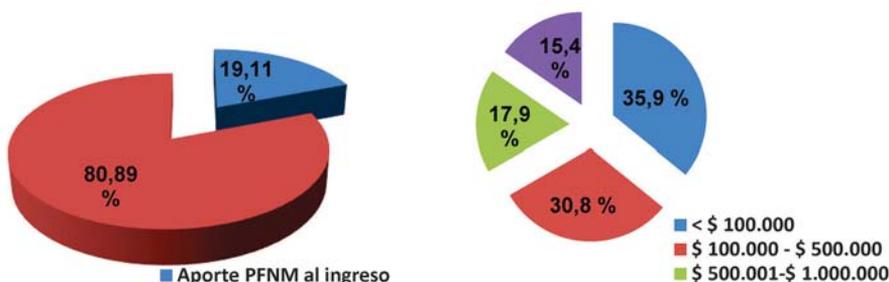


(Fuente: Chung *et al.*, 2011)

Figura N° 8
PFNM UTILIZADOS POR LOS PEQUEÑOS PROPIETARIOS DE LA REGIÓN
PARA LA VENTA Y/O AUTOCONSUMO PARA ALIMENTACIÓN Y SU PARTICIPACIÓN

En cuanto a los ingresos que obtienen los pequeños propietarios por recolección y venta, el promedio alcanza un 19,11% del ingreso total familiar. Las familias ligadas a la recolección de PFM, que venden los distintos productos de la región, logran obtener un ingreso promedio por familia por este concepto cercano a \$53.000 al mes, el cual es adicional y significativo respecto de su actividad agrícola y/o ganadera habitual (Figura N° 9).

Sin embargo, la gran mayoría (66,7%) de los pequeños propietarios obtienen ingresos anuales por venta de PFM por bajo los \$ 500.000 y un segmento menor obtiene ganancias por sobre \$ 1.000.000, representando un aporte importante al ingreso familiar, que proviene principalmente de la actividad agrícola, seguida de la actividad ganadera y una pequeña participación en la actividad forestal, labores comúnmente desarrolladas por el dueño de casa, quien tiene una participación menor respecto de los PFM.



(Fuente: Chung *et al.*, 2011)

Figura N° 9
APORTE PROMEDIO DE LOS PFM AL INGRESO FAMILIAR (IZQ) Y MONTO DEL APORTE (DER).

- **Contribución a la Economía de Productores Agropecuarios de los Sistemas Silvopastorales con *Pinus contota* en la Región de Aysén**

En el Capítulo 8 se revisaron resultados de un estudio realizado por el Instituto Forestal (INFOR) y el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), a partir del año 2003

(Sotomayor *et al.*, 2007), en el cual se contrastaron dos sistemas silvopastorales con *Pinus contorta* (T2, Silvopastoral Tradicional con pradera natural, 400 árb ha⁻¹ y T3, Silvopastoral en Fajas con pradera natural, 400 árb ha⁻¹) con un sistema ganadero sin árboles (T4), y un sistema forestal con 800 árb ha⁻¹ de pino contorta (T1), con el objetivo general de estudiar alternativas productivas sustentables para incrementar la productividad de los predios de la región de Aysén.

Los sistemas silvopastorales y el tratamiento ganadero utilizaron pradera natural mejorada con fertilización, con la presencia de especies de gramíneas, como pasto ovillo (*Dactylis glomerata*), y leguminosas, como trébol rosado (*Trifolium repens*), y los tratamientos forestales fueron podados primeramente a 2,0 m y posteriormente a 3,2 m.

Esta región patagónica del país se caracteriza por la incidencia de vientos fuertes principalmente entre los meses de octubre a febrero, la época de mayor producción vegetativa, con velocidades promedios que fluctúan entre 37 y 56 km h⁻¹, con ráfagas de 60-80 km h⁻¹ en época de primavera. La temperatura media y mínima media anual es de 8,7 °C y 3,9 °C, respectivamente (máxima de enero es de 18,7 °C y mínima de julio es de -0,7 °C). La precipitación media anual es de 1.200 mm (IREN-CORFO 1979), con un periodo corto de escasez de precipitación entre enero y febrero.

Los resultados de la productividad de la pradera son presentados en el capítulo indicado y estos demuestran la importancia para los productores ganaderos del uso de árboles ordenados en sistemas silvopastorales para la obtención de mayor cantidad de alimento para sus animales, lo que determina una interesante producción en peso vivo por hectárea. En este estudio, en 5 temporadas de evaluación, con sistemas silvopastorales en faja se obtienen 1.239 kg en peso vivo animal, versus los 1.192 kg obtenido en un sistema ganadero sin árboles de protección. Si bien no hubo diferencias significativas, lo importante para los agricultores es que en el sistema silvopastoral se produjo más kilogramos de carne y, además, se está obteniendo madera de las plantaciones manejadas, lo que se puede llamar un segundo piso productivo. Estos sistemas en la región de Aysén están recibiendo aproximadamente el mismo ingreso por animales, pero en el silvopastoral se suma un ingreso adicional por la madera, por lo que su rentabilidad será mayor, además de los beneficios ambientales ya antes comentados de la presencia de árboles.

- **Contribución a la Economía de Productores Agropecuarios de los Sistemas Silvopastorales con *Pinus radiata* en la Zona Centro – Sur de Chile.**

Resultados similares se obtuvieron en los estudios presentados en el Capítulo 6, sobre sistema silvopastorales con pino radiata, en los que se demuestra la importancia de estos usos integrados, donde se puede obtener forraje para la alimentación de los animales, mientras la producción forestal madura, lo que genera un ingreso para el agricultor al momento de la cosecha, y así diversifica la producción minimizando riesgos.

Para cuantificar el real impacto de los sistemas silvopastorales en la economía de los productores silvoagropecuarios, se expuso en el capítulo mencionado un análisis de rentabilidad de 7 sistemas productivos, considerando tres sistemas silvopastorales establecidos con una densidad inicial de 625 árb ha⁻¹, con tres tipos de praderas, los cuales fueron comparados con tres sistemas ganaderos, considerando las mismas praderas que los sistemas silvopastorales para su evaluación, y finalmente con un sistema forestal con el objetivo de producción de madera.

La evaluación económica de los tratamientos comparados consideró todos los ingresos, forestales y animales, sobre la base de antecedentes de Rodríguez (1998) y Sotomayor y Cabrera (2008), y considerando los incentivos que entregaba el Gobierno a la forestación y a la recuperación de suelos, durante toda la rotación de los tratamientos. También se tomó en cuenta los costos de cada uno de los tratamientos evaluados.

Los resultados señalados en ese capítulo indican que se obtienen los mejores resultados en aquellos tratamientos donde participa la componente forestal. Los mejores resultados para los indicadores Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) se encontraron en dos de los tratamientos silvopastorales evaluados, con una TIR de 16,2% para sistema silvopastoral con pradera mejorada, de 16,0% para silvopastoral con pradera natural y 15,5% para tratamiento forestal, sin diferencias significativas entre ellos. Por otro lado, los que obtuvieron la menor rentabilidad, incluso negativa, fueron los tratamientos ganaderos con ovinos y, en especial, aquellos donde participa la componente pradera sembrada, lo cual es similar en el caso silvopastoral. Esto se debe al alto costo de la fertilización que una pradera sembrada con trébol subterráneo y falaris requiere para su desarrollo.

Estos resultados destacan que los sistemas silvopastorales pueden entregar interesantes resultados para los agricultores, ya que con ellos se obtienen ingresos por la producción animal durante parte de la rotación de estos sistemas, que en este caso puede ser 15 - 17 años de la rotación de 25 años del sistema completo. Estos ingresos, aparte de los ingresos intermedios por venta de madera proveniente de raleos, y sumados a los ingresos finales de la componente forestal, pueden permitir a los propietarios su estabilidad en el predio con sus familias. El ingreso final generado por la componente forestal es de importancia, especialmente si la plantación ha sido bien manejada y genera trozas de buena calidad, mejorando la rentabilidad del sistema.

CONCLUSIONES

Los pequeños productores agrícolas perciben beneficios de los sistemas agroforestales, tanto ambientales y económicos como sociales, lo que ha llevado a establecer más de 1.100 ha con estos sistemas en el país entre los años 2003 y 2013. Los productores prefieren los sistemas silvopastorales y las cortinas cortavientos, por sobre la forestación tradicional con fines industriales.

Los principales beneficios que los productores asocian a los sistemas agroforestales son el mejoramiento de los ingresos del grupo familiar y su calidad de vida, el incremento de la productividad predial, la protección de los suelos y la provisión de energía para sus hogares.

Entre los inconvenientes para la implementación de los sistemas agroforestales aparecen principalmente la escasa superficie que poseen los pequeños productores silvoagropecuarios, la falta de financiamiento, carencias de información técnica y conocimientos, y falta de mano de obra, especialmente si se considera que la edad promedio de estos productores agrícolas es de 55 años.

Se valora la contribución de los sistemas agroforestales en aspectos ambientales, como el control de erosión, apreciándose el impacto positivo de estos sistemas en la protección de los suelos y en la reducción del viento, especialmente en zonas donde el factor eólico es una causa importante de la erosión, como es el caso de la región de Aysén y en zonas costeras, que reduce la productividad de praderas y cultivos.

Las evaluaciones económicas ofrecen interesantes resultados con sistemas silvopastorales, las mejores rentabilidades se obtienen cuando participa la componente forestal con *Pinus radiata* en la zona centro sur del país. Por el contrario, los sistemas ganaderos muestran incluso rentabilidades negativas cuando son utilizados en suelos de aptitud preferentemente forestal y, en especial, en suelos erosionados.

Resultan también interesantes los ingresos complementarios que pueden generar los PFM. En sistemas silvopastorales con pino radiata, en la zona central del país, es usual la recolección de hongos, del genero *Suillus sp.*, que generan importantes ingresos. También la recolección de frutos y hierbas medicinales pueden entregar interesantes ingresos a los recolectores, Destaca también el autoconsumo para la alimentación de los grupos familiares en zonas rurales

Los resultados indican que los sistemas agroforestales son una real alternativa para los pequeños y medianos propietarios de suelos y bosques de la zona central y de la zona sur y austral del país, dado que son los sistemas mejor evaluados en cuanto a percepción, adopción y rentabilidad, bien percibidos por los agricultores además desde el punto de vista social y ambiental.

REFERENCIAS

Anderson, G. W., 1977. Productivity of Crops and Pastures under Trees. pp. 58-63. In: Integrating Agriculture and Forestry. Ed: by Howes K.M.W. and Rummey R.A. CSIRO., Australia.

Barrera, D., 2011. Situación en Chile de los Gases Efecto Invernadero. Odepa, Santiago, Chile.

Chung, P.; Sotomayor, A. y Lucero, A., 2011. Diagnóstico del Impacto de los Productos Forestales No Madereros (PFNM) en el Ingreso y la Alimentación de los Pequeños Propietarios en la Región del Bio Bio, Chile. En Acta: "III Seminario Investigación y Desarrollo en la Pequeña Propiedad" 26 al 28 de Octubre del 2011, Concepción, Chile. 14 p.

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

IREN-CORFO, 1979. Perspectivas de Desarrollo de los Recursos de la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo: Suelos y Erosión, Caracterización Climática. Coyhaique, Chile. 113 pág.

Lee, R., 1978. Forest Microclimatology. Columbia University Press, New York.

Lewis, C.; Burton, C.; Monson, W. and McCormick, W., 1983. Integration of Pines, Pastures and Cattle in Southern Georgia, USA. Agrofor. Syst. 1:277-297.

Mead, D., 2009. Biophysical Interactions in Silvopastoral Systems: A New Zealand perspective. En: Actas del 1^{er} Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Posadas, Misiones Argentina. Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina. pp. 3-9.

Murgeitio, E., 2009. Aspectos relacionados con la sustentabilidad social y ambiental de los sistemas silvopastoriles en América tropical. En: Actas del 1er Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Posadas, Misiones Argentina. Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina. Pp. 66-69.

Nair, P. K. R., 1987. Soil productivity under agroforestry. In: Agroforestry Realities, Possibilities and Potentials. Ed. by Gholz H.L., Martinus Nijhoff and Junk W. Dordrecht, The Netherlands.

Percival, N.; Hawke, M. and Andrew, B., 1984. Preliminary report on climate measurements under *Pinus radiata* plants in farmland. In: Bibrough GW (ed), Proceedings of a technical workshop of agroforestry. Ministry of Agriculture and Fisheries, Wellington. pp: 57-60

- Peri, P.; Lucas, R. and Moot, D., 2007.** Dry matter production, morphology and nutritive value of *Dactylis glomerata* growing under different light regimes. *Agrofor. Syst.* 70: 63-79.
- Perret, S. y Valdebenito, G., 1999.** Evaluación de pérdidas de suelo y escorrentía bajo diferentes esquemas productivos, en la provincia de Choapa, IV Región de Chile. *En: Seminario Internacional Forestación y Silvicultura en Zonas Áridas y Semiáridas, La Serena Chile.* Biblioteca INFOR, Santiago, Chile. pp. 60-72.
- Rodríguez, 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.
- Snaydon, R. W. and Harris, P. M., 1979.** Interactions Belowground: The use of nutrients and water. In: *Proc. International Workshop on Intercropping.* Ed. by Willey R.W. ICRISAT, Hyderabad, India. pp. 188-201.
- Solangaarachchi, S. M. and Harper, J. L., 1987.** The Effect of Canopy Filtered Light on the Growth of White Clover (*Trifolium repens*). *Oecologia* 72: 372-376.
- Sotomayor, A., 1989.** Sistemas Silvopastorales y Mu manejo. Documento Técnico N° 42. *Revista Chile Forestal*, Diciembre 1989. CONAF. 8p.
- Sotomayor, A., 2009.** Sistemas Silvopastorales, alternativa productiva para un desarrollo sustentable de la agricultura en Chile. *En: Actas del 1er Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles.* Posadas, Misiones Argentina. Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina. pp.26-47.
- Sotomayor, A., 2010.** Sistemas Silvopastorales, alternativa de producción integrada para un desarrollo sustentable de la agricultura en Chile. *Ciencia e Investigación Forestal*, 16 (1): 19-51, 2010.
- Sotomayor, A.; Moya, I. y Teuber, O., 2007.** Análisis de un sistema silvopastoral con *Pinus contorta* (Doug. Ex Loud.) en la XI Región de Chile. *Ciencia e Investigación Forestal*, Vol. 13 N° 3, Diciembre 2007. Pág. 543-558.
- 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 N° 2, Agosto 2008. Pág. 269-286.
- Sotomayor, A.; Moya, I. y Teuber, O., 2008.** Uso de Sistemas Silvopastorales con *Pinus contorta* (Dougl. ex Loud.), una Realidad Económica para la Patagonia Chilena. *En: 4to Congreso Chileno de Ciencias Forestales, Universidad de Talca, 1 al 3 de Octubre de 2008.* Editores Dr. Mauricio Ponce Donoso, M.Sc. Marcia Vázquez Sandoval, Talca, Chile.
- Sotomayor, A.; Teuber, O. y Moya, I., 2009a.** Resultados y experiencia sobre manejo de sistemas silvopastorales en la región de Aysén. *En: Sistemas Agroforestales para la región de Aysén: Cortinas Cortaviento y Silvopastoreo.* pp: 165-199. Ed: Teuber, O. Instituto de Investigaciones Agropecuarias e Instituto Forestal. Coyhaique, Chile.
- Sotomayor, A.; Lucero, A.; Grosse, H.; Bello, A. y Soto, H., 2009b.** Análisis agroforestal de la pequeña propiedad agrícola en las regiones del Bío Bío y la Araucanía. *Ciencia e Investigación Forestal*, Vol. 15 N° 3, Diciembre 2009. Pág. 355-382.
- Sotomayor, A. y Teuber, O., 2011.** Evaluación del efecto de los arboles manejados bajo ordenación 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.
- Watson, V. H.; Pearson, H. A.; Knight, W. E. and Hagedorn, C., 1984.** Cool season forages for use in Pine forests. Pp.79-88. in: *Agroforestry in the Southern Unites States, 33rd Annual Forestry Symposium.* Ed. by Linnartz N. E. and Johnson M. K. Louisiana Agric. Exp. Sta., Baton Rouge, Louisiana.

Capítulo 15

RELACIÓN DE LOS SISTEMA SILVOPASTORALES CON EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA POTENCIAL CAPTURA DE CARBONO

Francis Dube¹, Miguel Espinosa¹, Neal Stolpe² y Erick Zagal²

RESUMEN

El cambio en el uso del suelo afecta el potencial de secuestro de carbono (C) en todos los ecosistemas. Sin embargo, existe todavía poca información accesible sobre los aspectos del secuestro de C en agroecosistemas ubicados en las zonas templadas del Hemisferio Sur, y especialmente en aquellas zonas con suelos volcánicos.

En la región de Aysén, Patagonia chilena, se llevó a cabo un estudio entre los años 2005 y 2011 para determinar la influencia de algunos agroecosistemas en los contenidos totales de C, cuantificar y comparar los reservorios y flujos de C en estos ecosistemas, y modelar los potenciales de secuestro de C.

Los tratamientos consistieron en sistemas silvopastorales con *Pinus ponderosa* (SPS), plantaciones de pino ponderosa (PPP) y praderas naturales (PST). La conversión de PPP a SPS causó un aumento del 30% del C orgánico de suelo a 0-40 cm de profundidad. Los árboles en SPS están utilizando los recursos del sitio de manera más eficiente y su crecimiento es mejorado por el nitrógeno adicional suministrado por la leguminosa, dando como resultado una cantidad mayor de C secuestrado.

Los reservorios de C sobre y bajo el suelo fueron 224, 199 y 177 t C ha⁻¹ en SPS, PPP y PST, respectivamente, mientras que los flujos netos de C fueron +1.8, +2.5 y -2.3 t C ha⁻¹ año⁻¹ para SPS, PPP y PST, respectivamente.

En SPS y PPP, los flujos netos positivos de C indican que estos sistemas funcionan como verdaderos sumideros de C. Sin embargo, el flujo negativo neto de C en PST indica que este sistema podría ser una "fuente" neta de C a la atmósfera.

Para llegar a la neutralidad de C en la Patagonia chilena, un área de 481 km² bajo sistemas silvopastorales con ganado bovino sería suficiente para contrarrestar todas las pérdidas de CO₂ y CO₂-equivalente (CH₄ y N₂O) de sistemas agropecuarios con ganado bovino. Sin embargo, debido a que la pradera está actuando como una fuente de C, la implementación de sistemas silvopastorales en grandes superficies en la Patagonia podría contribuir enormemente con las estrategias de mitigación del cambio climático en Chile.

Palabras claves: Andisols, Reservorios y flujos de C, GEI, *Pinus ponderosa*

1 Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Concepción, Chile. fdube@udec.cl

2 Departamento de Suelos y Recursos Naturales, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Chile.

SUMMARY

Land-use change affects the carbon (C) sequestration potential across landscapes. However, little information is available on aspects of C sequestration in agroecosystems located in the temperate areas of the Southern Hemisphere, and especially those on volcanic soils.

In the Aysén region, Chilean Patagonia, a study was undertaken between 2005 and 2011 in order to determine the influence of prominent Patagonian ecosystems on the total C contents; to quantify and compare C pools and fluxes in these ecosystems, and to model C sequestration potentials.

The treatments consisted of *Pinus ponderosa*-based silvopastoral systems (SPS), Ponderosa Pine plantations (PPP) and natural pasture (PST). Conversion of PPP to SPS resulted in a 30% increase in soil organic carbon at 0-40 cm depth. The results indicate that trees in SPS are using the site resources more efficiently and have their growth enhanced by the additional soil N provided by the leguminous pasture, resulting in larger amounts of C being sequestered.

Total above and belowground C pools were 224, 199 and 177 t C ha⁻¹ in the SPS, PPP and PST, respectively. Estimated system net C flux was +1.8, +2.5 and -2.3 t C ha⁻¹ y⁻¹ for the SPS, PPP and PST, respectively. In SPS and PPP, the positive net C fluxes indicated that these systems function as true C “sinks”, while a negative net C flux observed in PST indicated that this system could be a net C “source” to the atmosphere.

To attain C neutrality in the Chilean Patagonia, a land area of approximately 481 km² under silvopastoral systems with cattle would be sufficient to offset all C losses (CO₂, CH₄ and N₂O) from cattle-based livestock systems. Considering that pasture is acting as a C source, the adoption of SPS over large tracts of grazing lands in the Patagonia could therefore contribute enormously towards Chilean strategies to mitigate climate change.

Keywords: Andisols, C pools and fluxes, GHG, *Pinus ponderosa*

INTRODUCCIÓN

Se estima que entre 1850 y 2015 la concentración atmosférica de CO₂ aumentó de 280 a casi 400 ppm, siendo el incremento de 5% en los últimos 10 años (Tans, 2015). Cambios en los usos del suelo (e.g. deforestación) y combustión de energías fósiles son dos factores antropogénicos que han contribuido a este incremento. La influencia de las prácticas de manejo de la tierra sobre los *stocks* de carbono (C) en suelos y biomasa ha sido altamente documentada a nivel mundial (Ross *et al.*, 2002; Huygens *et al.*, 2005; Stolpe *et al.*, 2010; Dube *et al.*, 2009 y 2013). Cambios en usos del suelo no solo afectan las fuentes y sumideros de C, también tienen un efecto sobre las emisiones de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O).

IPCC (2007) indica que el uso de sistemas agroforestales en tierras agrícolas degradadas tiene un gran potencial de secuestro de C. Los árboles, por su naturaleza perenne, actúan como sumidero de CO₂ atmosférico de largo plazo. Por lo tanto, la introducción de árboles de rápido crecimiento en sistemas de cultivo agrícola, sobretodo cultivos perennes, puede aumentar la captura de C e incrementar a corto plazo los sumideros terrestres (Nair *et al.*, 2010). Una serie de estudios realizados en regiones templadas del mundo ha demostrado que los sistemas

agroforestales pueden secuestrar más C que los monocultivos agrícolas, praderas y plantaciones forestales y, por lo tanto, son considerados sumideros reales de C (Peichl *et al.*, 2006; Dube *et al.*, 2011, 2012, 2013).

En regiones remotas como la Patagonia chilena, que se caracteriza por sus extensas praderas degradadas y sus suelos volcánicos erosionados, muchos pequeños y medianos productores tienen cada vez más dificultades para mantener la productividad de sus sitios de cría de ganado, una actividad tradicional que es también a veces su única fuente de ingresos, ya que pocos de ellos pueden cambiar de rubro para dedicarse exclusivamente a la actividad forestal, el Instituto Forestal de Chile (INFOR) incentiva la adopción de sistemas silvopastorales, como una práctica más sustentable del uso de sus tierras, a fin de cubrir sus necesidades socioeconómicas y, a su vez, contribuir con la mitigación del aumento de la concentración de CO₂ atmosférico (Teuber y Ganderats, 2009).

En la región de Aysén, la gestión de la mayoría de las propiedades ganadero-forestales medianas y grandes se caracteriza por una mentalidad pionera de corto plazo y su manejo no es sustentable, es decir, no existe una orientación hacia beneficios equitativos para las futuras generaciones. Según el Gobierno Regional de Aysén (2002), es necesario evaluar experiencias extranjeras y adaptarlas a la realidad de la zona, implementando por ejemplo prácticas silvopastorales. Con la ratificación del Protocolo de Kioto por Chile, la adopción progresiva de sistemas silvopastorales representa hoy más que nunca una forma de uso del suelo adaptada a la realidad climática y económica de la región.

Los escasos estudios sobre sistemas agroforestales en Chile y la ausencia de investigaciones científicas que permitan modelar los balances de C en sistemas silvopastorales ubicados en la zona templada del hemisferio sur, en especial aquellos establecidos sobre suelos volcánicos degradados, indican la necesidad de estudiar y comparar los reservorios de C de estos sistemas con aquellos encontrados en praderas naturales y bosques plantados. En la región de Aysén los pastizales cubren más de 1 millón de hectáreas y los bosques plantados con especies exóticas un área superior a 40.000 ha (INFOR, 2014).

En este contexto, se entregan los antecedentes de un estudio inédito que evalúa el potencial de captura de C (sobre y bajo la tierra) en ecosistemas sobre suelos volcánicos degradados en la Patagonia chilena.

OBJETIVOS

Medir el tamaño de las reservas de C presentes en una plantación raleada y podada de *Pinus ponderosa* de 18 años de edad (PPP) y en un sistema silvopastoral con pinos (SPS) con fajas de praderas de 21 m de ancho establecidas entre fajas de árboles de 6 m de ancho.

Determinar el efecto de las leguminosas *Trifolium* spp. sobre el crecimiento del componente arbóreo.

Cuantificar y comparar los reservorios y flujos de C en la plantación de pino, el sistema silvopastoral y la pradera mejorada (PST).

Modelar los potenciales de secuestro de C en estos tres agroecosistemas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del Sitio y Diseño Experimental

El sitio de investigación se ubica en el Módulo Agroforestal San Gabriel en el Sector Mano Negra (Figura N° 1a), establecido en 2002 por el Instituto Forestal (INFOR), 30 km al norte de la ciudad de Coyhaique en la región de Aysén, en una pendiente de exposición oeste, a una altitud de 730 msnm, 45°25' LS y 72°00' LW.

El estudio se llevó a cabo en la Zona Agroecológica Intermedia de la región de Aysén en la Patagonia chilena. La precipitación anual varía de 1.000 mm a 1.500 mm. Sin embargo, solo el 15% de la precipitación ocurre entre diciembre y febrero, coincidiendo con el período más cálido y ventoso. Las temperaturas medias oscilan entre 12 °C y 14 °C en verano y 2 °C y 3 °C en invierno (Dube *et al.*, 2009).

Durante el verano, los fuertes vientos del oeste provocan déficits estacionales de agua y erosión eólica, lo que puede disminuir la materia orgánica del suelo (MOS). Los horizontes del suelo mineral tienen propiedades de suelo andinas, que incluyen baja densidad aparente ($<0,9 \text{ g cm}^{-3}$), altos valores de fijación de P (65-89%) y alto contenido de agua a 1500 kPa de tensión. El suelo fue clasificado como medial, amorfo, méxico, *Typic Hapludands* (Stolpe *et al.*, 2010).

Tres usos del suelo, en lo sucesivo denominados como tratamientos fueron estudiados:

Sistema silvopastoral con *Pinus ponderosa* (SPS) con fajas de praderas de 21 m de ancho establecidas entre fajas de árboles de 6 m de ancho (Figura N° 1b).

Plantación raleada y podada de *Pinus ponderosa* (PPP) de 18 años de edad (Figura N° 1c).

Pradera natural mejorada (PST) (Figura N° 1d).

Toda la zona de estudio estaba inicialmente cubierta con bosque nativo dominado por lenga (*Nothofagus pumilio*).

En 1991 fueron establecidas plantaciones de *Pinus ponderosa* sobre praderas degradadas, con una densidad de 2000 árb ha^{-1} y espaciamiento de 2,0 m x 2,5 m. En 2003, la densidad había bajado naturalmente a 1514 árb ha^{-1} , la altura media de los árboles (HT) era 6,7 m, el diámetro a altura de pecho (DAP) 11,4 cm, el área basal 15,3 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$, y la cobertura de copa sobre 90%.

En este mismo año, se raleó parte de la plantación (5 ha) a una densidad final de 800 árb ha^{-1} (espaciamiento homogéneo) y otra parte a una densidad de 400 árb ha^{-1} , la cual fue luego convertida a un sistema silvopastoral en fajas (5 ha) (Dube *et al.*, 2011, 2012).

La pradera en las fajas abiertas tenía una carga animal de 0,5 vacunos ha^{-1} , y consistió en una mezcla de gramíneas (*Dactylis glomerata*, *Holcus lanatus*, *Poa pratensis*) y leguminosas perennes (*Trifolium pratense*, *T. repens*) y otras especies acompañantes (*Acaena magellanica*, *A. pinnatifida*, *Hypochoeris radicata*, *Taraxacum officinale*).



(Fuente: Dube *et al.*, 2011).

- a- Sistema silvopastoral en fajas, rodeado de la plantación de *Pinus ponderosa* en monocultivo y de la pradera natural manejada.
- b- Parcelas permanentes establecidas en el sistema silvopastoral con vacunos Angus Negro pastoreando entre hileras de pino (SPS).
- c- Plantación podada y raleada de *Pinus ponderosa* (PPP).
- d- Pradera natural (PST)

Figura N° 1
TRATAMIENTOS INCLUIDOS EN EL ESTUDIO SECTOR MANO NEGRA
REGIÓN DE AYSÉN, PATAGONIA CHILENA

Cada parcela experimental medía 15 m x 27 m (405 m²) y se encontraba a 5 m del borde de cada tratamiento. En SPS, cada parcela incluía tres hileras de pinos (6 m de ancho) y media faja de pasto en cada lado de la faja de árboles (10,5 m de longitud). En PPP y PST, las parcelas tenían solo pinos y pasto, respectivamente (Dube *et al.*, 2012).

Biomasa de Pino Ponderosa y Pastura y Contenidos de Carbono

Se realizó un inventario forestal en PPP y SPS en 2007, 2008 y 2009 para determinar las características y crecimiento de los árboles bajo diferentes tipos de manejo (Dube *et al.*, 2012).

Todos los árboles en las réplicas fueron evaluados, midiendo las variables DAP y HT con cinta diamétrica y vara telescópica, respectivamente.

Dadas las limitaciones logísticas y la disponibilidad de equipos, se estimó la biomasa radicular gruesa (diámetro > 5 mm) con una función alométrica que relaciona la biomasa radicular del árbol con el DAP (cm) del tronco (Gayoso *et al.*, 2002; Dube *et al.*, 2009) (Biomasa radicular = $-13,2750 + e^{(2,4148 + 0,0743 \cdot \text{DAP})}$). En cuanto a las raíces finas (diámetro <5 mm), se estimó su producción anual como un porcentaje de la caída de biomasa foliar (Abohassan, 2004).

Se hizo un muestro destructivo para determinar el peso de los distintos componentes arbóreos. Tres árboles en PPP y SPS fueron seleccionados al azar usando la técnica del árbol medio basado en el área basal media. Este método asume que el árbol de tamaño medio también contiene la biomasa media del rodal (Teller, 1988).

Una vez volteado el árbol, se midió la biomasa fresca de los troncos, ramas, ramillas, acículas y conos usando un dinamómetro de 45 kg (*Salter Brecknell Electro Samson Scale, Raco Industries, Cincinnati, OH, USA*). Tres sub muestras de cada componente arbóreo (incluyendo raíces gruesas superficiales extraídas con palas y sierra a 0 - 30 cm de profundidad) fueron extraídas para determinar los niveles de humedad y concentraciones de carbono. Se obtuvieron rodela a altura de tocón, de pecho y de inicio de copa. Se secaron las sub muestras en un horno a 65°C por 5 días y se pesaron nuevamente, lo que permitió extrapolar el peso seco medio de las diferentes sub muestras al rodal completo (Peichl *et al.*, 2006). La concentración de C total de las sub muestras se determinó con un analizador elemental Fisons EA1108 CHNS-O (*Fisons Instrument, CA, USA*).

La biomasa pratense total sobre el suelo fue cosechada a partir de tres cuadrantes colocados al azar (0,5 m² cada uno) por parcela de muestreo (9 en total por tratamiento) para determinar la productividad primaria neta aérea (ANPP). El material de pastoreo se cosechó tres veces al año en la temporada de crecimiento durante un período de dos años. Dado que no fue posible medir la productividad primaria neta subterránea (BNPP), esta se estimó usando un algoritmo conocido (Gibson, 2009).

Hojarasca y Descomposición de Sustratos Orgánicos

Trampas cónicas circulares de 1 m² con una altura de 60 cm fueron usadas en SPS y PPP para recoger la biomasa foliar (Berg y Laskowski, 2006). La cantidad de biomasa se midió mensualmente durante un período de 2 años y semanalmente durante las temporadas lluviosas.

Con el fin de cuantificar la descomposición de la hojarasca, la biomasa de raíces mixtas de pasto y las heces de ganado, se usaron bolsas de poliéster de 20 cm x 20 cm con una malla de 0,5 mm que se llenaron con los sustratos respectivos (Berg y Laskowski, 2006) y luego se colocaron sobre el horizonte Oe (acículas y heces) o se enterraron a 15 cm de profundidad (biomasa radicular).

Las acículas de pino se muestrearon cada seis meses durante dos años, mientras que la toma de muestras de raíces y heces de ganado se realizó cada tres meses durante un año.

El aporte anual de C al suelo por parte del ganado se estimó usando la cantidad de heces producidas por animal por día (Yang *et al.*, 2003), la concentración en C de las heces y las capacidades de carga animal.

Carbono y Nitrógeno de Suelo

En marzo de 2009, se tomaron muestras de suelo a 0 - 5; 5 - 20 y 20 - 40 cm de profundidad con un barreno para determinar el contenido total de C orgánico e inorgánico, así como el N total en cada tratamiento (Dube *et al.*, 2009). Dada la génesis de los suelos volcánicos, el contenido de C inorgánico era casi inexistente y se concluyó que C total fue lo mismo que C orgánico.

Contenido de Carbono en Lixiviados y Respiración de Suelo

Las concentraciones de C en la solución del suelo lixiviada bajo las raíces de pasto y pinos se midieron usando lisímetros de tensión instalados de forma permanente a una profundidad de 80 cm. El muestreo se realizó sobre una base mensual y semanal durante las estaciones lluviosas. El carbono disuelto en el agua de lluvia y las nevadas se determinó seis veces al año durante los meses de mayor precipitación. El C orgánico soluble total se analizó por combustión a 675 °C usando un TOC-V CPN *Total Organic Carbon Analyzer* (Shimadzu Corp., Kyoto, Japan). La lixiviación de C representa la suma de diferentes entradas, una de ellas es el C disuelto en la lluvia y nevadas durante todo el año.

Conociendo la concentración de C en las deposiciones atmosféricas y usando datos de concentración de C de la solución del suelo lixiviado (Dube *et al.*, 2011), se pudo determinar la contribución de cada sistema a la cantidad total de C lixiviado. Adicionalmente, se cuantificó la respiración total del suelo con la técnica *in situ* de absorción de CO₂ por soda carbonatada en cámara cerrada (Edwards, 1982).

Cámaras circulares se instalaron a 5 cm de profundidad en el suelo, asegurando que el área estaba libre de materia orgánica viva. Las mediciones se realizaron mensualmente y semanalmente en verano. Se calculó la cantidad de CO₂ producido en 24 horas para el área de la cámara y se convirtió a la hectárea.

Análisis Estadísticos

Todos los tratamientos se analizaron con el procedimiento *General Lineal Model* de SAS v.9.0 (SAS Institute Inc., 2003), para diseño completamente al azar, para probar el efecto de los tratamientos sobre los parámetros descritos en secciones anteriores (Peichl *et al.*, 2006). Todos los datos fueron examinados para la homogeneidad de la varianza y normalidad. El análisis de varianza se llevó a cabo utilizando el procedimiento ANOVA. Se utilizó la prueba t de Student para poblaciones independientes para comprobar si hay diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (comparación por pares) ($P < 0,05$).

Flujos de Carbono del Ganado, Descomposición de Restos de Madera y Emisiones por Fertilizantes

La mayoría de los datos se derivaron de las parcelas experimentales. Sin embargo, los valores para la respiración de ganado, las emisiones de CH₄ procedentes de la fermentación entérica y de N₂O de parches de estiércol y orina, la pérdida anual de peso por descomposición de ramas muertas de *Pinus ponderosa* y troncos/tocones de *Nothofagus pumilio*, la tasa de lixiviación anual, y las emisiones anuales de N₂O provenientes de la aplicación de fertilizantes nitrogenados se derivaron de la literatura.

RESULTADOS

Distribución de Concentraciones y Stocks de Carbono en Pinos

En el Cuadro N° 1 son presentadas las concentraciones (%) y *stocks* (kg árb⁻¹ y kg ha⁻¹) de carbono en diferentes componentes arbóreos en plantaciones de *Pinus ponderosa* (PPP) y en sistemas silvopastorales con pinos en fajas (SPS).

Las concentraciones de C de los componentes aéreos individuales y totales eran similares en ambos tratamientos; solo se observó una diferencia significativa para las acículas de pino, siendo mayor el valor en SPS. Las concentraciones de C en PPP bajaron en el orden Conos ≥ Acículas ≥ Ramillas > Raíces > Ramas ≥ Troncos, y Total aéreo ≥ Total subterráneo. Se detectaron diferencias significativas entre Conos y Ramas y entre Troncos y Raíces; Acículas fue también estadísticamente diferente de Ramas y Troncos. En SPS, las concentraciones relativas de C en los componentes arbóreos individuales fueron Acículas > Conos > Ramas ≥ Ramillas ≥ Raíces ≥ Troncos, y Total aéreo ≥ Total subterráneo. Acículas fue estadísticamente diferente de todos los componentes del árbol salvo Conos. En ambos PPP y SPS, Troncos fue el componente con el menor % de C. (kg árb⁻¹)

Cuadro N° 1
CONCENTRACIONES Y STOCKS DE C EN DIFERENTES COMPONENTES ARBÓREOS
EN PLANTACIONES DE *Pinus ponderosa* (PPP) Y SISTEMAS SILVOPASTORALES CON PINOS (SPS)

Componentes Arbóreos	PPP	SPS	PPP	SPS	PPP	SPS
	(%)*		(kg árb ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)	
Troncos	51,4 ± 1,0 a D	51,7 ± 0,8 a C	19,2 ± 4,8 a	23,0 ± 4,9 a	15350 ± 3829 a	9216 ± 1947 b
Ramas	52,8 ± 0,5 a CD	53,4 ± 1,0 a BC	9,1 ± 5,9 a	12,6 ± 3,4 a	7291 ± 4755 a	5054 ± 1379 a
Ramillas	53,7 ± 0,8 a ABC	53,2 ± 1,2 a BC	2,3 ± 1,2 a	3,7 ± 1,1 b	1832 ± 952 a	1478 ± 436 a
Acículas	55,2 ± 0,3 a AB	56,2 ± 0,7 b A	7,6 ± 1,6 a	13,4 ± 4,1 b	6066 ± 1288 a	5341 ± 1636 a
Conos	55,5 ± 1,0 a A	54,4 ± 0,1 a AB	0,2 ± 0,1 a	0,4 ± 0,04 b	144 ± 80 a	157 ± 15 a
Raíces	53,2 ± 1,3 a BCD	52,5 ± 1,4 a BC	21,3 ± 2,4 a	23,4 ± 4,8 a	17057 ± 1922 a	9372 ± 1912 b
Total aéreo	53,7 ± 0,4 a ABC	53,8 ± 0,4 a B	38,4 ± 13,2 a	53,1 ± 12,7 b	30683 ± 10577 a	21247 ± 5086 b
Total subterráneo	53,2 ± 1,3 a BCD	52,5 ± 1,4 a BC	21,3 ± 2,4 a	23,4 ± 4,8 a	17057 ± 1922 a	9372 ± 1912 b
Total árbol	53,6 ± 0,5 a	53,6 ± 0,4 a	59,7 ± 15,5 a	76,5 ± 17,3 b	47740 ± 12379 a	30619 ± 6902 b

(Fuente: Dube et al., 2012)

* Promedio ± desviación estándar

Valores con la misma minúscula en un mismo componente arbóreo y entre tratamientos (PPP y SPS) por grupo no son significativamente diferentes (Test t de Student, ***P* < 0,01).

Valores con la misma mayúscula en una columna y entre componentes arbóreos o entre totales no son significativamente diferentes (Test HSD de Tukey, **P* < 0,05).

En una base por árbol, el *stock* de C fue mayor en todos los componentes de SPS al compararlos con los de PPP (Cuadro N° 1 y Figura N° 2a). Se encontraron diferencias significativas solo en Ramillas (61% mayor), Acículas (76%) y Conos (100%), Total aéreo (38%) y Total árbol (28%).

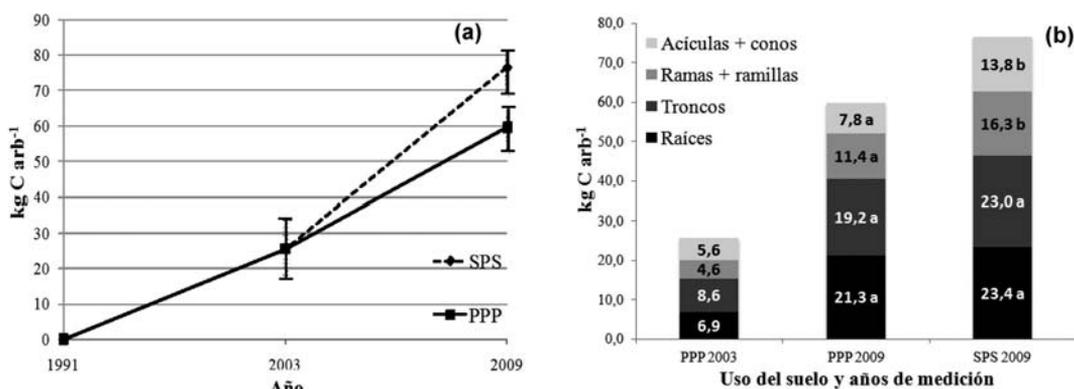
En PPP y SPS el 64 y 69% del C total del árbol, respectivamente, se almacenó como

biomasa aérea, mientras que el 36 y el 31% se almacenó en el sistema radicular (Dube *et al.*, 2012).

Además, el 32% y el 39% del C total en PPP y SPS, respectivamente, se almacenó en Ramas, Ramillas, Conos y Acículas, los que conjuntamente representan un aporte potencial de C al *stock* de C del suelo vía caída de biomasa foliar y poda (Cuadro N° 1 y Figura N° 2b).

Al observar los datos con respecto a la hectárea, en la plantación de pino hubo un *stock* de C significativamente mayor en Raíces (82% mayor) y Troncos (67%).

La diferencia entre PPP y SPS se redujo a solo un 44% al compararlo con los *stocks* de C total aéreo, lo que implica que en SPS el almacenamiento de C por árbol es más eficiente.



(Fuente: Dube *et al.*, 2012).

(a) Influenciada por un cambio en la densidad arbórea, desde el establecimiento de una plantación en 1991 a una densidad de 1514 árb ha⁻¹, seguido de un raleo en 2003 con una densidad resultante de 800 árb ha⁻¹ en la plantación (PPP) y 400 árb ha⁻¹ después de la conversión a un sistema silvopastoral (SPS). Las barras verticales indican el error estándar de la media.

(b) Distribución de los *stocks* de C (kg) por compartimento del árbol antes de raleo y en PPP y SPS seis años después. Valores con la misma letra minúscula en un mismo componente arbóreo y entre tratamientos no son significativamente diferentes (Test t de Student, ***P* < 0,01)

Figura N° 2
CAMBIO EN LA TASA DE CAPTURA DE CARBONO

Crecimiento y Productividad

En el Cuadro N° 2 aparecen los resultados de los inventarios forestales anuales realizados durante el período experimental a fin de comparar el crecimiento de los árboles bajo diferentes escenarios de manejo.

En términos generales, el DAP aumentó aproximadamente 1 y 2 cm por año en PPP y SPS, respectivamente, y el DAP fue significativamente mayor (*P* < 0,05) cada año en SPS que en PPP (5, 6 y 8%, respectivamente, en 2007, 2008 y 2009).

Al comparar la HT, no se observaron diferencias significativas, aunque los árboles en SPS eran en promedio 20 cm más altos.

SPS tuvo una tasa de ganancia de AB mayor que PPP debido al gran aumento del diámetro de los árboles. Sin embargo, al comparar el AB entre los tratamientos se observó una diferencia significativa ($P < 0,05$) cada año, en la que AB era 80, 77 y 69% mayor en PPP en 2007, 2008 y 2009, respectivamente.

