

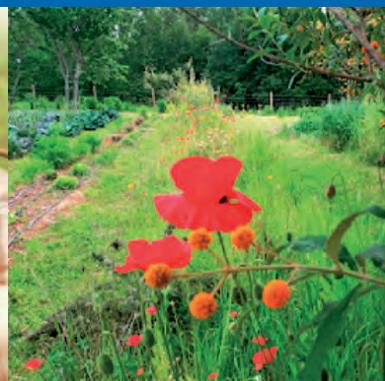


Liderando la agrociencia para un futuro sostenible

Agroecología

Fundamentos y técnicas de producción, y experiencia en la Región de Los Ríos

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS



ISSN 0717-4713

Editoras
Cecilia Céspedes León / Sigrid Vargas Schuldes

COLECCIÓN LIBROS INIA N° 45





Agroecología

Fundamentos y técnicas de producción, y experiencia en la Región de Los Ríos

Editoras

Cecilia Céspedes León

Sigrid Vargas Schuldes

Instituto de Investigaciones Agropecuarias

INIA Remehue



Editoras

Cecilia Céspedes León
Ingeniera agrónoma, M.Sc.

Sigrid Vargas Sch.
Ingeniera agrónoma

Director Regional INIA

Sergio Iraira H.

Libro INIA N° 45.

Cita bibliográfica correcta

Céspedes L., Cecilia; Vargas Sch., Sigrid (Eds.) 2021. "Agroecología. Fundamentos y técnicas de producción, y experiencia en la Región de los Ríos". Libro INIA N° 45, 370 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Osorno, Chile.

N° Inscripción Registro Propiedad Intelectual: 2021-A-11627.

ISSN: 0717- 4713.

ISBN: 978-956-7016-55-6.

Permitida su reproducción total o parcial citando la fuente y editoras.

© 2021. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Centro Regional de Investigación INIA Remehue, Ministerio de Agricultura. Ruta 5 Sur, kilómetro 8 norte, Osorno. Fono (56) 64 233 4800, Osorno, Chile.

Esta publicación fue posible gracias al apoyo del Gobierno Regional de Los Ríos y su Consejo Regional, en el marco del programa FNDR código BIP 30284073-0 "Producción agroecológica y orgánica para pequeños y medianos productores".

Edición de textos: Marcia Castellano R.

Diseño y Diagramación: Ricardo González Toro.

Impresión: TRAMA Impresores S.A.

Cantidad de ejemplares: 250.

Osorno, Chile, diciembre 2021.



CONTENIDO

- 5** **PRÓLOGO**
- 7** **I. AGROECOLOGÍA Y SOCIEDAD**
- 9** **CAPÍTULO 1**
DESARROLLO DE LA AGRICULTURA Y DE LOS SISTEMAS AGRÍCOLAS SOSTENIBLES
- 53** **CAPÍTULO 2**
LA AGROECOLOGÍA Y SU CONTRIBUCIÓN A LOS OBJETIVOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE
- 73** **CAPÍTULO 3**
AGROECOLOGÍA Y SOSTENIBILIDAD ALIMENTARIA
- 89** **CAPÍTULO 4**
ECOLOGÍA POLÍTICA Y AGROECOLOGÍA: UNA INTRODUCCIÓN A LA DECONSTRUCCIÓN SOCIOECOLÓGICA
- 101** **II. TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN AGROECOLÓGICA**
- 103** **CAPÍTULO 5**
PRINCIPIOS Y PRÁCTICAS DE SISTEMAS PRODUCTIVOS CON CRITERIOS AGROECOLÓGICOS
- 145** **CAPÍTULO 6**
DISEÑO DE SISTEMAS PRODUCTIVOS AGROECOLÓGICOS
- 167** **CAPÍTULO 7**
IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES EN LA PRODUCCIÓN CON BASE AGROECOLÓGICA
- 191** **CAPÍTULO 8**
HERRAMIENTAS DE MANEJO NUTRICIONAL EN SISTEMAS SOSTENIBLES
- 207** **CAPÍTULO 9**
MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO EN SISTEMAS CON BASE AGROECOLÓGICA
- 227** **CAPÍTULO 10**
MANEJO ECOLÓGICO DE INSECTOS Y ÁCAROS PLAGAS
- 249** **CAPÍTULO 11**
MANEJO DE MALEZAS EN PRODUCCIÓN CON BASE AGROECOLÓGICA
- 267** **CAPÍTULO 12**
MANEJO DE ENFERMEDADES EN AGRICULTURA AGROECOLÓGICA



