

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 prateño 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

mantienen 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	-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	-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	-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.	-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	-Árboles multipropósitos -Cercos vivos y cortinas asociados a cultivos y ganadería -Cultivos agrícolas y ganadería en plantaciones -Árboles frutales en huertos familiares -Otros	-Álamo con cultivos y pastoreo -Árboles multipropósitos con cultivos agrícolas y pastoreo -Cortinas cortavientos y cercos vivos con cultivos agrícolas y pastoreo
Otros	-Árboles para protección de riberas cursos de agua. -Árboles para producción apícola -Agua	-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 árb 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 elliottii*, 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 sombreamiento. Encontraron una reducción en la composición porcentual de leguminosas (trébol subterráneo, trébol blanco y otras leguminosas) y gramíneas (ballica anual, chépica (*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.

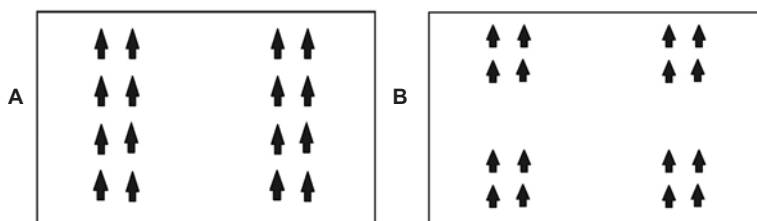
Lewis *et al.* (1985), en Estados Unidos, investigaron la producción de forraje en una plantación de *Pinus elliotti* de 13 años, plantada con una densidad de 1.157 árboles arb ha⁻¹, pero con distintas distribuciones. La distribución de la plantación se manejó con hileras simples y dobles, dejándose 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 ($p < 0.05$).

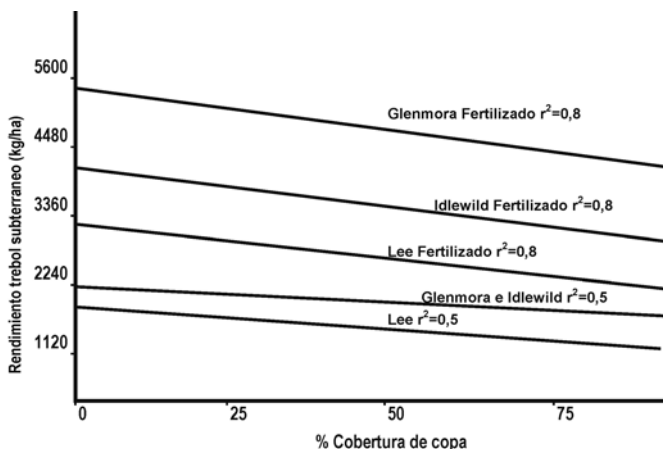
- Mejoramiento y Fertilización de la Pradera

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 elliottii* 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

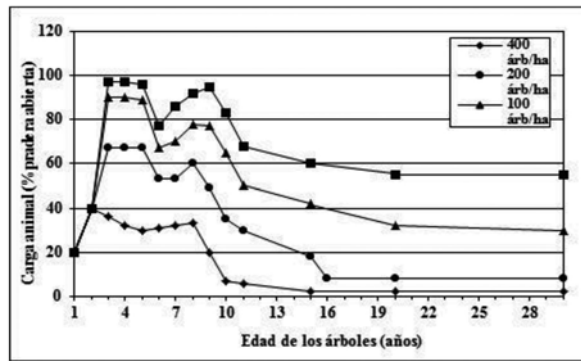
- Efecto de los Árboles Sobre la Producción y Bienestar Animal

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 perdidas 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; Doesher *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 reflectancia (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 ($0,2 \text{ t ha}^{-1}$ 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
Rotación Trigo - Raps - Pradera Natural	Pérdida de Suelos (t ha ⁻¹ año ⁻¹)					
	6	8	13	16	27	35
	4	5	9	7	15	19
	4	4	6	8	13	17
	2	2	3	4	7	9
	1	1	2	2	4	5
Rotación Trigo - Avena - Raps	12	15	24	31	50	65
	6	8	13	13	28	36
	5	7	12	15	25	32
	1	2	3	4	6	8
	1	1	2	2	3	4

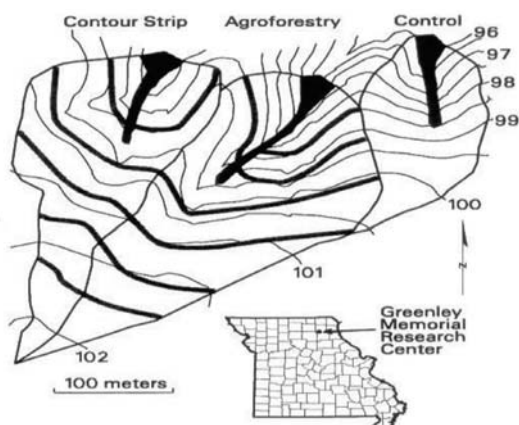
(Peña, 1984)

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 ($0,2 \text{ t ha}^{-1}$) 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.

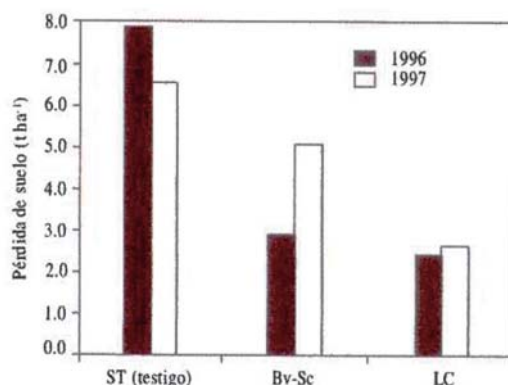


- T 1: Control
- T 2: Fajas de pasto en contorno intercaladas
- T 3: Agroforestería (árboles, y fajas de pastos intercaladas)

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 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 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, pretils, diques, muretes, etc.

Manejo de Espinales (*Acacia caven*)

Cortinas Cortavientos

Bíofiltros

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.; Condrón, 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.](http://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. En 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.