Cuadro N° 2
INCREMENTO EN DIÁMETRO A LA ALTURA DE PECHO (DAP), ALTURA (HT) Y ÁREA BASAL (AB)
DURANTE UN PERÍODO DE DOS AÑOS
EN PLANTACIÓN DE *Pinus ponderosa* (PPP) Y SISTEMA SILVOPASTORAL EN FAJAS (SPS)

Año	DAP Medio*		HT Media*		AB Media*	
	PPP	SPS	PPP	SPS	PPP	SPS
	(cm)		(m)		(m ² ha ⁻¹)	
2007	20,7 ± 1,2 a	21,7 ± 1,9 b	6,8 ± 0,4 a	6,9 ± 0,3 a	27,4 ± 3,0 a	15,2 ± 2,7 b
2008	21,9 ± 1,4 a	23,2 ± 1,9 b	7,4 ± 0,4 a	7,6 ± 0,4 a	30,9 ± 3,7 a	17,5 ± 2,8 b
2009	23,2 ± 1,4 a	25,1 ± 1,9 b	8,1 ± 0,4 a	8,3 ± 0,4 a	34,5 ± 3,9 a	20,4 ± 3,1 b

(Fuente: Dube, 2010)

* medias ± desviación estándar

Valores con la misma letra minúscula en un mismo año y entre tratamientos por cada grupo) no son significativamente diferentes (Test t de Student, **P < 0,05).

De la Figura N° 2 se desprende que las tasas de secuestro de C aumentaron con la disminución de la densidad arbórea en la plantación de pino original y que la tasa de secuestro de C fue significativamente más alta luego de la conversión de la plantación en 2003 a un sistema silvopastoral en fajas.

La Figura N° 2b indica que el raleo hecho a diferentes densidades en 2003 dio como resultado más C secuestrado en SPS que en PPP en troncos (20% más), Ramas + Ramillas (43% más), Acículas + Conos (77% más), y en Raíces de cada árbol (10% más), en 2009.

Reservorios de Carbono

La Figura N° 3 representa los reservorios y flujos de C en el sistema silvopastoral con *Pinus ponderosa* en fajas (SPS). Los stocks de C eran 224, 199 y 177 t C ha⁻¹ en SPS, PPP y PST, respectivamente.

Dichos reservorios de C no incluyen los restos de madera gruesa de lenga y ramas muertas de pino, ya que estos sufren un lento pero constante proceso de descomposición a lo largo de los años, por lo tanto son reservorios más bien temporales.

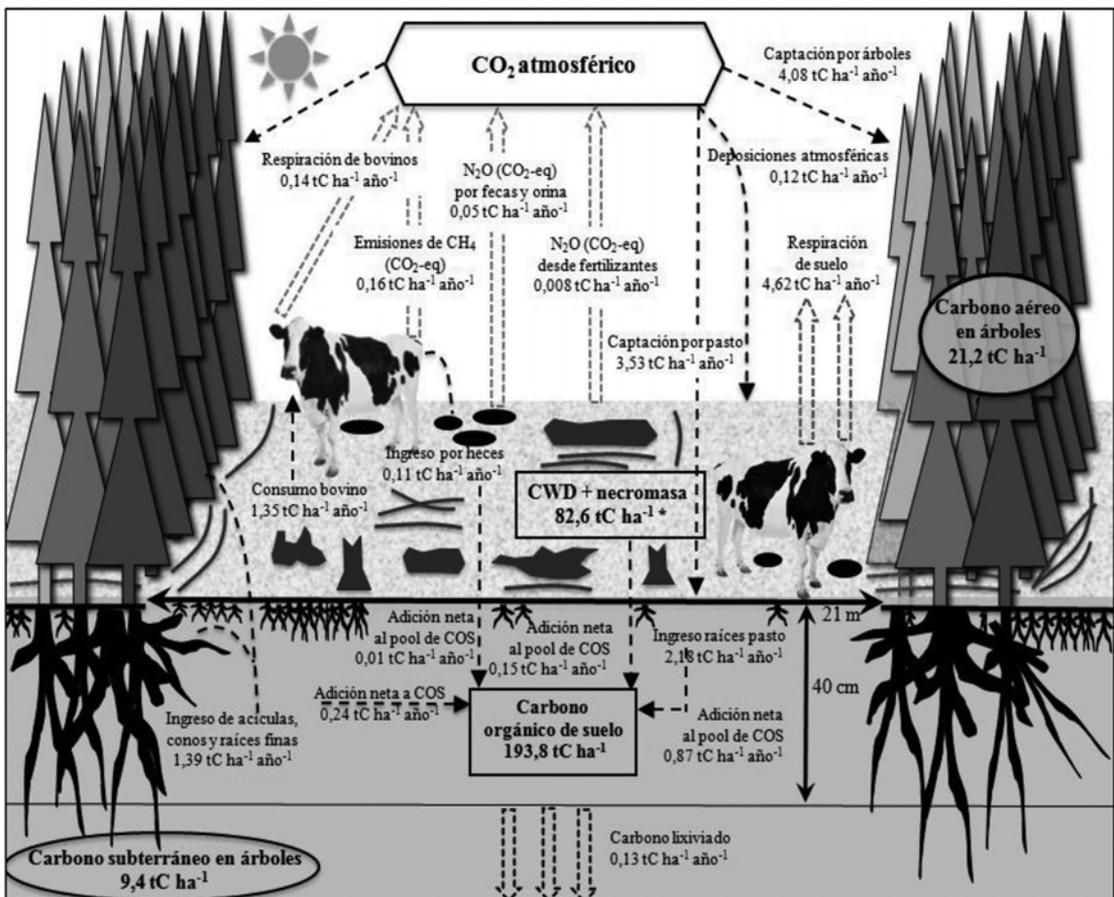
Además, dado el alto nivel de rotación de las raíces del pasto (0,9 año⁻¹) en todos los ecosistemas (Stolpe *et al.*, 2010) en primavera, verano y otoño, el C en la biomasa de las raíces finas del pasto fue considerado un flujo anual en el que el C es incorporado al reservorio del suelo y no al C secuestrado en las raíces del pasto (Gordon y Thevathasan, 2005).

Solo las raíces de árboles perennes con un diámetro mayor a 5 mm fueron consideradas como reservorios de C subterráneo (Abohassan, 2004).

La razón del reservorio de C arbóreo a subterráneo fue de aproximadamente 1:10, 1:5 y 1:177 para SPS, PPP y PST, respectivamente.

Dieciocho años después del establecimiento (1991 a 2009) de la plantación de pino, el total de C almacenado en SPS y PPP fue 27 y 12% mayor que el almacenado en PST, respectivamente.

Sin embargo, es interesante destacar que seis años después de la conversión (2003 a 2009) de la plantación a un sistema silvopastoral, el total del C almacenado en SPS aumentó un 13%.



Todos los reservorios de C aparecen en recuadros y los de flujos están indicados con flechas. *Los valores de CWD (restos de madera gruesa) + necromasa indicados en los recuadros son sólo informativos; los restos de madera gruesa y ramas muertas no representan reservorios de C verdaderos donde se almacena, una vez que éstos están en un proceso muy lento pero constante de descomposición a través de los años.

Figura N° 3
**MODELOS DE RESERVORIOS Y FLUJOS DE C
 PARA EL SISTEMA SILVOPASTORIL CON PINO PONDEROSA EN FAJAS**

Flujos de Carbono

Los flujos netos de carbono en los ecosistemas, evaluados durante un período de medición de dos años, se basan en las siguientes cuantificaciones: Asimilación neta por los árboles y la pastura, descomposición de detritos leñosos, respiración del suelo, lixiviación de C, deposiciones atmosféricas, consumo animal, aporte de heces y aplicaciones de fertilizantes. Sus valores fueron 1,8; 2,5 y -2,3 t C ha⁻¹ año⁻¹ para SPS, PPP y PST, respectivamente.

La mayor respiración del suelo se observó en la pradera (5,11 t C ha⁻¹ año⁻¹) y el componente pastoral de SPS (Dube, 2010). Las entradas anuales de C a través de las deposiciones atmosféricas fueron de 0,12 t C ha⁻¹ año⁻¹ para los tres ecosistemas y las pérdidas de C por lixiviación en SPS, PPP y PST fueron 0,13; 0,16 y 0,14 t C ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente.

En relación a la entrada anual de C proveniente de caída de biomasa foliar y producción de raíces, fue 1,39 y 1,78 t C ha⁻¹ año⁻¹ en SPS y PPP, respectivamente. Por último, la incorporación anual neta de C de raíces de pasto a los reservorios de C de suelo fue de 0,87; 0,34 y 1,09 t C ha⁻¹ año⁻¹ en SPS, PPP y PST, respectivamente, considerando una adición de 40% a la fracción recalcitrante del C orgánico de suelo (Falk, 1976).

DISCUSIÓN

Distribución de Concentraciones y Stocks de Carbono en Pinos

Considerando la gran diferencia de densidades arbóreas entre tratamientos (Cuadro N° 1), se esperaban grandes cantidades de C almacenado en raíces y troncos en PPP en una base por hectárea (kg ha⁻¹). Sin embargo, los árboles más grandes en SPS compensan, de cierta forma, la baja densidad. Al considerar que cada árbol en SPS secuestra 30% más C en la biomasa aérea y subterránea total en comparación con PPP, se sugiere que un incremento moderado en la densidad arbórea con una leve modificación al diseño del sistema podría aumentar la tasa de secuestro de C en los componentes arbóreos. Además, el uso de especies de rápido crecimiento con altos potenciales de secuestro de C, tales como álamos (*Populus* spp.), podría permitir mayores almacenamientos de C en períodos más cortos (Peichl *et al.*, 2006).

Crecimiento y Productividad

Es probable que la diferencia significativa del DAP anual entre los ecosistemas patagónicos se deba a la menor densidad arbórea en SPS dando como resultado una menor competencia y un mejor uso de los recursos del sitio como agua, nutrientes y radiación solar (Cannell, 1989). Además, la presencia de trébol en las fajas de praderas y los efectos residuales de la fertilización nitrogenada aplicada en años anteriores, proveen N adicional al suelo, lo que incrementará eventualmente el crecimiento de los árboles (Garrett *et al.*, 2000; Dube *et al.*, 2012).

La similitud en el incremento anual de la HT entre los tratamientos se explica porque HT es, ante todo, un índice de la calidad y productividad del sitio (Espinosa *et al.*, 1990). Es probable que los únicos factores que influenciaron la altura de los árboles hayan sido la baja densidad arbórea en SPS, la que redujo la competencia entre árboles, y el aumento de la disponibilidad de N en el suelo, causando la mejora de la fertilidad del mismo (Garrett *et al.*, 2000).

La tasa de crecimiento del AB en SPS fue mayor comparada con la de PPP debido al gran incremento del DAP en SPS; las diferencias significativas observadas anualmente entre los tratamientos podrían ser atribuidas a la densidad. El efecto de la doble densidad arbórea en PPP se refleja en un área basal mayor comparada con la de SPS, la que inicialmente era dos veces más que SPS y se redujo con cada año de crecimiento (Dube, 2010).

La disminución del crecimiento de los árboles en PPP puede estar relacionada al incremento de la competencia intraespecífica, la que se intensificará en los años venideros, mientras que SPS podría tener un incremento continuo de su área basal. SPS tuvo una disminución en el volumen de árboles por hectárea y una productividad de árboles más alta, la que es ideal para producir madera de alta calidad. Una mayor densidad arbórea en medio de las fajas en SPS podría afectar el crecimiento de los árboles dando como resultado valores de DAP más pequeños durante los subsecuentes inventarios arbóreos. Si hubiese más espacio entre árboles, el ancho de la faja de praderas sería reducido dando como resultado área disponible para pasto levemente menor, pero el árbol tendría mejor crecimiento, especialmente en el medio de la faja, lo que significa también mayor AB (Dube *et al.*, 2011, 2012).

Reservorios de Carbono

El ratio de reservorios de C aéreo:subterráneo muestra la preponderancia de los reservorios de C orgánico del suelo bajo tierra. La ausencia de especies leñosas perennes en la pradera es responsable del gran ratio observado en la pradera. Al comparar los reservorios en SPS y PPP, se observa que a pesar de que la densidad arbórea en SPS era solo el 50% de la de PPP, el ratio de reservorios de C aéreo:subterráneo fue mayor en SPS. La presencia de ciclos de C aéreos y subterráneos altamente activos en el sistema silvopastoral (Sharrow e Ismail, 2004) podría haber contribuido a la mayor proporción en SPS, a pesar de una menor densidad arbórea.

La relación obtenida en este estudio para SPS era la misma que la descrita por Peichl *et al.* (2006) para un sistema de cultivo intercalado de picea-cebada en Canadá. En ese estudio, los reservorios aéreos y subterráneos de C eran casi tres veces menores que los obtenidos en este estudio, lo que era de esperar dada la menor densidad arbórea (111 árb ha^{-1}) y los suelos no volcánicos en los que se estableció el sistema. Suelos volcánicos con alófanos tienden a capturar mayores cantidades de C que los no-volcánicos (Buol *et al.*, 1997).

Después de su conversión, SPS ha tomado solo un tercio del tiempo en comparación con PPP, desde su establecimiento, para alcanzar ganancias similares de C en sus reservorios aéreos y subterráneos, tal vez debido a las interacciones positivas entre los componentes ganaderos, arbóreos y pratenses. El gran potencial de almacenamiento de C en SPS también puede explicarse por un mayor crecimiento de los árboles, como se muestra en la Figura N° 2. Además, cabe mencionar que las proporciones de los reservorios de C total en los árboles y suelo, en relación con el C total secuestrado en PPP fueron similares a los reportados por Dube *et al.* (2009) para la plantación de pino en un estudio previo.

Por ejemplo, si no hubiese pastoreo en ningún de los sistemas, los reservorios de C total aéreo y subterráneo en el pasto representarían 6, 2 y 10% del C total secuestrado en SPS, PPP y PST, respectivamente. La contribución relativa de la biomasa radicular a estos valores varió de 80 a 90%. Esto está de acuerdo con los hallazgos reportados por Raich y Tufekcioglu (2000), donde grandes proporciones de los fotosintatos producidos por praderas fueron asignadas a las

raíces. Por otra parte, también se ha demostrado que pastos que crecen en ambientes hostiles, como los de la Patagonia, tienden a desarrollar mayores sistemas radiculares, donde las reservas de energía se pueden almacenar (Gibson, 2009).

Los potenciales de almacenamiento de C total indicados en esta investigación, 177 a 224 t C ha⁻¹, son superiores a los reportados en otros estudios en el hemisferio norte (Dixon *et al.*, 1994; Sharrow e Ismail, 2004; Gordon y Thevathasan, 2005; Peichl *et al.*, 2006), lo que demuestra el potencial de los sistemas agroforestales de clima templado en la captura de carbono. El gran almacenamiento de C observado en este estudio podría ser atribuido a la alta capacidad de secuestro de C de los suelos volcánicos y su importante contribución a los reservorios de C total de los sistemas. En el sur de Canadá, Peichl *et al.* (2006) encontraron reservorios de C total de 97, 75 y 69 t C ha⁻¹ para el cultivo intercalado de álamos con cebada, piceas con cebada y cebada en mono cultivo, respectivamente. Gordon y Thevathasan (2005) estimaron que el C almacenado en todos los reservorios de un sistema silvopastoral con álamos y ovejas era 62 t C ha⁻¹ en comparación con 44 t C ha⁻¹ en un monocultivo de pasto. En Oregón, Sharrow e Ismail (2004) encontraron que un sistema silvopastoral con pino oregón/ ballica/trébol, un monocultivo de pino pregón y otro monocultivo de ballica y trébol, secuestraron 109; 101 y 103 t C ha⁻¹, respectivamente. Dixon *et al.* (1994) estimaron que los sistemas agroforestales en las regiones templadas del mundo podrían capturar entre 15 y 198 t C ha⁻¹.

Flujos de Carbono

Se encontró que los flujos de C en este estudio eran similares a los reportados por Peichl *et al.* (2006), quienes encontraron flujos netos C de 13,2; 1,1 y -2,9 t C ha⁻¹ año⁻¹ para sistemas de cultivos intercalados con álamos-cebada, picea-cebada y un sistema en monocultivo de cebada, respectivamente.

En este estudio y el mencionado anteriormente, los sistemas agroforestales con coníferas han demostrado flujos netos positivos de C. Eran 1,8 t C ha⁻¹ año⁻¹ en esta investigación y 1,1 t C ha⁻¹ año⁻¹ en el estudio anterior, 60% más alto en el sistema silvopastoral patagónico. Parte de la diferencia observada tal vez podría explicarse por el mayor crecimiento de los pinos en relación con las piceas en sus respectivos entornos, pero varios otros factores, como el tipo de cultivo agrícola también deben tenerse en cuenta antes de poder hacer una comparación directa.

Por ejemplo, Gordon y Thevathasan (2005) estimaron que el potencial de captura de carbono neto anual en un sistema silvopastoral con ovejas bajo dosel de álamos era 2,7 t C ha⁻¹ año⁻¹ en comparación con 0,99 t C ha⁻¹ año⁻¹ en un monocultivo de pasto. Sin embargo, el estudio de ellos no tuvo en cuenta las pérdidas de C por lixiviación, las emisiones de N₂O provenientes de los fertilizantes aplicados y no incluyó datos de respiración del suelo a largo plazo como se hizo en este estudio.

En SPS y PPP, los flujos netos de C fueron positivos, lo que indican que estos sistemas son verdaderos sumideros de carbono. Un flujo neto de C negativo en PST indica que este sistema es una fuente neta de C a la atmósfera.

Seis años después de la conversión de la plantación de pino al sistema silvopastoral, el flujo de C de la plantación era solo el 39% más alto que el del silvopastoreo, a pesar de una mayor densidad de árboles y la ausencia de emisiones de GEI de los animales y la aplicación

de fertilizantes. La captación de carbono por los árboles y el pasto eran 7,6 y 6,6 t C ha⁻¹ año⁻¹ en SPS y PPP, respectivamente. Estas entradas de C fueron mayores que las salidas C, pero en la PST, las salidas de C superaron las entradas de C. En los meses de invierno, la respiración del suelo se vio compensada por la fotosíntesis de los árboles en SPS y PPP, aunque a un ritmo menor, pero no fue así en la pradera, lo que resulta en emisiones netas de CO₂ durante la temporada de invierno.

Potencial de Mitigación de los Gases de Efecto Invernadero

- Capacidad de Carga Animal

Con el uso de los valores netos de secuestro de C por los tres ecosistemas probados y valores del Potencial de Calentamiento Global (GWP) para metano y óxido nitroso, es posible determinar cuántas vacas por hectárea podrían potencialmente pastorear en el sistema silvopastoral y la pradera sin dar lugar a emisiones netas de C a la atmósfera. Los valores netos de secuestro de C fueron 3,80 y 1,09 t C ha⁻¹ año⁻¹ para SPS y PST, respectivamente. Sobre la base de estos valores netos de secuestro de C, el número hipotético de ganado bovino que puede resultar en “pastoreo neutro en C” es de 5 vacas por hectárea en SPS y solamente 2 en PST. Se trata de diez veces y cuatro veces más que la tasa media actual de 0,5 vacuno por hectárea en SPS y PST, respectivamente (Sotomayor *et al.*, 2009), debido a la incorporación de árboles en el sistema.

La capacidad de carga actual se podría aumentar siempre que la producción de pasto pueda soportar la nueva carga ganadera. Por ejemplo, en un estudio previo realizado en 2006, la pradera tenía una carga de 2 vacas ha⁻¹ (Dube *et al.*, 2009). Sin embargo, cabe señalar que estas máximas capacidades de carga se obtienen en base a los resultados de este estudio, donde la captación total de C por los árboles (asimilada en componentes leñosos y devuelta al suelo a través de la caída de biomasa foliar y recambio de raíces finas) representa la tasa media de captura aérea y subterránea de C durante 18 años, correspondientes a los períodos de crecimiento 1991-2003 y 2003-2009.

La capacidad de carga actual de ganado sería probablemente menor durante el establecimiento y la senescencia de los pinos. Además, con la maduración de los árboles, sus copas se hacen más grandes y van creando más sombra en el límite de la franja, lo que puede afectar el crecimiento de la pastura en los bordes de las fajas y por lo tanto, puede reducir la capacidad de carga debido a la menor producción de pasto. Capacidades de carga más elevadas también se pueden mantener con el pastoreo de cabras (Se refiere a Aysén u otra región, ya que en Aysén el uso de Cabras no es usual), ovejas o caballos, dadas sus menores emisiones de GEI por unidad animal (Yang *et al.*, 2003).

La carga animal afecta el balance de C debido a las emisiones de CH₄ por los rumiantes que aumentan con el número de animales pastoreando. Pérdidas digeribles de C de 5% se producen debido a las emisiones de CH₄ procedentes de la fermentación entérica, lo que contribuye entre el 16 y el 23% de las emisiones globales de CH₄ (Soussana *et al.*, 2004). Praderas bien manejadas, con el uso de pastos de mejor calidad que aumenten la eficiencia digestiva reducirán las emisiones de CH₄ porque el pasto ingerido permanece menos tiempo en el rumen, produciendo menos CH₄ (De Ramus *et al.*, 2003). Un sistema silvopastoral con prácticas sostenibles de bajos insumos, que reducen al mínimo las perturbaciones vegetativas

y del suelo, que promueven la presencia de vegetación perenne y que recuperan las emisiones, contribuirán con la preservación de los reservorios de C y N durante décadas o siglos (Lal, 2005).

- Superficie Territorial Bajo Manejo Silvopastoral

Los resultados de esta investigación y los informes publicados permiten estimar el área total requerida bajo manejo silvopastoral para que la ganadería pueda tornarse neutra en C en la Patagonia chilena.

Hay 260,967 vacunos en la Patagonia, de las cuales 199.284 se encuentran en la región de Aysén (Teuber³, com. pers., 2010) y 61.683 en la de Magallanes (INE, 2007a). Usando los mismos datos netos de secuestro de C, y teniendo en cuenta que más de 3 millones de hectáreas de tierra están abandonados o degradados como consecuencia de los incendios forestales graves ocurridos en el siglo pasado, solo 48.127 ha (o 481,27 km²) bajo sistemas silvopastorales (SPS) con ganado bovino serían necesarias en la Patagonia chilena para compensar todas las pérdidas de C de los sistemas ganaderos puros y convertirse en C-neutrales, de las cuales 36.752 y 11.375 ha están en las regiones de Aysén y Magallanes, respectivamente.

Las regiones de Aysén y Magallanes (INE, 2007b) cubren un área de 108.494,4 y 38.400,8 km², respectivamente, por lo que el área total necesaria sería solo de 0,33%. Sin embargo, el área requerida usando praderas naturales en monocultivo (PST) asciende a un total de 167.783 ha, 128.125 ha están en Aysén y 39.658 ha en Magallanes. Esto es 3,5 veces más superficie de tierra requerida como sistemas de pastoreo en monocultivos, y representa el 1,14% de la Patagonia chilena. Sin embargo, hay que señalar que estas áreas requeridas solo consideran los sistemas silvopastorales con vacunos; se necesitarían áreas más pequeñas si solo pastorean ovejas, y áreas más grandes si se incluyeran ambas vacas y ovejas. Además, cabe mencionar que las emisiones de CH₄, CO₂ y N₂O contribuyen en el 46, 39 y 15%, respectivamente, al GWP de las áreas mencionadas anteriormente.

El uso de especies de crecimiento más rápido y adaptadas a las condiciones de la Patagonia, como *Populus trichocarpa* (Sotomayor⁴, comun. pers., 2009) podría dar lugar a un mejor almacenamiento de C a corto plazo o un mayor almacenamiento de C que los pinos en edad de rotación. Además, las hojas de álamo pueden liberar anualmente más N al suelo que las acículas de pino (Thevathasan y Gordon, 1997), debido a la diferente calidad de sustrato y podrían mejorar el crecimiento de los pastos. Además, con base en este estudio y conociendo los numerosos beneficios de la agroforestería para la conservación del suelo, la introducción de sistemas de pastoreo con árboles en la Patagonia puede ser una opción de política viable a ser considerada, ya que los sistemas de pastoreo en monocultivo (PST), lamentablemente, están actuando actualmente como fuente de C.

CONCLUSIONES

Diversos estudios realizados en regiones templadas del mundo han demostrado que la agroforestería, como un sistema de uso integrado del suelo, posee un potencial de secuestro

3 Osvaldo Teuber. INIA Tamel Aike. Aysén.

4 Álvaro Sotomayor, INFOR Sede Biobío

de C mayor que los sistemas de monocultivo agrícolas e incluso que los bosques plantados. La adopción de sistemas silvopastorales en la Patagonia chilena parece ser una práctica sustentable que optimiza la productividad del suelo, preserva e incrementa las reservas de C durante décadas o siglos y también contribuye con la reducción del CO₂ atmosférico.

Los resultados obtenidos indican que los árboles en SPS han incrementado su crecimiento debido a la baja competitividad y que el N adicional en el suelo que provee la pradera compuesta por leguminosas da como resultado el secuestro de grandes cantidades de C. Los árboles en SPS han secuestrado casi un 30% más de C en la biomasa total que en PPP. Un aumento moderado en la densidad arbórea, junto con algunas modificaciones al diseño del sistema, podría aumentar el secuestro de C en los árboles, con el beneficio agregado de la producción de biomasa para distintos usos (energía, otros). Establecer nuevos SPS sobre la base de semillas mejoradas, ganando varios años de beneficios de la agroforestería comparado con la conversión de plantaciones ya existentes a SPS y evitando todos los problemas relacionados con la eliminación de los desechos de corta asociado al proceso de conversión, parece ser la opción más conveniente.

Sobre la base de los resultados de este estudio podría incentivarse la introducción de SPS en la Patagonia, ya que los pastizales (sobre un millón de hectáreas) actúan como fuentes de C. El establecimiento de menos de 500 km² bajo SPS en praderas degradadas, o la conversión de PPP a SPS permitiría contrarrestar todas las pérdidas de C de los sistemas pecuarios con ganado bovino en la Patagonia chilena (Dube *et al.*, 2011).

La introducción del manejo silvopastoral en bosques de *Nothofagus pumilio* y *N. antarctica* puede ser una buena alternativa de manejo para los bosques ubicados cerca de las fincas ganaderas, siempre que los árboles sean raleados para abrir su dosel, y que la pastura leguminosa sea establecida en el sotobosque para optimizar el secuestro de C en los componentes vegetales y suelo. La utilización de árboles nativos de larga vida en sistemas silvopastorales permitiría el secuestro de grandes cantidades de C en la biomasa y el suelo, preservaría la calidad del COS y mantendría un adecuado balance entre las preocupaciones medioambientales y económicas relacionadas al uso de la tierra en la región de Aysén.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean sinceramente expresar su agradecimiento a Don Víctor Mata por permitir la realización de este estudio en sus tierras cerca de Coyhaique, a Silvia Marchetti por su colaboración en terreno, a Forestal Mininco SA por la logística y al Centro de Biotecnología y Laboratorio de Química Orgánica Ambiental de la Universidad de Concepción por realizar numerosos análisis de laboratorio.

Además, agradecen a INFOR por compartir preciosa información y datos.

Este estudio fue financiado por una beca (Proyecto No. 207.142.025-1.0) de la Dirección de Investigación de la Universidad de Concepción. Apoyo financiero adicional se obtuvo de CONICYT del Gobierno de Chile.

REFERENCIAS

- Abohassan, R. A., 2004.** Carbon dynamics in a temperate agroforestry system in southern Ontario, Canada. M.Sc. Thesis. Dept. Environ. Biol., University of Guelph, Guelph, ON, Canada, 122 p.
- Berg, B. y Laskowski, R., 2006.** Litter decomposition: a guide to carbon and nutrients turnover. *Advances in Ecological Research*, vol. 38, Elsevier Academic Press, San Diego, USA, 428 p.
- Buol, S. W.; Hole, F. D.; McCracken, R. J. y Southard, R. J., 1997.** Soil genesis and classification. 4th ed., Iowa State University Press, Ames, Iowa, 527 p.
- Cannell, M. G. R., 1989.** Physiological basis of wood production: a review. *Scandinavian Journal of Forest Research* 4: 459-490.
- Dixon, R. K.; Wimjum, J. K.; Lee, J. J. y Schroeder, P. E., 1994.** Integrated systems: assessing of promising agroforest and alternative land use practices to enhance carbon conservation and sequestration. *Climate Change* 30: 1-23.
- DeRamus, H. A.; Clement, T.; Giampola, D. y Dickison, P., 2003.** Methane emissions of beef cattle on forages: efficiency of grazing management systems. *Journal of Environmental Quality* 32: 269-277.
- Dube, F., 2010.** Dinámica del carbono y otras interacciones en agroecosistemas con *Pinus ponderosa* (Dougl. Ex Laws) y praderas naturales establecidos en suelos volcánicos degradados en la Región de Aysén, Patagonia Chilena. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Concepción, Chile, 140 p. (Tesis de Doctorado)
- Dube, F.; Zagal, E.; Stolpe, N. B. y Espinosa, M., 2009.** The influence of land use change on the organic carbon distribution and microbial respiration in a volcanic soil of the Chilean Patagonia. *Forest Ecology and Management* 257: 1695-1704.
- Dube, F.; Thevathasan, N. V.; Gordon, A. M.; Zagal, E.; Stolpe, N. B. y Espinosa, M., 2011.** Carbon sequestration and net C fluxes in silvopastoral systems, forest plantations and pasture monocultures on volcanic soil in Chilean Patagonia. En: Kumar, B.M. y Nair, P.K.R. (Eds.). *C Sequestration Potentials in Agroforestry Systems*. *Advances in Agroforestry* 8, Springer, The Netherlands, 307 p.
- Dube, F.; Espinosa, M.; Stolpe, N. B.; Zagal, E.; Thevathasan, N. V. y Gordon, A. M., 2012.** Productivity and carbon storage in silvopastoral systems with *Pinus ponderosa* and *Trifolium*, plantations and pasture on an Andisol in Patagonia, Chile. *Agroforestry Systems* 86(2): 113-128.
- Dube, F.; Thevathasan, N. V.; Stolpe, N. B.; Espinosa, M.; Zagal, E. y Gordon, A. M., 2013.** Selected carbon fluxes in *Pinus ponderosa*-based silvopastoral systems, exotic plantations and natural pastures on volcanic soils in the Chilean Patagonia. *Agroforestry Systems* 87(3): 525-542.
- Edwards, N. T., 1982.** The use of soda-lime for measuring respiration rates in terrestrial systems. *Pedobiologia* 23: 321-330.
- Espinosa, M.; Escobar, R. y Drake, F., 1990.** Silvicultura de las plantaciones forestales en Chile: pasado, presente y futuro. *Agro-Ciencia* 6(2): 131-144.
- Falk, J. H., 1976.** Energetics of a suburban lawn ecosystem. *Ecology* 57: 141-150.
- Garrett, H. E.; Rietveld, W. J. y Fisher, R. F., 2000.** North American Agroforestry: an integrated science and practice. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, 401 p.
- Gayoso, J.; Guerra, J. y Alarcón, D., 2002.** Contenido de C y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. En: Medición de capacidad de captura de carbono en bosques de Chile. Proyecto FONDEF D98I1076, Univ. Austral Chile, Valdivia, Chile, 157 p.
- Gibson, D. J., 2009.** Grasses and grasslands ecology. Oxford University Press. New York, NY, USA, 313 p.
- Gobierno Regional de Aysén, 2002.** Plan Regional, Ordenamiento Territorial, Región Aysén. Gobierno Regional de Aysén, Chile.

Gordon, A. M. y Thevathasan, N. V., 2005. How much carbon can be stored in Canadian agroecosystems using a silvopastoral approach? En: *Silvopastoralism and sustainable land management*. Mosquera-Losada M.R., Rigueiro-Rodriguez, A. y McAdam J. (Eds.) CABI Publishing, Wallingford, UK, pp. 210-218.

Huygens, D.; Boeckx, P.; van Cleemput, O.; Oyarzun, C. y Godoy, R., 2005. Aggregate and soil organic carbon dynamics in South Chilean Andisols. *Biogeoscience* 2: 159-174.

INE, 2007a. VII Censo agropecuario y forestal. Existencia de ganado en las explotaciones agropecuarias y forestales por especie. Santiago, Chile. <http://www.censoagropecuario.cl/noticias/09/07042009.html> (Consultado 20 agosto 2010).

INE, 2007b. División Político - Administrativa y Censal, 2007. http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/territorio/division_politico_administrativa/pdf/ (Consultado 18 octubre 2010).

INFOR, 2014. Anuario forestal 2014. Boletín Estadístico 144. Instituto Forestal. Santiago, Chile. 159 p. Disponible en: <http://wef.infor.cl/publicaciones/anuario/2014/Anuario2014.pdf>

IPCC, 2007. Climate change: synthesis report. www.ipcc.ch/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf (Consultado 6 octubre 2010).

Lal, R., 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management* 220: 242-258.

Nair, P. K. R.; Nair, V. D.; Kumar, B. M. y Showalter, J. M., 2010. Carbon sequestration in agroforestry Systems. En: Sparks, D. (Ed.), *Advances in Agronomy*, Burlington Academic Press, Vol. 108, pp. 237-307.

Peichl, M.,; Thevathasan, N. V.; Gordon, A. M.; Huss, J. y Abohassan, R., 2006. Carbon sequestration potentials in temperate tree-based intercropping systems, southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems* 66, 243-257.

Raich, J. W. y Tufekcioglu, A., 2000. Vegetation and soil respiration: Correlations and controls. *Biogeochemistry* 48: 71-90.

Ross, D. J.; Tate, K. R.; Scott, N. A.; Wilde, R. H.; Rodda, N. J. y Townsend, J. A., 2002. Afforestation of pastures with *Pinus radiata* influences soil C and nitrogen pools and mineralization and microbial properties. *Australian Journal of Soil Research* 40: 1303-1318.

SAS Institute Inc., 2003. SAS User's guide: Statistics. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Sharrow, S. H. e Ismail, S., 2004. Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations and pastures in western Oregon, USA. *Agroforestry Systems* 60: 123-130.

Sotomayor, A.; Teuber, O. y Moya, I., 2009. Resultados y experiencia sobre manejo de sistemas silvopastorales en la Región de Aysén. En: *Sistemas agroforestales para la Región de Aysén*. Teuber O. (ed.) INIA-INFOR, Coyhaique, Chile, 211 p.

Soussana, J. P.; Loiseau, P.; Vuichard, N.; Ceschia, E.; Balesdent, J.; Chevallier, T. y Arrouays, D., 2004. Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grassland. *Soil Use and Management* 20: 219-230.

Stolpe, N. B.; Dube, F. y Zagal, E., 2010. Calibration of CO₂FIX to native forest, Pine plantation, and pasture on a volcanic soil of the Chilean Patagonia. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science* 60(3): 235-244.

Tans, P., 2015 Trends in atmospheric carbon dioxide – Mauna Loa <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends>. Consultada el 30 octubre de 2015.

Teller, A., 1988. Biomass, productivity and wood waste evaluation in a spruce (*Picea abies*) forest (Strinchmps 983). *Commonwealth Forestry Review* 7(2): 129-148.

Teuber, O. y Ganderats, S., 2009. Características geográficas y edafoclimáticas de la región de Aysén. En: *Sistemas agroforestales para la región de Aysén: Cortinas cortaviento y silvopastoreo*. Teuber O. (Ed.) INIA-INFOR, Coyhaique, Chile, 211 p.

Thevathasan, N. V. y Gordon, A. M., 1997. Poplar leaf biomass distribution and nitrogen dynamics in a poplar-barley intercropped system in southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems* 37: 79-90.

Yang, S. S.; Liu C. M. y Liu Y. L., 2003. Estimation of methane and nitrous oxide emission from animal production sector in Taiwan during 1990-2000. *Chemosphere*

Capítulo 16

SISTEMAS AGROFORESTALES COMO PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD. PROTECCIÓN DE RIBERAS Y CURSOS DE AGUA O BIOFILTROS

Alejandro Lucero¹, Alvaro Sotomayor² y Arnoldo Villarroel³

RESUMEN

Las medidas tendientes a minimizar la degradación de cada uno de los componentes ambientales como resultado de las actividades productivas en predios silvoagropecuarios y en este caso particular del agua, deben enmarcarse en una planificación integral predial, que incorpore una adecuada caracterización de los recursos naturales y la selección de la metodologías productivas adecuadas para la sustentabilidad de estos recursos naturales. La protección y conservación de los recursos acuíferos presentes en las propiedades agrícolas son aspectos de suma importancia a los cuales suele no dárseles la debida importancia en la planificación predial, razón por la que existen en el país cientos de kilómetros de cursos de agua degradados por un mal manejo y cuidado.

En este capítulo se entregan antecedentes generales de los sistemas de control de riberas, biofiltros o *riparian buffers* y de sus beneficios ambientales, como aportes a la conservación de los recursos naturales, a la calidad de las aguas y a la reducción de los impactos sobre la biodiversidad, así como también a aspectos productivos y de ordenamiento predial. Para esto se hace una descripción de los sistemas agroforestales, dentro de los cuales se insertan las zonas *buffer*, para posteriormente describir estos modelos de intervención predial, enfatizando conceptos de su diseño teórico, objetivos, funciones, ventajas e impactos sobre los recursos acuáticos y terrestres dentro de los que se insertan. Se destaca el hecho que uno de los grandes aportes de las zonas *buffer* a la conservación de los recursos y de la biodiversidad, es su alta capacidad para disminuir la contaminación de las aguas, evitando que productos químicos utilizados fundamentalmente en la agricultura, lleguen a través de la escorrentía a los cursos de agua.

Se muestran igualmente antecedentes de los beneficios económicos y productivos que estos sistemas entregan a los propietarios y de aspectos importantes que deben ser considerados para un buen y adecuado uso y establecimiento de estos biofiltros. Finalmente, esta capítulo concluye con un ejemplo práctico implementado en la región del Bio Bio, comuna de Hualqui, que permite visualizar de mejor manera un proceso de establecimiento y desarrollo de estos sistemas y sus impactos positivos en las propiedades rurales del país.

Palabras clave: Protección riberas, Biofiltros.

1 Dr. (c) Ingeniero Forestal. Investigador Instituto Forestal Sede Bio Bio. alucero@infor.cl.

2 Dr. Ingeniero Forestal. Investigador Instituto Forestal Sede Bio Bio. asotomay@infor.cl.

3 Ingeniero Ejecución Forestal. Investigador Instituto Forestal Sede Bio Bio. avillarr@infor.cl.

SUMMARY

Techniques and practices to minimize environmental components degradation as a result of productive activities in farms, primarily regarding to water resources, have to be considered in a comprehensive farm planning which includes a proper natural resources characterization and the selection of appropriate production methodologies to secure their sustainability. Water resources protection and conservation are key aspects not always properly considered in farm planning and the results in the country are hundreds of kilometers of degraded river courses because of management and care lack.

The present chapter provides general background on riverbanks control systems, biofilters or riparian buffers and their environmental benefits, as a contribution to natural resources and water quality conservation and to the reduction of impacts over biodiversity, including also productive and farm management aspects. An agroforestry systems description is done, within them buffer zones are included, to describe later these farm management models with emphasis on their objectives, design, advantages and impacts over the involved farm natural resources. Highlights as one of the main buffers zones contribution to resources conservation and biodiversity their high capacity to reduce water pollution due to chemical products used mainly in agriculture activities avoiding their arrival to water courses.

Information on economical and productive benefits of these systems to the farmers and on the main aspects to be considered for their appropriate use and establishment is provided as well. Finally, a practical example developed at the Bio Bio region, Hualqui commune, is included to offer an overview on the establishment and effect of the systems.

Key words: Riverbanks protection, Riparian buffers, Biofilters.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas agroforestales son técnicas de uso múltiple del suelo, tendientes a optimizar la productividad silvoagropecuaria de unidades prediales rurales, esto a través de generar ingresos provenientes de la producción agrícola, pecuaria y forestal en un mismo sitio. En este sentido, los sistemas agroforestales consideran la potencialidad que estos suelos tienen, así como también la diversidad productiva que normalmente desarrollan los propietarios rurales. Por todo lo anterior, la agroforestería como tal, se ha posicionado como una alternativa interesante y viable para mejorar la rentabilidad de las unidades prediales de pequeños y medianos propietarios, mejorar la sustentabilidad y con ello ciertamente mejorar la calidad de vida del habitante rural.

Dentro de los sistemas agroforestales existen diferentes modelos que se clasifican de acuerdo a sus distintas componentes productivas y a cómo estas se combinan. Es así que dentro de los más frecuentes, figuran los modelos agrosilvícolas, los silvopastorales y las cortinas cortavientos. Más recientemente han adquirido relevancia los sistemas de protección de riberas y cursos de agua o *riparian buffers*.

Estos *riparian buffers* tienen clara importancia ambiental por comportarse como zonas protectoras, ya que son zonas amortiguadoras que evitan que sedimentos, fertilizantes y químicos controladores de malezas y plagas utilizadas en la agricultura, lleguen a través de la escorrentía superficial y vía napas subterráneas a los cursos de agua. Además, estas zonas evitan que

producto de la escorrentía de los cursos de agua aumentada producto de las precipitaciones de invierno, produzca procesos erosivos que se traducen en pérdida importante de suelos productivos. Esto le entrega a estos sistemas una doble función.

Hay además un beneficio adicional de estos sistemas al cumplir funciones de corredores biológicos que permiten conectividad y mejora de hábitats. Las zonas de protección de riberas mejoran hábitats terrestres y acuáticos, protegen hábitats sensibles, restauraran la conectividad, incrementan el acceso a recursos y proyectar sombra en pequeños cursos de agua morigerando las temperaturas.

OBJETIVO

Entregar antecedentes sobre los sistemas de control de riberas, biofiltros o *riparian buffer* y sus beneficios ambientales, como aporte a la conservación de recursos naturales, la calidad de las aguas y la mantención de la biodiversidad, así como también sobre aspectos productivos y de ordenamiento predial en donde se los aplica.

MATERIAL Y MÉTODO

Se ha realizado una revisión de información e investigaciones desarrolladas a nivel nacional e internacional en la materia, la cual fue posteriormente sistematizada y resumida. Se entregan los principales aspectos necesarios para comprender las ventajas que estos sistemas tienen para los propietarios rurales. Además, se entregan antecedentes de una unidad práctica establecida por el Instituto Forestal.

RESULTADOS

Sistemas Agroforestales

Los sistemas agroforestales, son técnicas de uso múltiple del suelo, tendientes a optimizar la productividad silvoagropecuaria de unidades prediales rurales, principalmente mediante la generación de ingresos provenientes de la producción agrícola, pecuaria y forestal.

En este sentido, los sistemas agroforestales consideran la potencialidad de los suelos y la diversidad productiva que normalmente aplican los propietarios rurales. La agroforestería como tal se ha posicionado como una alternativa interesante y viable para mejorar la rentabilidad de las unidades prediales de pequeños y medianos propietarios, mejorar su sustentabilidad y con ello ciertamente mejorar la calidad de vida del habitante rural.

Dentro de los sistemas agroforestales, existen diferentes modelos, los cuales se clasifican de acuerdo a sus distintas componentes productivas y a cómo estas se combinan y potencian (Figura N°1). Es así que dentro de los más frecuentes figuran los modelos agrosilvícolas, los silvopastorales y las cortinas cortavientos. Más recientemente han cobrado importancia los sistemas de protección de riberas y cursos de agua, o *riparian buffers* (Nair, 1994 y Sotomayor *et al.*, 2004, citados por Sotomayor, 2009).

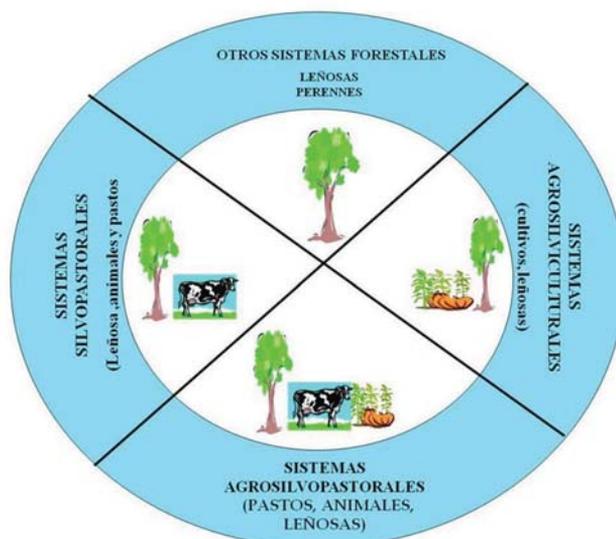


Figura N°1
CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS AGROFORESTALES

Los sistemas agroforestales ofrecen a los propietarios de predios rurales la posibilidad de generar ingresos por venta de diferentes bienes producidos en un mismo sitio, junto con la obtención de beneficios ambientales.