285	III. LA AGROECOLOGÍA EN LA REGIÓN DE LOS RÍOS
287	CAPÍTULO 13 LA AGRICULTURA EN LA REGIÓN DE LOS RÍOS: DESAFÍOS, OPORTUNIDADES E IMPACTOS DEL PROGRAMA DE TRANSFERENCIA
313	CAPÍTULO 14 PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE PRODUCTOS OBTENIDOS CON MANEJO AGROECOLÓGICO Y ORGÁNICO EN LA REGIÓN DE LOS RÍOS
325	CAPÍTULO 15 COMERCIALIZACIÓN Y DESARROLLO DE NEGOCIOS EN LA PRODUCCIÓN AGROECOLÓGICA
347	RESEÑA DE LOS AUTORES
357	GLOSARIO

Capítulo 7

Importancia de los sistemas agroforestales en la producción con base agroecológica

Álvaro Sotomayor G.¹

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, arbustos y palmas 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 (Nair, 1987; Sotomayor, 2016). En los sistemas agroforestales existen interacciones tanto ecológicas como económicas entre los diferentes componentes y el propósito es lograr un sinergismo entre estos, que conduzca a mejoras netas en el sistema, tales como productividad y sostenibilidad, además de diversos beneficios ambientales y sociales.

La agroforestería es una ciencia multidisciplinaria, dada la combinación árbol-cultivo-ganadería, y debe involucrar la participación de los/as agricultores/as, junto a los/as especialistas de diferentes disciplinas, en la identificación, diseño y ejecución de las actividades de investigación como en el establecimiento de los sistemas. Si bien son varias las definiciones de agroforestería o sistemas agroforestales que existen en el mundo, todas ellas coinciden en que debe existir un manejo integrado de todos los recursos productivos que son parte de una unidad de terreno, como los árboles, los componentes agropecuarios, el suelo, el agua, la biodiversidad, con el fin de formar un sistema sostenible.

Los sistemas agroforestales se orientan a permitir actividades productivas en diferentes condiciones, desde áreas altamente productivas como también de alta fragilidad, con recursos naturales degradados o en buenas condiciones, con gestiones económicas eficientes que buscan alterar al mínimo la estabilidad ecológica, siguiendo principios agroecológicos, lo cual contribuye a alcanzar la sostenibilidad de los sistemas de producción y, como consecuencia, mejorar el nivel de vida de la población rural.

¹ Gerente Sede Biobío. Instituto Forestal. Chile. asotomay@infor.cl

Estos sistemas persiguen tanto objetivos ecológicos como económicos y sociales (Sotomayor y Cabrera, 2008; Sotomayor, 2016). 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 y arbustos cumplen un rol fundamental. Este rol se ve reflejado en que las especies leñosas pueden proveer diversos productos en beneficio de los/as productores/as silvoagropecuarios/as, tales como madera, leña, postes, alimentos para el ser humano, forraje para animales, materia orgánica para mejorar las condiciones del suelo, flores para la apicultura, productos medicinales y cosméticos de las especies leñosas como también herbáceas, aceites y resinas, entre otros (Sotomayor, 2016).

Además, los árboles son proveedores importantes de servicios como seguridad alimentaria, conservación y aumento de la fertilidad del suelo, mejoramiento y estabilidad del microclima, cercos vivos, demarcación de límites como barreras vegetales, captura de carbono, estabilización de cuencas, protección de la biodiversidad, recuperación de suelos degradados, protección y mejoramiento de la calidad de cursos de agua, control de malezas (ICRAF, 2000) y generar un entorno y un paisaje más agradable propiciando también la preservación y aumento de la vida silvestre. Estos sistemas integrados de producción pueden ser implementados en todo tipo de suelos, ya que los árboles entregan diferentes servicios ecosistémicos en diversas condiciones, aunque son más usados o recomendados en suelos de laderas, que son más susceptibles de erosión o degradación (ICRAF, 2000).