Un sistema silvopastoral puede desarrollarse a partir de un terreno con praderas establecidas, donde se le incorpora el componente forestal, o a partir de un bosque, al que se le incorporan especies forrajeras.

El bosque deberá ser manejado de manera que permita el desarrollo de los pastos para la producción de forraje, reduciendo la competencia entre estos componente y permitiendo la entrada de luz solar (Sotomayor, 1990; Sotomayor y García, 2004).

El término protección de riberas o biofiltros se utiliza para describir las tierras adyacentes a arroyos donde la vegetación es fuertemente afectada por la presencia de agua. A menudo son las líneas delgadas de vegetación nativa o exótica que contiene hierbas, flores, arbustos y árboles paralelas a los cursos de agua.

Una zona ribereña saludable es evidencia de una buena gestión en el uso racional de la tierra⁴.

Las zonas de amortiguación ribereñas son importantes para la buena calidad del agua, evitan que los sedimentos, nitrógeno, fósforo, pesticidas y otros contaminantes lleguen a las aguas superficiales.

⁴ <http://www.bae.ncsu.edu/programs/extension/wqg/sri/riparian5.pdf>

Son más efectivas para mejorar la calidad del agua cuando incluyen una franja de pastos nativos o herbáceas como un filtro y junto con árboles arraigados profundamente y arbustos a lo largo de la corriente.

La vegetación ribereña es una fuente importante de energía y nutrientes para vida silvestre y acuática. Son especialmente importantes en los pequeños arroyos de cabecera, donde hasta el 99% de la energía de entrada puede ser de restos de madera y hojas.

La vegetación ribereña mantiene frescos los arroyos disminuyendo la temperatura de las aguas, especialmente en cursos pequeños, lo que implica una mejor oxigenación de las aguas, por lo que mejora sustancialmente la vida acuática. Además, estas zonas constituyen un hábitat valioso para la vida silvestre.

Es así que, la vegetación ribereña, además de proporcionar alimentos y cubierta, es un importante corredor para una variedad de vida silvestre. Esta vegetación reduce las inundaciones, lo que contribuye a mantener estable arroyos y proteger los suelos aguas abajo.

Al reducir las inundaciones, el agua de lluvia y la escorrentía, la vegetación ribereña permite que el agua penetre en el suelo y alimente los acuíferos subterráneos.

Sistemas de Protección de Riberas y Cursos de Agua

Los principales objetivos de la protección ribereña son eliminar nutrientes, sedimentos, materia orgánica, pesticidas y otros contaminantes procedentes de la escorrentía superficial y de las aguas subterráneas por deposición, por la absorción de las plantas y otros procesos, y con ello se reduce la contaminación, se protege las aguas superficiales y del subsuelo, se mejora la calidad del agua y el ecosistema de las masas de agua.

Además, se previene la disminución de la temperatura del agua, mejorando el hábitat para los organismos acuáticos y también se crea un fuente de detritus (término dado para un fragmento de material orgánico generalmente proveniente de la descomposición animal o vegetal) disponibles para los organismos acuáticos y un hábitat para la fauna silvestre (USDA-NRCS, 2003, citado por Schultz *et al.*, 2004).

La mayoría de los autores caracterizan los sistemas de control de riberas en áreas de intervención o zonas bajo un concepto de modelo de diseño ideal, las cuales se deben gestionar de manera diferenciada, pues cumplen cada una de ellas una función determinante en la efectividad de estos sistemas.

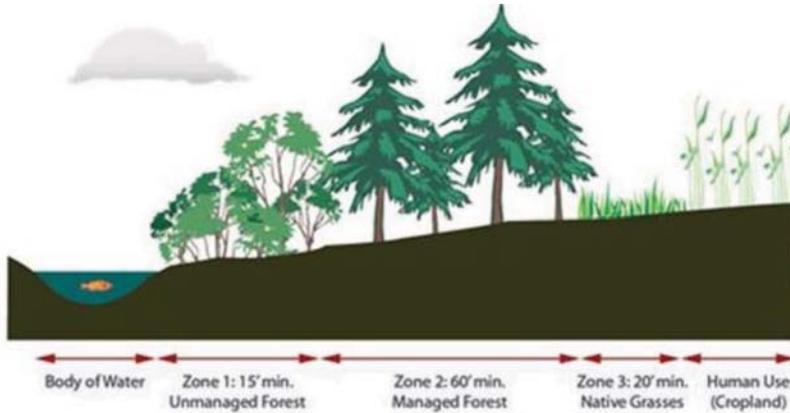
De acuerdo a Peters (1999) las zonas de amortiguación ribereñas pueden tener un impacto positivo en la calidad del agua. Son franjas con plantaciones de árboles, arbustos y hierbas en las orillas de los cursos de agua.

Un diseño o modelo común se compone de tres zonas: Zona 1, con bosques no alterados, es la más cercana al curso de agua, zona 2, constituida por bosque plantado y manejado, y la zona 3, compuesta por pastos nativos o exóticos (Figura N°2).

Las raíces de la vegetación (árboles y arbustos nativos) presentes en la Zona 1,

estabilizan los arroyos, manteniendo el suelo en su lugar y evitando que se desmorone el talud.

La sombra de los árboles ayuda a moderar la temperatura del agua, en beneficio de la vida acuática. Desechos provenientes raíces y madera proveen alimento y hábitat para la vida acuática y disminuyen la velocidad del agua.



(Fuente: http://www.virginiaoutdoorsfoundation.org/VOF_resource-ripbuffer.php)

Figura N°2
MODELO DE ZONIFICACIÓN SISTEMA DE PROTECCIÓN DE RIBERAS

La zona 2 (bosque manejado) puede ser plantada con rapidez con árboles y/o arbustos que producen productos comerciales que pueden ser cosechados para beneficio del propietario.

En esta zona, los nutrientes que son arrastrados por el agua de escorrentía infiltran en el suelo y son absorbidos por los árboles y arbustos. Cuando existen inundaciones, estas zonas forestales también sirven como áreas de recarga de agua de los acuíferos subterráneos.

En la zona 3 la vegetación consiste en pastos y herbáceas que tienden a aumentar la porosidad del suelo lo que permite mayor infiltración de agua y potencial de almacenamiento. Los pastos densos reducen el flujo de las aguas superficiales y la propagación del flujo de manera más uniforme sobre el paisaje.

La reducción de la velocidad del flujo de agua permite que los sedimentos se asienten, aumentando el tiempo para degradar plaguicidas y permitir una mayor absorción del exceso de nutrientes. Además, las hierbas pueden ser potencialmente usadas para forraje y otros productos.

Se debe tener en cuenta que no todas las áreas serán lo suficientemente amplias como para dar cabida a un diseño de amortiguación de tres zonas. La magnitud o ancho de la zona de protección de ribera dependerá de los objetivos del propietario, el estado del curso y las características del sitio (pendiente, tipo de suelo).

Al respecto, se debe indicar que en esta definición o modelo, la zona 1 se asemeja a zonas prístinas, con presencia de vegetación nativa, situación que frecuentemente o normalmente no es característica de los esteros o canales que cruzan las pequeñas propiedades rurales del país.

Normalmente estas están desprovistas de vegetación y con altos procesos erosivos

(Figura N°3), por lo tanto esta zona debe ser esencialmente reconstruida y con acciones de rápida respuesta. En este sentido se hace necesario evaluar cuáles especies son las más adecuadas dependiendo de los objetivos primarios que se planteen al momento de diseñar el sistema.



Figura N° 3
RIBERA TÍPICA EN PROPIEDADES RURALES

INIA (2007) evaluó el comportamiento de distintas especies para las diferentes zonas de un modelo de protección de riberas, tales como falaris (*Phalaris aquatica*), festuca (*Festuca arundinacea*), ballica (*Lolium perenne*), avellano europeo (*Corylus avellana*), álamo, (*Populus sp.*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus camaldulensis*), sauce mimbre (*Salix viminalis*), arándano (*Vaccinium corymbosum*), olivo (*Olea europaea*) y algunas especies nativas.

Este estudio determinó el comportamiento y grado de adaptación al sistema de estas especies, lo que es útil a modo de guía para el proceso de selección de las mismas.

Finalmente, este estudio concluyó que entre los arbustos y árboles los de mejor comportamiento fueron eucalipto, álamo, avellano europeo y sauce mimbre, que sobresalieron por su rápida adaptación al sistema.

Por el contrario, especies como peumo, maqui, chilco, coigüe, pimienta, arándano y olivo, no prosperaron, evidenciaron nula adaptación al sistema pues no tolerar periodos prolongados de inundación. Además, tuvieron una baja tolerancia a salinidad presente en la zona de estudio.

En relación a la estrata herbácea, las especies de mejor comportamiento fueron ballica y festuca, mientras que falaris no prosperó dentro de esta mezcla.

Estos resultados no se pueden generalizar pues estas respuestas son aplicables a las condiciones locales del estudio realizado, pero resaltan la conveniencia de una especial consideración a la especie a establecer, las condiciones locales del sitio y los objetivos que se persiguen con el establecimiento de biofiltros.

Ventajas de los Sistemas de Protección de Riberas

A continuación se entregan antecedentes sobre los beneficios que estos sistemas tienen sobre los recursos acuáticos y terrestres (Dosskey *et al.*, 1997)

- Estabilización de Taludes Erosionados

La erosión y el colapso de los taludes pueden quitar tierras agrícolas valiosas, sobre todo si no se controla oportunamente. Esta erosión se convierte en un banco de sedimentos que terminará en el curso de agua, dañando el hábitat acuático, disminuyendo la calidad del agua y embancando los cursos y lagos y embalses.

El efecto beneficioso de la presencia de las plantas es que absorben la fuerza erosiva del agua, mientras que las raíces mantienen el suelo en su lugar. Este efecto es más eficiente en pequeños arroyos y lagos, pero pobre o ineficaz en grandes superficies inestables, donde la erosión del banco es grave y rápida.

En situaciones de mayor inestabilidad se debe pensar en medidas más radicales como espigones, gaviones y otras.

- Filtro de Sedimentos de la Escorrentía desde Tierras Agrícolas

Esto se refiere fundamentalmente al traslado de sedimentos arrastrados por la escorrentía desde las tierras agrícolas aledañas.

Las plantas disminuyen y dispersan el flujo de la escorrentía superficial y permiten el asentamiento de los sedimentos. Las raíces estabilizan los sedimentos atrapados y los mantienen.

Esta función es potencialmente buena, especialmente para el filtrado de los sedimentos de mayor tamaño, tales como arena, agregados del suelo y residuos de cosechas. Generalmente son menos eficaces para los sedimentos arcillosos.

En cuanto al manejo, una remoción periódica de los sedimentos de la zona buffer es recomendable para mantener este beneficio donde las cargas de sedimentos son altas.

- Filtro de Nutrientes, Pesticidas y Desechos de Animales de la Escorrentía de Tierras Agrícolas

Los altos niveles de contaminantes degradan la calidad del agua y el hábitat acuático. Los nitratos y los pesticidas pueden ser tóxicos para los humanos y los organismos acuáticos, las bacterias fecales y otros microorganismos en los desechos animales pueden generar enfermedades, y el fosfato puede promover la proliferación de algas que asfixian a los peces y otros organismos acuáticos.

Las zonas *buffer* sirven como filtros que retienen partículas y contaminantes junto con el sedimento, además captan y transforman los contaminantes solubles por las plantas y los microorganismos del suelo, favorecen la infiltración de la escorrentía superficial y el crecimiento vigoroso de la vegetación. Contaminantes solubles pueden ser retirados de manera similar desde las aguas subterráneas poco profundas.

- **Sombra, Refugio y Alimento para los Peces y Otros Organismos Acuáticos**

En suelos desprovistos de vegetación, sin sombra y con una alta carga de sedimentos, los canales tienen un hábitat pobre para los peces y otros organismos acuáticos. La presencia de zonas de vegetación ribereña genera sombra sobre el cauce, reduce la intensidad de la luz y la temperatura del agua, provee desechos orgánicos, así como insectos y otros invertebrados que son alimento para los peces.

De igual manera, raíces más grandes y desechos de las plantas pueden formar un refugio estable para los organismos acuáticos. Esto es especialmente eficiente para los pequeños arroyos y lagunas.

La sombra es particularmente importante para las especies acuáticas de agua fría que habitan en zonas de climas más cálidos. El control de la temperatura del agua depende de la extensión de la zona *buffer*.

- **Hábitat de Vida Silvestre**

Las prácticas agrícolas extensivas no proporcionan una cobertura suficiente, ni alimentos para aves y otras especies silvestres, especialmente en invierno. Debido a esto las zonas *buffer*, con una importante diversidad de vegetación perenne, dan cobertura, y suministran alimentos para la fauna.

Estas zonas son muy eficientes para favorecer pequeños animales y aves, en función del tipo de vegetación que incluyan. Tramos *buffer* conectados se transforman en verdaderos corredores de vida silvestre, lo que mejora el hábitat de los animales más grandes.

- **Productos Económicos**

Las zonas *buffer* utilizan tierras de producción agrícola y requieren un costo adicional para su establecimiento, lo que sin duda genera impactos productivos en la economía predial.

Sin embargo, estas zonas *buffer* pueden producir productos de valor, tales como, madera, leña, estacas para postes, forraje, frutos secos, flores para producción de miel, frutas y otros. Los beneficios concretos dependerán de los mercados que existan para los productos y los costos adicionales asociados con el manejo del cultivo.

- **Diversificación y Efectos en el Paisaje**

Las grandes extensiones de zonas agrícolas tiene una baja diversidad del paisaje y generan un impacto negativo, es por esto que las zonas con vegetación de árboles, arbustos y hierbas perennes añaden diversidad visual de un paisaje cultivado. Árboles de hoja perenne y árboles de hoja caduca y arbustos puede ofrecer la diversidad de color en ciertas épocas del año.

- **Protección de Zonas de Cultivo de Los Daños por Inundaciones**

Las inundaciones provocadas por las grandes tormentas de escorrentía pueden erosionar las tierras de cultivos y depositar residuos en los campos. Los tallos de las plantas reducen la velocidad del agua y su poder erosivo, protegiendo las zonas de cultivos y pastos.

Las raíces sostienen los taludes y el suelo de la zona *buffer* y la existencia de una gran superficie de tipo *buffer* dentro de una cuenca reduce sustancialmente los niveles de crecida producto de lluvias torrenciales.

Algunos autores señalan que los beneficios que las zonas de amortiguamiento brindan para la conservación incluyen la protección del suelo, el mejoramiento de la calidad del aire, del agua, y del hábitat de la vida silvestre acuática y terrestre, además de embellecer el paisaje. Estas zonas de amortiguamiento también ofrecen a los propietarios de tierras una gama de oportunidades económicas y protección y mejora de los emprendimientos existentes (Bentrup, 2008).

Importancia Económica y Productiva

La presencia de estas zonas *buffer* dentro de una unidad predial aumentan sustancialmente su plusvalía, ya que a menudo quienes compran tierras para uso recreativo, descanso o turismo, están dispuestos a pagar más si hay zonas boscosa dentro del predio.

Estas áreas normalmente están en suelos de mejor calidad y por lo tanto se podría optar a cultivos alternativos que sean muy rentables para el propietario, con la incorporación de especies de alto valor y que además complementan las funciones de protección del sistema. Adicionalmente generan una diversificación de productos madereros y no madereros que sin duda se traduce en una mejor rentabilización de la economía predial.

Planificación del Establecimiento de Zonas *Buffer*

Para establecer este tipo de sistemas es importante considerar los objetivos que se persiguen con su establecimiento. Una buena herramienta para tomar estas decisiones la entrega Bentrup (2008) indicando los distintos enfoques y objetivos que un planificador puede plantearse y cómo estos sistemas dan respuestas a ello a través de las funciones que estos sistemas cumplen. Bentrup (2008) señala que las zonas de amortiguamiento para conservación mejoran las condiciones de los recursos mediante la depuración de ciertas funciones del paisaje. Las principales necesidades que el diseño de zonas de amortiguamiento puede atender y sus funciones asociadas se especifican en el Cuadro N° 1.

**Cuadro N°1
FUNCIONES DE ZONAS DE AMORTIGUAMIENTO
RELACIONADAS CON DIFERENTES ENFOQUES Y OBJETIVOS**

ENFOQUE Y OBJETIVOS	FUNCIONES DE UNA ZONA DE AMORTIGUAMIENTO
Calidad del agua	
Reducir la erosión y escorrentía de sedimento, nutrientes y otros contaminantes potenciales.	Desacelerar el agua de escorrentía y mejorar la infiltración Atrapar contaminantes en la escorrentía superficial
Retirar contaminantes del agua de escorrentía y del viento	Estabilizar el suelo Reducir la erosión de riberas
Biodiversidad	
Mejorar el hábitat terrestre y acuático	Aumentar el área del hábitat Proteger hábitats sensibles Restaurar la conectividad Aumentar el acceso a recursos Proyectar sombra en riachuelos para mantener la T°
Suelos productivos	
Reducir la erosión del suelo	Reducir la energía del agua de escorrentía Reducir la energía eólica Estabilizar el suelo
Aumentar la productividad del suelo	Mejorar la calidad del suelo Retirar contaminantes del suelo
Oportunidades económicas	
Proveer fuentes de ingreso	Generar productos comercializables
Aumentar la diversidad económica	Reducir el consumo de energía Aumentar el valor de la propiedad
Aumentar el valor económico	Proveer fuentes de energías alternativas Prestar servicios de ecosistema
Protección y seguridad	
Proteger contra el viento o la nieve	Reducir la energía eólica
Aumentar el control biológico de plagas	Modificar el microclima
Proteger contra aguas de inundación	Mejorar el hábitat para depredadores de plagas
Crear un ambiente seguro	Reducir los niveles de las aguas de crecidas y erosión Reducir riesgos
Estética y calidad visual	
Mejorar la calidad visual	Mejorar el interés visual
Controlar los niveles de ruido	Ocultar las vistas indeseables Atenuar el ruido indeseado
Controlar los contaminantes del aire y los olores indeseables	Filtrar los contaminantes del aire y olores indeseables Separar las actividades humanas
Recreación al aire libre	
Promover recreación basada en la naturaleza	Aumentar el área natural Proteger las áreas naturales
Utilizar zonas de amortiguamiento como senderos recreativos	Proteger el suelo y las plantas Proveer un corredor para movimiento Mejorar la experiencia recreativa

(Fuente: Bentrup, 2008)

Experiencia Práctica de Establecimiento de un Sistema de Recuperación de Riberas

El Instituto Forestal de Chile ha desarrollado algunas experiencias en el establecimiento de sistemas de recuperación de riberas con el fin de evaluar el impacto de estos modelos en la productividad de predios de pequeños propietarios y fomentar su uso. Específicamente se estableció una Unidad demostrativa en la Comuna de Hualqui y la cual se describe a continuación.

- Selección del Lugar

La unidad fue establecida durante el mes de agosto de 2007. El criterio para seleccionar el sitio consideró varios factores, siendo los más importantes que fuera una pequeña propiedad, con títulos saneados, que tuviera un río o estero y que ambas riberas estuvieran dentro de la propiedad y presentaran claros procesos erosivos producto de las constantes crecidas del cauce.

Finalmente y gracias al apoyo brindado por los PRODESAL de distintas comunas, fue posible ubicar el predio Paiyahue, el cual cumple con las características buscadas.

Este predio se encuentra en la Comuna de Hualqui en la localidad de Lo Vargas, unos 32 km al este de la ciudad de Concepción (Figura N°4).



Figura N°4

SITUACIÓN INICIAL PREDIO PAIYAHUE, COMUNA DE HUALQUI, REGION DEL BIO BIO, CHILE

La metodología de intervención, consiste en una visita inicial con el propietario donde se evalúa y acuerda con él, las áreas a intervenir, teniendo en consideración sectores con un alto grado de desmoronamiento, sectores de importancia productiva (cultivos), y zonas de protección de infraestructura (casa, puentes u otros) (Figuras N° 5, N° 6 y N° 7).

Hecha esta evaluación previa, se tomó la decisión de intervenir dos sectores, lo que permitirá controlar una longitud de ribera de aproximadamente 150 m.



Figura N° 5
ZONA DE CULTIVOS AGRÍCOLAS E INFRAESTRUCTURA PREDIAL, PREDIO PAIAHUE



Figura N° 6
PUENTES DE CRUCE VEHICULAR Y PEATONAL



Figura N° 7
SITUACIÓN INICIAL DEL CURSO DE AGUA Y TALUD A INTERVENIR, PREDIO PAIAHUE

El objetivo de estas acciones es mantener estabilizadas las riberas del curso de agua evitando nuevos procesos erosivos y pérdida de suelos productivos, estabilizando sectores activos que se erosionan ocurridas crecidas invernales y/o en épocas de deshielo (Figura N°7).

- **Perfilado de Talud**

Con el fin de disminuir la pendiente del talud y reducir su potencial energía y probabilidad de desmoronamiento, el talud se estabilizó logrando una pendiente de compensación con un ángulo aproximado de 45° (Figura N° 8). El material removido permitió rellenar algunos sectores socavados, estabilizar el mismo talud y reforzar otras acciones como los diques de contención.

Posteriormente y para hacer sustentable en el tiempo estas acciones, se procede a establecer vegetación y complementar, donde era necesario, con otras acciones fundamentalmente la construcción de diques.



Figura N° 8

PROCESO DE ESTABILIZACIÓN DEL TALUD, PERFILADO DEL TALUD Y PROTECCION CON SACOS RELLENOS CON TIERRA (IZQ), Y ESTABLECIMIENTO DE ESTAQUILLAS DE SAUCE PARA PROTECCION DEL AREA DEL TALUD PERFILADA (DER).

- **Diques de Contención**

Con el fin de evitar socavamientos en sectores golpeados constantemente por las aguas, desviar el cauce y/o reforzar la estabilización de los taludes, se construyeron diques protectores con sacos rellenos con tierra (Figura 8). Para ello se utilizaron sacos plásticos dobles de gran capacidad (80 kg), los cuales se rellenan con el material de suelo removido de la estabilización y/o sedimentos del mismo cauce.

Posteriormente se realiza la colocación de los mismos en un sistema de enladrillado que permita darle mayor estabilidad (Figuras N° 9 y N° 10).



Figura N° 9
 ETAPA INICIAL PROCESO DE PROTECCION INFRAESTRUCTURA (IZQ), ESTABILIZACIÓN DE TALUD
 EROSIONADO CON DIQUES DE SACOS (DER)



Figura N° 10
 PROCESO INICIAL DE ESTABILIZACION DE TALUD (IZQ) Y ETAPA FINAL DEL PROCESO DE ESTABILIZACIÓN
 DE TALUD CON DIQUES Y FORESTACION

- Plantación

Indudablemente que unas de las acciones principales para el control de riberas, es lograr establecer vegetación que permita sustentar en el tiempo las acciones realizadas y evitar la erosión y socavamiento. Para ello deben utilizarse especies que soporten inundaciones temporales, sean de rápido crecimiento y cumplan con otros objetivos de interés del propietario (leña, madera, polines, miel, otros).

Considerando estos requerimientos se establecieron distintos sectores con *Salix sp*, *Acacia dealbata*, *Acacia mearnsii*, *Acacia melanoxylon*, *Robinia pseudoacacia* y *Eucalyptus*

camaldulensis, de acuerdo a los requerimientos ecológicos y los objetivos perseguidos. En los sectores más cercanos al cauce solo se usaron técnicas de hoyadura o estacado para evitar remover suelo que pudiera ser arrastrado por las subidas invernales (Figuras N° 11 y N° 12).



Figura N° 11
PLANTAS EN CONTENEDOR DE *Acacia dealbata*; PLANTAS DE *Acacia dealbata* ESTABLECIDAS EN CAMELLÓN; Y PLANTAS DE *Acacia melanoxylon* EN CASILLAS



Figura N°12
PLANTACIÓN CON ESTACAS DE *Salix sp* (IZQ) Y *Robinia pseudoacacia* (DER)

En los sectores más planos, más alejados del cauce y fuera de la estabilización de taludes, para evitar el escurrimiento de aguas y residuos de ellos hacia el cauce, se hicieron camellones paralelos al cauce y sobre los cuales posteriormente se plantó (Figura N° 13).



Figura N°13
CONSTRUCCIÓN DE CAMELLONES CON ARADO Y PLANTACIÓN

Los sectores de estabilización de talud fueron trabajados con entramados de *Salix sp*, por ser esta una especie de rápido crecimiento, buen rebrote de estaca y fácil de trabajar (Figura N° 14). Esto permite estabilizar los taludes en un corto plazo (una temporada). Para ello se realizaron entramados donde se colocan estacas a 20 cm x 20 cm y posteriormente se plantaron varas delgadas adyacentes al curso de agua de manera perpendicular y en contacto con el suelo para promover su enraizamiento. Esto último con el fin de evaluar distintos diseños y sus resultados, que permitan proponer una u otra acción en futuras intervenciones. Cabe destacar que *Salix sp* tiene la ventaja de brotar con rapidez y a lo largo de toda la vara, por lo tanto se logró contar con un entramado vegetal denso que permita estabilizar el talud en el corto plazo. Esta especie fue incorporada también a lo largo de todo el cauce intervenido.



Figura N°14
ESTABLECIMIENTO DE ENTRAMADO DE *Salix sp* PERPENDICULAR Y PARALELO AL CAUCE (IZQ Y CEN), Y RESULTADO DESPUES DE 6 MESES (DER)

CONCLUSIONES

Los sistemas de control de riberas pueden cumplir una serie de funciones que son de gran importancia en la conservación de recursos naturales en el país. En primer lugar disminuyen sustancialmente los procesos erosivos característicos de los predios rurales y esto conduce a reducir los sedimentos en las aguas mejorando así su calidad y evitando procesos

de embancamiento de distintos tipos de cursos de agua presentes en una cuenca hidrográfica. Adicionalmente, permiten conservar el mayor capital que poseen los propietarios rurales que es su suelo.

Estos sistemas disminuyen también en forma sustancial la contaminación de las aguas, ya que evitan que los excesos de fertilizantes y herbicidas, es decir aquellos que no son eficientemente absorbidos por los cultivos agrícolas, sean transportados por aguas superficiales o subterráneas hasta los cursos de agua, provocando problemas ambientales que pueden ser bastante serios para la biodiversidad, tanto acuática como terrestre. Esto tiene también especial significación respecto de la disponibilidad y calidad del agua para riego y consumo humano.

Se destaca entonces una doble función de las zonas *buffer*; por una parte evitan procesos erosivos, estabilizando taludes y evitando arrastre de material por los aumentos de caudales en las épocas invernales o de deshielo y, por otra, sirven de filtros naturales para contaminantes, evitando que estos lleguen a las aguas.

Generan además una serie de beneficios sobre el paisaje, sobre la biodiversidad al funcionar como corredores biológicos y sobre la vida acuática, así como también pueden generar productos forestales, como madera y leña, y no madereros, como flores, fritos, miel, follaje, hongos, entre muchos otros, que aportan a la rentabilidad de los predios rurales.

Dada la cantidad y variedad de beneficios que otorgan, estos sistemas son extremadamente interesantes de promover en las zonas agrícolas del país como parte del manejo predial, sin embargo queda mucha investigación que desarrollar dada la fragilidad de los ecosistemas acuáticos y terrestres asociados a cursos de agua. Se debe intensificar la investigación en torno al efecto de estos sistemas sobre los suelos, las aguas y la vida acuática y de riberas.

En general se puede señalar que al haber una alta variabilidad de componentes (arbóreos, arbustivos y pratenses) estos sistemas prácticamente deben ser diseñados de acuerdo a las necesidades particulares del lugar que se quiere intervenir, recuperar y/o conservar, por lo tanto el profesional o propietario debe tener claridad sobre los objetivos del sistema a establecer; los problemas primarios y secundarios a resolver, los resultados esperados y los requerimientos técnicos y financieros que requiere el establecimiento exitoso del sistema. Esto determinará el diseño, los componentes, las metodologías y las especies más adecuadas que cumplan con los objetivos planteados para cada caso en particular.

REFERENCIAS

Bentrup, G., 2008. Zonas de Amortiguamiento para Conservación: Lineamientos para Diseño de Zonas de Amortiguamiento, Corredores y Vías Verdes. Informe Técnico Gral. SRS-109. Asheville, NC: Departamento de Agricultura, Servicio Forestal, Estación de Investigación Sur. USA.

Dosskey, M.; Schultz, D. and Isenhardt, T., 1997. Riparian Buffers for Agricultural Land. Department of Forestry. USA.

INIA, 2007. Uso de Biofiltros para Mejorar la Calidad del Agua de Riego. Proyecto Establecimiento y Evaluación de Biofiltros para Reducir la Contaminación Difusa en Aguas de Riego de las Regiones VI y VII. FONSAG C3-81-07-42. Boletín INIA N° 170. Santiago de Chile.

Peters, S., 1999. Agroforestry. An Integration of Land Uses Practices University of Missouri, Center for Agroforestry. USA.

Schultz, R.; Isenhardt, T.; Simpkins, W. and Colletti, J., 2004. Riparian Forest Buffers in Agroecosystems – Lessons Learned from the Bear Creek Watershed, Central Iowa, USA. Kluwer Academic Publishers. USA.

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

Sotomayor, A. y Garcia, E., 2004. Cartilla Agroforestal N° 2, Sistemas Silvopastorales. INFOR, Concepción, Chile.

Sotomayor, A., 2009. Manejo Silvopastoral con *Pinus contorta* Dougl.ex.Loud. como Alternativa Productiva Sustentable para Propietarios Ganaderos en la Región de Aysén, Chile. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Departamento de Ingeniería Forestal. Córdoba. España.

Capítulo 17

PERSPECTIVAS DE LOS PRODUCTOS FORESTALES NO MADEREROS (PFNM) EN CHILE

Gerardo Valdebenito¹

RESUMEN

Los productos forestales no madereros (PFNM) en Chile son definidos como “bienes de origen biológico, distintos de la madera, procedentes de los bosques, de otros terrenos arbolados y de árboles situados fuera de los bosques, considerando bienes de origen animal y vegetal, independientemente de la naturaleza artificial o natural del bosque”. En términos generales se incluyen alimentos y aditivos alimentarios, semillas comestibles, hongos, frutos, fibras, especies y condimentos, aromatizantes, fauna silvestre, resinas, gomas, productos vegetales y animales utilizados con fines medicinales, cosméticos o culturales, entre muchos otros.

En el presente capítulo se caracteriza y analiza el estado del arte de los PFNM en Chile en el contexto de su existencia, se describe su evolución, las brechas existentes y las fortalezas y debilidades que deben ser observadas en el ámbito público y privado, para potenciar su relevancia, impacto y sostenibilidad.

En Chile, los primeros reportes datan del año 1646, cuando conquistadores describen la diversidad de alimentos que proveen los bosques naturales del Reino de Chile. Por más de 200 años los PFNM fueron un componente invisible frente a la visión monofuncional maderera de los bosques, siendo muy reciente el reconocimiento del valor ecosistémico y multifuncional de los recursos forestales, cobrando relevancia los PFNM y los servicios ambientales.

Los PFNM han experimentado un crecimiento importante y sostenido en los últimos 20 años, y esto se ha reflejado en avances de relevancia en torno a nuevos emprendimientos comerciales destinados al mercado nacional e internacional y, en menor medida, en acciones de investigación y desarrollo focalizadas en la agregación de valor. Las Exportaciones al año 2014 registran montos por sobre los 84 MM US\$, representando una cartera de 60 productos, los cuales se envían a más de 50 países. El mercado interno se estima en 240 MM US\$, genera ingresos a 200 mil personas del mundo rural y posee fuerte connotación de género. El consumo interno es creciente, catastrándose un total de 480 productos, de los cuales el 90% provienen del bosque nativo.

El promisorio desarrollo económico del proceso exportador contrasta con los bajos niveles alcanzados en los otros ámbitos que configuran el modelo productivo, existiendo brechas y rezagos de magnitud, que ponen en riesgo su sostenibilidad. Problemas de importancia están dados por carencia de información sobre la cuantificación de la producción y el consumo, y sobre métodos y técnicas sostenibles de extracción, por ausencia de planes de manejo, por insuficiente información de mercado y procesos de comercialización, y por el bajo nivel de

¹ Ingeniero Forestal. Instituto Forestal, Sede Metropolitana, Santiago, Chile. gvaldebe@infor.cl

desarrollo tecnológico asociado a generación de valor agregado. Adicionalmente, en el rubro se manifiestan variadas fallas de mercado vinculadas con asimetrías de información, monopsonios, riesgo moral y selección adversa. Lo anterior, sumado a altos costos de transacción, dispersión territorial y excesiva fragmentación en la cadena de comercialización, factores que generan problemas que deben ser abordados desde las políticas públicas.

Palabras clave: PFMN, Otros productos de los bosques, Mundo rural.

SUMMARY

Non wood forest products (NWFP) are defined as “goods of biological origin other than wood derived from forests, other wooded land and trees outside forests, considering goods of vegetal and animal origin, independently of the forest artificial or natural origin”. In general terms are included foods and food additives, edible seeds, fungus, fruits, fibers, spices and condiments, flavours, wild fauna, resins, gums, vegetal and animal products used as medicines, cosmetics and many others. The present chapter characterize and analyze the state of the art on NWFP in Chile, regarding to their existence, evolution and gaps, and the strengths and weaknesses that should be considered in the public and private world to promote their importance, impact and sustainability.

First reports in Chile were in 1646 when conquistadors describe the food diversity provided by the natural forest in the Chilean Kingdom. However, during more than 200 years NWFP were an invisible component because forest were seen only as a wood source and just in recent times were recognized the ecosystemic and multifunction forests values, and environmental services and NWFP became an important matter.

NWFP in Chile have experienced an important and increasing growth during the last 20 years reflected through significant advances on new commercial entrepreneurs oriented to national and international markets and, in lesser extent, through research and development actions focused on adding value. NWFP exports in 2014 reached over than 84 million US\$ with about 60 products sold to more than 50 countries. The internal market is estimated in 240 million US\$ and generates incomes to 200 thousand people in the rural population with a high female participation. The domestic consumption increases, more than 480 products are known and 90% of its are provided by native forests. However, the exports process promising economical development does not match to the low level showed by other subjects on the field and there are several gaps and weaknesses that endanger his sustainability. Important problems are done by information lack on production and consumption assessment and on sustainable extraction techniques, by the absence of management plans, by the insufficient knowledge on markets and marketing processes and by the poor technological development to generate added value. In addition, in the NWFP field there are a variety of market failures because of information asymmetries, monopsonies, moral risks and adverse selection. To the mentioned problems have to be added high transaction costs, geographical dispersion and an excessive marketing chain fragmentation, problematic factors that should be faced through public policy.

Keywords: NWFP, Other forests products, Rural world.

INTRODUCCIÓN

Los Productos Forestales No Madereros (PFNM) son definidos por FAO (1998) como aquellos bienes de origen biológico distinto de la madera, procedentes de los bosques, de otros terrenos arbolados y de árboles situados fuera de los bosques, definición que considera bienes de origen animal y vegetal, independientemente de la naturaleza artificial o natural del bosque. Son de gran importancia para el sustento económico de las poblaciones rurales asociadas a los bosques, en especial para aquellas vinculadas al bosque nativo.

Los PFNM abarcan una amplia gama de productos y subproductos de los bosques (naturales y plantaciones) y formaciones silvestres, entre los cuales se sitúan alimentos y bebidas, aceites esenciales y aromas, productos medicinales, estimulantes, resinas, colorantes y tintes, fibras, plantas ornamentales, fauna silvestre, semillas y otros, que son utilizados especialmente en las comunidades campesinas de bajos recursos económicos.

Existen en el país una gran cantidad de PFNM, históricamente utilizados por la población. En las últimas décadas se ha desarrollado un importante y creciente nicho de mercado vinculado a su uso y comercialización, generando empleo e ingresos a más de 200 mil habitantes rurales, con alta connotación de género, así como también contribuyendo a las exportaciones del sector con una cifra cercana a los 84 millones de dólares en el año 2014.

La relevancia que está adquiriendo el mercado de estos productos para la actividad económica rural motiva la necesidad de investigar y valorar los PFNM y su impacto social y económico. A principios del año 2000, el Instituto Forestal (INFOR), con el apoyo de diversos fondos públicos y del Ministerio de Agricultura, inicia un seguimiento permanente del mercado de exportación de estos productos, se analiza sus tendencias y se actualiza la información tecnológica, vinculada a los ámbitos silvícola, de procesamiento y de mercado. En este mismo año se da inicio al programa de investigación permanente de INFOR en esta materia, que ejecuta más de 30 proyectos de investigación en la materia.

En el presente capítulo se entrega una visión de los principales productos forestales no madereros utilizados y comercializados en Chile. Los resultados son parte de las acciones de investigación ejecutadas en el proyecto “Plataforma de sistematización y difusión de información tecnológica de productos forestales no madereros (PFNM) del bosque nativo chileno”, financiado por el Fondo de Investigación del Bosque Nativo del Ministerio de Agricultura, y en el estudio “Modelos de negocios sustentables de recolección, procesamiento y comercialización de Productos Forestales no Madereros (PFNM) en Chile”, financiado por la Fundación para la Innovación Agraria FIA.

Con el objetivo de dimensionar la existencia e importancia de los PFNM utilizados y comercializados en Chile, se implementó un proceso de levantamiento y sistematización de información a partir de fuentes primarias y secundarias, entre las regiones de Valparaíso y Aysén. La clasificación de productos se ordenó en base a la estructura definida por INFOR (Valdebenito, 2009), donde se agrupan según las siguientes categorías: Alimentos (Frutos, Hongos Comestibles, Nueces y semillas, Tallos comestibles, Árboles melíferos y Arbustos melíferos); Medicinales (Árboles nativos, Arbustos y hierbas, Exóticas asilvestradas y Árboles exóticos); Ornamentales (Árboles, arbustos, Hierbas, Helechos, Trepadoras, Suculentas y Musgos); Artesanías y Tintóreas (Tallos, fibras y Plantas tintóreas). La información fue procesada en función del tipo de especie proveedora de PFNM, analizando los aspectos tecnológicos de silvicultura y manejo, como

también aspecto económicos vinculados a los procesos de comercialización a nivel nacional e internacional.

OBJETIVOS

Objetivo General

Dimensionar la existencia, impacto y sostenibilidad de los procesos de recolección, procesamiento y comercialización de Productos Forestales No Madereros en Chile, desarrollados por agricultores, campesinos, empresas y comunidades del mundo rural.

Objetivos Específicos

Identificar y priorizar los principales PFNM recolectados y comercializados en Chile, que tienen por destino final el mercado nacional e internacional.

Caracterizar la dimensión silvícola, tecnológica y comercial de los PFNM definidos como prioritarios, en base al impacto generado en el ámbito de la comercialización.

Definir los principales factores de sostenibilidad de los procesos de recolección, agregación de valor y comercialización de PFNM en Chile.

METODOLOGÍA

El enfoque metodológico busca identificar, priorizar y seleccionar los PFNM de mayor relevancia en Chile, considerando la dimensión económica explicada a través del monitoreo de las exportaciones. La selección y priorización de PFNM de mayor relevancia comercial y que explican más del 80% del comercio nacional e internacional en este rubro, fue determinada mediante la elaboración de un ranking de los 10 productos con mayores montos exportados (US\$ FOB) entre los años 2004-2013, utilizando para ello las bases de datos del Sistema Nacional de Información de Comercio Exterior, que administra el área Información y Economía Forestal del Instituto Forestal.

Dentro de dicha base de datos se administra y actualiza información detallada de precios y volúmenes exportado según producto forestal no maderero, con registros históricos desde el año 1990. Adicionalmente, se utilizaron otras fuentes de información con el objetivo de validar y complementar información. Para cada PFNM priorizado, fue analizada su respectiva cadena de comercialización, recopilando información sobre los procesos de recolección, los procesos de agregación de valor y los procesos de gestión de negocios, considerando transversalmente la dimensión de sustentabilidad.

Las fuentes de información utilizadas son primarias y secundarias, consultando emprendimientos locales, empresas, estudios, proyectos, publicaciones y bases de dato elaboradas por INFOR, universidades y otros organismos públicos y privados vinculados al tema. En base al análisis de la información levantada y sistematizada, fueron identificados los principales factores de sostenibilidad de los procesos de recolección, agregación de valor y comercialización de PFNM en Chile, que permitan superar brechas tecnológicas, comerciales, fallas de mercado y fallas de Estado.

RESULTADOS

En el Cuadro N° 1 se presenta el ranking acumulado de los principales PFNM exportados durante el periodo 2004 - 2013, priorizado por montos totales expresados en US\$ FOB (*Free On Board*). Utilizando la información de las Exportaciones Forestales de PFNM del Sistema Nacional de Información de Comercio Exterior que administra el Instituto Forestal, se procesaron las principales partidas arancelarias que componen las exportaciones de PFNM entre los años 2004 y 2013.

La configuración del *ranking* considera un análisis específico de cada partida arancelaria, realizando una agrupación de aquellos productos que presentan una denominación común, respecto de la composición y origen de la especie que lo provee, entre otros aspectos. Los criterios de selección fueron agrupar Productos Forestales No Madereros que pertenezcan a la misma especie en una misma glosa, ejemplo corteza y hojas de boldo. Fueron excluidos del *ranking* aquellos productos para los que actualmente existe evidencia que son generados en gran proporción a partir de cultivos tradicionales, quedando por definición fuera de la categoría de PFNM, siendo el caso de la hierba manzanilla y las fibras de mimbre.

Cuadro N° 1
RANKING PRINCIPALES PFNM EXPORTADOS DURANTE EL PERIODO 2004-2013

Ranking	PFNM	Monto (US\$ FOB)	Volumen (t)
1	Frutos, hojas, semillas y otros de rosa mosqueta (<i>Rosa moschata</i>)	227.618.566	65.068
2	Musgo spagnum (<i>Sphagnum magellanicum</i>)	115.190.294	36.395
3	Hongos Boletus (<i>Suillus luteus</i>)	74.550.873	35.162
4	Hojas y corteza de boldo (<i>Peumus boldus</i>)	23.484.623	20.244
5	Hongos (<i>Morchella conica</i>)	17.135.839	387
6	Corteza y otros productos de quillay (<i>Quillaja saponaria</i>)	16.536.973	5.206
7	Hongos (<i>Lactarius deliciosus</i>)	11.960.166	8.846
8	Hierba de San Juan (<i>Hypericum perforatum</i>)	5.911.467	2.676
9	Maqui deshidratado entero o polvo (<i>Aristotelia chilensis</i>)	3.837.234	236
10	Hojas , frutos y extraíbles avellano (<i>Gevuina avellana</i>)	762.139	169

(Fuente: Elaboración Propia, en base estadísticas INFOR)

Con el objetivo de conocer la dimensión global de cada especie priorizada y los PFNM que genera o provee, se elaboró una sistematización de información científica en base al actual estado del arte que caracteriza la dimensión silvícola, tecnológica y comercial de las especies y sus productos derivados. La dimensión silvícola describe la especie, su distribución y hábitat, identificando además los requerimientos agroecológicos, entre otros aspectos. La caracterización tecnológica describe los diversos usos no madereros que posee la especie, las características técnicas de la recolección y los actores involucrados. Por último, la caracterización comercial describe los canales de comercialización, identifica los actores y analiza los precios de venta, entre otros aspectos.

Rosa Mosqueta (*Rosa moschata*, *Rosa aff. rubiginosa*, *Rosa eglentaria*, *Rosa canina*.)



- Distribución Geográfica y Hábitat

La rosa mosqueta es originaria de Europa Central, Polonia, Balcanes, Hungría, Rusia y el Cáucaso, siendo también autóctona de África e India (Hoffmann, 1991). A Chile fue introducida en la época de La Colonia y hoy es muy abundante entre las regiones Metropolitana y Aysén, con mayor concentración entre Parral, región del Maule, y Mulchén, región del Bio Bio (Galaz, 1999).

Las especies del género *Rosa* son más de 100, pero en Chile aparentemente sólo se encuentran *Rosa aff. rubiginosa* (de mayor abundancia), *Rosa canina* distribuida en pequeños grupos, y *Rosa moschata*, ubicada especialmente en la Cuenca de Santiago (Cajón del Maipo) y Quebrada Alvarado, en Limache (Sudzuki, 1995).



Figura N° 1
FRUTO MADURO *Rosa moschata*

Diversos estudios y publicaciones nacionales hablan también de la presencia de *Rosa eglentaria*, tratándose este nombre de un sinónimo de *Rosa rubiginosa*. Prefiere los terrenos degradados, bordes de caminos y esteros.

Se desarrolla en suelos degradados de mínimo 25-30 cm de profundidad, pero permeables y cuyo pH fluctúa entre 5,5 y 6. El exceso de humedad es una limitante para su desarrollo. Se ha observado que en suelos delgados, la raíz pivotante se extiende largamente en forma horizontal. Posee altas capacidades para cubrir suelos erosionados y de baja calidad agrícola (Sudzuki, 1986; citado por Rivera, 1999). Se presenta en zonas donde el clima es relativamente suave, con temperaturas mínimas de 3°C y máximas de 27°C, alta luminosidad y precipitaciones de 500 a 1500 mm.

- **Usos y Propiedades No Madereras según Categoría**

Medicinal: Los frutos poseen una alta concentración de ácido ascórbico o vitamina C que, dependiendo de la época de cosecha, fluctúa entre 513 mg/100g de fruta fresca, para los cosechados en enero, y 844 mg/100g, para los cosechados en abril. Su aplicación en cremas resulta clínicamente efectiva en cicatrices hipercrónicas y posquemaduras. El aceite proveniente de los aquenios es un excelente regenerador de tejidos, siendo rico en ácidos grasos insaturados y ácido transretinoico. En tratamiento para las arrugas, retrasa la aparición de nuevas líneas de expresión y atenúa las ya existentes. El fruto contiene además pigmentos carotenoides, de los cuales se pueden citar licopeno, caroteno, a-criptoxantina, siendo este último el de mayor importancia por tener carácter de provitamina A, lo que eleva la calidad nutricional del fruto, ya que la vitamina A favorece un importante número de funciones fisiológicas.

Ornamental: Se la utiliza en jardinería por los atractivos de su abundante floración color rosa, con flores formadas por cinco pétalos, y sus frutos de color rojo o anaranjado muy vistosos.

Alimento: Se usa el fruto principalmente en el área alimenticia y cosmetológica. Popularmente es utilizada para la producción de dulces y mermeladas. Se emplea en diversas formas, como mermelada, jaleas, sopas y como bebida en reemplazo del té. Como subproducto de la deshidratación de los frutos se obtiene un residuo o cascarilla muy molida que, junto con los restos de aquenios y pistilos, se utiliza como concentrado para alimentación animal, especialmente como pigmentante en la alimentación de pollos y ponedoras. El fruto es rico en proteínas, fierro, calcio, fósforo y principalmente vitamina C.

- **Antecedentes Técnicos de la Recolección**

La actividad productiva vinculada a la comercialización de frutos de rosa mosqueta se sustenta en procesos de recolección en los que personas y familiares cosechan manualmente los frutos en predios rurales de terceros. Es una actividad que se desarrolla como mercado informal, existiendo uno o más agentes intermediarios que compran los productos a los recolectores a orilla de los predios o en puntos de acopio instalados en localidades rurales o comunas. Los recolectores disgregados en los territorios no poseen poder de negociación, y el precio de compra lo definen los intermediarios, en función de la disponibilidad del producto, según cada temporada, entre otros factores.

Estos intermediarios (acopiadores y/o compradores primarios, personas vinculadas a la venta de productos agrícolas) venden posteriormente su producto a los compradores finales, quienes lo procesan industrialmente con fines de exportación.

El proceso de generación de estas materias primas (frutos) se comporta como un *commodity* y no tiene costo de formación, ya que estas plantas poseen la condición de “maleza” en los campos y su recolección es gratuita. En algunas ocasiones, los dueños de predio acuerdan con grupos de recolectores un monto por acceder a la propiedad y realizar la actividad de recolección (derecho a puerta). También existen algunas experiencias de empresas han domesticado la rosa mosqueta como cultivo, situación en la cual deja de ser un producto forestal no maderero, sin embargo por su escasa rentabilidad esta situación no posee carácter masivo, siendo más del 90% de la rosa mosqueta comercializada en el país de origen silvestre, lo cual reitera su condición de PFNM.

Un recolector en forma manual logra un rendimiento de entre 20 y 30 kilos diarios, en tanto que una pradera natural puede producir entre 2 y 4 toneladas de rosa mosqueta por hectárea.

- **Antecedentes de Comercialización**

El precio de la rosa mosqueta, según cifras del año 2014, fue de 300 a 380 \$ kg⁻¹ puesta en el predio de las zonas aledañas a Chillán, siendo variable de año en año, dependiendo de las condiciones climáticas y de la abundancia del producto. El mejor precio se obtiene a principios de abril, finalizando la temporada. En la región del Maule se observaron precios de 300 \$ kg⁻¹, en la región de la Araucanía el rango fue de 400 a 700 \$ kg⁻¹ y en la región de Aysén se pagó en el rango de los 800 a 1.000 \$ kg⁻¹.

Los recolectores poseen dos posibilidades de venta de su producto; a compradores primarios o acopiadores, lo cual se maneja como un proceso formal de comercialización, donde el recolector vende su producción a un valor previamente acordado, y venta directa a consumidores locales o particulares para la fabricación de mermelada o infusiones caseras, productos que pueden ser consumidos por ellos mismos o vendidos en mercados o ferias locales. Esta última opción es significativamente menor que la dinámica de comercialización vinculada con las exportaciones.

En algunas ocasiones, los mismos recolectores procesan la rosa mosqueta para consumo familiar e incluso para la venta en centros urbanos o mercados municipales, con lo cual pueden darle un mayor valor agregado al producto obteniendo un mejor precio.

Continúan con la cadena formal de comercialización, los acopiadores y/o compradores primarios, ellos venden su producto a los compradores finales, los cuales procesan industrialmente el producto y lo exportan a plantas procesadoras de alimentos para la producción de mermeladas, te, infusiones, o productos de cosmética y farmacología.

El producto se exporta en formatos de fruto deshidratado, semillas y aceites vegetales de rosa mosqueta.

Una vez efectuado el embolsado del producto, el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) realiza una inspección del material, el cual debe quedar etiquetado, certificando que cumple con las medidas internacionales de calidad desde un punto de vista sanitario.

Musgo Pompón, Spagnum (*Sphagnum magellanicum* Brid.)



- Distribución Geográfica y Hábitat

Musgo nativo que posee importantes propiedades no madereras, entre las cuales destaca su uso como sustrato en diversas industrias, producto fitoremediador y con propiedades medicinales

Las especies clasificadas en el género *Sphagnum* son las más numerosas de la división *Bryophyta* y poseen importancia ecológica y económica de relevancia a nivel mundial.

En Chile se ha identificado un total de 16 especies, siendo las más relevantes *Sphagnum acutifolium*, *Sphagnum cuspidatum*, *Sphagnum falcatum*, *Sphagnum fimbriatum* y *Sphagnum magellanicum*.

Sphagnum magellanicum es el musgo más abundante en Chile, crece en zonas pantanosas generando extensas formaciones denominadas turberas o pomponales. Su distribución abarca desde la región de la Araucanía hasta la región de Magallanes.

Su estructura se caracteriza por un tallo (caulidio), filodios fotosintéticos, análogos a las hojas, y un rizoide, raíz que cumple la función de anclaje.

El aspecto de mayor interés de esta especie es la alta capacidad de retener agua, siendo capaz de acumular hasta 20 veces su peso, sumado a su bajo nivel de descomposición.

La relevancia ecológica y ambiental de las turberas en el mundo es significativa, siendo reconocidas como uno de los recursos que almacena la mayor cantidad de carbono a nivel mundial, superior a los bosques, además de su importancia en la regulación de los ciclos hidrológicos y variables climáticas.

- Usos y Propiedades No Madereras según Categoría

Ornamental: El musgo es ampliamente utilizado en el mundo como sustrato para el cultivo de flores, en jardines tradicionales y verticales, en cultivos hidropónicos, agricultura orgánica y como sustrato para embalaje de productos delicados.

También es utilizado en la industria como material filtrante, especialmente en el tratamiento de aguas residuales, entre otros usos.

Medicinal: Posee importantes propiedades medicinales en la dimensión de los antibióticos, siendo reconocida su capacidad para curar enfermedades de la piel.

- **Antecedentes Técnicos de la Especie y Recolección**

La formación de las turberas, es un proceso que demora miles de años y la sostenibilidad en el uso del recurso, pasa necesariamente por la forma en que se explota. Existe una diferencia sustancial entre el proceso de extracción de turba y cosecha de musgo.

Al cosechar la turba, se extrae la materia orgánica en proceso de descomposición que forma los estratos inferiores de las turberas, generando con ello la muerte del pomponal y la eliminación de los servicios ecosistémicos que presta.

Por el contrario, la cosecha del musgo consiste en extraer la parte superficial de la turbera, donde se encuentra el musgo vivo por sobre los 50 cm, logrando con ello mantener la estructura de la turbera, permitiendo su regeneración, que en términos generales demora de 5 a 10 años en recuperarse, dando pie a una segunda intervención de cosecha.

La actividad de recolección del musgo es realizada por pequeños propietarios dueños del pomponal, por arrendatarios del predio y también por intermediarios. Son campesinos de 50 a 60 años de edad, con más de 10 años de experiencia en este oficio.

El proceso productivo se compone de 5 etapas: Cosecha, limpieza y secado en tendales, limpieza y selección, traslado a bodegas de almacenaje y, finalmente, clasificación y envasado.

El proceso de extracción se realiza en forma manual con herramienta de corte y/o utilizando una herramienta llamada gancho. Se extraen uno o dos cortes, no sobrepasando los 50 cm de profundidad.

Si bien el periodo de recuperación del pomponal es más largo, el periodo esperado por los recolectores para volver a explotar el predio es en promedio de 3 a 4 años, para terrenos arrendados y propios, respectivamente (Díaz *et al.*, 2013).

En promedio un pomponal intervenido se recupera a una tasa de 1,3 cm por año. El musgo cosechado es almacenado en sacos de 50 kg, los cuales posteriormente son transportados por mano y/o por bueyes a orilla de camino, para ser trasladados luego al lugar de secado en los tendales.

El rendimiento de un recolector es en promedio 300 kg día⁻¹ de musgo en estado verde.

El proceso de secado se realiza en tendales, estructura techada y abierta por los costados, del tipo invernadero, que utiliza la circulación del viento, para efectos de deshidratado del musgo, el cual se encuentra suspendido en mallas para facilitar su ventilación.

El proceso de deshidratado de musgo demora 7 días en verano y el doble en invierno, considerando una base de 250 kg en verde.

Junto con el secado, se realiza el proceso de limpieza para eliminar impurezas, ramas, hojas y partes de otras especies.

Una vez seco, el producto es trasladado en sacos al lugar de acopio y embalaje, donde es empaquetado mediante un prensado con maquina manual o hidráulica en distintos formatos para la venta, iniciándose el transporte a la empresa exportadora.



Figura N° 2
TENDALES DE DESHIDRATADO DE MUSGO POMPON, MAULLÍN REGIÓN DE LOS LAGOS

- **Antecedentes de Comercialización**

La cadena de comercialización del musgo *Sphagnum magellanicum* posee una estructura similar a la observada en la mayoría de los productos forestales no madereros comercializados en Chile, que tienen un carácter silvestre y son recolectados por los habitantes rurales.

Los actores de mayor relevancia son recolectores y productores propietarios, intermediarios o compradores primarios que actúan como acopiadores, empresas acopiadoras y procesadoras, y empresas exportadoras.

El precio observado del musgo durante la temporada 2014 en formato fresco en el predio, fue de 800 pesos el saco, el cual contiene en promedio 50 kg.

En formato deshidratado, se tranzó en promedio a 1.000 \$ kg⁻¹.

Boletus, Callampa del Pino (*Suillus luteus* (L. ex Fr.) S. F. Gray, *Boletus luteus* L.)



- Distribución Geográfica y Hábitat

Se distribuye principalmente en Chile central y austral, asociado a plantaciones de *Pinus spp.* (Parragué, 1986). Se desarrolla sobre la superficie del suelo, principalmente en plantaciones de *Pinus radiata* con las que forma micorrizas.

Crece en plantaciones jóvenes de 8 a 10 años, con empastadas y abundante luminosidad. La aparición de cuerpos frutales está marcada por el inicio regular de las lluvias de otoño, hasta primavera, declinando con el inicio de las lluvias persistentes, caso en el que son reemplazados por otras especies como *Lactarius deliciosus* (comestible), *Russula sardoma* (comestible), *Amanita gemata* (no comestible, muy tóxica) y *Richoloma myomyces* (comestible).



Figura N° 3
CALLAMPA DEL PINO *Suillus luteus*

- Usos y Propiedades No Madereras según Categoría

Alimento: Hongo comestible de agradable sabor y de color amarillo claro. En su estado inicial mide 5 cm aproximadamente, mientras que en estado de desarrollo más avanzado

puede medir más de 10 cm, tamaño adecuado para el deshidratado.

- **Antecedentes Técnicos de la Especie y de Recolección**

Suillus luteus constituye en promedio el 70% de las exportaciones de hongos chilenos.

Se exporta en forma deshidratada, salmuerada, congelada, enlatada y fresca, entre otras modalidades. Respecto al hongo deshidratado el rendimiento fluctúa de 10 a 15 kg de hongo fresco por kilo de hongo deshidratado, que puede ser un producto entero, trozado o molido.

En general la callampa del pino se exporta a Estados Unidos, países Europeos y algunos de América Latina.

La actividad de extracción o recolección de hongos tiene una gran relevancia desde el punto de vista social debido a que esta solo puede realizarse a mano o en forma artesanal y es ejecutada principalmente por familias campesinas, con marcada connotación de género.

Los recolectores planifican sus salidas, teniendo rutas y lugares específicos de colecta para cada temporada, mejorando de esa forma sus rendimientos. Las épocas de colecta de *Suillus luteus* son variables y dependen de las condiciones climáticas del año, extendiéndose de abril a septiembre.

La cadena productiva y comercial se inicia con la recolección de la materia prima en plantaciones forestales de especies de *Pinus spp.*, fundamentalmente de *Pinus radiata*. Una vez que los hongos son recolectados, se realiza un proceso de pelado, posteriormente son vendidos a intermediarios y/o acopiadores, los cuales transportan el producto a las plantas de elaboración donde son deshidratados, salmuerados o congelados.

En algunas oportunidades, los recolectores realizan el proceso de deshidratado y posterior venta, sin embargo este formato representa un bajo volumen, respecto del total comercializado. El rendimiento diario de recolección por persona es en promedio 30 kg de hongo fresco por día.

El crecimiento y desarrollo de estos hongos (*Suillus luteus* (boletus) y *Lactarius deliciosus*) es dinámico y la productividad de las setas está determinada por una multiplicidad de factores ambientales, asociados al clima, el suelo y la formación y estructura del bosque.

Este complejo ecosistema, propicio para el crecimiento y fructificación de estas setas comestibles, puede ser estimulado en función del manejo del bosque y de las labores culturales que se desarrollen en el suelo.

El factor climático seguirá siendo una variable factible de predecir pero no de controlar. Los factores y variables que determinan la productividad de estos hongos pueden ser clasificados en función de los componentes que interactúan en la formación de este complejo ecosistema: El recurso suelo, el recurso bosque y los factores climáticos.

Asociados al suelo que sustenta la masa forestal, los factores de mayor relevancia son textura, estructura, fertilidad, temperatura, exposición, pendiente, altitud, profundidad de la hojarasca, tipo de hojarasca, cobertura del sotobosque o pasto, altura del sotobosque o pasto, humedad y porcentaje de radiación directa que llega al suelo, entre otras.

La masa boscosa influye en la formación de setas fundamentalmente por su condición de estructura, cobertura de copas, densidad, distribución (ordenamiento espacial), podas y raleos.

Por último los factores climáticos de mayor relevancia son el régimen de precipitaciones, la temperatura del aire, la velocidad del viento, la nubosidad y la humedad, entre otros.

Según diversos autores citados por Parragué (1986), los factores ecológicos de mayor relevancia que influyen en la micorrización y producción de setas son intensidad de luz, temperatura, fertilidad, contenido de agua y pH del suelo (acidez).

Intensidad de luz: La intensidad de luminosidad se relaciona directamente con el incremento de la infección ectomicorrícica, por medio de la fotosíntesis. Intensidades menores a 23% afectan considerablemente la producción de hongos. Además este factor interviene directamente en el nivel de temperatura del suelo y en la acumulación de carbohidratos en las raíces, ambos factores determinantes en la proliferación de carpófagos.

Temperatura: La temperatura es determinante para el crecimiento radicular y en el desarrollo de hongos micorrícicos. Se ha comprobado que una amplia gama de hongos desarrolla sus micelios en el rango de los 17 a los 27° C (Palmer, 1991).

Para *Suillus luteus* se han obtenido temperaturas óptimas de crecimiento en el rango de los 18 a 24 °C (Hacskeylo *et al*, 1965).

Estudios desarrollados en la región de Los Lagos han registrado abundante fructificación de setas de *Suillus luteus* en rangos de 13 a 15 °C (Oliva, 1983).

Garrido (1981) registra en la región del Bio Bio óptimos de crecimiento de setas entre los 2 a 20 °C para este hongo, acompañado de procesos de termoperiodismos donde coinciden abundantes precipitaciones con registros térmicos moderados centrados en el rango de 13 a 15° C.

En consecuencia, condiciones de humedad y temperatura templada son ambiente ideal para la fructificación de hongos, lo cual se consigue mayoritariamente en el país, en la estación otoñal y en menor medida en la estación primaveral.

Fertilidad del suelo: No es clara la influencia de las características nutricionales del suelo en los niveles de fructificación de hongos micorrícicos. En general se desarrollan bien en suelos volcánicos deficientes o medianamente deficientes en nutrientes.

Por el contrario, la calidad y cantidad de humus representa el factor de mayor significancia en la formación de micorrizas. La buena estructura y nivel de aireación también son factores determinantes.

Acidez del suelo: La formación de micorrizas es altamente favorable en medios ácidos. Rangos de pH entre 4 y 5 son los más favorables. Para el género *Suillus*, se ha registrado el pH 4 como el óptimo para esta especie.

- Factores Silviculturales que Afectan la Producción de Micorrizas y Setas

Es ampliamente reconocido que la relación simbiótica entre hongos y árboles genera importantes beneficios en el establecimiento y posterior crecimiento de los bosques introducidos, siendo esta condición de mayor importancia cuando los suelos forestales presentan características ecológicas marginales.

Debido a lo anterior, la totalidad de las plantas de *Pinus radiata* producidas en viveros nacionales son inoculadas con hongos micorrícicos, con el objetivo que las futuras plantaciones desarrollen dicha relación simbiótica.

El desarrollo micorrícico depende de múltiples variables ambientales, siendo algunas de ellas factibles de regular mediante técnicas silviculturales de establecimiento y posterior manejo de plantaciones.

Los factores que pueden ser regulados a través de técnicas de manejo son la cobertura del bosque, sotobosque, hojarasca y estrato de humus.

El nivel de cobertura es uno de los factores determinantes en la producción de setas, pues regula el porcentaje de luminosidad que llega al suelo, la temperatura, el grado de humedad, el nivel de sotobosque y de la hojarasca.

Por lo tanto, el objetivo de manejo multipropósito del bosque deberá considerar, dependiendo de la densidad y distribución espacial inicial de la plantación, sucesivas intervenciones de raleos y en menor medida podas, para impedir el cierre de copas y mantener un porcentaje de luminosidad superior a 23%.

La heterogeneidad de la cobertura del bosque y la presencia de abertura y huecos en el dosel aseguran una mayor productividad de setas en comparación con bosques con dosel homogéneo y cerrado (Parragué, 1986).

Si el objetivo de la plantación es implementar un sistema silvopastoral, dicho modelo es muy compatible con la producción de setas, sin embargo se deben regular las épocas de pastoreo y evitar la compactación del suelo por sobrecarga animal.

Estudios desarrollados en la región de Los Lagos demostraron que la productividad de setas en bosques manejados con objetivos silvopastorales obtuvieron productividades significativamente mayores, en comparación con plantaciones manejadas con objetivos pulpables (Oliva, 1983).

De igual forma se estudió la influencia de la fertilización con Nitrógeno y Superfosfato Triple, no encontrándose diferencias significativas entre ambas situaciones, sin embargo no existe claridad respecto de la influencia real de la fertilización en la producción de setas, existiendo en la literatura opiniones divergentes (Meyer, 1974; Golb, 1967; Koberg, 1966 y Rambelli, 1967, citados por Oliva, 1983).

Otro factor determinante es la velocidad del viento a nivel del suelo, el cual posee un importante efecto desecante y deshidratador del hongo.

Cuando el bosque posee una baja densidad y su distribución espacial es abierta (sistemas silvopastorales), la hojarasca y el pasto (10 a 15 cm de altura) contribuyen a la protección y proliferación de las setas, aumentando la resistencia a la evaporación del suelo y la deshidratación de los micelios.

Especial importancia posee la profundidad de la hojarasca en la protección del micelio.

- **Antecedentes de Comercialización**

El proceso de comercialización, no difiere de muchos otros PFM, caracterizado por la presencia de al menos 3 actores: los Recolectores, Intermediarios-acopiadores y Empresas procesadoras y exportadoras.

Los Recolectores: Corresponden a los primeros actores de la cadena de comercialización, los cuales recolectan directamente los hongos frescos de las plantaciones de pino radiata, para luego venderlos a los intermediarios.

Por lo general los recolectores planifican sus salidas, teniendo rutas y lugares específicos de colecta para cada temporada, mejorando de esa forma sus rendimientos.

Intermediarios y acopiadores: Compradores e intermediarios que poseen capital de trabajo y abren poder de compra, en lugares fijos (puntos de acopio) o realizan circuitos rurales en un vehículo con capacidad de carga, comprando el producto.

Empresas procesadoras y exportadoras: Son las encargadas de procesar los hongos, en base a los diferentes formatos requeridos por los compradores internacionales.

El precio tranzado por el hongo boletus se diferencia según su condición de fresco o deshidratado y existen variaciones al interior de la temporada, y también entre temporadas, dependiendo principalmente de su abundancia, la cual está determinada por las condiciones climáticas de precipitaciones y temperatura.

Estudios realizados por Valdebenito *et al.* (2015) reportan precios de 100 a 300 \$ kg⁻¹ de hongos boletus frescos y de 5.000 a 6.000 \$ kg⁻¹ de hongos boletus deshidratados en las regiones del Maule y del Bio Bio.

Para obtener 1 kg de hongos deshidratado y pelado, se necesita colectar 10 kg de hongos frescos.

Boldo (*Peumus boldus* Mol.)



- Distribución Geográfica y Hábitat

Se le encuentra desde Fray Jorge, en la Región de Coquimbo, hasta Osorno, en la Región de Los Lagos. Crece principalmente en laderas asoleadas bajas, de poca humedad y suelos a menudo pedregosos, en ambas cordilleras, y también en el Valle Central.

Es una especie rústica, fuera de peligro de conservación y se encuentra en zonas cuya precipitación anual oscila entre los 300 y 2.000 mm.

Su carácter semixerófito le permite adecuarse a condiciones de sequía más o menos severas de las regiones centrales, donde es particularmente abundante.

Como no es exigente en calidad y humedad del suelo se le puede ubicar en lugares muy asoleados, donde otros árboles no crecen.

- Usos y Propiedades No Madereras según Categoría

Medicinal: De esta especie se utilizan principalmente las hojas, como infusión contra afecciones al hígado. Las hojas contienen principios activos tales como boldina, boldoglusina, aceite esencial, esparteína, alcaloide del tipo coridina, laurotetanina, tanino, flavonoides, ácido cítrico, goma y azúcar.

La decocción aplicada a las sienes, estómago y vientre quita las jaquecas y cefaleas. Disipa el gas y reconforta los nervios. Se usa contra hidropesías y sífilis. Es antirreumática, estimulante, carmitiva, estomática y balsámica.

También se usa contra enfermedades del aparato génico-urinario debido a sus poderes antisépticos y cualidades diuréticas.

Ornamental: Por ser un árbol con hojas de color verde oscuro, contrasta con otras plantas de follaje claro, resultando, por ejemplo, una excelente combinación con mañío de hojas verde claras y de arquitectura completamente diferente.

La floración, que se produce en invierno, época en que otros árboles con flores son muy escasos, es muy apreciada por su color blanco-amarillento que cubre completamente a los árboles. Con los años, la forma de su copa y de sus ramas se torna sinuosa, otorgándole mucho valor ornamental.

Alimento: El fruto comestible, es una drupa carnosa y jugosa de gusto agradable, con estructura oval, de 5 a 7 mm de largo y color amarillo verdoso cuando madura.

Melífera: Sus flores dispuestas en racimos cortos, axilares, son de color blanco amarillento. Las flores femeninas poseen estaminodios y escamitas nectaríferas, lo que potencia su cualidad melífera.

Tintórea: Su corteza macerada otorga un color beige claro.



Figura N° 4
BOLDO EN FLORACIÓN

- Antecedentes Técnicos de la Especie y Recolección

El boldo (*Peumus boldus* Mol.) es un árbol endémico de Chile que crece desde la provincia de Limarí, en la región de Coquimbo, hasta la provincia de Osorno, en la región de Los Lagos. Es abundante en la zona central, en los faldeos asoleados de ambas cordilleras, entre los 5 y 1.000 msnm.

Crece en diversas condiciones, bien adaptado a lugares de poca humedad y sobre suelos pedregosos. Su carácter semixerófito le permite adecuarse a las condiciones de sequía imperante en la zona central pudiendo también cultivarse bajo sombra.

Esta especie presenta una buena capacidad de rebrote después de poda y/o corta, como respuesta natural frente al bajo porcentaje de germinación de sus semillas.

La importancia y potencial económico del boldo radica en la presencia de un alcaloide llamado “boldina”, en su corteza y hojas principalmente, el cual es utilizado con fines medicinales. Otros usos tradicionales son leña, carbón y postes.

La explotación de boldo se hace generalmente en base a la recolección de hojas. Actualmente la mayor parte de las hojas que se comercializan, tanto en el mercado externo como interno, provienen de recolección silvestre. Para ello, se procede a la corta de ejemplares adultos y rebrotes de tocón.

Las ramas o renuevos son cortados en verano, entre diciembre y marzo, único periodo permitido por la ley que regula su corta y manejo (DL 701).

Las ramas cortadas son extendidas sobre el terreno por algunos días para que las hojas pierdan humedad. Luego son sacudidas sobre mallas en donde se recogen las hojas que se desprenden y se almacenan en sacos de 40 a 50 kg.

La cosecha se realiza generalmente en renovales jóvenes de entre cuatro y cinco años, seleccionándose los individuos por edad y cantidad de hojas. En promedio se extraen 6 a 7 retoños por cepa, los que se cortan a una altura de 10 a 15 cm del suelo.

Para el manejo de formaciones de boldo cuyo objetivo es la obtención de hojas, corteza, carbón y postes, se recomienda la técnica de monte bajo para así aprovechar la capacidad de rebrote que posee la especie.

En relación a la explotación se recomienda realizar raleo, esto es cortar alternadamente los pies de boldos que existen y solo entresacando en zonas escarpadas y accidentadas, dejando una densidad conveniente que permita realizar la función de protección del suelo.

Se ha demostrado que la poda invernal no influye en la longitud y número de brotes principales de plantas de boldo de 2 años, no encontrándose diferencias en las concentraciones de aceite esencial y alcaloides en hojas de boldo proveniente de plantas desarrolladas bajo dos condiciones de intensidad de luz Schneeberger (2001).

- **Antecedentes de Comercialización**

La cadena de comercialización se caracteriza por estar compuesta principalmente por tres actores centrales:

Los recolectores o yerbateros y los propietarios de cultivos comerciales: Corresponden a los primeros actores de la cadena de comercialización, los cuales recolectan las hojas y en ocasiones las secan para luego ser vendidas a los intermediarios comercializadores o empresas procesadoras.

En ocasiones son los mismos recolectores quienes comercializan sus productos en ferias y mercados públicos.

Los intermediarios y acopiadores: Compradores e intermediarios que venden sus productos a empresas procesadoras y exportadoras.

En ocasiones existen las empresas procesadoras, dedicadas al tratamiento de las hojas (secado y envasado), en otras, este papel lo cumple el mismo comprador primario o intermediario.

Las Empresas procesadoras, exportadoras y los mercados locales: Son las encargadas del procesamiento, venta interna y proceso de exportación o venta al exterior del producto.

En el mercado formal interno participan agricultores a contrata y contratistas intermediarios, los que también venden a supermercados, centros naturistas y algunas farmacias del rubro.

En el mercado informal interno de acuerdo a observaciones realizadas en centros de venta

y consumo, participan los yerbateros o intermediarios vendiendo sus productos a comerciantes en mercados locales, ferias ambulantes y yerbaterías locales.

En algunas ocasiones (generalmente en ferias ambulantes) son los propios recolectores los que venden sus productos, en estos casos logran obtener mejores precios de venta.

Este mercado por sus características carece de todo tipo de registro en cuanto a volúmenes y precios, aunque estos son relativamente homogéneos dentro de cada centro de mercadeo.

Dentro del mercado formal del boldo, su proceso extractivo está reglamentado por el DL 701, sobre especies protegidas, lo que implica que debe existir un plan de manejo forestal, el cual considera, entre otras cosas, la cantidad a cosechar en kilos de hojas y corteza por hectárea.

Cabe destacar que la explotación de este recurso sin una técnica adecuada, termina disminuyendo fuertemente la productividad por hectárea con el paso del tiempo, convirtiéndose en un sistema de cosecha no sustentable.

Es importante señalar, que un alto porcentaje de la producción es generada por campesinos, la mayoría de ellos no cuenta con recursos económicos y en muchos casos, carece de experiencia para comercializar en forma directa, por lo cual se apoyan en intermediarios para el control de la transacción.

Esto determina que la producción de hojas se realice en forma ocasional o mayoritariamente por pedidos, generando una comercialización discontinua en el tiempo, muchas veces carente de normas técnicas de explotación y sin plan de manejo.

Un levantamiento de información realizada el año 2015 por INFOR, reporta como precio de venta de 800 \$ kg⁻¹ del producto puesto en planta deshidratado, en la región de Valparaíso.

El mismo producto se comercializa en el rango de 150 a 200 \$ kg⁻¹ de hojas secas de boldo, considerando bosque en pie (derecho a puerta), y de 300 a 400 \$ kg⁻¹ de hojas secas puestas a orilla de camino por un recolector, las cuales son vendidas a un intermediario, que finalmente vende al acopiador y exportador final en promedio a 800 \$ kg⁻¹ de hoja seca.

En la Figura N° 5 se esquematiza la comercialización en el mercado interno y para exportación de hojas e infusiones de boldo. La línea más gruesa representa el flujo más importante en términos de volumen y montos.

Morchella (*Morchella* sp. St. Amans (*M. conica*, *M. esculenta*, *M. spp*). Morchella, Choclo, Poto, Morilla.



- **Distribución Geográfica y Hábitat**

Las distintas especies representantes del género *Morchella* se distribuyen desde la región de Coquimbo a la región de Aysén. En Chile podrían estar presentes las especies *M. conica*, *M. esculenta* y otras (Valenzuela, 1995). Normalmente se le encuentra en zonas cordilleranas y precordilleranas, donde fructifica en grupos o en forma aislada, principalmente en asociación micorrízica con los bosques nativos del Tipo Forestal Roble-Raulí-Coigüe, Coigüe-Raulí-Tepa y Ciprés de la Cordillera (Pognat, 2001). Actualmente es posible encontrarla también en asociación con bosques introducidos, especialmente de coníferas (Valenzuela, 1995).

- **Usos y Propiedades No Madereras según Categoría**

Alimento: Hongo de tamaño pequeño (hasta 15 cm de altura), comestible, muy apreciado en Chile y en el extranjero por su sabor. Se exporta principalmente a Europa en formato deshidratado y es el segundo hongo de mayor valor del mundo, después de la trufa.

- **Antecedentes Técnicos de la Especie y Recolección**

Morchella spp. es un hongo que crece en principalmente en bosques naturales de especies del género *Nothogafus* y aparece exclusivamente en primavera, entre septiembre y noviembre, siendo más abundante en el mes de octubre. Crece con mayor facilidad en suelos que se han visto afectados por incendios en temporadas anteriores y el nivel de producción es muy inferior al de los hongos provenientes de plantaciones, sin embargo el precio internacional supera en 70 veces a los demás hongos que se comercializan en Chile.

La recolección de morilla o morchella se realiza desde agosto a septiembre en la región de la Araucanía y de septiembre a noviembre en la región de Aysén, donde su abundancia depende principalmente de factores climáticos, relacionados con cantidad de nieve, heladas y humedad. El proceso de recolección comienza en la mañana, extendiéndose la jornada hasta las 16 horas. Se recorren grandes distancias, con dificultades de acceso y falta de caminos. Las distancias y la dispersión territorial de este hongo es una de las principales dificultades que enfrentan los recolectores. El hongo crece en lugares aislados y muy puntuales, localización que los recolectores guardan celosamente en secreto, lo cual explica que dicha actividad se realice en forma individual o a nivel familiar de 2 a 3 personas.

Los requisitos de compra se centran en la calidad del hongo, el cual tiene que estar limpio y con un calibre superior a los 5 cm, sin humedad, cosechado en malla y no bolsa plástica (en bolsas plásticas se quema y se torna de color negro) y no debe estar golpeado (desgranado).

Algunos recolectores y los acopiadores o intermediarios realizan el proceso de secado al aire libre, sobre mallas, proceso que dura de 3 a 4 días cuando existe buen clima. El rendimiento promedio es de 1 kg de hongo deshidratado por 10 kg de hongo fresco. Existen dos variedades, la gris y la amarilla (*Morchella conica* y *Morchella esculenta*). Una vez deshidratado, se vende a plantas exportadoras de frutos deshidratados.



Figura N° 6
Morchella esculenta COLECTADA EN LA REGIÓN DE AYSÉN

- **Antecedentes de Comercialización**

El proceso de comercialización es idéntico al observado en las otras especies de hongos, siendo en muchos casos los mismos recolectores que se dedican a comercializar los hongos provenientes de plantaciones. En promedio, cuando el hongo es abundante, es posible coleccionar 14 a 16 kg por jornada, llegando a un máximo de 19 kg, teniendo como restricción la capacidad de transportarlo, utilizando para ello mallas y mochilas. En épocas de baja fructificación, el rendimiento cae a 2 o 3 kg por día. La morchella de mayor calibre fue coleccionada en la región de Aysén el año 2014 que pesó 650 g. Existen dos formas de comercializar estos hongos; frescos, operación que se realiza prontamente una vez recolectado el hongo debido a la alta perecibilidad que presenta, y deshidratados, con lo cual se logra obtener una mayor durabilidad y un mejor precio. Al término de la temporada 2014 se tranzó a 120.000 \$ kg⁻¹ el hongo deshidratado y 10.000 \$ kg⁻¹ el hongo fresco en la región de Aysén. Entre las regiones del Maule y la Araucanía, el precio pagado por el hongo fresco se fluctuó en entre los 7.000 a 12.000 \$ kg⁻¹ y el del hongo deshidratado fue en promedio a 100.000 \$ kg⁻¹.

Quillay (*Quillaja saponaria* Mol. Quillay).



- Distribución Natural y Hábitat

El quillay es una especie originaria del suroeste de Sudamérica y es considerada endémica de Chile, Bolivia, Perú y Ecuador. En Chile su distribución natural es amplia, abarcando desde Ovalle en la región de Coquimbo, hasta Collipulli, en la región de La Araucanía.

Se desarrolla en un amplio espectro ambiental por lo que se le puede encontrar tanto en la Cordillera de la Costa como en la Cordillera de los Andes (Estévez, 1994). Es una de las principales especies constituyentes del Tipo Forestal Esclerófilo, que tiene una amplia distribución en el país.

Su alta plasticidad permite encontrarlo en sitios muy variados de la zona central, desde lugares soleados hasta las partes más altas de los cerros, más o menos secos y con poca vegetación.

En sectores de la Cordillera de la Costa se presenta en forma arbustiva, mientras que en los valles de la cordillera se encuentra en forma de elevados árboles (Vita, 1990). Se presenta entonces como árbol o arbusto, pudiendo alcanzar entre 20 y 30 m de altura y 1,5 m de diámetro en suelos de buena calidad.

Su tronco es casi cilíndrico y normalmente se ramifica entre los 2 y 5 m del suelo, no presentando un ápice muy notorio. Su follaje es siempreverde, posee copa frondosa y de forma globosa.

La corteza es lisa, de color pardo claro en las etapas juveniles, en tanto que en ejemplares de mayor edad se oscurece, adoptando un color ceniza.

Las hojas son coriáceas (duras), de forma redondeada y de disposición alterna, de color verde amarillento, de 3 a 4 cm de largo y 1,3 a 3 cm de ancho (Vita, 1974).

Florece desde noviembre a enero. Las yemas florales se presentan entre noviembre y diciembre, los frutos maduran desde mediados de enero a marzo y la dispersión de las semillas ocurre entre febrero y abril.

El crecimiento vegetativo es desde octubre a diciembre (Montenegro *et al.*, 1989).



Figura N° 7
QUILLAY ADULTO. CALEU, REGIÓN METROPOLITANA

- Usos y Propiedades No Madereras según Categoría

Medicinal: El principal uso del árbol es la corteza; una corteza interna aprovechable y otra externa desechable. La corteza interna contiene hasta un 19% de un alcaloide llamado saponina del tipo triterpenoide que tiene la propiedad de formar una jalea soluble con las sustancias grasas.

La corteza es la que posee mayor concentración de saponina bruta (11,6%), en segundo lugar las ramas con corteza (10%) y luego la madera del fuste (8,8%) y las hojas (6,1%) (Torales y Rosende, 1986).

La saponina tiene múltiples aplicaciones industriales en medicina, detergentes, espumantes y otras.

Estudios realizados el año 2001, modificaron el modelo productivo de la especie, constatando que la presencia de saponina es relevante en toda la biomasa del árbol, razón por la cual se modificó el método de manejo de formaciones naturales.

Adicionalmente, se avanzó sustancialmente en las técnicas de silvicultura y manejo de plantaciones, existiendo en la actualidad varios cientos de hectáreas destinadas a la producción de saponina.

Ornamental: Su porte y rusticidad hacen valiosa a la especie como árbol ornamental en la zona central del país.

Melífera: Tiene importantes cualidades melíferas, su floración es de principios de verano (noviembre a enero) y la miel producida es de muy buena calidad.

- **Antecedentes Técnicos de la Especie y Recolección**

Quillay (*Quillaja saponaria* Mol.) pertenece al tipo forestal esclerófilo siendo una de sus principales especies constituyentes, dada su abundancia y amplia distribución en el país. De esta especie se utiliza principalmente su corteza, de la cual se extraen importantes compuestos químicos, entre los que destaca la saponina.

También se utiliza la madera, aunque es de regular calidad, siendo apta para carbón y para la fabricación de herramientas agrícolas; posee importantes cualidades melíferas y también se utiliza la especie como ornamental.

La cosecha de la especie se realiza volteando los individuos, previa aprobación de un plan de manejo autorizado por la Corporación Nacional Forestal (CONAF). El trabajo se realiza en cuadrillas, generalmente compuestas de 3 personas, las que voltean, descortezan y apilan la corteza, la que debe tener un determinado largo (generalmente 90 cm), para posteriormente ser amontonada y prensada.

Los rendimientos aproximados para un árbol de 25 años pueden variar entre 150 y 200 kilos de corteza, pero se han observado excepcionalmente rendimientos de hasta 1.200 kilos por árbol.

Respecto al tamaño de los ejemplares de quillay cosechados, no existe una directriz que indique diámetros mínimos de corta, aunque se ha aceptado como norma no cosechar ejemplares con diámetros inferiores a 20 cm.

De acuerdo con las normas impuestas por ley, la corta no puede superar el 35% del área basal cuando se ejecutan métodos de corta selectiva y el promedio de árboles a extraer por hectárea es de 10 a 15.

Formas alternativas de obtener quillay son la compra de todos los desechos de la cosecha de corteza o de sustitución de cultivos (exceptuando las hojas), los que se emplean para producir saponina, o la utilización solo de ramas de diámetros que fluctúan entre 3 y 4", evitando así la muerte del árbol.

- **Antecedentes de Comercialización**

El proceso de comercialización se realiza principalmente en el predio, donde los propietarios venden el producto a orilla de camino en formato de corteza y/o biomasa, dependiendo de las necesidades del comprador final, siendo este una empresa exportadora o una empresa nacional productora de saponina.

Cuando el productor vende la corteza de quillay bajo la modalidad de derecho a puerta, sin realizar gestión alguna en el predio, recibe un monto total promedio de 800 a 1.200 \$ kg⁻¹ de corteza. Cuando el productor realiza las labores de estudio técnico, cosecha, acopio y transporte, el valor pagado por kilogramo de corteza puesto en la planta exportadora durante la temporada 2014 fue de 2.500 - 2.800 pesos en la región de Valparaíso. Si el producto es biomasa, el precio pagado es de 70 a 80 \$ kg⁻¹ (Vermeil de Conchard, 1997).

Hongo Rosado (*Lactarius deliciosus* (L. es Fr.) S. F. Gray. Callampa Rosada, Lactario, Rubillón).



- **Distribución Geográfica y Hábitat**

Se distribuye entre las regiones de O'Higgins y Los Lagos (Sepúlveda, 1991; Valenzuela 1995), especialmente desde Chillán a Osorno, asociado a plantaciones de *Pinus spp.*

Se desarrolla sobre la superficie del suelo de bosques de coníferas, principalmente en bosques de *Pinus spp.*, con los que se asocia en forma de micorrizas, cuyas edades fluctúan entre los 6 y 20 años, siendo más propicio su desarrollo entre los 11 a 15 años y con abundante vegetación arbustiva.



**Figura N° 8
HONGO ROSADO**

- **Usos y Propiedades No Madereras según Categoría**

Alimento: Hongo comestible, con textura gruesa y de agradable sabor, muy cotizado en Europa, especialmente por los españoles.

Se exporta principalmente en formato salmuerado.

- **Antecedentes Técnicos de la Especie y de Recolección**

Al igual que el hongo boletus, la callampa rosada se recolecta de plantaciones de *Pinus radiata*, siendo menos abundante su comercialización.

Este hongo concentra el 11,3% del volumen total de hongos silvestres exportados y el 25% de los retornos de divisas.

A diferencia de boletus, este hongo se desarrolla en bosques de pinos adultos, de preferencia sobre los 11 a 15 años, con mayor cobertura y menor luminosidad en el suelo.

La cadena de comercialización se constituye por los actores habituales de los PFNM en el país y el hongo se comercializa en formato fresco, sin deshidratar.

- **Antecedentes de la Comercialización**

La dinámica de recolección es equivalente a la del boletus, siendo desarrollada por los mismos actores:

Recolectores: Corresponden a los primeros actores de la cadena de comercialización, los cuales recolectan directamente los hongos frescos de las plantaciones de pino radiata, para luego ser vendidos a los intermediarios.

Por lo general los recolectores planifican sus salidas, según rutas y lugares específicos de colecta para cada temporada, mejorando de esa forma sus rendimientos.

Intermediarios y acopiadores: Compradores e intermediarios que poseen capital de trabajo y abren poder de compra, en lugares fijos (puntos de acopio), o realizan circuitos rurales en un vehículo con capacidad de carga, comprando el producto.

Empresas procesadoras y exportadoras: Son las encargadas de procesar los hongos, en base a los diferentes formatos requeridos por los compradores internacionales.

El precio de comercialización en formato fresco, no presenta diferencias sustanciales al hongo boletus, reportándose precios promedio de 100 a 300 \$ kg⁻¹ de hongos frescos en las regiones del Maule y Bio Bio el año 2015.

El rendimiento de recolección promedio es de 25 a 30 kg día⁻¹ y en general no se comercializa en formato deshidratado.

Hierba de San Juan (*Hypericum perforatum*)



- Distribución Geográfica y Hábitat

Esta especie es nativa de Europa, Asia y norte de África. En Chile fue introducida en 1940 y hoy día se distribuye principalmente en la costa y precordillera, entre las Regiones de Coquimbo y La Araucanía, en bosques poco densos, plantaciones forestales jóvenes, bordes de caminos y praderas naturales degradadas.

Se adapta bien a suelos trumaos, aun cuando también logra adaptarse a suelos arcillosos que no se inundan en invierno y aquellos que tienen algún porcentaje de arena.

- Antecedentes Técnicos de la Especie y Recolección

Es una planta de gran demanda mundial por sus conocidas propiedades en el control de depresiones moderadas y su demanda para la elaboración de suplementos dietéticos y cicatrizante de heridas.

Los principales subproductos del hipérico son aceites esenciales, taninos, resinas y vitaminas.

Entre sus propiedades más conocidas están las de cicatrizante, antiespasmódica, astringente, aromatizante, hipotensiva, vermífuga y antidepresiva.

La recolección de la flor ocurre en primavera - verano. Específicamente en la zona de Collipulli - Reserva Malleco la recolección se realiza entre diciembre y febrero.

Los recolectores las juntan en ramos y las ponen a secar bajo sombra.

El proceso comienza cuando la planta presenta alrededor de un 10 a 20% de las flores abiertas y el resto en botón, lo que ocurre a fines de noviembre y fines de enero.

Puede existir una segunda cosecha 18 a 20 días después de realizada la primera, y eventualmente una tercera, por cuanto se recomienda realizar las faena de corta, resguardando el cuidado de la planta.

El rendimiento de secado es 4:1, siendo necesario recolectar 4 kg de hierba fresca para obtener 1 kg de hierba deshidratada.

- **Antecedentes de la Comercialización**

El proceso de comercialización presenta características muy similares al de la rosa mosqueta. Los principales actores involucrados son:

Recolectores o Yerbateros: Generalmente familias campesinas.

Compradores primarios: Compradores e intermediarios que venden sus productos a empresas procesadoras y exportadoras.

Acopiadores: En ocasiones existen las empresas acopiadoras, dedicadas al procesamiento primario de la flor, en otras, este papel lo cumple el mismo comprador primario o intermediario.

Empresas procesadoras, exportadoras: Son las encargadas del procesamiento de la flor y el proceso de exportación o venta al exterior.

El precio pagado al recolector por 1 kg de hierba fresca fue de 250 a 500 pesos durante la temporada 2014 en la región del Bio Bio.

En promedio un recolector puede cosechar entre 25 a 30 kg día⁻¹.



Figura N° 9
FLORACIÓN HIERBA DE SAN JUAN

Maqui (*Aristotelia chilensis* Mol. Maqui).



- Distribución Geográfica y Hábitat

Se le encuentra desde Illapel, en la región de Coquimbo, hasta la Isla de Chiloé, en la región de Los Lagos, tanto en el Valle Central como en ambas cordilleras. Está presente también en el archipiélago de Juan Fernández.

Prefiere los lugares húmedos y ricos en tierra vegetal, encontrándose además en las laderas de los cerros y bordes de bosque. Es una especie pionera que coloniza terrenos recién rozados, formando asociaciones monoespecíficas que reciben la denominación de “macales”.

- Usos y Propiedades No Madereras según Categoría

Medicinal: De acuerdo a las costumbres populares Muñoz *et al* (1981) asignan a esta planta las siguientes propiedades: Sus hojas secas y/o molidas como polvo sirven en ungüentos para curar heridas y como cicatrizante, las hojas frescas en infusión (30 a 60 g por 500 cc agua) sirven para curar las enfermedades de la garganta, tumores intestinales, para lavar úlceras de la boca y para cataplasmas en el dorso o sobre los riñones, para apaciguar o disminuir los ardores de la fiebre y para tumores, y los frutos en tisanas sirven para curar diarreas crónicas, enteritis simples y disenterías.

Estas propiedades medicinales también son descritas, total o parcialmente por Massardo y Rozzi (1996) y Hoffmann (1995).

En la actualidad, existe en Estados Unidos una industria creciente en torno a productos con propiedades antioxidantes, donde el maqui posee la concentración más alta observada en el mundo.

Alimento: El fruto comestible es una baya de color azul oscuro y carnosa, de 4-5 mm de diámetro, con 3-4 semillas, astringente, algo ácido y refrescante. Con él se fabrica una especie de licor o chicha llamada “Tecu” (Pinto, 1978; citado por Poblete, 1997).

Suele utilizarse también en la preparación de confites, helados, mermeladas, jugos y bebidas alcohólicas (Donoso, 1978, citado por Poblete, 1997).

Melífera: Presenta flores reunidas en umbelas de dos a tres unidades que nacen en las axilas de las hojas. La polinización es efectuada por insectos, principalmente moscardones y abejas, razón por la cual se le atribuyen propiedades melíferas, sin embargo se desconocen las propiedades y características de su miel.

Tintórea: El fruto contiene materias colorantes que se emplean como tinte en tejidos mapuches y también para el tinte de los vinos (Pinto, 1978; citado por Poblete, 1997).

Posee altas concentraciones de pigmentos antociánicos, responsables de la pigmentación púrpura, que constituyen la materia prima para la fabricación de colorantes alimenticios orgánicos, muy demandados por los mercados europeos (Silva y Bittner, 1992; Díaz *et al.*, 1984; citado por Poblete, 1997).



Figura N° 10
FRUTO DE MAQUI

- Antecedentes Técnicos de la Especie y Recolección

Aristotelia chilensis (Mol.) Stuntz es una especie autóctona conocida comúnmente con el nombre de maqui.

Es un árbol siempreverde endémico de los bosques subantárticos cuya distribución en Chile está por el norte desde la Provincia de Limarí en la región de Coquimbo, y por el sur hasta la provincia de Aysén en la región de Aysén (Rodríguez *et al*, 1983).

Se desarrolla preferentemente en suelos húmedos del valle central, en los faldeos de ambas cordilleras, quebradas o márgenes de los bosques, desde cerca del nivel del mar hasta los 2.500 m de altitud, encontrándose además, en el Archipiélago Juan Fernández (Rodríguez *et al*, 1983).

Aparece en la sucesión como colonizador de suelos recién quemados o explotados, formando grandes manchas llamadas “macales”, que sirven para proteger al suelo de la erosión.

A. chilensis pertenece a la familia *Elaeocarpaceae*, es una planta dioica que dependiendo de su distribución florece entre los meses de octubre a diciembre.

El fruto es una baya redonda carnosa de color violeta oscuro, de 5 mm de diámetro, con tres lóculos en su interior, los que contienen dos semillas angulosas cada uno (Pinto, 1978 citado por Bonometti, 2000).

El fruto del maqui es comestible y suele utilizarse en la preparación de confites y mermeladas. Se preparan además jugos y bebidas alcohólicas.

Su madera es blanda y no tiene aplicaciones técnicas importantes, aunque es usada en algunos tipos de artesanía popular.

La corteza tiene fibras semejantes a las del cáñamo, pero de menor calidad y es usada en la confección de cuerdas para atar.

Además, a esta especie se le atribuyen algunos usos en medicina popular, donde ha sido utilizada por el pueblo mapuche y campesinos para el tratamiento de enfermedades contagiosas, curación de cicatrices, enfermedades de la garganta y úlceras de la boca.

Las hojas en polvo se usan para curar heridas y cicatrices, en infusión para enfermedades de la garganta, úlceras bucales y tumores intestinales, en cataplasma para fiebres y tumores, y los frutos en tizana para diarreas, enteritis y disenterías (Convenio Andrés Bello, 1983 citado por Bonometti, 2000).

Otra forma de uso popular es el jugo de las hojas en molestias bronquiales y contra tumores intestinales (Montes y Wilkomirsky, 1985 citados por Bonometti, 2000).

El análisis químico del fruto del maqui ha detectado la presencia de flavonoides con capacidad antioxidante (Fauré *et al.*, 1990) y bajas concentraciones de alcaloides de tipo indólico como la aristotelina, aristotelona, aristona y aristotelinina.

La aristotelina se ha identificado como un metabolito secundario que tiene actividad antimicrobiana (Céspedes *et al.*, 1990 citados por Céspedes *et al.*, 1995).

También se ha determinado que en los frutos de maqui se encuentran antocianidinas, las cuales serían responsables del color púrpura característico de los frutos (Silva y Bittner, 1992 citados por Poblete, 1997).

Debido a la intensidad de su materia colorante se le ha usado en el teñido de objetos de artesanía e incluso para mejorar la coloración de los vinos tintos, práctica que no está permitida por la legislación de alcoholes en Chile (Pinto, 1978 citado por Poblete, 1997).

Se ha observado que el maqui se disemina endozoicamente por la ingestión del fruto por parte de las aves, lo que supone cambios en la semilla, por el efecto mecánico provocado por la molleja del ave y químico producto de sus jugos gástricos, lo que indica que requeriría para su germinación de tratamientos especiales destinados a modificar la testa de la semilla.

La producción científica en torno a la germinación de esta especie es divergente. Por una parte, Rodríguez *et al.* (1983) reportaba una germinación de 90% en base a un pre tratamiento en agua y posterior aplicación de ácido giberélico.

A su vez, Molina (2001) ensayó diversos tratamientos para evaluar la germinación de maqui, concluyendo que los tratamientos con giberelina en dosis de 2.500 y 5.000 mg L⁻¹, fueron los más efectivos en interrumpir la dormancia de la semilla, logrando un porcentaje de germinación de 18%.

Los tratamientos de escarificación con ácido sulfúrico y lavado de la semilla tanto en agua caliente como agua fría, no tuvieron efecto sobre la germinación.

Estudios desarrollados por INFOR indican que el porcentaje de germinación para semillas de maqui fluctúa entre un 25-30% con un pre tratamiento de 7 días de remojo en agua corriente y una aplicación adicional durante 24 horas de 1000 mg L⁻¹ de ácido giberélico.

Respecto de la propagación vegetativa del maqui se informa de una buena respuesta a la aplicación de 1.000 mg L⁻¹ de ácido indolbutírico para maqui hembra y de 3.000 mg L⁻¹ para maqui macho.

En relación con los aspectos silvícolas, existe escasa investigación en torno al manejo de esta especie con fines frutales. El Instituto Forestal realizó un estudio de manejo frutal el año 2003, interviniendo tres formaciones naturales de maqui ubicadas en Antiquina, comuna de Contulmo, región del Bio Bio; Catrico, comuna de Villarrica, región de La Araucanía y Ensenada, comuna de Puerto Varas, región de Los Lagos.

Los resultados obtenidos indican que la producción de frutos de maqui, en un macal densamente poblado, se ve favorecida después de una intervención de raleo, bajo el criterio de liberación de copas, duplicando su producción. De igual forma, el tamaño de copa y la producción de fruto presentan una correlación positiva.

De la experiencia evaluada se concluye que es necesario indagar en la práctica de poda para manejar la estructura del maqui, con el objetivo de realizar una cosecha operacionalmente eficiente. En tal sentido, los individuos no deberían superar los 4 m de altura. También se recomienda estudiar el manejo en los maquis que crecen en los bordes de bosques y orillas de camino, que es la forma más habitual de encontrarlos.

En relación con la domesticación, el año 2007 Fundación Chile en conjunto con la Universidad de Talca inició una investigación para ver la posibilidad de establecerlo como cultivo. Para ello realizaron el primer *screening* clonal de macales, mediante el cual pudieron determinar 67 clones potencialmente viables para la producción industrial.

Con posterioridad, el año 2011, se da inicio al proyecto Fondef “Screening de material genético y desarrollo de técnicas de manejo de maqui (*Aristotelia chilensis*) para mejorar la oferta de materia prima exportable y agroindustrial”, ejecutado por ambas instituciones y dirigido por la Investigadora Hermine Vogel, cuyo objetivo es seleccionar y caracterizar clones destacados para futuros registros, desarrollar técnicas de cultivo de maqui, desarrollar un modelo de transferencia de los resultados y determinar el manejo óptimo de postcosecha.

Los resultados obtenidos validan la factibilidad técnica de su cultivo, obteniendo buenos resultados en plantaciones experimentales en el Maule (Panguilemo y Los Niches) y en el sur del país (Chillán, Panguipulli y Osorno).

Los mejores resultados de crecimiento se evidencian en el sector los Niches, comuna de Curicó, sin embargo, se requiere dar continuidad a la investigación, validando la viabilidad de los clones seleccionados a escala operativa y determinar el modelo de manejo en torno a podas, raleos, fertilización y cosecha, entre otros aspectos (Universidad de Talca, 2014).

- **Antecedentes de Comercialización**

El actual modelo de comercialización de maqui reconoce tres actores, sobre la base de un producto que solo posee mercados internacionales basados en jugo concentrado de maqui, maqui deshidratado y maqui pulverizado.

El consumo interno es marginal, vinculado principalmente a mermeladas, helados y otros brebajes de carácter popular (Chicha de maqui).

La cadena de comercialización tiene los actores habituales de los PFNM:

Recolectores: Primeros actores de la cadena de comercialización, los cuales recolectan directamente los frutos frescos, para luego ser vendidos a los intermediarios.

Intermediarios y acopiadores: Compradores e intermediarios que poseen capital de trabajo y abren un poder de compra, en lugares fijos (puntos de acopio) o realizan circuitos rurales en vehículos con capacidad de carga, comprando el producto.

Empresas procesadoras y exportadoras: Son las encargadas de procesar la materia prima (frutos de maqui), generando el producto comercial, según requerimientos del comprador final (importador), en formatos de polvo, concentrado, deshidratado o congelado.

El producto se transa en comunidades rurales cercanas a los puntos de recolección en formato fresco y los precios se mueven en rangos de 800 a 1.000 \$ kg⁻¹ de fruto fresco dependiendo de la temporada (INFOR, 2015).

El proceso de recolección se realiza generalmente por familias, llegando a recolectar hasta 80 kg día⁻¹. Esta recolección se entrega cada dos días en centros de acopio (intermediarios) y estos, entregan el producto a la planta, en bandejas de 60 kg o barriles de 120 kg en formato congelado.

Actualmente existe una industria creciente en Estados Unidos y Europa, en torno a productos elaborados en base a maqui, destacando sus propiedades de antioxidante.

Las materias primas son enviadas desde Chile, en formatos deshidratado, concentrado y polvo. El año 2013 fueron enviadas 11,25 t, alcanzando un precio FOB promedio de 12.792 US\$ t⁻¹.

Avellana (*Gevuina avellana* Mol. Avellano).



- Distribución Geográfica y Hábitat

Crece desde la provincia de Curicó, región del Maule, hasta las Islas Guaitecas, región de Aysén, en los faldeos de ambas cordilleras (Rodríguez *et al.*, 1983). Específicamente, el área de distribución de la especie, va desde el norte del río Teno por la Cordillera de los Andes y desde el sur del río Mataquito por la Cordillera de la Costa, hasta las Islas Guaitecas (Donoso, *et al.*, 1993).

Se desarrolla en variadas condiciones de suelo, luz y competencia. No forma bosques puros, crece entremezclado con otras especies típicas del bosque húmedo. Se le asocia con lingüe (*Persea lingue*), olivillo (*Aextoxicon punctatum*), tineo (*Weinmannia trichosperma*) y otras especies del bosque húmedo.

Se presenta también en asociación con especies típicas de los Tipos Forestales Ciprés de la Cordillera, Roble - Hualo, Roble - Raulí - Coigüe, Coigüe - Raulí - Tepa y Siempreverde (Donoso *et al.*, 1993).

- Usos y Propiedades No Madereras según Categoría

Medicinal: La avellana es utilizada para controlar diarreas, leucorreas y metrorragias. Dentro de las características más interesantes destaca su riqueza en aceites especialmente valiosos para fines cosmetológicos. Particularmente se ha descubierto un filtro solar con interesantes propiedades, sobre la base de esta especie. También se utiliza su corteza en infusión terapéutica contra la diarrea y fiebre.

Ornamental: El árbol es muy utilizado como planta ornamental en parques y jardines. Muy decorativa por sus hermosas hojas compuestas, sus frutos rojos y sus flores blancas de prolongada floración. El color de sus frutos varía desde el verde intenso hasta el café-negruzco, pasando por una tonalidad de rojo intenso, cuando se encuentra en la etapa intermedia de madurez. Las ramas de este árbol se comercializan para acompañamiento en los ramos de flores, dado el bello color verde oscuro intenso y lustroso de las hojas, y su forma serrada y ruleteada.

Alimento: Los frutos son comestibles, muy ricos en sustancias nutritivas, consumiéndose enteros, crudos o tostados. Otros productos que se pueden obtener son la harina tostada de avellana y el aceite de avellana.

Aceite Esencial: De sus frutos es posible extraer aceites esenciales con fines alimenticios, cosmetológicos y medicinales.

Melífera: Entre enero y marzo se pueden apreciar sus flores blancas y este prolongado período de floración, así como las características de sus flores, la hacen una especie muy apropiada para la producción de miel.



Figura N° 11
AVELLANA FLOR Y FRUTO. CHILOÉ, REGIÓN DE LOS LAGOS

- **Antecedentes Técnicos de la Especie y Recolección**

La colecta del fruto se hace a mano, en embalaje de cualquier clase, se almacena en lugares de acopio y se comercializa a intermediarios o industriales. En general se recolecta y comercializa de marzo a junio, en todo el sur del país.

Según datos obtenidos de poblaciones silvestres, la producción del fruto fluctúa entre los 3 y los 10 kilos por árbol, siendo muy variable de año en año entre individuos.

En plantaciones se citan producciones entre 1.000 y 2.500 kg ha⁻¹. Al igual que para su reproducción, los frutos deben recolectarse desde el árbol cuando han adquirido una tonalidad café-rojiza o directamente del suelo cuando se han desprendido.

Se estima que la producción anual de avellana chilena alcanza a las 300.000 toneladas, de las cuales al menos 100.000 se consideran recolectables.

La recolección se efectúa de forma manual por familias rurales, se almacena en sacos de 50 a 70 kg y se vende a acopiadores a orillas de camino, o a procesadores artesanales de localidades cercanas (FIA, 2009). En promedio es posible cosechar de 2 a 4 sacos de avellana de 50 kg cada uno, por jornada.



Figura N° 12
ACOPIO DE AVELLANAS EN CARAHUE, REGIÓN DE LA ARAUCANIA

El proceso de industrialización para la obtención de semillas de avellanas limpias se puede resumir en los siguientes pasos:

Recepción en planta.

Clasificación por tamaño.

Partido o trituración del fruto (puede ser partido por presión, secado por calor y partido, partido por presión y corte).

Separación de la cáscara y parte comestible (puede ser por harneado, centrifugación, aspiración y flotación).

Blanqueo de los núcleos. Su objetivo es producir el ablandamiento de la cascarilla fina o cutícula que recubre al núcleo, para facilitar la separación posterior y a su vez inducir una mejor textura al grano tostado.

Separación de la cutícula protectora (puede ser por aplicación de compuestos químicos, aplicación de agua caliente, o mecánico con máquina pulpadora de frutas).

Eliminación del agua superficial (se logra también usando un horno tostador por breve tiempo).

Respecto al envasado, las condiciones son las siguientes:

Tipo de envase: Polietileno recubierto en papel aluminio.

Tamaño de envase: 25 kg.

Condiciones de envasado: Al vacío con atmósfera controlada.

- Antecedentes de comercialización

La Figura N° 13 muestra el proceso comercial interno y los principales actores o agentes involucrados en la comercialización de los subproductos del Avellano, encontrándose aquí: Frutos, Harina, Hojas y Ramas.

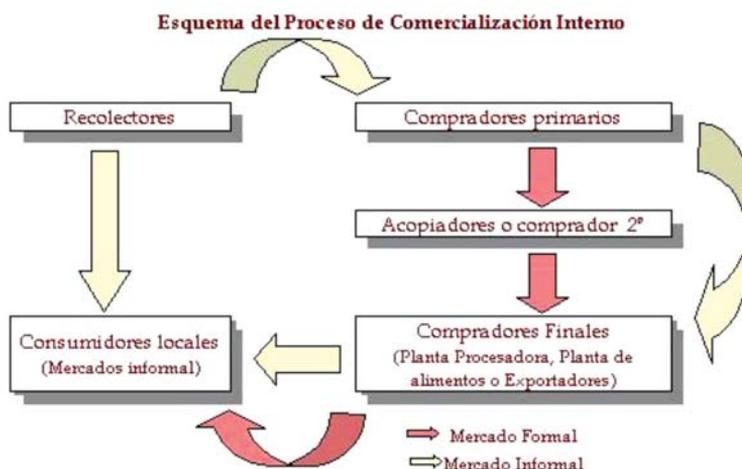


Figura N° 13
PROCESO COMERCIAL INTERNO DE LOS PRODUCTOS DE AVELLANA

La figura muestra básicamente que este proceso consta de dos tipos de canales de comercialización, uno formal, en el cual existen registros numéricos y estadísticos de volúmenes y montos transados, y otro completamente informal, caracterizado por eventos de compra y venta ambulante o en mercados locales, del cual no existen registros claros. El proceso comercial se realiza sin formalidades, muchas veces en forma oral, generándose vínculos de confianza que perduran en el tiempo.

El precio promedio observado durante la temporada 2014 de la avellana tostada osciló entre los 5.000 y 6.000 \$ kg⁻¹ en las regiones del Bio Bio y La Araucanía.

LOS PFNM EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL

El mercado internacional de PFNM en Chile, representa el 1,4% del total de las exportaciones del sector forestal, en base a cifras del año 2014.

La evolución y la dinámica comercial que ha experimentado este rubro manifiesta tendencias crecientes en estos últimos 20 años, constatado en el registro de exportaciones que monitorea el Instituto Forestal. El cambio es significativo, pasando de 12,7 MM US\$ exportados el año 1990 a 27,22 MM US\$ exportados el año 2000, para llegar a 84,2 MM US\$ exportados el año 2014.

Cuadro N° 2
MONTO DE EXPORTACIONES SECTOR FORESTAL Y PFMN
PERIODO 1990-2014

Sector Forestal		Productos Forestales No Madereros							
Año	Total	Primarios		Elaborados		Total		Participación en Total	
	(MM US\$ FOB)	(MM US\$ FOB)	(Mt)	(MM US\$ FOB)	(Mt)	(MM US\$ FOB)	(Mt)	(%)	
1990	855,3	11,8	11,0	0,9	1,1	12,7	12,1	1,5	
1991	913,1	17,0	15,0	0,7	0,3	17,7	15,3	1,9	
1992	1.125,8	23,6	16,7	1,0	0,1	24,6	16,8	2,2	
1993	1.207,1	19,4	13,2	1,3	0,1	20,7	13,3	1,7	
1994	1.564,3	23,0	14,6	1,7	0,1	24,7	14,7	1,6	
1995	2.369,3	31,7	14,9	1,7	0,1	33,4	15,0	1,4	
1996	1.807,9	40,7	17,3	2,4	0,4	43,1	17,7	2,4	
1997	1.829,9	32,0	13,9	1,6	0,3	33,6	14,2	1,8	
1998	1.660,5	56,5	21,0	1,5	0,1	58,0	21,1	3,5	
1999	1.970,7	28,6	11,9	1,7	0,3	30,3	12,2	1,5	
2000	2.365,2	25,0	13,2	2,7	0,4	27,7	13,6	1,2	
2001	2.205,6	26,1	14,6	2,7	0,3	28,8	14,9	1,3	
2002	2.301,1	28,9	16,6	3,6	0,4	32,5	17,0	1,4	
2003	2.524,0	31,1	17,5	4,1	0,4	35,2	17,9	1,4	
2004	3.396,6	33,4	16,9	3,6	0,3	37,0	17,2	1,1	
2005	3.495,4	33,7	16,5	5,0	0,4	38,7	16,9	1,1	
2006	3.890,0	42,8	20,5	5,5	0,5	48,3	21,0	1,2	
2007	4.952,3	48,3	20,8	5,5	0,5	53,8	21,3	1,1	
2008	5.452,5	65,0	20,7	6,9	0,6	71,9	21,4	1,3	
2009	4.162,3	54,4	18,9	7,6	0,6	62,0	19,5	1,5	
2010	4.954,9	63,7	21,9	10,4	0,7	74,1	22,6	1,5	
2011	5.906,6	64,7	21,2	12,0	0,8	76,7	21,9	1,3	
2012	5.389,3	63,2	19,4	11,1	1,9	74,3	21,3	1,4	
2013	5.714,0	64,0	18,7	16,5	1,5	80,5	20,1	1,4	
2014	6.094,3	64,1	16,4	20,1	1,9	84,2	18,2	1,4	
Media Últimos 5 Años	5.611,8	64,0	19,5	14,0	1,4	78,0	20,8	1,4	

(Fuente: Valdebenito *et al.*, 2015)

En el Cuadro N° 3 se presenta el detalle de las exportaciones de PFMN registradas el año 2014, según glosa, monto en US\$ FOB y volumen.

Cuadro N° 3
EXPORTACIÓN DE PRINCIPALES PRODUCTOS FORESTALES NO MADEREROS (PFNM) 2014

Exportación Productos Forestales No Madereros Primarios Año 2014				
Principales Productos	(t)	(US\$ FOB)	(%)	(US\$ FOB t⁻¹)
Frutos Rosa Mosqueta	4.546,0	19.517.130	30,43	4.293
Musgo sin Información Especie	4.376,9	19.172.264	29,90	4.380
Hongos Boletus (<i>Suillus luteus</i>)	1.665,6	6.035.504	9,41	3.624
Hojas Boldo	2.532,1	5.031.756	7,85	1.987
Frutos Maqui	130,4	2.119.038	3,30	16.251
Hongos sin Información	1.835,4	4.066.937	6,34	2.216
Hojas Rosa Mosqueta	2,8	49.908	0,08	18.137
Corteza Quillay	146,2	914.951	1,43	6.257
Hongos (<i>Morchella conica</i>)	72,3	4.755.544	7,42	65.802
Hongos (<i>Lactarius deliciosus</i>)	176,9	349.303	0,54	1.974
Fibra Mimbre	389,5	606.980	0,95	1.558
Hierba San Juan	223,7	654.362	1,02	2.925
Hojas y Flores Tilo	8,4	224.829	0,35	26.887
Semillas Rosa Mosqueta	145,0	103.263	0,16	712
Semillas <i>Pinus radiata</i>	1,8	60.149	0,09	33.603
Plantas Araucaria	0,6	60.707	0,09	102.028
Hojas Sauce	20,0	81.863	0,13	4.098
Hojas Helecho	7,0	79.424	0,12	11.385
Corteza Boldo	7,1	19.954	0,03	2.810
Frutos Murta	1,1	36.437	0,06	33.962
Hojas y Frutos <i>Crataegus</i>	42,6	137.367	0,21	3.224
Hojas <i>Ginko biloba</i>	1,0	3.279	0,01	3.224
Semillas Eucalipto	0,0	14.234	0,02	1.094.934
Cañas Coligue/Bambú	0,0	60	0,00	60.000
Plantas <i>Pinus taeda</i>	0,0	5.692	0,01	142.305
Hojas <i>Eucalyptus globulus</i>	9,0	25.873	0,04	2.875
Corteza <i>Eucalyptus nitens</i>	9,7	2.800	0,00	290
Subtotal	16.351,0	64.129.610	100,00	

Exportación Productos Forestales No Madereros Elaborados Año 2014				
Principales Productos	(t)	(US\$ FOB)	(%)	(US\$ FOB t⁻¹)
Aceite Avellana	1,3	34.538	0,17	26.670
Extratos Quillay	464,6	9.882.938	49,15	21.270
Aceite Rosa Mosqueta	367,6	6.169.512	30,68	16.784
Otros Productos Quillay	1.042,6	4.019.457	19,99	3.855
Subtotal	1.876,1	20.106.445	100,00	

Exportación PFNM Total Año 2014		
Principales Productos	(t)	(US\$ FOB)
Todos	18.227,1	84.236.055

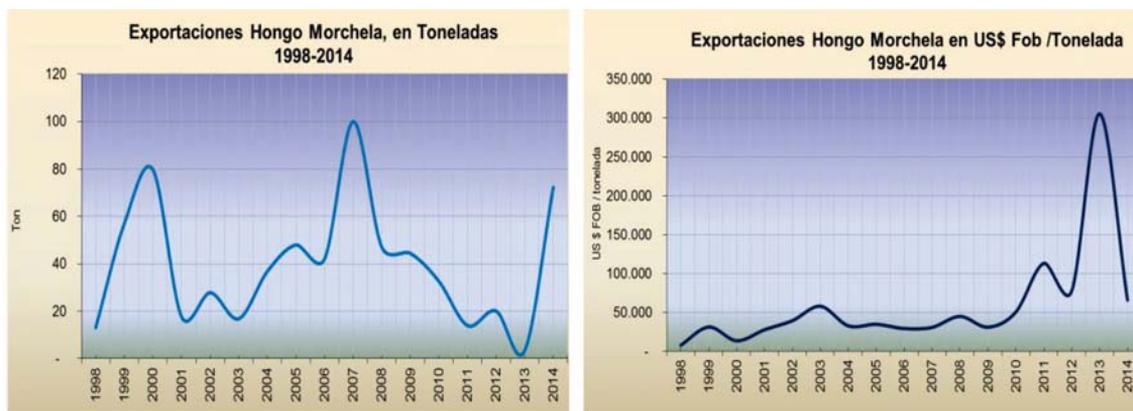
(Fuente: Valdebenito *et al.*, 2015)

Se aprecia en el Cuadro N° 3 que los frutos de rosa mosqueta, los musgos y el hongo boletus representan el 70 % del valor exportado de PFNM primarios y sus precios promedio de

exportación son de 4.293; 4.380 y 3.624 US\$ t⁻¹, respectivamente. Entre los productos elaborados en tanto, los extractos de quillay y el aceite de rosa mosqueta muestran interesantes montos y altos valores unitarios, de 21.270 y 16.784 US\$ t⁻¹, respectivamente.

Importantes retornos se registran por concepto de comercialización de hongos del género *Morchella*, los cuales alcanzaron el año 2014 exportaciones por sobre los MM US\$ 4,7, con envíos por 72,3 t de producto deshidratado. Este hongo crece y se recolecta en bosques de especies del género *Nothofagus*, existiendo poderos compradores desde la región del Maule al sur. El mercado interno registra valores en el rango de los 40.000 a 100.000 \$ kg⁻¹ de hongo morchela deshidratado, en los puntos de recolección o acopio.

En temporadas donde las condiciones climáticas no son favorables para la aparición de este hongo, se han observado precios por sobre los 120.000 \$ kg⁻¹ de hongo seco. Según se aprecia en la Figura N° 14, el año 2013 fue una temporada de muy baja proliferación de este hongo, productos de condiciones de ausencia de precipitaciones, generando un alza sustancial del producto, tranzándose en promedio a 304.986 US\$ t⁻¹ de hongo deshidratado, acumulando un total de 3,3 t vendidas en dicho periodo. Contrariamente el año 2014, fue un año de abundancia observándose una caída sustancial del precio internacional, tranzándose en promedio a 65.802 US\$ t⁻¹.



(Fuente: Valdebenito *et al.*, 2015)

Figura N° 14
TENDENCIA DE LAS EXPORTACIONES DE MORCHELA
EN PRECIO Y VOLUMEN EXPORTADO, PERIODO 1998 A 2014

Las hoja deshidratada de *Peumus boldus* es uno de los productos con mayor trayectoria de exportaciones de PFNM en Chile, siendo un producto altamente demandado por los países de la región, destacando Argentina, Brasil, Uruguay y Paraguay, destinatarios de más del 80% del boldo exportado. La Figura N° 15 presenta la tendencia histórica de sus exportaciones, existiendo un punto de inflexión a partir del año 2005, elevando los precios por sobre el millón de dólares la tonelada.

Destaca el bajo nivel de agregación de valor que presenta este producto, siendo una especie endémica con propiedades medicinales muy especializadas y únicas en el mundo. INFOR está desarrollando importantes avances en su investigación, tendientes a revertir esta

realidad, avanzando en el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan desarrollar plantaciones orientadas a la producción de biomasa, nuevos productos con valor agregado en base a sus extractos y desarrollar modelos de gestión que rentabilicen la producción predial de quienes poseen el recurso.

Las diferencias registradas en los retornos de divisas, entre productos elaborados y primarios, resaltan la importancia de agregar valor e invertir en investigación e innovación, generando con ello más riqueza en el país y modelos productivos con sello de sustentabilidad. Ejemplo de ello son los productos derivados de quillay, rosa mosqueta y avellano, donde productos como la corteza de quillay registran valores promedios de exportación en torno a los 6.257 US\$ t⁻¹, en tanto que el extracto de quillay llega a 21.270 US\$ t⁻¹, los frutos de mosqueta por su parte se venden en los mercados externos en 4.293 US\$ t⁻¹, en tanto que el aceite alcanza a 16.784 US\$ t⁻¹, según cifras del año 2014.



(Fuente: Valdebenito *et al.*, 2015)

Figura N° 15
TENDENCIA DE LAS EXPORTACIONES DE HOJAS DE BOLDO
EN PRECIO Y MONTO Y VOLUMEN EXPORTADO, PERIODO 1989 A 2014

En la Figura N° 16 se muestra el impacto del cambio tecnológico en torno a la agregación de valor generado en la comercialización de productos derivados de quillay. A partir de año 1999 se incrementan notablemente los retornos por la venta de productos procesados (extractos de quillay), disminuyendo las exportaciones de materias primas basadas principalmente en comercialización de corteza. El cambio tecnológico agregó notable valor, optimizando los procesos, generando mayor riqueza y aportando sustentabilidad al uso de este notable y estratégico recurso natural.

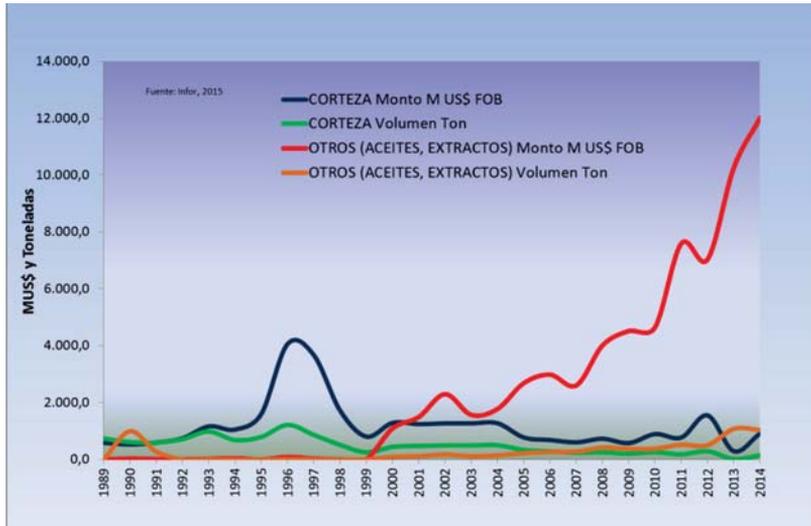


Figura N° 16
EVOLUCIÓN DE LAS EXPORTACIONES DE PFM DE QUILLAY
SEGÚN AÑO, MONTO Y VOLUMEN. PERIODO 1989 AL 2014

Entre los productos innovadores, destacan las exportaciones de frutos de maqui (*Aristotelia chilensis*), que han suscitado un amplio interés en los consumidores europeos y norteamericanos, dado que es considerado uno de los frutos con los niveles más altos en concentración de antioxidantes. A partir del año 2010 los montos exportados son crecientes, logrando envíos que superan las 130 t para el año 2014.



Figura N° 17
MAQUI CONGELADO, EN PLANTA DE ACOPIO COYHAIQUE

Por último, es interesante destacar *Gevuina avellana* como la especie que genera la mayor cantidad de PFNM en el país, se comercializan hojas, frutos, corteza, plantas y aceites, siendo este último el que materializa los mayores retornos, con valores medios de 26.670 US\$ t⁻¹. Hojas (frondas ornamentales) y frutos representan los mercados de mayor estabilidad y masividad a nivel nacional, no siendo necesariamente los más rentables.

CONCLUSIONES

El desarrollo de este sector es sostenido en Chile, existiendo tendencias crecientes en los últimos 20 años. La demanda mundial se orienta al uso de productos naturales y saludables, y los PFNM cumplen con esta condición, en un contexto de sustentabilidad y racionalidad en su uso.

El catastro levantado por el Instituto Forestal da cuenta de la existencia de 480 PFNM utilizados y comercializados por la población rural en Chile (sin considerar productos con potencial no estudiados), de los cuales 432 provienen de especies del bosque nativo. Destacan especies con propiedades medicinales y productoras de aceite esenciales, frutos y hongos comestibles, especies ornamentales y especies productoras de fibra para artesanía, entre los más relevantes. El modelo de negocio responde principalmente a procesos de recolección y comercialización de productos frescos o deshidratados, con marcada connotación rural y de género. La agregación de valor asociado a procesos industriales es reducida, pero creciente, destacando los aceites esenciales y los frutos procesados, orientados al mercado europeo y norteamericano (Valdebenito *et al.*, 2003).

La comercialización de PFNM tiene como destino el mercado exterior, existiendo un bajo y poco conocido nivel de demanda interna. Las exportaciones en este rubro han mantenido un crecimiento importante y sostenido, alcanzando US\$ 84 millones en 2014, con envíos a más de 50 países, involucrando en esta dinámica exportadora a más de 200.000 personas anuales, en empleos no permanentes. Se opone a esta realidad, el precario nivel tecnológico y de gestión que se ocupan en los procesos de comercialización y los altos niveles de informalidad presentes en las cadenas de comercialización, siendo las asimetrías de información una de las fallas más relevantes.

La tendencia de los últimos 20 años indica que los montos exportados se han octuplicado, duplicándose el volumen exportado y el número de destinos (de 20 a 53 países). La cantidad de productos creció de 12 a más de 30, entre los años 1990 al 2014, siendo Europa el principal destino de los PFNM chilenos, donde Alemania, Estados Unidos, España y Francia concentran los mayores envíos.

Valorar este rubro, en el contexto de las políticas públicas, no solo implica su fomento, sino también su regulación. El rol regulador de los servicios públicos es fundamental para asegurar la sustentabilidad de muchas especies y ecosistemas que hoy se ven amenazados por procesos de extracción, incentivados por un alto precio internacional, sin normativas que aseguren un uso racional, bajo la mirada ecosistémica de multiplicidad funcional de los bosques.

Los PFNM generan altos retornos económicos y empleos rurales, sin embargo es necesario perfeccionar los diversos ámbitos que involucran la cadena productiva desde el

bosque a los consumidores finales. Aspectos de racionalidad en el manejo de recursos, valor agregado, perfeccionamiento de mercados y mecanismos públicos de regulación son necesarios para asegurar la sustentabilidad futura de este importante rubro forestal.

Problemas de importancia radican en la carencia de información de producción y consumo, de métodos y técnicas sostenibles de extracción, en la ausencia de planes de manejo, en la falta de información de mercado y de procesos de comercialización, y en el bajo nivel de desarrollo tecnológico asociado a generación de valor, entre otras falencias. Además, se evidencian fallas de mercado vinculadas con asimetrías de información, monopsonios, riesgo moral y selección adversa. Todo lo anterior, sumado a los altos costos de transacción observados, la dispersión territorial y la excesiva fragmentación en la cadena de comercialización, factores que ponen en riesgo la sostenibilidad de los recursos y procesos.

Temas relevantes de investigación que requieren ser abordados son los relativos a:

Metodologías y procedimientos para el monitoreo de los PFNM provenientes de bosques nativos y plantados. Catastro, Inventario y cuantificación de recursos disponible.

Explorar nuevas opciones productivas, factibles de escalar económicamente.

Desarrollar instrumentos y normativas que permitan regular el uso racional de los PFNM, asegurando la sostenibilidad del recurso y su entorno ecosistémico.

Generar e implementar sistema de información de precios, productos y mercados de PFNM a nivel nacional e internacional, eliminando de esta forma asimetrías de información y fallas de mercado.

Investigación que tengan por objetivo escalar en la generación de valor agregado de los PFNM, en la dimensión de procesamiento y comercialización.

Los PFNM brindan una nueva oportunidad para impulsar el desarrollo del mundo rural vinculado a los ecosistemas boscosos, donde el rol de todos quienes interactúan en este sector es velar por un uso racional y sostenido que permita generar riqueza en el largo plazo. Los desafíos se centran en investigar nuevos usos y productos, generar valor agregado y regular el manejo, asegurando su sostenibilidad.

REFERENCIAS

Bonometti, C., 2000. Aspectos reproductivos en flores de maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stunz). Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 97p.

Céspedes, C.; Mancinelli, P.; Orellana, B.; Silva, M., 1995. Cultivo *in vitro* de *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz, *Elaeocarpaceae*. Gayana Botánica 52 (2): 77-82.

Díaz, M.; Oberpaur, Ch, y Delano, G., 2013. Plan de manejo sustentable y modelo de fiscalización para humedales con predominio de musgo pompón (*Sphagnum magellanicum*). Proyecto FIC 12011, Gobierno de Los Lagos

Donoso, C.; Hernández, M. y Navarro, C., 1993. Valores de Producción de Semillas y Hojarasca de Diferentes Especies del Tipo Forestal Siempreverde de la Cordillera de la Costa de Valdivia Obtenidos Durante un Período de 10 Años. Bosque 14 (2): 65 - 84.

Estévez, P., 1994. Caracterización del Rebrote en Cepas de Quillay (*Quillaja saponaria* Mol). Fundo el Toyo, Región Metropolitana. Tesis Ingeniería Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago Chile. 134 p.

FAO, 1998. Productos Forestales No Madereros. Serie Forestal N° 10. Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe. Dirección de Productos Forestales, Roma.

Fauré, M.; Lissi, E.; Torres E. y Videla, L., 1990. Antioxidant activities of lignans and flavonoids. *Phytochemistry* 29, 3773.

FIA, 2009. Resultados y Lecciones en Producción de Avellanas Chilenas como Recurso para Productores Rurales. Fundación para la Innovación Agraria FIA.

Galaz, A., 1999. Relación entre Momento de Cosecha y Algunos Parámetros de Calidad en dos Especies de Rosa Mosqueta: *Rosa moschata* y *Rosa rubiginosa*. Memoria presentada a la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción para optar al Título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía. Universidad de Concepción. Chillan. Chile.

Garrido, N., 1981. Contribución al conocimiento de Agaricales (Mycota-Basidiomycetes) en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don, en la Octava Región de Chile. Tesis de título, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

Hacskeylo, E.; Palmer, J.G. and Vozzo, J. A., 1965. Effect of temperature on growth and respiration of ectotrophic mycorrhizal fungi. *Mycologia* 57: 748-756.

Hoffman, A. 1991. Flora Silvestre de Chile, Zona Araucana. 2ª edición. Editorial Claudio Gay, Santiago- Chile.

Hoffman, A., 1995. Flora Silvestre de Chile, Zona Central. 3ª edición. Editorial Claudio Gay, Santiago- Chile.

INFOR, 2009. Sistematización silvícola, tecnológica y Comercial de boldo (*Peumus boldus* Mol.) en Chile. Instituto Forestal.

Massardo, F. y Rozzi, R., 1996. Usos Medicinales de la Flora Nativa Chilena. Valoración de la Biodiversidad. Ambiente y Desarrollo. XIII (3) : 76 – 81.

Molina, J., 2001. Preacondicionamiento de la semilla de maqui (*Aristotelia chilensis*) y descripción de sus cambios micromorfológicos en el proceso de germinación. Memoria de título Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía. Universidad de Concepción. 30 p.

Montenegro, G.; Ávila, G.; Aljaro, M. E.; Osorio, R. and Gómez, M., 1989. Plant phenomorphological studies in mediterranean type ecosystems. Orshamn G., Ed. Dordrecht, Holanda, Kluwer Academic Publishers.

Muñoz, M.; Barrera, E. y Meza, I., 1981. El Uso Medicinal y Alimenticio de Plantas Nativas y Naturalizadas en Chile. Publicación ocasional N°33. Museo Nacional de Historia Natural. Santiago- Chile. 91 p.

Oliva, M., 1983. *Suillus luteus* en plantaciones de *Pinus radiata* D.Don. dedicadas al silvopastoreo. Universidad austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia. Chile. 48 p.

Palmer, M. A., 1991. Isolate Types of *Sphaeropsis sapinea* associated with main stem cankers and top-kill of *Pinus resinosa* in Minnesota and Wisconsin. *Plant Dis.* 75: 507-510.

Parrague, P., 1986. Producción y grado de Agregación del Hongo (*Suillus luteus* (L. ex Fr.) S. F. Gray en Plantaciones jóvenes de *Pinus radiata* D. Don, en la Comuna de Mulchén, VIII Región. Tesis para optar al Título Profesional de ingeniero Forestal. Depto. de Silvicultura y Manejo. Escuela de Cs. Forestales. Fac. de Cs. Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago. Chile.

Poblete, P., 1997. Propagación Vegetativa en Maqui (*Aristotelia chilensis*). Memoria presentada a la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción para Optar al Título de Ingeniero Agrónomo. Fac. de Agronomía. Universidad

de Concepción. Chillan. Chile.

Pognat, C., 2001. Productos Forestales No Madereros. Producción Sustentable. Estudio de la comercialización de los productos forestales no madereros en la zona de amortiguación de la Reserva Nacional Malleco y propuestas de alternativas por su manejo. Memoria para optar al Título Profesional de Master en Agro-Silvo-Pecuario. Universidad de Paris XII - Val de Marne. Proyecto CONAF IX Región - FFEM - Office National des Forêt. 70 Pág.

Rivera, I., 1999. Descripción del Desarrollo Vegetativo y Reproductivo en Rosa Mosqueta (*Rosa rubiginosa* y *Rosa moschata*) de dos años. Memoria presentada a la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción para optar al Título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía. Universidad de Concepción. Chillan. Chile.

Rodríguez R.; Matthei, O. y Quezada, M., 1983. Flora Arbórea de Chile. Editorial Universidad de Concepción, Concepción-Chile. 408 p.

Sepulveda, L., 1991. Comentario: Producción y comercialización de hongos deshidratados en Chile. Seminario: Articulación de la Agricultura tradicional con las Cadenas agroexportadoras. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Pág. 451 - 463.

Schneeberger, R., 2001. Efecto de poda invernal e intensidad de luz sobre el crecimiento y concentración de principios activos en boldo (*Peumus boldus* Mol.) bajo cultivo. Memoria de título. Universidad de Talca. Talca, Chile. 54 p.

Sudzuki, F., 1995. La Rosa Mosqueta (*Rosa eglanteria*). Como Cultivar. Chile Agrícola. Enero-Febrero-Marzo. Pág: 29-32.

Toral, M. y Rosende, R., 1986. Producción y Productividad de Quillay. Santiago de Chile. Renares 3 (8): 19-21.

Universidad de Talca, 2014. Crean nueva especie de maqui para producción comercial. En: <http://www.utalca.cl/link.cgi/SalaPrensa/Investigacion/8327#sthash.4Hc6bNYU.dpuf>

Valdebenito, G., 2009. Estado y perspectivas de los Productos Forestales No Madereros (PFNM) en Chile. XIII Congreso Forestal Mundial 2009. Buenos Aires. Argentina.

Valdebenito, G.; Campos, J.; Larraín, O.; Aguilera, M.; Kahler, C.; Ferrando, M.; García, E. y Sotomayor, A., 2003. Serie Boletín Divulgativo de Productos Forestales no Madereros en Chile. El bosque Mucho más que madera. Instituto Forestal/Fundación Chile. Formatos electrónicos. En: www.gestionforestal.cl/pfnm. N°1 - PFNM Maqui; N°2 - PFNM Boldo; N° 3 - PFNM Murta; PFNM Rosa Mosqueta; N° 5 – PFNM Boletus (*Suillus luteus*); N° 6 – Lactarius (*Lactarius deliciosus*); N° 7 – Morchella (*Morchella spp*); N°10 - PFNM Avellana; N°11 – PFNM Calafate; N°12 – PFNM Nalca; N°13 – PFNM Hongos comestibles no tradicionales.

Valdebenito, G.; Molina, J.; Benedetti, S.; Hormazabal, M. y Pavez, C., 2015. Modelos de negocios sustentables de recolección, procesamiento y comercialización de productos forestales no madereros (PFNM) en Chile. Serie estudios para la Innovación. Fundación para la Innovación Agraria FIA – Instituto Forestal INFOR. Santiago, Chile. 243 p.

Valenzuela, E., 1995. Hongos Superiores Silvestres Autóctonos y Alóctonos Recolectados en la X Región de Chile. Informe final. Convenio Japan International Cooperation Agency (JICA) y Universidad Austral de Chile (UACH). Valdivia. Chile.

Vermeil de Conchard, P., 1997. Estudio de mercado de la corteza y saponina de quillay (*Quillaja saponaria* Mol.) y perspectivas de desarrollo futuro. Tesis de Grado. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago. Chile.

Vita, A., 1974. Algunos Antecedentes para la Silvicultura del Quillay (*Quillaja saponaria* Mol). En: Boletín Técnico N° 28 Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. p: 19-31.

Vita, A., 1990. Ensayo de reforestación con quillay (*Quillaja saponaria* Mol.). Illapel. IV Región. Chile. Ciencias Forestales 6(1): 37-48.

Capítulo 18

PRODUCTOS FORESTALES NO MADEREROS (PFNM) EN LA REGIÓN DE AYSÉN

Jaime Salinas¹ y Claudia Gómez¹

RESUMEN

La recolección de productos forestales no madereros (PFNM) provenientes de los bosques es una actividad desarrollada desde sus orígenes por diversos pueblos originarios y comunidades del mundo rural, formando parte importante de las economías rurales y campesinas hasta la actualidad, sin embargo el estudio, investigación y formalización de ello es reciente.

El desarrollo de los PFNM en Chile ha experimentado un crecimiento importante y sostenido en los últimos años, se constata el incremento de los montos por concepto de exportaciones desde US\$12,7 millones en 1990 a US\$FOB 84,2 millones en 2014, diversificándose la cantidad de productos exportados y aumentando los mercados de destino. Conjuntamente, las distintas actividades económicas vinculadas a los PFNM, involucran alrededor de 200.000 habitantes rurales.

La región de Aysén posee la mayor superficie de bosques nativos del país; 4,4 millones de hectáreas que representan aproximadamente el 31% de la superficie nacional de bosques nativos. En este extenso recurso natural y en tierras desarboladas cubiertas por arbustos y vegetación menor existe una cantidad y variedad de PFNM, como frutos, hongos líquenes, cañas, flora melífera y otros, que son de importancia principalmente para la población rural de la región.

En este capítulo se presentan antecedentes sobre los principales PFNM de la región de Aysén, su importancia, sus recolectores y productores y sus canales de comercialización, información reunida como resultado de una línea de trabajo permanente de INFOR en el tema.

Palabras clave: Productos Forestales No Madereros, Región de Aysén, Otros productos de los bosques, Mundo rural.

SUMMARY

Non wood forest products (NWFP) collection from the forests is an old activity developed by different aboriginal communities since the early times to get foods and other products and maintain their local economies. Up today this activity is an important one in the rural world, however studies, research and some regulation on the matter are only a recent concern.

Non wood forest products development in Chile has had an important and sustained growth during the last years, and exports of these kind of products have increased from US\$ FOB

¹ Investigadores Instituto Forestal Sede Patagonia, Coyhaique, Aysén. jsalinas@infor.cl

12,7 millones in 1990 to US\$ FOB 84,2 millones in 2014 with an important diversification regarding to number of products and markets abroad. The different activities related to NWFP involve today some 200 thousand rural people.

The Aysén Region has the major native forest area in the country; 4,4 million hectares representing about 31% of the total country native forest area. In this extensive natural resource an also in non forest areas covered by shrubs and minor vegetation there are a number and diversity of NWFP such as fruits, fungus, lichens, canes, melliferous flora and others, all of which are important resources mainly to the regional rural inhabitants.

This chapter presents information on the main NWFP in the region, their importance, their collectors and producers and their marketing channels, information gathered through a permanent INFOR's research line on the matter.

Keywords: Non Wood Forests Products, Aysén Region, Other products from the forests, Rural World.

INTRODUCCION

El concepto Productos Forestales No Madereros (PFNM), conocido internacionalmente como *Non Timber Forest Products* (NTFP) o *Non Wood Forest Products* (NWFP) se aplica comúnmente a un sector de la producción forestal que todavía no tiene una definición única, aunque la más utilizada es la propuesta por FAO (1999) que los define como “bienes de origen biológico, distintos de la madera, derivados del bosque, de otras áreas forestales y de los árboles fuera de los bosques”.

En la región de Aysén, los bosques nativos representan de 4,4 millones de hectáreas (INFOR, 2015a) y en ellos se encuentran diferentes PFNM, como maqui, frutilla silvestre, líquenes, follaje, coligue, rosa mosqueta, calafate, hongos comestibles, hierbas de uso medicinal o tintóreo, flora melífera y otros, lo que refleja una riqueza no reconocida formalmente en los circuitos productivos locales, pero si valorada en las zonas rurales.

Durante la temporada 2014, este rubro generó exportaciones por US\$FOB 84,2 millones, aumentando en 4,4% respecto al monto exportado durante el año 2013 (INFOR, 2014). Durante el primer trimestre del año 2015 se han exportado cerca de US\$FOB 17 millones en PFNM, esto es un 8,1% por debajo del monto alcanzado en igual período del año anterior. Los principales destinos fueron Alemania, Taiwán y EE.UU (INFOR, 2015b).

La recolección de PFNM en la región de Aysén es una actividad fuertemente arraigada en las localidades rurales (Salinas *et al.*, 2012) y, si bien posee obvias implicancias económicas para las familias y sus ingresos, respecto del conocimiento sobre el desarrollo de los recursos naturales involucrados, las características de los procesos de producción y comercialización y las potencialidades de crecimiento, se requiere contar con información reciente, formal y que abarque la totalidad de la realidad regional, y esto ha motivado al Instituto Forestal (INFOR) a mantener una línea permanente de trabajo que busca conocer la actividad de recolección y los productos que se recolectan, dando una mayor valoración a los bosques nativos de la Patagonia de Aysén y posicionando la recolección de PFNM como una actividad relevante, que emplea mano de obra, que tiene alta connotación de género y que contribuye a la mantención y retención de la población rural en los campos. El presente capítulo entrega información y

avances de esta línea de trabajo de INFOR.

OBJETIVO

Generar y difundir información respecto de los Productos Forestales No Madereros (PFNM) presentes en la Región de Aysén y los actores que forman parte de la recolección y producción, a través de un estudio descriptivo de carácter regional.

METODOLOGÍA

Se trata de un estudio cuantitativo, de carácter exploratorio, que rescata información de los Productos Forestales No Madereros de la región de Aysén, constituyendo un primer acercamiento a personas que realizan actividades de recolección, producción y comercialización de estos productos y que representan parte importante de la cadena productiva. Las etapas necesarias para ejecutar el trabajo y que forman parte de acciones metodológicas se describen a continuación.

Levantamiento de Información

El estudio rescató información en la mayoría de las localidades y comunas de la región de Aysén, de acuerdo a una serie de etapas secuenciales:

- **Elaboración y Aplicación de Encuesta**

Se elaboró una encuesta entre el equipo técnico de INFOR sede Patagonia y el Instituto Nacional de Estadística (INE). Una vez definido el documento a aplicar, fue consensado y validado por profesionales de la Mesa de PFNM de la región de Aysén, con ello se logró consolidar la encuesta final.

- **Taller con Profesionales**

El equipo técnico efectuó talleres en las distintas localidades de la región con el fin de entregar información y formar capacidades generales sobre los PFNM a profesionales de las instituciones presentes en cada territorio (INDAP, CONAF, SAG y PRODESAL). El objetivo de la actividad fue sociabilizar el trabajo a realizar y hacer partícipes del estudio a los diferentes actores regionales, apoyando de esta forma el levantamiento de información. Hecho esto, se realizó un taller de trabajo que permitió conocer en detalle el formulario de encuesta y el público objetivo del estudio. Cada institución se comprometió a aplicar una cantidad de encuestas entre sus usuarios.

- **Taller con la Comunidad y Recolectores**

El objetivo de esta actividad fue convocar y conocer de primera fuente a las personas dedicadas a recolección o producción de PFNM en cada territorio. Para convocar a las personas se realizaron avisos radiales e invitaciones dirigidas. Estas reuniones consistieron en una presentación técnica, para entregar conocimientos elementales y apertura al tema principal, en ella se abordó información sobre estadística y mercado de PFNM, principales productos presentes en la región y sus usos. Al final de esta actividad se entrevistó a cada recolector y de

esta forma se contó con los primeros antecedentes de la población objetivo.

Procesamiento y Análisis de la Información

Una vez finalizada la etapa de recopilación de información, las encuestas fueron ordenadas e ingresadas a una base de datos digital. Se procedió a analizarlas de acuerdo al tipo de pregunta. En el caso de las preguntas “cerradas”, se elaboraron matrices de datos sistematizadas en planillas de formato Excel, con el fin de filtrar los campos de interés. Se obtuvieron los resultados de frecuencias para cada una de ellas. Dependiendo del tipo de datos, se consideraron también medidas de variabilidad. Las preguntas de tipo “abierta” se clasificaron de acuerdo a la estructura general de clasificación de PFMN. El análisis de la información se realizó mediante un enfoque comparativo, el cual se presenta en los comentarios y observación a cada variable.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Antecedentes Generales de los Recolectores

Se entrevistó un total de 105 personas, las cuales en su mayoría fueron mujeres (87%), lo cual se explica por el hecho que la actividad de recolección, dentro de la diversidad de actividades que se efectúa en el espacio rural, es una actividad esencialmente femenina. La participación de hombres en labores de recolección representó 13%, demostrando que hay prioridad por actividades productivas tradicionales como la ganadería y la producción de leña principalmente.

El grupo de recolectores entrevistados se encuentra distribuido principalmente en siete comunas de la región. Sin embargo, se estima que existe una participación de recolectores en la totalidad de localidades y comunas de Aysén. La mayor presencia de recolectores se observó en la comuna de Cochrane (35,2%), seguido por Aysén y Río Ibáñez con 20% de participación.

En la Figura N° 1 se indica la distribución de edades de los recolectores en la región de Aysén. Esta información resulta de gran relevancia si se considera que un porcentaje significativo de recolectores (37%) son jóvenes o adultos jóvenes. Esta situación tiene consecuencias positivas, tanto en la proyección de la actividad como en la validez de creación de programas que impulsen su desarrollo y asignen recursos para tal efecto.

El 50% de los entrevistados se encuentra entre los 40 – 60 años, situación que respalda el aprendizaje y mantención de conocimiento entregado por prosapias.

La información obtenida permite observar un bajo grado de escolaridad entre los recolectores. Del universo de entrevistados, un 59% posee solo educación básica. Al mismo tiempo llama la atención que un 3% de los recolectores posea formación universitaria y se vincule a actividades relacionadas con PFMN.

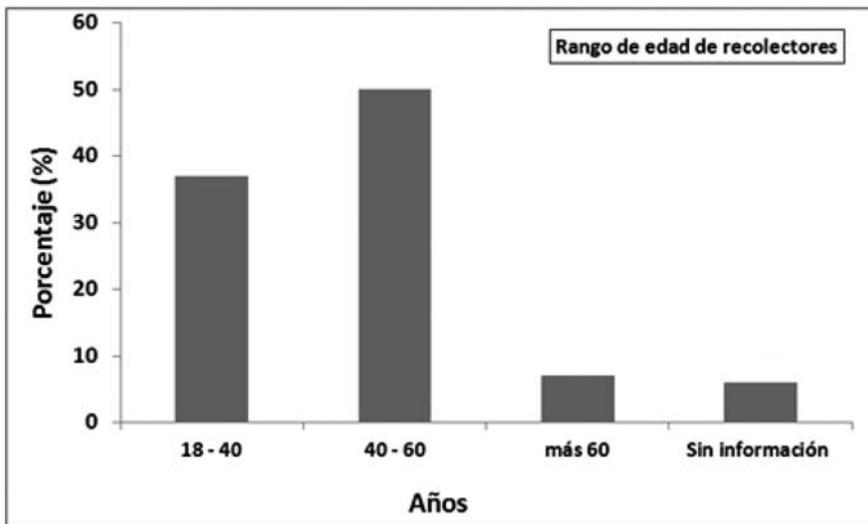


Figura N° 1
COMPOSICIÓN DE ENCUESTADOS POR RANGO DE EDADES

El 66% de las personas señaló pertenecer a un grupo o pueblo originario y en todos los casos sostuvieron pertenecer al pueblo mapuche, mientras que cerca de un tercio del total (34%) indica no poseer descendencia indígena. Además, es posible sostener que el alto número de personas pertenecientes a grupos originarios, explicaría la pertenencia cultural de la recolección de recursos en los bosques.

Antecedentes de la Actividad de Recolección de PFM

Al consultar por la cantidad de tiempo (en años) que se dedican a la actividad de recolección, se observó que el 67% recolecta hace más de cinco años. Este dato da cuenta del arraigo de esta actividad en las personas entrevistadas.

Se señala que la fuente más importante de aprendizaje para esta actividad es el grupo familiar (45%) o dentro del ámbito de las personas cercanas. El aprendizaje resulta ser entonces esencialmente empírico. Algunas personas mencionaron más de una forma o fuente de aprendizaje por lo que para efectos estadísticos se priorizó la de mayor importancia.

Existe bajo grado de capacitación formal, ya sea por servicios públicos o empresas privadas (16%), lo que radica principalmente en el desconocimiento a nivel regional del rubro y del posible potencial que se puede llegar a desarrollar.

Un 55% del total de personas manifestó poseer capacitación a través de la empresa regional Comercial Mañihuales Ltda., empresa que se dedicaba principalmente a la compra de morchella y en menor medida rosa mosqueta y maqui.

Respecto de la participación de integrantes de la familia que participan activamente en la actividad de recolección, el 89% sostuvo que más de un familiar se encuentra involucrado en esta actividad, que generalmente son los hijos. Esto refleja que la recolección forma parte significativa del repertorio de actividades económicas del grupo familiar y puede constituir una importante actividad conducente a la retención de la población en zonas rurales.

En cuanto a los ingresos derivados de la recolección (Figura N° 2), resultan significativos, según el 33% de los encuestados estos ingresos corresponden a más del 21% del ingreso familiar.

Sin embargo, por la naturaleza de la información que involucra esta pregunta, hubo gran cantidad de personas (33%) que no respondió.

Cabe señalar que un 34% de los entrevistados afirma que a través de actividades relacionadas con los PFMN generan hasta un 20% de sus ingresos mensuales, hecho que debería incrementarse en la temporada de morchella, donde puede llegar hasta el 100%.

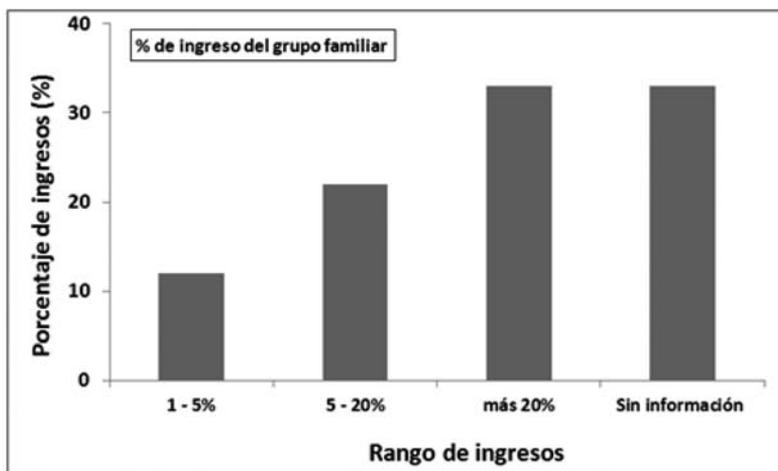


Figura N° 2
PORCENTAJE DEL INGRESO FAMILIAR
QUE GENERAN LAS ACTIVIDADES EN TORNO A PFMN

La diversidad de recursos nombrados por las personas es amplia, lo que demuestra la potencialidad de esta actividad, en términos del mejoramiento de las economías familiares y principalmente de la agricultura familiar campesina. Los recursos que cobran mayor importancia se asocian a los alimentos y a las hierbas medicinales.

A continuación, se presenta un relevamiento a algunos de los productos que en la actualidad son recolectados y aprovechados mayoritariamente por las personas en la región. Estos productos fueron clasificados siguiendo la estructura general de los PFMN, propuesta para el país (Figura N° 3).

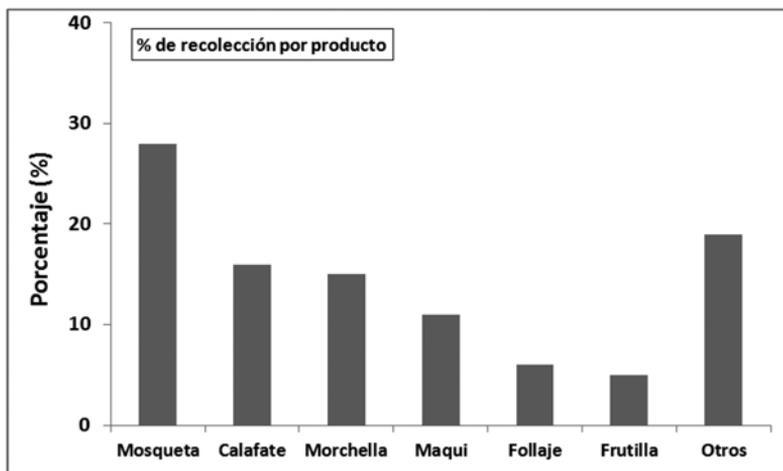


Figura N° 3
PORCENTAJE DE RECOLECCIÓN SEGÚN PRODUCTO

De acuerdo a las localidades en que se efectúa la recolección, existen productos principales en cada una de ellas. Destaca la presencia de maqui y follaje en la comuna de Aysén (Salinas y Benedetti, 2012), principalmente en las localidades de Mañihuales y Valle Laguna (comuna de Aysén).

La rosa mosqueta se concentra en Cochrane, Río Ibáñez y Cisnes, con un 30%, 29% y 20%, respectivamente. La mayor concentración de morchella se localiza en la comuna de Cochrane (87%), asociada a los bosques de *Nothofagus*, sin embargo, es común encontrarla en otras localidades, tales como Villa Ortega, Coyhaique, Balmaceda, Puerto Guadal, Lago Verde y Villa La Tapera. El calafate, indistintamente de la especie que se trate, se distribuye en varias localidades de la región, pero es más común encontrarlo en la comuna de Río Ibáñez (Cuadro N° 1).

Cuadro N° 1
TIPO DE PRODUCTO RECOLECTADO SEGÚN UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Localidad	Maqui (%)	Calafate (%)	Mosqueta (%)	Morchella (%)	Frutillas (%)	Follaje (%)
Aysén	69,6	12,5	7,1	-		84,6
Chile Chico	4,3	3,1	1,8	-	10,0	-
Cisnes	13	21,9	19,6	-	20,0	-
Cochrane	-	9,4	30,4	86,7	30,0	-
Coyhaique	-	3,1	8,9	10,0	40,0	-
Río Ibáñez	-	37,5	28,6	-	-	-
Tortel	4,3	3,1		-	-	7,7
Sin Información	8,7	9,4	3,6	3,3	-	7,7

La diversidad de recursos, en relación al número de personas consultadas en cada comuna, resulta bastante similar, con la sola excepción que permite indicar que los recolectores de morchella pertenecen a la comuna de Cochrane.

En relación al porcentaje de participación de las localidades de acuerdo a la presencia y variedad de PFM, destaca la comuna de Cochrane con un 26%, seguida de Aysén y Río Ibáñez con 24% y 19%, respectivamente. Calafate se encontró en mayor o menor medida en todas las localidades visitadas.

La recolección de frutos se concentra mayoritariamente entre los meses de enero y marzo (Figura N° 4). El maqui es recolectado durante febrero al igual que el calafate, aunque este último puede adelantar su temporada de fructificación a enero. La frutilla silvestre fructifica en el mes de enero y la rosa mosqueta es recolectada en su mayoría en marzo. En el caso del hongo morilla (*Morchella sp.*) el mes de mayor actividad es noviembre y dependiendo de las condiciones climáticas, la temporada puede iniciarse a fines de septiembre (en zonas más cálidas de la región) hasta fines de noviembre al sur de la región, en zonas de restricción térmica. No se encontraron productos que sean recolectados durante la temporada invernal, sin embargo, por conocimiento práctico el follaje es posible recolectarlo en cualquier época del año en vegetales de comportamiento perenne.

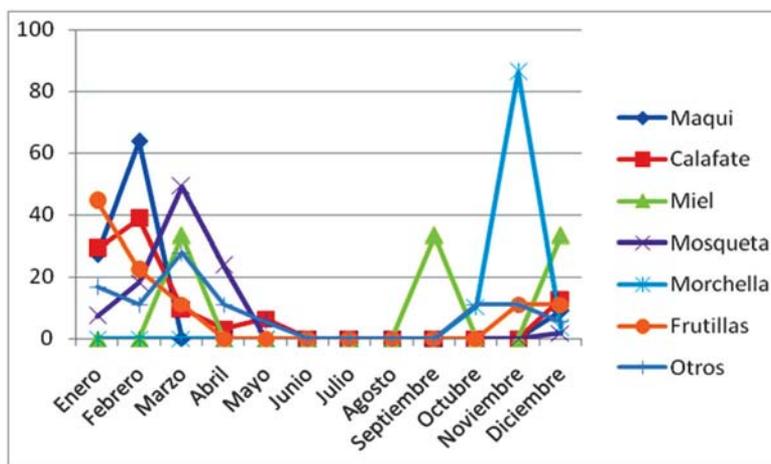


Figura N° 4
MAYOR PORCENTAJE DE RECOLECCIÓN DE PRODUCTOS SEGÚN MES

En términos generales se recolecta solo una parte del producto (Figura N° 5). El 25% de los entrevistados declaran dedicarse a recolectar maqui, mayoritariamente se recolecta el fruto, que es vendido a intermediarios a granel, sin agregación de valor. En tanto, en menor cantidad se recolectan hojas y corteza (22%), dadas sus propiedades antiinflamatorias. En las regiones del Maule, La Araucanía y Los Lagos se evaluaron ensayos silvícolas en maqui, con el fin de evaluar la producción de frutos en condición pura e intervenida, encontrándose una respuesta positiva en la producción de frutos después de la intervención de liberación de copas (Valdebenito y Aguilera, 2013).

En la recolección de frutilla silvestre solo se aprovecha el fruto (100%), mientras que en el calafate el 70% de los entrevistados recolecta el fruto, además se usan corteza, hojas y raíces con un 14%, 12% y 4%, respectivamente. En la recolección de rosa mosqueta el 95% recolecta el fruto y en el caso del hongo morchella el 100% de las personas entrevistadas declara recolectar el cuerpo frutífero.

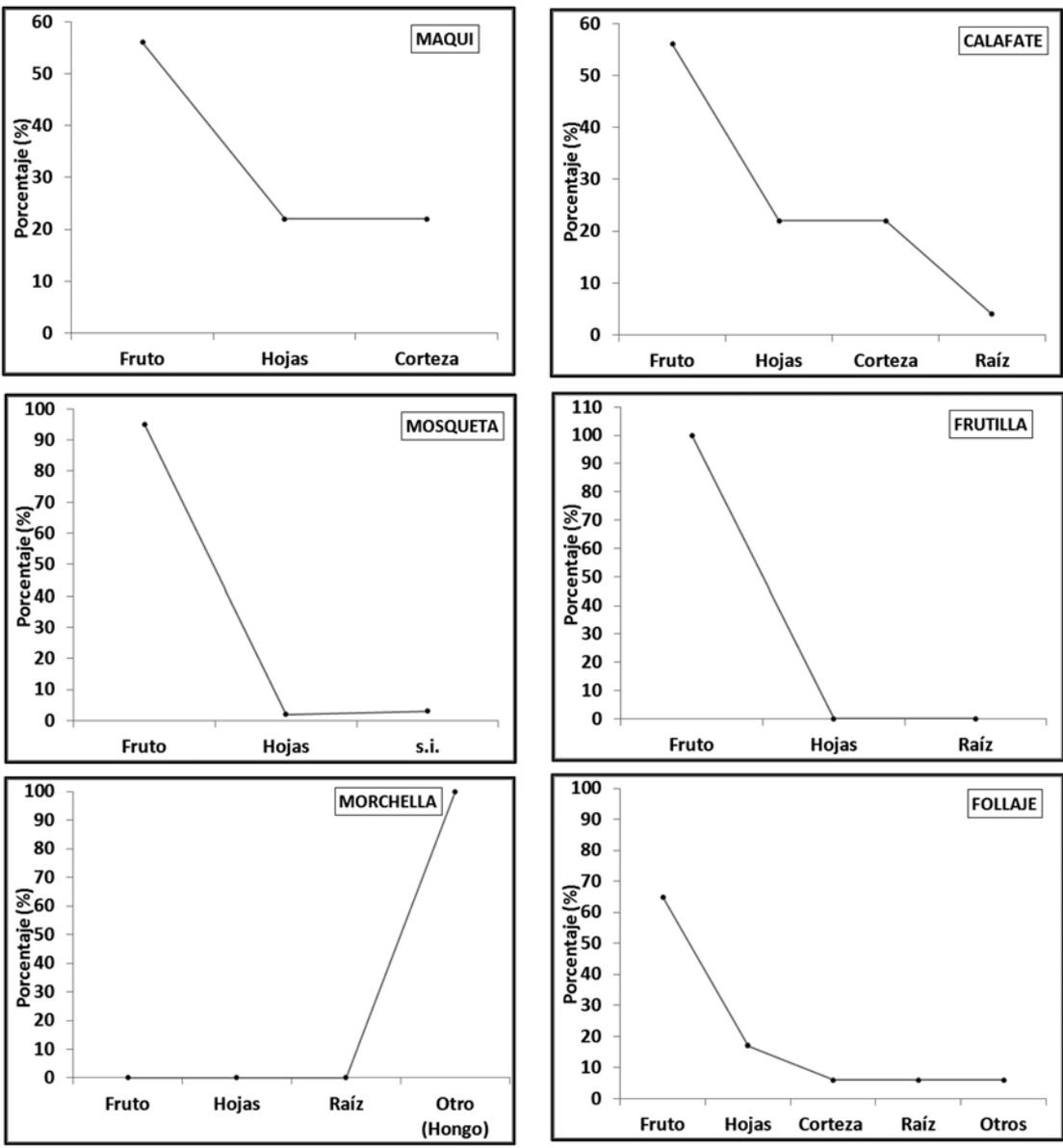


Figura N° 5
SECCIÓN DEL PRODUCTO QUE SE RECOLECTA

Proceso y Venta según Producto Recolectado

En general las personas recolectan en forma equivalente para venta y autoconsumo. Cuando venden, prefieren procesar el recurso. Solo dos personas ubicadas en la comuna de Cochrane declararon ejercer como intermediarios, estos acopian morchella y la envían a otras regiones y posteriormente se exporta a Europa.

Al revisar los resultados de procesamiento según recurso recolectado, se observa que un 80% del follaje está destinado al mercado local (arreglos florales principalmente), seguido por el maqui que en un 54% es recolectado para el autoconsumo. Por el contrario, en la recolección de morcella cerca del 90% de lo recolectado se vende, es muy reducido el consumo de este hongo a nivel local.

El comercio de morchella mayoritariamente se entrega como producto fresco o deshidratado a los intermediarios en las localidades, aumentando considerablemente el precio (desde \$4.000 kg⁻¹ fresco hasta \$80.000 - 120.000 kg⁻¹ deshidratado). La relación en volumen del kilogramo fresco al deshidratado es 10 a 1.

El calafate y la rosa mosqueta son productos que se procesan en su mayoría para elaboración de mermeladas, licores y jugos, entre otros, y se emplean en forma casi equivalente para autoconsumo y venta.

Los datos recopilados indican que los recolectores procesan el 64% de los recursos obtenidos. El principal proceso por el cual se agrega valor es la producción de mermeladas. Otros procedimientos corresponden a la elaboración de licores, chichas, jugos y jarabes.

El principal recurso al que se agrega valor es el calafate, producto que últimamente ha experimentado un incremento exponencial en su demanda, debido a sus altos contenidos de antioxidantes, incluso superiores al maqui, la cual se ha asociado a nuevos productos elaborados, tales como calafate liofilizado (KON Calafate) y jugos naturales (SUR YUIS).

El producto que posee menor procesamiento es la morchella, dado que el 62.5% de las personas que recolectan este recurso lo comercializa fresco.

En cuanto a las limitaciones de los recolectores para comercializar sus recursos, señalaron en primer término escaso acceso a los mercados, necesidad de contar con capacitación específica para sus requerimientos y, finalmente, infraestructura y asociatividad.

Comportamiento del Recurso en el Último Tiempo

La opinión de las personas entrevistadas acerca de su percepción sobre los recursos que recolectan, indica preferentemente que estos se han mantenido en el tiempo (51%).

Esta opinión deriva de su contacto directo con los recursos y corresponde a una apreciación global de todos los recursos simultáneamente. Un 27% de los entrevistados manifestó que los recursos han disminuido (Figura N° 6).

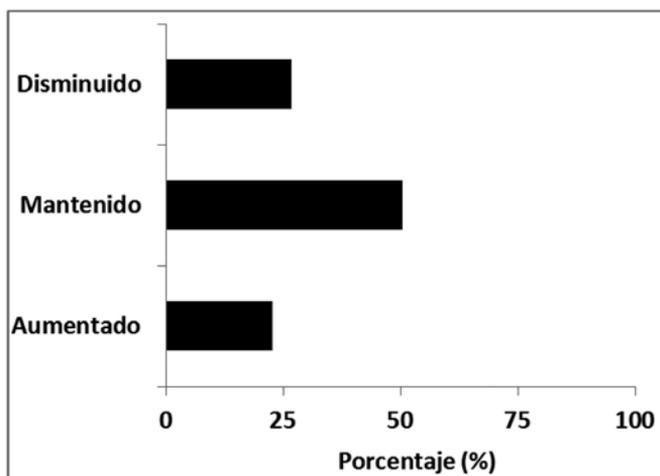


Figura N° 6

COMPORTAMIENTO GENERAL DE LOS RECURSOS RECOLECTADOS EN EL TIEMPO

Al consultar por las razones que explican el comportamiento de los recursos en el tiempo, se señala más de una opción para explicar estos cambios. La mayoría de personas (48%) no mantiene información del estado actual de los recursos o no sabe. Este hecho, responde a una asimetría de información en el rubro de los PFNM. Solo el 13% lo atribuye a mayor presión sobre el recurso.

CONCLUSIONES

En la Patagonia de Aysén la recolección de PFNM constituye una actividad de gran tradición y arraigo entre las familias rurales. Si bien es de pequeña escala y desarrollada con métodos artesanales, constituye una práctica relevante en el contexto de la economía de las personas entrevistadas.

La actividad de recolección, dentro de la diversidad de actividades que se efectúa en el espacio rural, es esencialmente femenina. El estudio indicó que el 87% de la participación en la recolección es por parte de la mujer.

Los jóvenes menores de 30 años en su mayoría no se dedican a la actividad de recolección, el 80% de los recolectores se encuentran entre los 30 y 60 años. Existe visibilidad de proyección en la actividad de recolección en la región.

Se observó un grado de escolaridad bajo en recolectores, cerca del 60% de los entrevistados han cursado solo educación básica. En este sentido es necesario generar programas de capacitación específica en el tema.

Más del 60% de los entrevistados describe pertenecer a una etnia originaria y cerca del 50% menciona que el aprendizaje de la actividad la adquirió a través de un familiar. La importancia de esta actividad en el ingreso familiar, se sustenta en que un 34% de los entrevistados menciona que producto de actividades ligadas a los PFNM perciben más del 20% de sus ingresos. Pudiendo

llegar en épocas del año al 100%.

El recurso que reviste mayor interés en términos económicos es la morchella, aunque su recolección se encuentra acotada a sectores geográficos limitados. Así mismo, la mosqueta, el maqui y el calafate resultan interesantes dada su amplia cobertura geográfica, arraigo en la práctica de su recolección y posibilidades de venta y aumento de demanda externa.

Es necesario tener presente que los predios de terceros y los predios fiscales constituyen los primeros sectores en donde se desarrolla la recolección, lo cual podría tornarse en un factor de fragilidad ante una propuesta de crecimiento de la actividad.

Por su carácter tradicional y forma rústica de tratar los recursos, la recolección de los productos estudiados presenta múltiples deficiencias. Los procesos de agregación de valor son simples, en tanto que la comercialización se efectúa dentro del marco de la economía informal, con acceso restringido a los mercados.

Es necesario seguir investigando sobre nuevos productos aún no reconocidos (ej: caucho, el fruto de la luma), nuevos procesos de los actuales productos y propiedades de las especies para fines medicinales y alimenticias.

REFERENCIAS

FAO, 1999. Hacia una Definición Uniforme de los Productos Forestales No Madereros. Unasyuva 50 (198): 63-64.

INFOR, 2014. Productos Forestales No Madereros (PFNM). Boletín N° 22. Instituto Forestal. Santiago, Chile. 16 p.

INFOR, 2015a. Anuario Forestal 2015. Instituto Forestal, Chile. Boletín Estadístico N° 150. 160 p.

INFOR, 2015b. Productos Forestales no Madereros (PFNM). Boletín N° 24. Instituto Forestal. Santiago, Chile. 10 p.

Salinas, J.; Moya, I. y Gómez, C., 2012. Estudio de Productos Forestales No Madereros (PFNM) de la Región de Aysén. Programa de Investigación de Productos Forestales No Madereros. Instituto Forestal. Santiago, Chile. 43 p.

Salinas, J. y Benedetti, S., 2012. Monografía de Maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz. Programa de Investigación de Productos Forestales No Madereros. Instituto Forestal. Santiago, Chile. 58 p.

Valdebenito, G. y Aguilera, M., 2013. Antecedentes Silvícolas de *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz. Proyecto Plataforma de Sistematización y Difusión de Información Tecnológica de PFNM del Bosque Nativo. CONAF – INFOR. 31 p.



..... VI

EXPERIENCIAS DE FOMENTO

Capítulo 19

RESULTADOS DE PROGRAMA AGROFORESTAL NACIONAL EN EL FOMENTO A LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS AGROFORESTALES EN CHILE: UNA ALTERNATIVA PARA LA SUSTENTABILIDAD DE LA AGRICULTURA FAMILIAR CAMPESINA

Alvaro Sotomayor¹, Alejandro Lucero², Jaime Salinas³, Paola Jofré⁴, David Aracena⁵ y Renato Coda⁵

RESUMEN

La erosión constituye uno de los problemas ambientales más significativos del sector silvoagropecuario, se estima que existe una superficie de 37 millones de hectáreas con algún grado de erosión, casi el 50% del territorio nacional, y la mitad de esta superficie se encuentra en las categorías de erosión, severa o muy severa.

Una parte importante de esta superficie erosionada está en manos de la pequeña agricultura familiar campesina (AFC), la cual se enfrenta al problema de la degradación progresiva de los suelos y obligatoriamente deben someterlos a procesos productivos para generar cosechas agrícolas o producción animal, tanto para consumo propio como para venta.

Ante el desafío de lograr una mayor sustentabilidad en el uso de los suelos, en especial de la AFC, surge la agroforestería como una alternativa y oportunidad para que estos pequeños productores puedan obtener sus productos sustentablemente, reduciendo los procesos erosivos, dado que muchas veces trabajan en terrenos frágiles, normalmente de aptitud forestal, con rendimientos decrecientes y en consecuencia con rentabilidades cada vez más bajas.

El Instituto Forestal (INFOR) y el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) conscientes de la necesidad de generar y desarrollar nuevas alternativas productivas para sus usuarios, incorporando prácticas de manejo sustentable que a la vez les permitan mantener su condición de productores agropecuarios, iniciaron el año 2003 un Programa Agroforestal Nacional (PAN) con el propósito de estudiar y definir aquellos sistemas agroforestales que mejor puedan aplicarse en terrenos de pequeños propietarios, usuarios de INDAP.

Este programa, que se extendió hasta el año 2012, contempló la instalación de unidades demostrativas en zonas de secano interior entre las regiones de Coquimbo y Magallanes. Producto de las experiencias recogidas y de otro programa financiado por el Ministerio de Agricultura a INFOR, ha sido posible establecer una superficie de más de 1.150 ha con sistemas agroforestales, en predios de pequeños agricultores, la cual marcó el inicio del uso a escala productiva de estos modelos en la Agricultura Familiar Campesina.

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

2 Instituto Forestal (INFOR), Sede Bio Bío, Concepción, Chile

3 Instituto Forestal (INFOR), Sede Patagonia, Coyhaique, Chile.

4 Dr. Ciencias Forestales, Quebec, Canadá.

5 Instituto de Desarrollo Agropecuario, Santiago, Chile.

Se presentan en este capítulo los resultados obtenidos en este programa agroforestal, así como las principales conclusiones y recomendaciones para su implementación.

Palabras clave: Agroforestería, Agricultura Familiar Campesina

SUMMARY

Erosion is one of the most significant environmental problems in Forestry and Agricultural sector, it is estimated that an area close to 37 million hectares is under some erosion degree, almost half of the country area, and half of that degraded areas is under the severe o very severe erosion categories. An important part of this eroded lands is owned by small family farming and they face the problem of progressive degradation of the soils for agricultural use to produce for their own consumption and for sale.

Agroforestry is an alternative and opportunity for small forestry and agricultural producers, to make a comprehensive and rational use of natural resources, especially soil. In addition, agroforestry is not only an option to mitigate soils erosion, but also a productive alternative compared to traditional crops, which are often developed in areas suitable for forestry, with diminishing returns and therefore lower incomes.

INFOR and INDAP, aware of the need to generate and develop new alternatives for its users, conducted an Agroforestry Development Program between 2003 and 2012, in order to study those agroforestry systems which could better be applied in lands of small owners, who are clients of INDAP.

The program included the establishment of demonstration units in the dry inland areas between the Regions of Coquimbo and Magallanes. Valuable information was obtained generating agroforestry alternatives, which were subsequently implemented in lands of small farmers; an area of approximately 1.150 ha was established with agroforestry systems.

This chapter shows the management model applied and the results obtained as well as conclusions and recommendations for its implementation.

Key words: Agroforestry, Family farming, Small land owners.

INTRODUCCIÓN

La erosión constituye uno de los problemas ambientales más significativos del sector Silvoagropecuario (Bonilla *et al.*, 2009). Según CIREN (2010) existe una superficie de 36,9 millones de hectáreas con algún grado de erosión (48,9% del territorio nacional), de las cuales 18,1 millones se encuentran en las categorías de erosión, severa o muy severa. Parte importante de esta superficie erosionada está en manos de la pequeña agricultura familiar campesina (AFC), la cual se enfrenta al problema de la degradación progresiva de los suelos de uso agropecuario, los que obligatoriamente deben someterlos a procesos productivos para generar cosechas agrícolas o producción animal, tanto para consumo propio como para venta.

En este desafío de lograr una mayor sustentabilidad agroambiental de los suelos agropecuarios explotados por la AFC, surge la agroforestería o sistemas agroforestales como una alternativa y oportunidad para que estos pequeños productores puedan hacer un uso integral y racional de sus suelos, mitigando al mismo tiempo los procesos erosivos y constituyendo una alternativa productiva frente a cultivos tradicionales, que se desarrollan muchas veces en terrenos frágiles, normalmente de aptitud forestal, con rendimientos decrecientes y por consecuencia con rentabilidades cada vez más bajas.

Entre los años 2003 y 2012, el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) y el Instituto Forestal (INFOR), aunaron esfuerzos tendientes a desarrollar y fomentar sistemas agroforestales, con el propósito que los pequeños productores silvoagropecuarios, usuarios de INDAP, tuvieran la opción de aplicarlos en sus unidades productivas (predios), de modo tal que el uso de los recursos naturales existentes en esas unidades, especialmente el suelo, fuesen utilizados de manera sustentable, de acuerdo a sus potencialidades y limitaciones.

Los sistemas agroforestales permiten la interacción del uso forestal, ganadero y agrícola en un mismo sitio y buscan la optimización de la producción del suelo y, a su vez, aumentar la rentabilidad como sistema de uso integrado, considerando la sustentabilidad en el aprovechamiento de los recursos naturales presentes.

El sector agrícola y ganadero en la pequeña propiedad, presenta una serie de factores que influyen negativamente en su competitividad; entre ellos los principales son, la escasa oferta y desarrollo tecnológico, un mercado interno sujeto a la competencia con mercados externos beneficiados con tratados internacionales, el escaso financiamiento y poder adquisitivo para implementar mejoras tecnológicas, y la pérdida de productividad por erosión de los suelos. En zonas de secano, se suma a los anteriores factores, la falta de riego, los suelos degradados, el escaso capital, su aislamiento geográfico y el reducido tamaño de la propiedad campesina. Estos factores negativos hacen prioritario que los propietarios aprovechen al máximo la productividad de sus sitios con un desarrollo integral de todos los sistemas operacionales del predio y que sean capaces de balancear a largo plazo los aspectos sociales, económicos y ambientales de la agricultura.

Para alcanzar este objetivo es necesario desarrollar nuevas alternativas de fuentes de ingresos para que los productores puedan mantenerse trabajando la tierra, evitando la migración y abandono de las tierras, y que las comunidades rurales puedan sustentarse en el tiempo. Para esto es necesario utilizar innovaciones tecnológicas que permitan contrarrestar la acción perjudicial de los principales factores limitantes mencionados que pueden actuar negativamente sobre la pradera y otros cultivos, los árboles y los animales.

De acuerdo a las metas fijadas por el Ministerio de Agricultura en 2010, para ayudar al fortalecimiento, desarrollo y productividad de la AFC, se debe trabajar en la diversificación de la producción, en la forestación campesina y los incentivos a esta, y en facilitar un mayor acceso a la tecnológica, entre otros aspectos.

Sobre la base del diagnóstico general anterior y de las metas del Ministerio de Agricultura, INDAP e INFOR se concentraron en buscar alternativas de diversificación de la producción para los pequeños propietarios, que tornen más atractiva su actividad productiva, tomando en cuenta aspectos culturales, de rentabilidad y de sustentabilidad. Entre las alternativas que

pueden cumplir con estos fines se encuentra el uso de sistemas agroforestales. Estos ayudan a diversificar la producción, protegen el recurso suelo y el agua, y reinseran al árbol en su medio cultural. Un sector agrícola más diversificado puede significar para los productores tener mejores alternativas, seleccionar aquellas más rentables y sustentables, incluyendo tecnologías que entre otras pueden ser aquellas agroforestales de última generación. Es por ello que INDAP e INFOR se unieron en la búsqueda de nuevas alternativas productivas, mejores capacidades tecnológicas, y en la transferencia de conocimientos que permitan en conjunto dar soluciones innovadoras al quehacer productivo de los pequeños productores silvoagropecuarios.

El manejo agroforestal, en especial el uso silvopastoral, entendiéndose como aquel manejo que combina los usos ganadero y forestal en un mismo sitio con el objetivo de aumentar la productividad del suelo, puede ser un mecanismo que posibilite un salto productivo - tecnológico para los pequeños propietarios. Además, este tipo de manejo, adaptado a la ingeniería de restauración del medio ambiente, es una forma de aumentar la productividad de los sitios, diversificando la producción, aumentando las oportunidades de ingresos y disminuyendo la incertidumbre económica en los predios ganaderos y forestales. Los árboles, en su manejo silvícola, se deben manejar de forma que puedan producir madera de alta calidad y, además, provean protección al ganado, a la pradera y a los cultivos, de modo de aumentar la productividad del sistema en su conjunto (Sotomayor, 2009).

Para desarrollar este tipo de sistemas de manejo integrado se requiere adecuar y perfeccionar las capacidades tecnológicas existentes y buscar los mecanismos más adecuados de asociación tecnológica y empresarial. La oferta de conocimiento científico y empírico es suficiente para que comiencen a generarse cambios en la modalidad de las actividades agropecuarias y forestales. No obstante, aunque existen antecedentes y experiencias que se pueden replicar y transferir, aún es necesario mayor avance en investigación y desarrollo específico en este tipo de manejo.

La modificación del DL N° 701 ocurrida en 1998, fue una oportunidad que hizo más factible este tipo de producción mixta o integrada, dado que incorporó incentivos para cortinas cortavientos y para forestaciones a densidades bajas de plantación apropiadas para sistemas silvopastorales. Además, estaban los incentivos legales para la recuperación de suelos degradados, que pueden ayudar a la recuperación de praderas sobreexplotadas y/o degradadas.

Además de los beneficios productivos que tienen estos sistemas silvopastorales, hay otros de carácter ambiental, entre los que se pueden mencionar (Sotomayor, 2009):

- Agua. Los árboles reducen la velocidad de las gotas de lluvia al interceptarlas con sus copas y permiten una mayor infiltración y regulación del agua. Las raíces ayudan a filtrar contaminantes de las aguas de escorrentía y aguas subterráneas.
- Aire. Los árboles reducen los olores y el polvo en las áreas donde se concentran los animales. También mitigan los efectos del cambio climático, al ser los árboles un sumidero de CO₂.
- Suelo. El follaje de los árboles reduce la velocidad de las gotas de lluvia previniendo la erosión y ayudando a infiltrar el agua en el suelo, y las raíces ayudan a retener el suelo.
- Vida Silvestre. Los sistemas que integran árboles y praderas proveen un hábitat diverso

y refugio y protección para muchas especies animales terrestres. Los peces y otros animales acuáticos en tanto se benefician del control de la erosión y de la filtración de potenciales contaminantes.

- Plantas. Los árboles en un ambiente agrícola proveen mayor diversidad, fortaleciendo al ecosistema y haciéndolo más saludable que en sectores donde predominan los monocultivos agrícolas.
- Humanos. Los árboles crean un paisaje estéticamente más agradable, morigeran el clima y proveen fuentes de ingresos y actividades económicas.

Los sistemas agroforestales desarrollados mediante la cooperación INDAP - INFOR, durante el periodo 2003 – 2012, fueron una alternativa de combinación productiva y estabilidad para aquellos propietarios que viven de rubros tradicionales (trigo, leguminosas y ganadería extensiva), en terrenos degradados o en vías de degradación, contribuyendo con esto a aminorar los constantes procesos de migración de la población rural hacia centros poblados en búsqueda de mejores oportunidades.

En este capítulo se muestra una reseña de lo que significó este trabajo interinstitucional (INFOR, 2013).

OBJETIVO

Diseñar, implementar y transferir modelos agroforestales que promuevan un desarrollo sustentable de la agricultura campesina, entre las regiones del Maule y Aysén.

METODOLOGIA

El desarrollo del Programa Agroforestal Nacional se basó en la realidad de las actividades de los pequeños productores silvoagropecuarios, caracterizadas por negocios de precaria rentabilidad, muy dependiente de los precios; por una insegura accesibilidad a los mercados; y por escasa tecnología, situación que se ve agravada por otros factores, como la atomización de la propiedad, la frecuente falta de regularización de títulos de dominio, la degradación de sus suelos y una mayor susceptibilidad a oscilaciones climáticas, como sequías y heladas.

La orientación del programa se centró en un desarrollo tecnológico basado en la combinación del uso forestal y agropecuario, en general incorporando los árboles en forma compatible con actividades agrícolas y/o ganaderas, o incorporando estas últimas, principalmente la ganadera, a bosques plantados o bosques nativos ya existentes, manejándolos para estos efectos. Estas combinaciones generan una sinergia en la que las distintas componentes del sistema resultan mutuamente beneficiadas, tanto en términos ambientales como en términos productivos, se diversifica la producción, se asegura una mayor protección de los recursos suelos y aguas, y se mejora el entorno en materia de paisaje y clima para los habitantes y en materia de hábitat, tanto para los animales domésticos como para la vida silvestre. Así, en un mismo sitio se generan dos o más productos, disminuyendo el riesgo ante cambios de mercado o climáticos, y se impulsa un desarrollo económico más sostenible y amigable con el medio ambiente en los predios de pequeños propietarios.

Se desarrolló básicamente un trabajo participativo entre las instituciones (INDAP e INFOR) con los pequeños productores silvoagropecuarios y con operadores asesores, y se estructuró en cuatro actividades secuenciales y dependientes.

Etapas I. Diseño de Modelos Agroforestales

En esta etapa las actividades o acciones estuvieron dirigidas a la obtención de:

- Recopilación y sistematización de información científica y empírica, nacional e internacional.
- Caracterización de tipologías productivas por Distritos Agroclimáticos de las unidades prediales.
- Análisis de los instrumentos de fomento e incentivos nacionales.
- Diseño e instalación de Unidades Demostrativas Agroforestales, según condición agroecológica.
- Evaluación y monitoreo tecnológico de las diferentes Unidades Demostrativas instaladas.
- Diseño y Empaquetamiento tecnológico de modelos de sistemas agroforestales para su fomento.
- Difusión de los resultados.

Etapas II. Implementación de Módulos Agroforestales de Investigación y Demostrativos

Luego del diseño y preparación de los paquetes tecnológicos agroforestales, se seleccionaron aquellos con mayor perspectiva de desarrollo y adopción por la AFC, validados en talleres participativos, para la implementación de módulos experimentales y operacionales, que serán evaluados y mejorados constantemente, al igual que módulos demostrativos que permitan su utilización en actividades de transferencia. El diseño y magnitud de los módulos fue propuesto y acordado entre INDAP e INFOR luego del término de la Etapa I.

Etapas III. Evaluación y Validación de Módulos y Preparación de Paquetes Tecnológicos

Se evaluaron los módulos agroforestales implementados en la Etapa anterior, con fines demostrativos y experimentales, para su validación y se preparó la versión mejorada de los paquetes tecnológicos agroforestales. En estos paquetes tecnológicos agroforestales, que fueron evaluados y validados, se establecieron los sistemas indicados a continuación, los cuales pueden ser revisados en más detalle en RAN (2015).

- **Sistema Silvopastoral:** Los sistemas silvopastorales, o silvopastoreo, son una práctica agroforestal que combina árboles y/o arbustos, con praderas y ganado en un mismo sitio, con el objetivo de obtener productos forestales madereros y no madereros (como madera, leña, carbón, frutos, miel, hongos y otros), productos derivados del ganado (carne, lana, leche y otros), y forraje de la pradera (Sotomayor, 1989).

- **Sistema Agrosilvícola:** Los Sistemas Agrosilvícolas son una práctica agroforestal que consisten en combinar árboles y/o arbustos con cultivos agrícolas en la misma unidad predial, estableciendo los cultivos agrícolas en forma de callejones entre las hileras de árboles. Los espacios entre los árboles deben ser amplios para establecer cómodamente los cultivos, pudiendo variar por ejemplo de 3 a 25 m, dependiendo de los tipos de árboles y cultivos agrícolas a utilizar. Los árboles más usados en Chile para este tipo de sistemas son álamo, castaño, encino, cerezo, nogal, pino y otros, combinados con cultivos como maíz, porotos, trigo, cebada y arvejas, entre otros.
- **Cortinas Cortavientos:** Las cortinas forestales cortavientos o de protección, son otra de las alternativas que ofrecen las prácticas agroforestales para ser utilizadas por los agricultores con fines productivos y de protección ambiental. Se definen como el establecimiento de una o más hileras de árboles y/o arbustos dentro de un predio. El principal objetivo del establecimiento de una cortina forestal es proteger las áreas próximas a esta, ya sea para disminuir la velocidad del viento, entregando protección a los cultivos, ganado o construcciones, para proteger el suelo disminuyendo la erosión y, para protección de los cursos de agua.
- **Sistema para Protección de Suelo y Agua:** El programa ha promovido con este sistema la protección de riberas y cursos de agua llamado también *Riparian Buffer*, que consiste en la protección del nacimiento, riberas y curso de agua en unidades prediales, y la recuperación del cauces degradados cuando esto se requiera. Se trata de evitar la degradación de los cauces, las pérdidas de suelo y de calidad del agua, y el embancamiento de los cursos aguas abajo por efecto de la erosión y arrastre de sedimentos. Principalmente consiste en la forestación con especies leñosas y la siembra de herbáceas en áreas colindantes a cursos de agua y la intervención de las riberas del cauce con protección vegetal y mecánica (INFOR, 2013).
- **Otros:** Se ha comenzado a definir, estudiar y fomentar el uso de huertos melíferos con especies arbóreas, con fines de producción de miel, y el uso de herramientas de ordenación predial para el diseño de los sistemas propuestos.

Etapas IV. Divulgación y Masificación de los Modelos Agroforestales

Con la versión mejorada de los modelos agroforestales, se fortaleció la etapa de masificación de estos insertándolos en los programas de transferencia tecnológica del Ministerio de Agricultura, tanto por parte de CONAF como de INDAP.

Utilizando los instrumentos de fomento, en especial el DL.701 de Fomento Forestal y el Programa de Recuperación de Suelos Degradados (SIRSD), se procedió a divulgar estas alternativas validadas, con apoyo de operadores, para su implementación en predios de la Agricultura Familiar Campesina.

RESULTADOS

Visitas y Prospección Agroforestal Tecnológica

Se realizaron visitas a unidades experimentales y demostrativas realizadas por diversas instituciones, desde Coquimbo hasta Magallanes, que tuvieron como objetivo el conocimiento y evaluación de estas para la generación de propuestas a la implementación de sistemas productivos agroforestales y de recuperación de suelos degradados. Estas unidades fueron establecidas por diversas instituciones, como INFOR, CONAF, Prodecop-Secano y la Universidad Austral. Fueron visitadas 17 unidades; 1 en la región de O'Higgins, 7 en Maule, 3 en Bio Bio, 2 en Los Ríos, y 4 en Aysén. Junto a ello se realizó un levantamiento de información agroforestal desde fuentes primarias y secundarias, para capturar los principales avances agroforestales en Chile y en el mundo.

Actividades de Capacitación y Transferencia Tecnológica

Con el fin de preparar operadores y profesionales en el establecimiento y manejo de sistemas agroforestales para apoyar a los productores en su implementación, se realizaron las siguientes actividades de transferencia tecnológica:

- **Cursos de Agroforestería:** Para profesionales técnicos de INDAP y operadores, entre las regiones de Maule y Aysén. Se realizaron 14 cursos, con una asistencia total de 296 personas.
- **Talleres de Trabajo Agroforestal:** Para profesionales de INDAP. Se realizaron talleres en las regiones de Maule y La Araucanía VII y IX, uno en cada región, con asistencia de 25 personas en total.
- **Días de Campo:** En las regiones de Maule, Bio Bio y Aysén se visitaron unidades demostrativas con profesionales de INDAP, CONAF, INIA, INFOR y agricultores. En total fueron 14 días de campo, con participación de aproximadamente 150 personas.
- **Charlas Técnicas:** Se realizaron 20 charlas de este tipo en las regiones de Bio Bio, La Araucanía y Los Lagos en la que participaron agricultores y profesionales de INDAP, en total 238 personas.
- **Seminarios de Agroforestería y Diversificación Forestal:** Se realizaron en la región de Aysén (1 en Coyhaique) y en la región de La Araucanía (1 en Los Sauces), ambos de una duración de 2 días.
- **Congreso Internacional Agroforestal de la Patagonia:** En conjunto con el INTA de Argentina, con asistencia de 80 profesionales e investigadores.
- **Seminario Agroforestal en la Región del Bio Bio:** Con apoyo de la Universidad de Concepción y una asistencia de 120 profesionales, investigadores y usuarios.
- **Apoyo a Operadores y Propietarios:** Entre los años 2005 y 2013 se brindó apoyo directo a operadores en la captación de 250 agricultores interesados en establecer sistemas agroforestales, entre las regiones de Maule y Aysén, de los cuales 25 hicieron

presentaciones de Estudios Técnicos de Calificación, con fines silvopastorales, cortinas corta viento y recuperación de suelos degradados.

- **Material de Difusión:** Se diseñaron y publicaron siete cartillas divulgativas agroforestales, que contienen material técnico y divulgativo (Cartillas disponibles en RAN, 2015).

Cartilla Agroforestal N° 1: Modelos Agroforestales.

Cartilla Agroforestal N° 2: Sistemas Silvopastorales

Cartilla Agroforestal N° 3: Sistemas Agrosilvícolas.

Cartilla Agroforestal N° 4: Beneficios Ambientales de la Agroforestería

Cartilla Agroforestal N° 5: Cortinas Cortaviento

Cartilla Agroforestal N° 6: Ordenación Predial y Agroforestería

Cartilla Agroforestal N° 7: Protección y Recuperación de Riberas y Cursos de Agua.

Instalación Unidades Experimentales y Demostrativas

Se establecieron las unidades que a continuación se indican (información disponible en RAN, 2015):

- **Unidad Agroforestal Los Aromos.** Comuna de Cauquenes, Región del Maule. Su diseño conceptual fue bajo el concepto de ordenación predial, y en ésta se establecieron sistemas silvopastorales con *Pinus radiata*, *Acacia caven* y *Eucalyptus sp.*; sistema agrosilvícola con quillay, tagasaste, *Acacia saligna* y *Acacia dealbata*; sistema de protección de riberas y cursos de agua; sistema de protección y recuperación de suelos; y sistemas forestales de producción y protección de suelos con las especies *Pinus radiata* y *Eucalyptus camaldulensis*.
- **Unidad Agroforestal Buenos Aires.** Comuna de Portezuelo, Región del Bio Bio. Se establecieron sistemas silvopastorales con *Eucalyptus globulus*, y mezcla de *Eucalyptus camaldulensis* - *Cupressus macrocarpa* - *Eucalyptus globulus*; sistema de recuperación de suelos y protección de riberas; y bosque con fines madereros de pino radiata.
- **Unidad Agroforestal Hualqui.** Región del Bio Bio. Unidad Demostrativa con fines de protección y recuperación de riberas y cursos de agua. Se probaron diversas especies de *Salix* y *Acacia*, en combinación con medidas físicas y tratamientos de riberas.
- **Unidad Agroforestal Los Álamos.** Comuna de Los Álamos, Región del Bio Bio. Diseños de sistemas silvopastorales con cinco densidades en callejones, entre 454 a 1.111 árb ha⁻¹, con pino radiata y *Eucalyptus globulus*, y cortinas cortavientos con 2 a 4 hileras y diversas especies.
- **Unidad Agroforestal Amargo.** Provincia de Malleco, Región de la Araucanía. Experiencia con sistema silvopastoral con *Eucalyptus nitens* y pradera establecida.
- **Unidad Agroforestal Polizones.** Comuna Fresia, Región de Los Lagos. Unidad planificada bajo ordenación predial, con sistemas agrosilvícolas con mezcla de especies nobles, como castaño y cerezo con arándano; sistema silvopastoral con

Eucalyptus nitens; sistema silvopastoral con mezcla de pino oregon – *Eucalyptus nitens*, y cortinas cortavientos con pino oregon.

- **Unidad Agroforestal Rapahue.** Comuna de Los Lagos, Región de Los Ríos. Se estableció una red de cortinas cortavientos, con *Acacia sp.*, y *Pinus pinea*; un sistema silvopastoral con *Pinus radiata*; un huerto frutal con diferentes variedades de manzanos, y un área de recuperación y protección con especies nativas.
- **Unidad Agroforestal San Gabriel.** Comuna de Coyhaique, Región de Aysén. Se establecieron sistemas silvopastorales, con *Pinus contorta*, bajo ordenación en fajas y en distribución uniforme, los cuales se comparan con un sistema forestal manejado con la misma especie y un sistema ganadero sin árboles.



Figura N° 1

MANEJO SILVOPASTORAL CON PINO RADIATA Y SIEMBRA DE PRADERA CON LEGUMINOSAS Y GRAMÍNEAS, UNIDAD LOS AROMOS, COMUNA DE CAUQUENES, REGIÓN DEL MAULE, CHILE.

CREACIÓN Y MANTENCIÓN DE RED AGROFORESTAL NACIONAL (RAN)

Se crea una página WEB, www.agroforesteria.cl (RAN, 2015), que se carga y actualiza con toda información generada por el programa, la cual está disponible para todos los interesados y es consultada en el ámbito nacional e internacional.

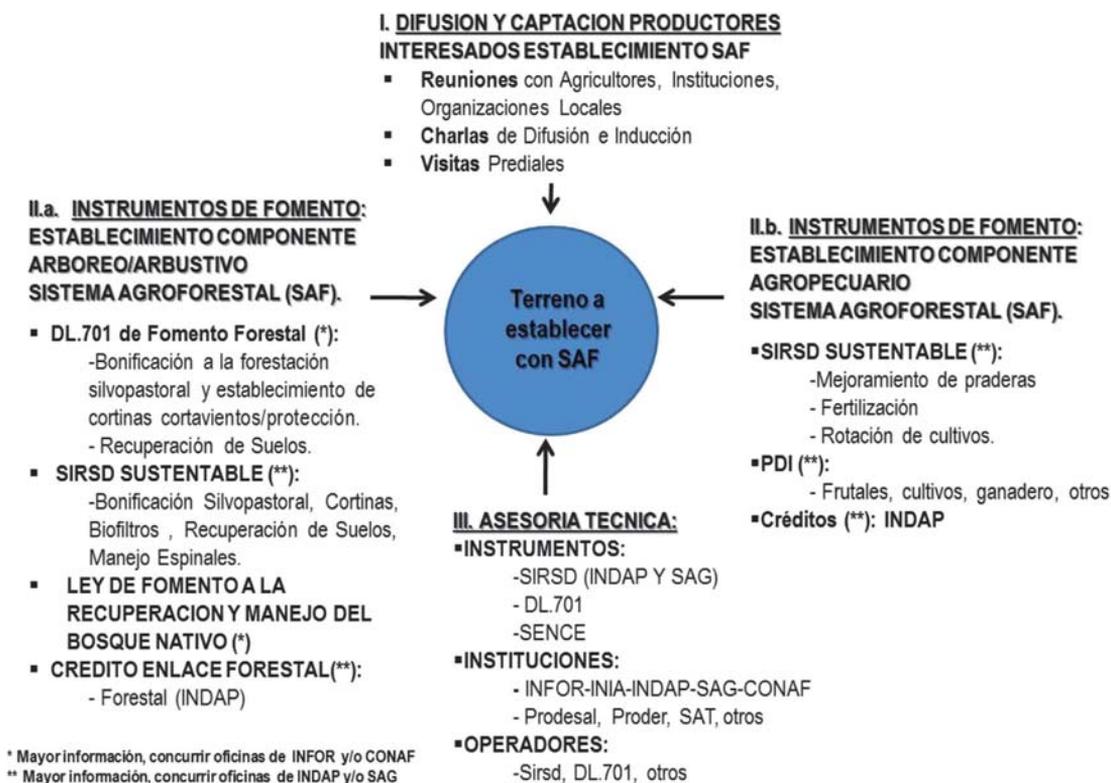
ESTRATEGIA DE FOMENTO AL ESTABLECIMIENTO DE SISTEMAS AGROFORESTALES

Junto con promover el establecimiento de sistemas agroforestales y desarrollar actividades de capacitación a profesionales, operadores y productores, se buscó diseñar y evaluar un Modelo de Gestión Agroforestal (Figura N° 2), analizar la aplicación y uso de los instrumentos de fomento que consideran la alternativa agroforestal entre su oferta de financiamiento y, finalmente, evaluar tanto las especificaciones técnicas de cada sistema como su resultado.

El Modelo de Gestión considera los siguientes aspectos:

- Difusión de Programa Agroforestal Nacional (PAN) y de los sistemas agroforestales

- Capacitación a productores y profesionales
- Uso y evaluación de instrumentos de fomento.
- Implementación y monitoreo de los sistemas agroforestales instalados.



**Figura N° 2
MODELO DE GESTIÓN TÉCNICA PARA ESTABLECIMIENTO DE SISTEMAS AGROFORESTALES**

A través de este modelo, se promueve los sistemas agroforestales diseñados en la Etapa I, entre productores de las regiones de Coquimbo a Aysén, para su establecimiento en propiedades silvoagropecuarias privadas. En el establecimiento se utilizó recursos provenientes de instrumentos de fomento silvoagropecuario, que administran diversas instituciones del Ministerio de Agricultura, como:

- Programa Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios (SIRSD-S) que administran INDAP y SAG.
- Ley de Fomento Forestal (DL.701), que administra CONAF.
- Ley de Fomento al Bosque Nativo, que administra CONAF.
- Otras alternativas en forma directa.

Junto al uso de estos instrumentos de fomento, para difundir y apoyar el establecimiento de sistemas agroforestales, se establecen acciones de asistencia técnica, tanto a profesionales del sector privado y del sector público como a productores silvoagropecuarios, abarcando desde el diseño y planificación de sistemas agroforestales hasta su establecimiento. Además, se considera dentro de la capacitación la confección de planes de manejo requeridos para acceder a estos instrumentos de fomento, ya que son los profesionales asesores quienes deben presentar los planes de manejo, para captar los beneficios y bonificaciones establecidos en estos cuerpos legales. El establecimiento está a cargo de operadores y productores asesorados y capacitados por INFOR.

Este modelo de gestión para el establecimiento de sistemas agroforestales en el país, basado en la difusión, capacitación y utilización de los instrumentos de fomento indicados, considera además el acompañamiento de instituciones como INFOR, INDAP, SAG y CONAF, en capacitación y asistencia técnica.

Para la validación de este modelo, INFOR ha actuado como institución coordinadora, capacitando a profesionales de las instituciones mencionadas; a operadores privados que actúan como forestadores; a instituciones relacionadas con las Municipalidades, como PODEFOR, PRODESAL, Desarrollo Rural; y en forma directa a productores y organizaciones campesinas.

En el modelo INFOR articula relacionando al operador con el productor y con las instituciones de fomento y municipios para lograr el establecimiento agroforestal, pero no realizó actividades de establecimiento de SAF por gestión propia.

Para evaluar los resultados del Modelo de Gestión y sus resultados en superficie y calidad de la forestación, INFOR realizó un monitoreo de los trabajos en los predios año a año en las regiones de trabajo. Se exponen a continuación los pasos y actividades de este Modelo de Gestión Agroforestal.

- **Vinculaciones con Autoridades Regionales, Organismos Públicos y Privados, Municipalidades, Organizaciones Campesinas y Propietarios**

Reuniones con los Gabinetes Regionales del Agro, presididos por los Secretarios Regionales Ministeriales de Agricultura, en los que participan Directores Regionales de Servicios, con el objeto de validar el programa y focalizar sus acciones en el territorio.

Contactos en el ámbito provincial y comunal con los servicios del Agro en cada y con los estamentos municipales, como Departamentos de Desarrollo Rural, PRODESAL, PRODER y otros, para conformar los equipos de trabajo a nivel provincial o comunal.

Se continúa con contactos con los actores locales en las comunas prioritarias y los territorios y sectores donde se focaliza el accionar.

Selección de los operadores especialistas, capacitados por el PAN sobre los diversos instrumentos de fomento y aspectos técnicos de establecimiento y manejo de sistemas agroforestales.

La selección de operadores se efectuó en consulta con INDAP, CONAF y SAG, para tener mayor información sobre los operadores que trabajan en los distintos territorios.

- **Difusión del Programa y de los Sistemas Agroforestales para Incentivar su Uso por parte de los Productores**

Luego de la selección de las comunas y territorios a trabajar es necesario difundir el programa entre los agricultores y operadores, y para esto se cumplen los siguientes pasos:

Se planifican charlas de inducción en conjunto con los Servicios del Agro, PRODESAL, SAT (Servicios de Asesoría Técnica) y Organizaciones de Campesinos.

En estas charlas se entregan antecedentes sobre conceptos, clasificación, ventajas, resultados y beneficios de los sistemas agroforestales, y se visitan sistemas demostrativos ya implementados.

Luego de las charlas de inducción y captación de interesados se realiza la inscripción de los estos para establecer sistemas agroforestales.

- **Capacitación a Operadores y Profesionales**

Paralelamente a las difusiones realizadas, para captar interés de los agricultores, se comienza con la capacitación de profesionales de las instituciones del Agro y de operadores, profesionales y técnicos que asesoran a los agricultores.

Se desarrollan cursos de dos días para estos profesionales, que incluyen los siguientes aspectos principales:

Conceptos teóricos en sala:

Introducción a la agroforestería, conceptos y sistemas usados en Chile.

Planificación y ordenamiento predial.

Diseño, establecimiento y manejo de sistemas silvopastorales, cortinas cortavientos, *riparian buffers* y sistemas agrosilvícolas.

Beneficios ambientales de los sistemas.

Instrumentos de fomento existentes para el establecimiento de los sistemas.

Día de Campo:

Visita a experiencias agroforestales en el territorio, que contempla la explicación de los sistemas instalados en la unidad demostrativa y la discusión en terreno donde se aclaran dudas, actividad que se enriquece con las experiencias propias de los asistentes.

- **Capacitación a Productores**

Luego de la captación e inscripción de los agricultores interesados en participar en el programa, se realiza una capacitación a estos para entregar los principales conceptos, demostrar resultados y métodos, y analizar los sistemas de financiamiento disponibles.

Se capacita a los productores para que estos tengan la posibilidad de establecer el sistema seleccionado y la información necesaria para interactuar con los operadores que lo establecen.

Se desarrollan cursos de un día, cuyo contenido es similar al ya descrito para el caso de operadores y profesionales, pero con un énfasis más práctico y abundante apoyo audiovisual.



Figura N°3
CURSO A PRODUCTORES EN COMUNA DE CHANCO, REGIÓN DEL MAULE

- **Visitas Programadas a Propietarios Inscritos**

De acuerdo al registro de productores interesados se programan las visitas para conocer los predios, los terrenos disponibles y los intereses de los productores, y así determinar de manera participativa cuál de los sistemas agroforestales es el más adecuado a su sitio y sus intereses.

En estas visitas se recopila toda la información necesaria para el diseño de las propuestas y la confección de los posteriores planes de manejo. Se toman datos de puntos geo referenciados (GPS), fotografías, medidas referencia en terreno y otros antecedentes.

- **Desarrollo de la Propuesta de Sistema Agroforestal a Implementar**

De acuerdo con la información reunida en las visitas indicadas, el equipo técnico de

INFOR, junto con el operador, procede a:

Elaborar la propuesta técnica, considerando información edafoclimática y de especies adaptadas en la zona, propuesta que será incorporada en un Plan de Manejo Agroforestal, trabajo apoyado con sistemas computacionales y tecnológicos (GPS trackmaker, Google Earth, planillas, otros).

Efectuar un análisis de costos para revisar el modelo y los instrumentos de fomento a los cuales optar.

- **Presentación de la Propuesta al Propietario**

Luego de consensuar la propuesta con el operador, esta se presenta al propietario con el fin de ajustarla a sus intereses si es necesario, se obtiene así la propuesta consensuada, ratificada por la firma del propietario, y se inicia la elaboración del plan de manejo correspondiente.

- **Elaboración de Plan de Manejo**

Se elabora plan de manejo acorde con las exigencias de la fuente de financiamiento a que se opta y se efectúa la presentación formal a esta. La presentación del plan de manejo a DL.701, SIRSD, o Ley de Fomento BN, se define en conjunto con el operador y el propietario, según conveniencia técnica y económica. En el caso de no presentarlo a fuentes de financiamiento, se elabora el plan de trabajo considerando otras fuentes de financiamiento.

Cuando el plan se presenta a instrumentos de fomento, es preciso considerar los tiempos de evaluación que las instituciones que los administran contemplan y, en el caso que se trate de concursos para el financiamiento, se debe tener especial cuidado con las fechas para la presentación de la documentación requerida. En conjunto con el operador se hace el seguimiento de la tramitación del plan de manejo en la institución correspondiente.

- **Implementación de los Sistemas Agroforestales**

La implementación de los planes de manejo o sistemas agroforestales planificados se realizó a través de dos modalidades, dependiendo del financiamiento de estos.

Para aquellos propietarios acogidos a financiamiento a través de Instrumentos de Fomento se procedió de la siguiente manera:

INFOR efectúa visita a terreno con el operador y el propietario para verificar los diseños propuestos, los métodos de establecimiento y posibles ajustes en terreno.

Supervisión en el proceso de establecimiento de los sistemas por parte del operador y el propietario

Revisión post-establecimiento.

Estudio de prendimiento y evaluación de resultados.

Para aquellos propietarios no acogidos a financiamiento a través de instrumentos de

fomento, dado que no pueden acceder a estos por situaciones legales, como títulos de dominio no regularizados u otras, INFOR con el apoyo del MINAGRI produce plantas para apoyar su establecimiento y/o gestiona la donación de plantas por parte de empresas privadas forestales y/o CONAF. Se establece un cronograma de trabajo e INFOR acompaña directamente la implementación del sistema de la siguiente forma: Visita a terreno en conjunto con el propietario, para verificar los diseños propuestos, los métodos de establecimiento y posibles replanteamientos en terreno.

Apoyo con plantas y supervisión, y en este caso los agricultores establecen los cercos y disponen de personal para la plantación.

Supervisión en el proceso de establecimiento de los sistemas.

Revisión post-establecimiento.

Evaluación de resultados.

- **Evaluación de los Resultados del Establecimiento de los Sistemas Agroforestales**

INFOR evaluó, en los meses de diciembre y marzo de cada año, el estado de establecimiento de los sistemas en los predios seleccionados y con convenio establecido con los propietarios, determinando el prendimiento de las plantaciones para definir eventuales replantes al año siguiente y supervisando el desarrollo y cuidados posteriores.

RESULTADOS DEL FOMENTO AL ESTABLECIMIENTO DE SISTEMAS AGROFORESTALES

Luego de tener los resultados de la investigación realizada en diversos ambientes y con diferentes sistemas agroforestales y especies adaptadas por zonas agroclimáticas, desde zonas áridas a zonas frías de Chile, y haber preparado los paquetes tecnológicos agroforestales para su difusión, utilizando el Modelo de Gestión Agroforestal se fomentó su uso entre los años 2006 y 2013, se trabajó con alrededor de 1.600 productores y se logró la forestación de 1.159,5 ha entre las regiones de Coquimbo y Magallanes (Cuadro N° 1), siendo la especie más plantada el pino radiata.

Los pequeños propietarios participantes en el proyecto, estuvieron dispuestos a establecer árboles en sus terrenos en alguna forma de arreglo agroforestal, con un promedio de 0,7 ha por propiedad rural, dado que esta alternativa de forestación es considerada por los agricultores menos invasiva y más cercana a sus tradiciones agrícolas que una forestación tradicional con fines industriales, ya que les permite seguir estableciendo cultivos y criando animales, y produciendo madera, y a su vez les permite continuar viviendo en sus predios y obtener ingresos y alimentos para su grupo familiar. Esto es coincidente con estudio realizado por Sotomayor *et al.* (2009), donde los agricultores expresaron que preferían establecer árboles en sus predios bajo sistemas silvopastorales, y otros como cortinas cortavientos, en vez de sistemas tradicionales de plantación forestal con fines industriales, dado que estas últimas al ser a altas densidades les impide un uso forestal-ganadero en dichos sitios, en tanto que los sistemas silvopastorales les permitían continuar con su manejo pecuario en combinación con árboles.

Los sistemas más aceptados fueron el silvopastoral y las cortinas cortavientos principalmente con fines de producción de forraje para animales, con un 44,4 y 43,7%,

respectivamente, del total establecido por el programa. Esta preferencia está dada principalmente porque los terrenos donde es factible establecer árboles en las propiedades rurales están en situaciones de laderas, sin riego, donde tradicionalmente han manejado praderas naturales de bajo valor productivo con fines ganaderos o han practicado cultivos de cereales de secano, por lo cual ha sido más fácil transformarlo a una producción silvopastoral. Las cortinas cortavientos son otro modelo interesante para áreas de cultivos agropecuarios y praderas afectadas por el viento, especialmente en zonas insulares o cercanas al mar, dado que los productores reconocen su importancia en el aumento de la productividad de sus cultivos y ganadería.

**Cuadro N° 1
SISTEMAS AGROFORESTALES ESTABLECIDOS EN PEQUEÑAS PROPIEDADES AGRÍCOLAS
AÑOS 2006 A 2013**

Sistema Agroforestal	Superficie Agroforestal Establecida pos Año y Sistema						Total
	2006	2007	2008	2011	2012	2013	
	(ha)						
Silvoagrícola	6,7	26,3	10	20,5	-	-	63,5
Silvopastoral	162,2	112,5	66,6	78,9	74,9	24	519,1
Cortina cortaviento	12,5	97,7	35	201,3	140,3	21,5	508,3
Protección de riberas	-	3,5	10	0,5	1,3	-	15,3
Bioenergía	-	10	5	-	16,9	0,3	32,2
Apicultura	-	-	-	16,8	4,3	-	21,1
TOTAL	181,4	250	126,6	318	237,7	45,8	1.159,5

(INFOR, 2013)



**Figura N° 4
ENTREGA DE PLANTAS Y CAPACITACIÓN EN CALIDAD DE PLANTAS
JUNTA DE VECINOS DEL SECTOR DE FUTA, COMUNA DE CORRAL, REGIÓN DE LOS RÍOS**

PROBLEMAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE SISTEMAS AGROFORESTALES

Como fue posible apreciar en el Capítulo 12, un alto porcentaje (93,1%) de propietarios encuestados manifiestan su interés por establecer sistemas agroforestales en la regiones de Biobío y La Araucanía, cosa que también ocurre en la región de Aysén, en especial en el caso

de las cortinas cortavientos, y aprecian sus beneficios, principalmente en términos de mejorar el ingreso familiar, incorporar una nueva fuente de trabajo en el predio y aumentar su productividad, además de proteger los suelos.

Sin embargo, también señalan diversos problemas que les impiden o les dificultan establecer sistemas agroforestales. En las regiones de Biobío y La Araucanía los principales problemas radican en la falta de financiamiento (47,9%) y la escasa superficie predial (97,2% en La Araucanía). Otros problemas mencionados se refieren a desconocimiento de tecnología para hacerlo, a que no pueden hacerlo solos por razones de edad o género, a escasez de mano de obra y otras limitantes.

Hasta el año 2012, Chile contó con un instrumento que fomentaba la forestación (DL.701 de 1974 y sus modificaciones), el cual contemplaba incentivos también para establecer sistemas silvopastorales y cortinas cortavientos. Este cuerpo legal de fomento expiró en diciembre de 2012 y su renovación o extensión se encuentra aún en discusión. La falta de actual de incentivos del Estado indudablemente agrava lo indicado por los agricultores, en cuanto a disponibilidad de financiamiento, y hace más difícil promover la aplicación de estos sistemas de ya probado beneficio para los pequeños y medianos propietarios.

ANALISIS Y DISCUSIÓN

Durante el período de desarrollo del programa se lograron interesantes resultados incentivando el fomento al establecimiento y uso de sistemas agroforestales en Chile (INFOR, 2013).

En Aspectos Técnicos:

Generación de información para la elaboración y validación de paquetes tecnológicos agroforestales.

Preparación y capacitación de profesionales y operadores agroforestales para entregar asistencia técnica a productores interesados en establecer sistemas agroforestales.

Instalación de unidades demostrativas y de investigación.

Estudio y generación de propuesta para mejorar los incentivos incluidos en los instrumentos de fomento silvoagropecuarios, en especial el DL.701 y el SIRSD.

En Aspectos Profesionales:

En materia de la experiencia adquirida por los profesionales de INFOR, que hizo posible desarrollar una visión mucho más profunda, sólida, y rica en conocimientos, sobre los alcances y posibilidades de la agroforestería en los predios de los pequeños productores en Chile. Esto fue posible gracias al desarrollo de la investigación en una amplia gama de situaciones y casos, tanto geográficas como socio-económicas.

Aunque se avanzó en generación y validación de propuestas agroforestales, también fue necesario enfrentar diversas dificultades. Estas se comentan a continuación y se revisan las

soluciones propuestas en cada caso (INFOR, 2013).

- Falta de interés de los operadores privados para participar en el establecimiento de propuestas agroforestales. Esto debido a la baja perspectiva económica para ellos al reducir la densidad en el establecimiento del componente forestal, con el consiguiente menor valor de bonificación de acuerdo a la tabla de costos anualmente establecida en virtud del DL.701, y a una cierta complicación en la operatividad de los sistemas.

Dado que efectivamente se recibe un menor valor al establecer densidades forestales más bajas y observándose el interés de los agricultores por la aplicación de los sistemas agroforestales, se propuso establecer un incentivo para su establecimiento. Este puede ser vía asistencia técnica, otorgándoseles un bono por plan de manejo, o por un bono en el establecimiento de hectáreas agroforestales, lo cual puede ser pagado por hectárea establecida.

- Escaso conocimiento y valoración por parte de los productores a sistemas integrados de producción agroforestal (mantención del sistema).

Intensificar la difusión de estas propuestas agroforestales a través de actividades de divulgación y transferencia, como cartillas, trípticos, y otros materiales impresos, charlas técnicas y días de campo, sumado esto a un mayor acompañamiento y asesoría técnica. También se propone que exista una mayor difusión e instrucción por parte de las autoridades de INDAP en las regiones y áreas, indicándose que esta iniciativa es un compromiso de INDAP para con los agricultores.

- Se requiere un mayor conocimiento por parte de las instituciones que manejan los mecanismos de fomento en materia de compatibilidad de estos. En algunos casos existe disparidad de criterios entre regiones y áreas y falta de conocimiento sobre las propuestas.

Se requiere una mayor conexión y trabajo conjunto con las áreas de INDAP y sus profesionales, para que se exista un mayor conocimiento de los sistemas agroforestales, sus propuestas y la aplicación del SIRSD. Lo mismo se requiere en el caso de CONAF en las regiones, en lo referente a la aplicación del DL.701, cuerpo legal que expiró en 2012, pero respecto del cual continúa en estudio su extensión con especial énfasis en pequeños propietarios. Se propone establecer una comunicación más expedita y un programa de difusión de estas alternativas dentro de INDAP y CONAF. Además se recomienda realizar talleres de trabajo con las regiones.

- Se requiere una mejor uniformidad de criterios en la aprobación y en la operatividad y diseño de los sistemas agroforestales a presentar de acuerdo a los instrumentos de fomento (otras posibilidades de diseño).

Se propone establecer talleres de trabajo conjunto con INFOR, INDAP y CONAF para uniformar criterios y buscar soluciones.

- Opción de uso de otros instrumentos de apoyo, como Programa de Desarrollo de Inversiones (PDI) y Servicio de Asesoría Técnica (SAT), ambos instrumentos bajo administración de INDAP, para compatibilizarlos con DL.701 y SIRSD.

Estudiar en conjunto con INDAP la aplicación de estas propuestas en conjunto con SIRSD y DL.701, y desarrollar casos pilotos en regiones.

- Mejorar la capacidad técnica de los operadores o asesores técnicos para la correcta aplicación de los sistemas agroforestales propuestos en una apropiada relación sistemas productivos agroforestales - condiciones de sitio.

Continuar con los cursos y actividades de transferencia hacia operadores de los instrumentos de fomento y seguimiento de sus acciones. A su vez se requiere fortalecer la actividad de apoyo de los operadores en terreno hacia los productores y considerar en los instrumentos de fomento su financiamiento para mejorar y ampliar en el tiempo la asesoría técnica.

- Continuar con programas de desarrollo agroforestal para madurar y evaluar propuestas, difundir los resultados y apoyar a operadores y productores en su implementación.

Durante el año 2010 se decidió continuar con un programa de mediano plazo, 2010-2014, entre INDAP e INFOR, entre las regiones de Coquimbo y Magallanes, para intensificar la difusión de estos sistemas en el país. Este programa se estableció en el mes de agosto 2010 y finalmente se prolongo hasta el año 2012. Desde entonces, sin este programa y acuerdo y sin apoyo a operadores y productores, se bajó ostensiblemente el establecimiento de sistemas agroforestales en el país.

- El término del DL.701 de Fomento Forestal en el mes de diciembre 2012, ha originado una dramática disminución de la forestación en Chile, tanto con fines industriales como con fines agroforestales y de recuperación de suelos. Solo las grandes y medianas empresas han continuado reforestando lo cosechado, ya que es un requerimiento legal, pero incluso estas han disminuido ostensiblemente la tasa de forestación.

Se requiere la extensión del DL.701 o de una nueva legislación de fomento forestal que considere los sistemas agroforestales dentro de sus prioridades, junto a otros focos silvícolas y ambientales, como recuperación de suelos, protección de cursos de agua, captura de carbono y también para producción maderera de pequeños productores que lo requieren, en especial para producción de leña, madera para uso predial, y para venta que les permita generar ingresos que contribuyan a mejorar su calidad de vida.

Además, para continuar con el fomento agroforestal se han realizado diversas iniciativas, como presentación de programas especiales con financiamiento regional, como es el caso del Programa de Fomento Agroforestal para la Provincia de Palena, que permitió establecer cuatro unidades demostrativas y difundir esta alternativa; y, un reciente Programa Silvopastoral para Zonas Extremas del País, en este caso para la región de Aysén donde se fomentará el manejo de plantaciones existentes con fines silvopastorales. También, se llegó a un acuerdo con Forestal Arauco, para ayudar en el fomento de sistemas agroforestales en predios en convenio con productores pequeños y medianos, que ellos tienen en la provincia de Arauco, región del Biobío.

CONCLUSIONES

- El uso de modelos agroforestales es factible en el manejo predial de pequeños productores silvoagropecuarios. La selección y combinación de los componentes forestal, agrícola y pecuario, debe hacerse en relación a las potencialidades y condiciones del sitio y a las necesidades e intereses del propietario.
- Es necesario profundizar las acciones de capacitación y difusión de estos sistemas de producción múltiple entre los productores, operadores e instituciones estatales. Para ello resulta necesario mantener la alianza entre INDAP, INFOR y CONAF, con el propósito de replicar lo que se ha realizado durante los 9 años del proyecto (unidades, cursos, difusión, apoyos a interesados), además, de hacer el seguimiento a las unidades ya establecidas, y así obtener antecedentes que permitan avanzar en el mejoramiento de las propuestas iniciales.
- De acuerdo a la extensión territorial que abarcó el programa, se puede señalar que en muchas situaciones analizadas, los sistemas agroforestales son una solución viable para los pequeños productores silvoagropecuarios. Los sistemas agroforestales que más han sido implementados por los pequeños productores agrícolas han sido cortinas cortavientos y sistemas silvopastorales.
- Durante los años de funcionamiento de este programa se ha logrado posicionar el tema agroforestal dentro del Ministerio de Agricultura y sus Instituciones dependientes, dentro de los Municipios, Prodesales, Organizaciones Campesinas, Operadores y Productores. Esto originó que el año 2011 se establecieran más de 300 ha y el año 2012 más de 237 ha en pequeñas propiedades silvoagropecuarias. Las regiones donde se han establecido más superficies agroforestales han sido la Araucanía, Los Lagos y Aysén.
- Si bien existe interés en el tema, se requiere que las instituciones del Agro tengan esta propuesta dentro de la oferta de productos, que los profesionales y técnicos conozcan el tema y estén capacitados, y que se trabaje en forma coordinada.
- Aunque ya existe conocimiento e interés en la agroforestería, se debe continuar con el apoyo hacia productores, operadores e instituciones interesadas, ya que se ha notado el salto de esta ciencia hacia su adopción y utilización, y no se debe desaprovechar la inercia del interés y cambio de uso de los recursos prediales a través de estos sistemas integrales.
- El Instituto Forestal tiene las capacidades técnicas y profesionales para dar apoyo y transferir los conocimientos necesarios, ya cuenta con una red de profesionales y técnicos, entre las Regiones de Coquimbo y Aysén que conocen en profundidad el territorio lo que les permite apoyar la difusión, capacitar e implementar estos sistemas.

REFERENCIAS

Bonilla, C.; Reyes, J. y Magri, A., 2009. Water erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Central Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 70, 1. pp 159-169.

CIREN, 2010. Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile. Publicación N° 139, Centro de Información de Recursos Naturales, Santiago, Chile. 281p.

INFOR, 2013. Informe final del Programa Agroforestal Nacional. Concepción, Chile. 60p.

RAN, 2015. Red Agroforestal Nacional. <http://www.agroforesteria.cl/>

Sotomayor, A., 1989. Sistemas silvopastorales y su manejo. Documento técnico N° 42. *Revista Chile Forestal*, Diciembre 1989. CONAF. 8p.

Sotomayor, A. 2009. Sistemas silvopastorales, alternativa productiva para un desarrollo sustentable de la agricultura en Chile. En: *Actas del 1er Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles*. Posadas, Misiones Argentina. Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina. pp. 26-47.

Sotomayor, A.; Lucero, A.; Grosse, H.; Bello, A. y Soto, H., 2009. Análisis agroforestal de la pequeña propiedad agrícola en las regiones del Biobío y la Araucanía. *Ciencia e Investigación Forestal*, Vol. 15 N° 3, Diciembre 2009. pp. 355-382

Capítulo 20

PROGRAMA DE FOMENTO AGROFORESTAL EN LA PROVINCIA DE PALENA, REGIÓN DE LOS LAGOS

Jaime Salinas¹, Álvaro Sotomayor², Bernardo Acuña³ y Luis Barrales⁴

RESUMEN

La región de Los Lagos, con una superficie total de 4,9 millones de hectáreas y una población de 717 mil habitantes, está dividida administrativamente en 4 provincias; Osorno, Llanquihue, Chiloé y Palena. La provincia de Palena es la de mayor extensión (1,5 millones de hectáreas), sin embargo es la de menor población (19 mil habitantes).

La provincia de Palena está constituida por las comunas de Chaitén, Hualaihué, Futaleufú y Palena, las dos primeras son las de mayor extensión y se encuentran en la zona costera de la provincia. Las comunas de Futaleufú y Palena, en tanto, son mediterráneas, y presentan un clima continental trasandino, con temperaturas medias invernales de 7°C y una pluviometría anual cercana a 2.000 mm.

En este capítulo se describen las actividades de fomento agroforestal desarrolladas por INFOR en la comuna de Palena y algunos resultados de estas. Las propuestas incluyen la implementación de sistemas agroforestales como cortinas cortavientos y sistemas silvopastorales con especies exóticas y nativas.

Se establecieron en la comuna tres unidades demostrativas para evaluar estos sistemas y difundir su uso. Tanto los propietarios de los terrenos como los sectores donde ubicar estas unidades fueron seleccionados de modo tal que cumplan su objetivo demostrativo y de difusión, actividades desarrolladas en forma participativa con propietarios y profesionales del Agro locales, y complementadas con una fuerte componente de capacitación y extensión.

Palabras clave: Cortinas cortavientos, Sistemas silvopastorales, Palena.

SUMMARY

The Los Lagos región, with a 4.9 million hectares total area and 717 thousand inhabitants population, is divided into four provinces; Osorno, Llanquihue, Chiloé and Palena. Palena province has the higher area (1.5 million de hectares), however has the lower population (19 thousand inhabitants).

1 Ingeniero Forestal, Instituto Forestal, sede Patagonia, Coyhaique, Chile. jsalinas@infor.cl

2 Dr. Ingeniero Forestal, Instituto Forestal, Sede Bio Bio, Concepción, Chile.

3 Técnico Agrícola, Instituto Forestal, sede Patagonia, Coyhaique, Chile.

4 Técnico Forestal, Instituto Forestal, sede Los Ríos, Valdivia, Chile.

This province is divided as well into four communes; Chaitén, Hualaihué, Futaleufú and Palena, the two first are those of the higher areas and are located at the coastal zone, while Futaleufú and Palena are inland territories, characterized by winter average temperatures about 7° C and a mean annual rainfall close to 2,000 mm.

This chapter describes agroforestry promotion activities developed by INFOR in the Palena commune and some results. There are proposed agroforestry systems as windbreaks and silvopastoral designs using exotic and native species, and three demonstrative units were established to evaluate the systems and promote their use.

The owners and the location of the units were selected in order to use them as demonstrative areas. The activities were developed in a participative way with local owners and professionals and accompanied by a strong capacitation and diffusion component.

Keywords: Windbreaks, Silvopastoral systems, Palena.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas asociados al desarrollo campesino que existen en la actualidad es la escasez de alimentos para poder suplir la creciente demanda agroalimentaria mundial. Esta presión por la obtención de alimentos se ve agravada por una pobre distribución global de fuentes de alimentos, por procesos de desertificación acelerados por la pérdida de cubiertas arbóreas protectoras, por la erosión y pérdida de suelos, por el uso de sistemas productivos agrícolas inadecuados a la condición del suelo, por la disminución de la superficie boscosa por quemas, sobrepastoreo y roces, y por pérdida de suelos fértiles por la expansión de las ciudades, la construcción de caminos y otros tipos de obras (Sotomayor, 1989).

Históricamente, los campesinos, granjeros o pequeños productores, perciben cierta incompatibilidad entre el componente forestal, árbol o bosque, y el uso agropecuario. Para ellos los árboles representan un competidor, creyendo que las especies forestales reducirán o reemplazarán los cultivos agrícolas.

Cambiar este paradigma de los productores puede ser un proceso lento y difícil, ya que el uso tradicional de la tierra y el manejo de los recursos naturales a menudo están firmemente establecidos y socialmente aceptados en las comunidades locales, lo cual requiere de un largo proceso de educación y convencimiento con métodos demostrativos y un trabajo participativo con estas.

Si bien existe esta percepción de los agricultores respecto de cierta incompatibilidad entre el uso forestal y el agropecuario, en muchas partes del mundo existen técnicas ancestrales de uso y manejo de los suelos que han combinado producción forestal y cultivos agrícolas o producción animal, las cuales han sido usadas satisfactoriamente para suplir múltiples necesidades (Sotomayor, 1989). Estos sistemas de uso combinado se han denominado sistemas agroforestales o agroforestería. En ellos producto de un cambio en las condiciones lumínicas del suelo, ocurre una activación praterse, aumentando la productividad de la pradera (Salinas, 2016).

En el presente capítulo se expone la experiencia y resultados de un programa de transferencia y fomento de sistemas agroforestales implementado por el Instituto Forestal en la provincia de Palena, región de los Lagos, Chile.

OBJETIVOS

Objetivo General

Implementar un programa de transferencia agroforestal (PTA) orientado al desarrollo sustentable de los predios de la provincia de Palena, a través del desarrollo de sistemas integrados de producción agroforestal y su difusión.

Objetivos Específicos

- Implementar unidades demostrativas y de investigación agroforestal para transferir los conocimientos a los actores locales de la comuna de Palena.
- Capacitar a los productores y profesionales locales y mejorar sus capacidades para un adecuado establecimiento y manejo de sistemas agroforestales en la provincia de Palena.
- Monitoreo y evaluación permanente las unidades demostrativas y de investigación agroforestal implementadas.

METODOLOGIA

Área de Estudio

La región de Los Lagos de Chile se encuentra entre los paralelos 40°13' y el 44°30' LS y 74°49' a 71°34' de LW. Comprende una superficie de 48.584,5 km², que administrativamente se distribuyen en cuatro provincias; Osorno con el 19% de la superficie, Llanquihue con el 30,6%, Chiloé con el 18,9% y Palena con el 31,5%. Si bien esta última es la provincia de mayor extensión territorial (15.301,9 km²), posee la menor densidad poblacional, con aproximadamente 18.635 habitantes que representan el 2,6% de la población regional (GORE, 2015).

La provincia de Palena está constituida por las comunas de Chaitén, Hualaihué, Futaleufú y Palena (Figura N° 1). Las dos primeras son las de mayor extensión, representando 3/4 de la superficie de total y se encuentran en la zona costera de la provincia, condición les otorga características climáticas particulares, características de la zona costera con temperaturas moderadas a bajas, sin grandes variaciones debido a la influencia marina y con una precipitación media anual de 3.500 mm (GORE, 2015).

Las comunas de Futaleufú y Palena, en tanto, son mediterráneas, se ubican en las partes altas de la Cordillera de Los Andes y tiene características climáticas especiales que las diferencian notablemente del resto del territorio, debido exclusivamente a su ubicación. Presentan un microclima en la temporada estival y las condiciones son bastante más secas que en el litoral. La zona montañosa cuenta con una importante y constante transición climática que genera la diversidad en el paisaje. El clima continental trasandino al que corresponde Palena, cuenta con

temperaturas promedio en invierno de 7°C y en verano entre los 8°C y los 27°C (GORE - UACH, 2014) y una pluviometría anual que alcanza 2.000 mm (GORE, 2015).

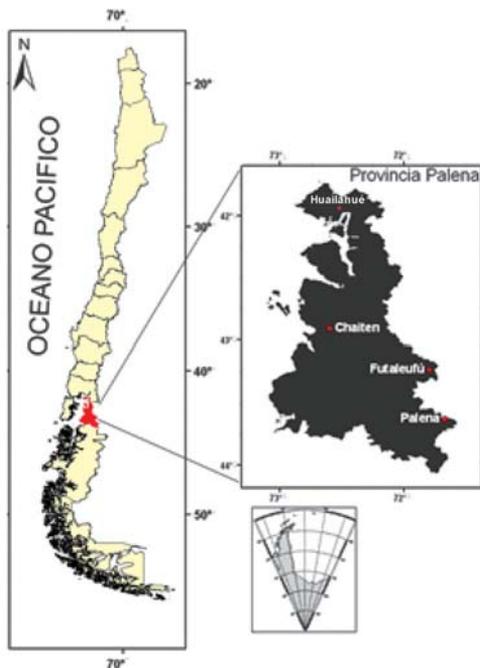


Figura N° 1
UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PROVINCIA DE PALENA Y SUS COMUNAS

Estrategia de Intervención

Una de las formas de lograr recuperar la armonía del paisaje, en lugares fuertemente afectados por disturbios como; problemas de erosión, deforestación e incendios forestales, es promover la introducción de árboles bajo un sistema integrado, utilizando técnicas agroforestales a través del establecimiento de cortinas cortaviento, sistemas silvopastorales y biofiltros (protección de cursos de agua), al unir la producción agrícola y forestal como una alternativa de producción predial.

El PTA estableció unidades demostrativas de cortinas cortavientos y sistemas silvopastorales, como sistemas agroforestales que involucran la introducción de árboles en combinación con usos agrícolas y ganaderos en una misma unidad predial.

De esta forma se busca cubrir necesidades de los propietarios, tales como dendroenergía, madera y mejoramiento productivo del predio con emprendimientos agrícolas y ganaderos basados en un ordenamiento predial.

En el desarrollo del programa de transferencia agroforestal se desarrollaron diversas actividades que a continuación se describen.

En la Figura N° 2 se describe el ciclo de acciones que permitieron realizar el programa, partiendo desde la demanda de los productores para continuar con la generación del programa y la entrega de información a los encargados provinciales del Agro, quienes luego socializan con los profesionales de las oficinas locales y bajan la información a la comunidad.



Figura N° 2
ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN DEL PROGRAMA DE TRANSFERENCIA AGROFORESTAL
PROVINCIA DE PALENA

- Reuniones de Información y Coordinación

Las primeras actividades correspondieron a reuniones de coordinación entre el equipo ejecutor del Instituto Forestal y profesionales de la Secretaría Regional Ministerial de Agricultura de la región de Los Lagos, con el fin de tratar temas relacionados con el control técnico y financiero del programa agroforestal. Posterior a las reuniones se entregó una calendarización de actividades.

El primer acercamiento al territorio fue a través de una serie de reuniones de información a los servicios públicos presentes en las localidades de Chaitén, Futaleufú y Palena, a los que se solicitó su participación y apoyo.

Se sostuvieron reuniones con INDAP, CONAF y PRODESAL, este último participó activamente en la selección de beneficiarios.

- Selección de Beneficiarios

Una vez sociabilizada la información con los profesionales de las zonas de impacto del programa, se realizaron visitas a potenciales beneficiarios en sus predios para implementar las unidades demostrativas agroforestales.

Este recorrido consideró conocer el terreno, como unidad geográfica, y al propietario, como actor clave de este tipo de programas. Tanto las unidades demostrativas como los propietarios seleccionados debían ser ejemplos para replicar las tecnologías implementadas en otros predios, esperándose que ellos sean líderes de opinión en su comunidad y de esta forma puedan ser monitores de otras iniciativas.

Las unidades demostrativas, en tanto, deben poseer características adecuadas de ubicación y acceso que hagan posible visitarlas en toda época como ejemplos de propuestas productivas sustentables replicables en la zona.

- Establecimiento de Sistemas Agroforestales

El equipo técnico elaboró una propuesta técnica de la unidad demostrativa a implementar en cada localidad, esta propuesta fue consensuada y validada por los propietarios beneficiarios y por la contraparte territorial de profesionales de servicios locales en una visita predial. El diseño a implementar en cada unidad fue sencillo y coherente, con el uso real de los productos a obtener en un régimen de autoconsumo o eventual comercialización en nichos de mercado local.

**Cuadro N° 1
CARACTERIZACIÓN DE UNIDADES DEMOSTRATIVAS IMPLEMENTADAS EN LA PROVINCIA DE PALENA**

Comuna	Sistema Agroforestal	Especie	Superficie (ha)	Ubicación Geográfica
Palena	Cortina Cortaviento	Pino oregón, P. ponderosa, Coihue	1,5	43° 39 'S - 71° 49 'O
	Manejo Silvopastoral	P. oregón	0,5	43° 36 'S - 71° 57 'O
	Manejo Silvopastoral	Radal	0,5	43° 37 'S - 71° 57 'O
Futaleufú	Cortina Cortaviento	P. oregón, P. ponderosa, Coihue	2,0	43° 11 'S - 71° 46 'O
	Manejo Silvopastoral	P. oregón	0,8	43° 11 'S - 71° 48 'O
Chaitén	Cortina Cortaviento	P. ponderosa	1,5	42° 57 'S - 72° 38 'O
	Plantación Silvopastoral	P. ponderosa	0,5	42° 57 'S - 72° 38 'O

En el establecimiento de las plantaciones, la selección de las especies indicadas y de la calidad de las plantas, es una actividad particularmente sensible, pues el éxito del establecimiento de los distintos sistemas agroforestales depende en gran medida de la calidad de las plantas y la procedencia adecuada del material vegetal a utilizar.

En esta zona norte de la Patagonia chilena el clima es intenso, con presencia de fuertes vientos que producen desecación en el suelo. Las plantas utilizadas deberían ser de procedencia local, sin embargo, no existen viveros establecidos en la zona, por lo que se seleccionaron dos viveros de la región de Aysén.

Una vez aceptados los diseños, determinados los costos y los lugares de aprovisionamiento de los materiales, se establecieron las unidades demostrativas.

Las labores de plantación se efectuaron en la época apropiada para la zona geográfica, en el mes de septiembre.

En paralelo se realizaron otras actividades, tales como protección individual contra lagomorfos, exclusión de ganado doméstico a través de construcción de cercos y labores asociadas a manejo de bosques bajo sistemas silvopastorales.

- **Capacitación y Perfeccionamiento**

Con el fin de transmitir el conocimiento generado por el programa y las habilidades técnicas del equipo de trabajo, se implementaron tres cursos de capacitación teórica y práctica en cada comuna.

Estas actividades fueron orientadas a productores, técnicos y profesionales públicos y privados, y se abordaron temas como:

Introducción a los Sistemas Agroforestales: Esta transferencia consideró la entrega de conocimientos teóricos y en lo posible prácticos de los distintos modelos agroforestales posibles de establecer, entre ellos cortinas cortavientos, silvopastoreo, silvoagrícola, biofiltros y agrosilvopastoral.

Técnicas de Establecimiento: Elección del sitio, transporte y selección de plantas, preparación de sitio, plantación, cuidados sanitarios y posteriores a las plantaciones, cercado y protección contra lagomorfos.

Manejo Posterior: Según el objetivo de los modelos (dendroenergía, madera, protección de praderas, forraje, otros) se entregaron las técnicas necesarias de manejo posterior; raleos, podas y podas sanitarias, entre otras.

Planes de Manejo SIRSD y DL 701: Se entregó información sobre los distintos instrumentos de fomento existentes para financiar las distintas labores y sobre las justificaciones técnicas en cada caso.

RESULTADOS

Se describen los principales resultados del Programa de Transferencia Agroforestal; actividades de establecimiento de unidades demostrativas, transferencia tecnológica y capacitación a productores de la comuna de Palena.

Durante julio de 2012, el equipo de trabajo del INFOR realizó la primera visita a la zona de Palena, con el fin de reconocer el territorio, sostener reuniones con profesionales y productores de la zona y dar a conocer el programa a implementar en la Provincia.

Este recorrido, permitió conocer las principales necesidades de los productores visitados y además seleccionar a los beneficiarios.

Una vez realizada la primera vista y el efectuado el recorrido de la zona, se procedió a identificar y seleccionar los propietarios beneficiarios en cuyos predios se establecieron las unidades demostrativas agroforestales.



Figura N° 3

VISITA A POTENCIALES PROPIETARIOS DE UNIDADES DEMOSTRATIVAS DEL PROGRAMA

Unidades Demostrativas Establecidas en la comuna de Palena

En la comuna de Palena se seleccionaron dos productores (Cuadro N° 2), a través de entrevistas y visitas prediales en conjunto con el equipo Prodesal Palena e INDAP.

La recomendación de los profesionales se basó en la identificación de buenos ejemplos en el desempeño del productor y de modo que pudieran constituirse en monitores ante sus pares.

Cuadro N° 2
IDENTIFICACIÓN DE PRODUCTORES BENEFICIARIOS DE LA COMUNA DE PALENA

Nombre del Productor	Sistema Agroforestal	Ubicación Geográfica	
		Sector	Coordenadas
José Leonel Monje	Cortina Cortaviento	El Tigre	43° 39 'S - 71° 49 'O
Fermín Ramírez	Manejo Silvopastoral en bosque exótico	El Malito	43° 36 'S - 71° 57 'O
	Manejo Silvopastoral en bosque nativo		43° 37 'S - 71° 57 'O

A continuación se exponen las características de las unidades demostrativas implementadas en la zona de Palena, las cuales poseen características especiales por su ubicación y fácil acceso, lo que permite ser visitadas durante toda época en forma expedita y apreciar sus propuestas productivas sustentables y replicables en la zona.

- Unidad Demostrativa 1. Cortina Cortaviento Forestal, Sector El Tigre, Palena

La primera unidad demostrativa se estableció en el predio del Sr. José Monje ubicado en el sector El Tigre, distante 10 km de la ciudad de Palena.

En este lugar se estableció una cortina cortaviento forestal en forma de "L" de 100 x 50 m de dimensión, protegiendo una chacra que el propietario destinó para rezago. El equipo técnico, en conjunto con el propietario, definió el diseño de la cortina cortaviento (Figura N°4).

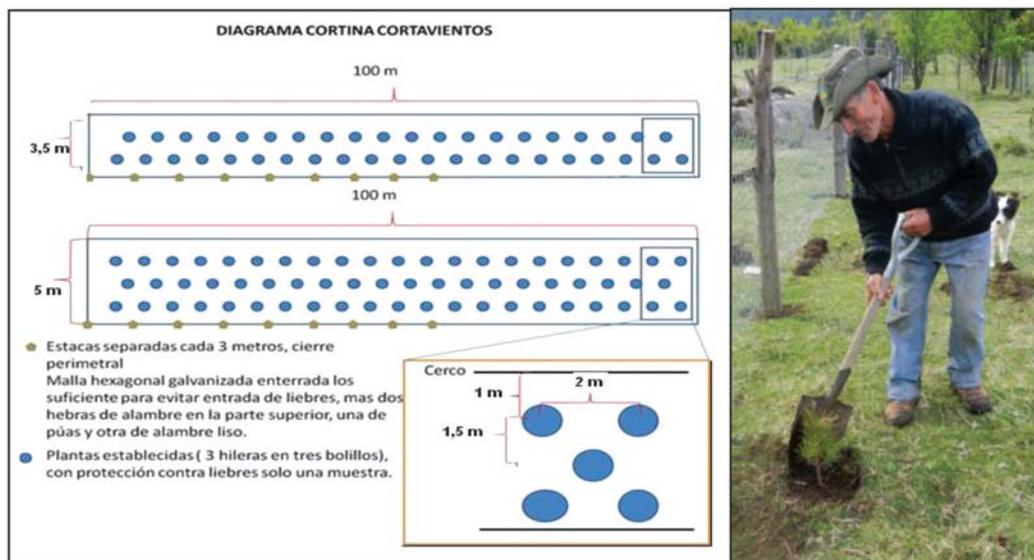


Figura N° 4
DISEÑO DE CORTINA CORTAVIENTO FORESTAL (IZQ), Y PROPIETARIO SR. JOSE MONJE ESTABLECIENDO LA CORTINA FORESTAL (DERECHA)

La recomendación técnica del equipo derivó en una cortina de 100 m de tres hileras y una cortina perpendicular de 50 m, utilizando una mezcla de especies exóticas y nativas. La plantación se realizó en tresbolillo con distanciamientos de 2 m sobre hilera y 1,2 m entre hilera.

Las plantas seleccionadas fueron producidas en el vivero de INFOR en la ciudad de Coyhaique y correspondieron a las especies pino oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco), pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl. Ex. Laws.) y coigue (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst), especies que han presentado buenos resultados en el sector de Palena.

Posterior al establecimiento de las plantas se realizó la primera evaluación a la cortina, midiendo parámetros de crecimiento a cada planta. Se midió la altura con huincha y el diámetro a la altura del cuello (DAC) con pie de metro digital.

Los resultados de esta primera evaluación (Figura N° 5) dan cuenta de plantas con características adecuadas, con DAC superiores a 3 mm y altura adecuada. Es necesario continuar con la evaluación permanente de los parámetros de crecimiento de cada especie, con el fin de recomendar las mejores especies que se adaptan a cada territorio, esta evaluación debería realizarse al menos cada 2 años.

Otro factor relevante al momento de entregar recomendaciones productivas a los agricultores, es la definición de los costos. Este análisis debe elaborarse bajo un enfoque realista, es decir, debe considerar información económica local, para logra un mayor nivel de detalle al momento de entregar los recursos financieros por parte de los instrumentos de fomento del Estado.

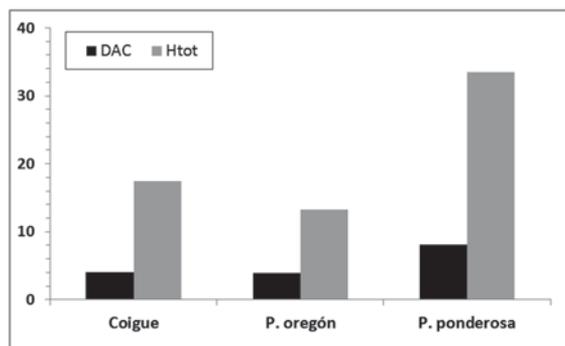


Figura N° 5
EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CRECIMIENTO (HTOT Y DAC)
EN CORTINA CORTAVIENTO FORESTAL SECTOR EL TIGRE

En el siguiente cuadro se expone el resumen de costos de las actividades de establecimiento de la cortina en la comuna de Palena. Para realizar el análisis, los costos se estiman en base a una cortina cortaviento de 100 m de longitud plantada en tres hileras. El costo del cerco asumió el perímetro completo (no considera cerco ya establecido). El tipo de cerco fue tradicional, con postes distanciados cada 4 m, utilizando malla cuadrada para evitar el ingreso de lagomorfos.

Cuadro N° 3
COSTOS DE ESTABLECIMIENTO DE CORTINA CORTAVIENTO FORESTAL
DE 100 M DE LONGITUD Y TRES HILERAS, COMUNA DE PALENA

Item	Cantidad	Unidad	Costo	
			Unitario	Total
			(UTM)	
Postes	55	Unidad	0,06	3,18
Alambre liso	1	Unidad	1,47	1,47
Alambre púas	1	Unidad	0,80	0,80
Malla cuadrada	13	Unidad	0,59	7,73
Grampas 1 1/2"	3	kg	0,06	0,17
Grampas 1"	1	kg	0,05	0,05
Mano obra cerco	210	m	0,04	7,78
Plantas	150	Unidad	0,01	0,87
Mano obra plantación	2	jornada	0,35	0,69
Total				22,74

UTM: Unidad Tributaria Mensual

- **Unidad Demostrativa 2. Manejo Silvopastoral en Plantación Pino Oregón, Sector El Malito, Palena.**

La siguiente unidad demostrativa fue instalada en el sector El Malito, distante 12 km de Palena por la carretera que une Palena con Villa Santa Lucia. En este lugar se ubica el predio del Sr. Fermín Ramírez caracterizado por poseer plantaciones forestales establecidas en su

propiedad. Una de estas plantaciones corresponde a un rodal de pino oregón de 18 años de edad (Figura N° 6), sin manejo silvícola por lo que el recurso maderero no se ha desarrollado de forma óptima.



Figura N° 6

SITUACIÓN ORIGINAL DE PLANTACIÓN DE PINO OREGÓN SECTOR EL MALITO, COMUNA DE PALENA,

Una de las actividades de mayor costo en la faena forestal en este caso es la ordenación y eliminación de los desechos o residuos forestales. Si el objetivo del manejo es silvopastoral, es una actividad que no se debe dejar de realizar, ya que los residuos forestales limitan el establecimiento de la pradera dificultando su crecimiento.

La prescripción de la intervención del bosque fue un raleo de selección positiva bajo un enfoque silvopastoral tradicional, es decir, los árboles después de la corta quedan distribuidos homogéneamente en el sector bajo un ordenamiento aleatorio.

El raleo de selección positiva, está enfocado en dejar en pie árboles de buena calidad (árboles futuros) y así mejorar la calidad del bosque residual. La elección fue a través de criterios fenotípicos, estos árboles futuros fueron marcados con un anillo de color rojo, para facilitar la gestión del propietario al realizar la corta.

Junto a lo anterior, se realizó un levante de poda a 2/3 de la altura total y ordenación de residuos en grupos.

La densidad de la plantación antes del raleo era de 1.250 árb ha⁻¹ y, reduciendo en un 68% la densidad, se llegó a 400 árb ha⁻¹ con árboles distribuidos homogéneamente en el sitio. La poda se realizó con serrucho podador hasta una altura de 4 m desde la base del fuste.

Las actividades descritas permitieron generar las condiciones para incentivar el desarrollo de la pradera (Figura N° 7), provocando una activación de la cama de semillas herbáceas, que se ven favorecidas por el aumento de luminosidad y temperatura.



Figura N° 7

VISTA GENERAL RALEO (IZQ) Y DESARROLLO DE LA PRADERA POSTERIOR AL RALEO (DER)

En el Cuadro N° 4 se muestran los costos de todas las actividades del manejo silvícola del bosque de pino oregón en la comuna de Palena. Para el análisis se estimaron costos relacionados con 1 ha de superficie del rodal de 18 años de edad. El madereo fue realizado exclusivamente con bueyes y la distancia de madereo fue de 100 m.

Cuadro N° 4
COSTOS DE LA HABILITACIÓN PARA MANEJO SILVOPASTORAL DE 1 HECTÁREA
EN PLANTACIÓN DE PINO OREGÓN EN LA COMUNA DE PALENA

Item	Cantidad	Unidad	Costo	
			Unitario	Total
			(UTM)	
Mano obra raleo	16	Jornada	0,46	7,41
Mano obra ordenación desechos	8	Jornada	0,35	2,78
Arriendo bueyes	24	Jornada	0,58	13,89
Mezcla motosierra	2	L	0,12	0,23
Aceite cadena	10	L	0,03	0,32
Combustible	40	L	0,02	0,65
Cadena	2	Unidad	0,56	1,11
Poda	5	Jornada	0,93	4,63
Total				31,02

UTM: Unidad Tributaria Mensual

- **Unidad Demostrativa 3. Manejo Silvopastoral en Bosque de Radal (*Lomatia hirsuta*), Sector El Malito, Palena**

Al igual que la unidad anterior, la tercera unidad demostrativa fue establecida en la propiedad del Sr. Fermín Ramirez en el sector El Malito, distante 12 km de Palena. El sitio donde se implementó esta unidad demostrativa (43° 37' S - 71° 57' O), corresponde a una formación nativa, compuesta por una serie de especies siendo la más representativa radal en estado de latizal.

Fueron seleccionados dos tratamientos silvopastorales, el primero correspondió al sistema tradicional y el segundo a tratamiento en fajas.

Se capacitó al propietario para que directamente aplique el raleo del bosque.

Tratamiento Silvopastoral Tradicional: El tratamiento silvopastoral tradicional (Figura N° 8) consideró reducir la densidad original hasta llegar a 400 árb ha⁻¹ distribuidos homogéneamente en el sitio, entregando a cada uno de ellos una importancia relativa dentro del área.

El raleo se enfocó en dejar los individuos con mejores características fenotípicas distribuidos en forma homogénea (Figura N° 8), sin embargo, el radial en estados juveniles no posee crecimiento recto, sino más bien torcido.

Tratamiento Silvopastoral en Fajas: El segundo tratamiento utilizado correspondió a un diseño de fajas paralelas (Figura N° 9). En este tratamiento se prioriza el componente pradera por sobre el componente forestal. El raleo se realizó cortando una faja de 8 m a tala rasa, dejando una faja aledaña con árboles, de 4 m, y ordenando los residuos entre las fajas de árboles contiguas.

Se observó que a la siguiente temporada de realizado el raleo la pradera respondió positivamente (Figura N° 9), provocándose una activación en las semillas en latencia. El mismo efecto se observó a la siembra con semillas de trébol blanco y pasto ovillo.

El radial es una especie pionera que invade sitios poco productivos, de bajo nivel de materia orgánica y que han sido afectados por disturbios naturales y/o antrópicos como incendios forestales, derrumbes entre otros.

En sectores de la provincia de Palena los productores lo consideran una plaga, debido a que se multiplica rápidamente ocupando también sitios productivos. Posee una vigorosa propagación agámica, encontrándose crecimientos de brotes laterales, de raíces superficiales y de tocones cortados.

Esto debió ser abordado por el programa, dado que es un problema para el diseño silvopastoral, y se hizo necesario aplicar un control químico a los tocones para evitar los rebrotes. Se recurrió al uso de un herbicida de contacto y de translocación (Tordón 101). Previo a la aplicación de este herbicida se hicieron incisiones en forma de espiral por alrededor del tocón utilizando un formón, luego se aplicó 1,5 ml (sin diluir) del producto (Figura N° 10).

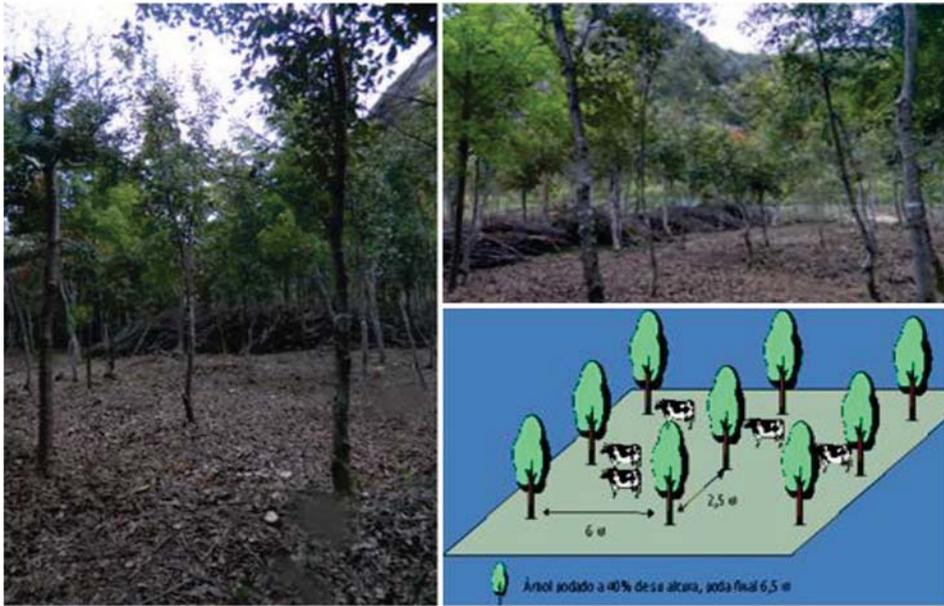


Figura N° 8
RALEO SILVOPASTORAL TRADICIONAL EN RENOVAL DE RADAL, SECTOR EL MALITO, PALENA

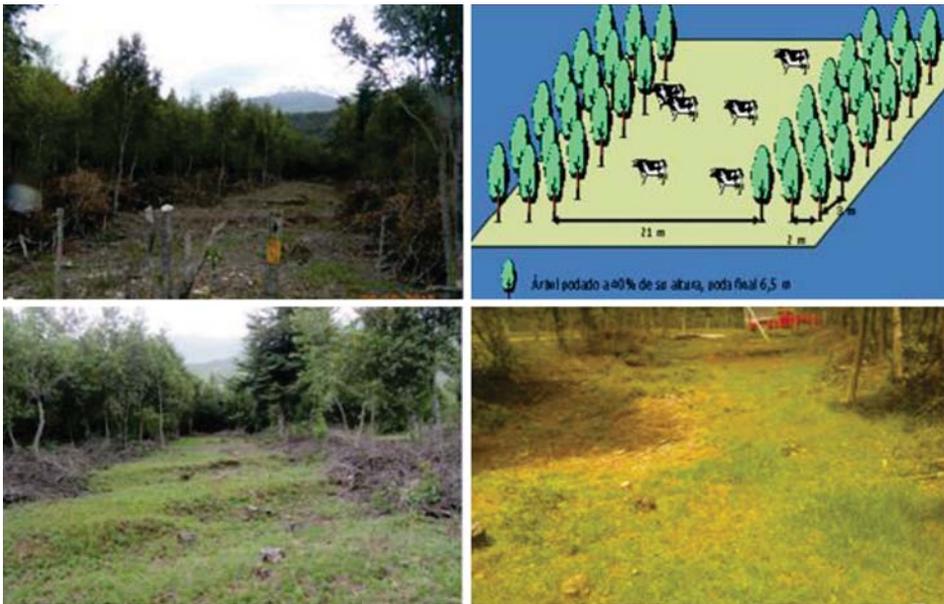


Figura N° 9
RALEO SILVOPASTORAL EN FAJAS EN RENOVAL DE RADAL (SUP) Y RESPUESTA DE LA PRADERA AL RALEO EN FAJAS SECTOR (INF), SECTOR EL MALITO, PALENA



Figura N° 10
APLICACIÓN DE HERBICIDA PARA CONTROL DE REBROTOS:
ANTES DE APLICACIÓN (SUP IZQ), APLICACIÓN EN INCISIONES LATERALES (SUP DER),
Y PROCESO DE MARCHITAMIENTO DE HOJAS Y MUERTE DE TOCÓN (INF)

Para la aplicación de este herbicida se deben tener presentes algunos aspectos técnicos y de sanidad ambiental. Una vez aplicado el producto se debe excluir la presencia de ganado doméstico por al menos 21 días; para su aplicación en especies que posean características adaptativas de conexión radical se recomienda hacerla en forma previa al termino del raleo, dado que habrán algunos árboles en pie dañados por el herbicida que será necesario eliminar; y como es habitual en el uso de este tipo de productos los envases deben ser desechados en lugares dispuestos para este efecto.

En el Cuadro N° 5 se entrega un resumen de los costos involucrados en el establecimiento de esta unidad demostrativa instalada en bosque de radial. Esta información podría ser incorporada a la tabla de costos de la Ley N° 20.283 sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal.

Cada una de las unidades implementadas por el programa fue mantenida y evaluada periódicamente. Para el caso de los ensayos silvopastorales se instalaron parcelas permanentes para su evaluación, con esta información se espera tener tendencias que expliquen de mejor modo el comportamiento de estos sistemas en el tiempo.

Cuadro N° 5
COSTOS DE LA HABILITACIÓN PARA MANEJO SILVOPASTORAL
DE UNA HECTÁREA DE BOSQUE DE RADAL. COMUNA DE PALENA

Item	Cantidad	Unidad	Costo	
			Unitario	Total
			(UTM)	
Mano obra raleo	16	Jornada	0,46	7,40
Mano obra ordenación desechos	8	Jornada	0,35	2,80
Mano obra aplicación herbicida	6	Jornada	0,35	2,10
Herbicida Tordon 101	1	L	0,55	0,55
Mezcla motosierra	2	L	0,12	0,20
Aceite cadena	2	L	0,03	0,10
Combustible	10	L	0,02	0,20
Cadena	2	Unidad	0,56	1,10
Total				14,45

UTM: Unidad Tributaria Mensual

Capacitación y Transferencia Tecnológica

La estrategia para transmitir el conocimiento hacia el público objetivo, fue a través de cursos de capacitación teóricos y prácticos. Estas actividades fueron orientadas a productores, técnicos y profesionales de la comuna de Palena. Los cursos teóricos se llevaron a cabo en el salón de la Municipalidad de Palena y fueron referidos a distintos temas del ámbito forestal y agroforestal, tales como:

Introducción a los sistemas agroforestales.

Técnicas de establecimiento.

Manejo posterior del sistema productivo.

Instrumentos de fomento: Planes de manejo SIRSD- INDAP, Ley N° 20.283 y DL 701.



Figura N° 11
JORNADA DE CAPACITACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
PRODUCTORES Y PROFESIONALES, COMUNA DE PALENA, CHILE.

Unos 70 participantes concurren al curso de capacitación y posterior día de campo realizados por INFOR. Gran parte de los asistentes fueron productores y los restantes técnicos y profesionales de la zona. El objetivo fue capacitar a los propietarios para el establecimiento y manejo de sistemas agroforestales en sus predios y para esto fue de especial importancia la visita a las unidades demostrativas implementadas por el programa, ocasión en que posible reforzar los contenidos tratados en el curso teórico.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Existe disposición de los servicios del Ministerio de Agricultura y de los profesionales y técnicos de la provincia de Palena, para participar, apoyar y fomentar actividades de capacitación y transferencia tecnológica en temas agroforestales. Del mismo modo, los productores demandan nuevos conocimientos en estas materias y las perciben como beneficiosas para su desarrollo campesino.

La elección de productores líderes para establecer las unidades demostrativas es una actividad clave en cualquier programa de transferencia. De esta forma se construye conocimiento desde el territorio, con compromisos de los productores que actúan como monitores del conocimiento entre sus pares.

Del mismo modo, la ubicación de las unidades demostrativas debe ser en sitios estratégicos, para mostrar a la comunidad y con realidades propias las brechas productivas existentes. Los sistemas instalados responden a necesidades concretas de productores de la zona para solucionar problemas reales.

Los sistemas agroforestales establecidos en la comuna de Palena fueron desarrollados con la colaboración de los equipos de INDAP y PRODESAL luego de realizar visitas a los predios candidatos y, finalmente, con la activa participación de los propietarios en los predios seleccionados.

Las actividades de capacitación y transferencia tecnológica realizadas por INFOR durante el periodo del Programa, que alcanzaron a más de 100 productores y 20 profesionales y técnicos, fue muy positiva para que los productores de la zona internalizaran conocimiento empírico posible de ser aplicado en sus propiedades con miras a aumentar sustentablemente la productividad predial. A la vez, los profesionales que participaron de esta jornada aumentaron y reforzaron el conocimiento sobre prácticas agroforestales que pueden ser implementadas entre sus usuarios.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen al Gobierno Regional de Los Lagos y a la Secretaria Regional Ministerial de Agricultura de Los Lagos por el apoyo financiero a los trabajos expuestos en este capítulo. Agradecen igualmente a los profesionales de los equipos de PRODESAL, en especial al equipo de Palena liderado por Mónica Almarza, a Marcelo Gallardo y Fernando Grandon de INDAP, a los funcionarios de CONAF Chaitén y finalmente a los campesinos que recibieron al equipo INFOR en sus hogares como parte de sus familias.

REFERENCIAS

GORE, 2015. Información de la Región de Los Lagos. Gobierno Regional de Los Lagos. En: http://www.goreloslagos.cl/region_lagos/provincia_palena.html. [Consulta: 09-9-2015].

GORE y UACH, 2014. Guía de pesca recreativa. En: Proyecto FIC30115221-0 Determinación y Evaluación de los Factores que Inciden en los *Stocks* de Salmónidos objeto de la Pesca Recreativa en el Río Palena (región de Los Lagos), en un marco de Sustentabilidad Económica y Ambiental. Gobierno Regional de Los Lagos y Universidad Austral de Chile. 25 p.

Salinas, J., 2016. Experiencia de manejo silvopastoral en dos renovales coetaneos de *Nothofagus antarctica* (G.Forst.) Oerst. (Ñire) en la región de Aysén, Chile. Ciencia e Investigación Forestal. Santiago, Chile. Volumen 22, Número 1. 37-50 p.

Sotomayor, A., 1989. Sistemas Silvopastorales y su Manejo. Documento técnico N° 42. Revista Chile Forestal, Diciembre 1989. CONAF. 8p.



INFOR

www.infor.cl