Los objetivos o beneficios de un sistema agroforestal pueden ser diferentes para cada situación y región del mundo, pero a los mencionados que son ampliamente reconocidos se pueden sumar la diversificación de la producción, asegurando con ello una mayor estabilidad y retornos económicos en el mediano y largo plazo, y un reconocido aumento en la eficiencia biológica del sistema, que contribuye a un incremento de la productividad para quienes cultivan la tierra y para toda la comunidad o región (Sotomayor, 2016).

Existe una alta relación de los sistemas agroforestales con la agroecología, la que Altieri (1999:9) define como *“una disciplina que provee los principios ecológicos básicos para estudiar, diseñar y manejar agroecosistemas que sean productivos y conservadores del recurso natural, y que también sean culturalmente sensibles, socialmente justos y económicamente viables”*. De manera similar, Sotomayor (2016) expone que los árboles proporcionan beneficios a las personas, tanto ecológicos como económicos y sociales, al establecerlos con un diseño basado en sistemas agroforestales y de sustentabilidad a largo plazo.

Tipos de sistemas agroforestales

Sistema silvopastoral

El silvopastoreo o sistema silvopastoral es una práctica agroforestal que ha sido utilizada por siglos en Latinoamérica y en el mundo, el cual combina en un mismo sitio árboles, praderas o especies herbáceas forrajeras y producción de ganado. Los sistemas silvopastorales están diseñados para obtener un producto maderable de los árboles y, en algunos casos, frutos y otros productos forestales no madereros, como también proveer sombra y albergue al ganado, proteger a la pradera, el suelo y cursos de agua, mientras se provee de un ingreso económico a corto plazo derivado de la ganadería. La interacción entre árboles, pradera y ganado se maneja para obtener diversos productos del sistema (madera, forraje y ganado) de manera simultánea, intensiva y eficiente, buscando que entre ellos la competencia sea la mínima posible para no afectar su resultado y estabilidad. En general, los sistemas silvopastorales pueden proveer ingresos económicos a la vez que crean un sistema integrado y sostenible con beneficios ambientales y sociales.

Un sistema silvopastoral puede desarrollarse de tres formas:

- como resultado de la introducción o mejoramiento deliberado de las especies herbáceas en un sistema de producción forestal ya establecido;
- mediante la introducción deliberada de árboles en una pradera ya establecida bajo sistema de producción ganadera;
- estableciendo los árboles y la pradera al mismo tiempo, para conformar un nuevo sistema productivo silvopastoral.

Previo a establecer sistemas silvopastorales, deben estudiarse las implicancias de mezclar o asociar sistemas forestales con sistemas ganaderos, y sus posibles efectos económicos y ambientales. En este análisis debe considerarse el uso actual de la tierra, la zonificación necesaria, la disposición y la densidad de los árboles a establecer (Foto 7.1.), así como también las especies más recomendables a las condiciones edafoclimáticas del territorio. Adicionalmente, se deben conocer los incentivos económicos disponibles, regulaciones y otros aspectos de planificación territorial. Los suelos agrícolas y forestales pueden tener regulaciones de uso diferentes, al igual que diferentes incentivos y pagos contributivos.



Foto 7.1. Sistema silvopastoral tradicional con coníferas a densidad de 400 árboles/ha, homogéneamente distribuidos (izquierda) y sistema silvopastoral en fajas alternas con igual densidad (derecha) Fuente: Sotomayor, 2016.

Sistema agrosilvicultural

La agrosilvicultura es un término colectivo que abarca los sistemas y tecnologías para el aprovechamiento de los suelos, en los cuales 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 que se deben conocer para realizar un adecuado manejo del sistema.

Los componentes forestales debidamente seleccionados pueden contribuir a la productividad y viabilidad de sistemas de explotación agrícola en suelos marginales, aumentando el contenido de materia orgánica, manteniendo o mejorando la fertilidad del suelo, reduciendo la erosión, reteniendo el agua y creando un microclima más favorable para el conjunto constituido por especies forestales y cultivos. Estas funciones de servicios ecosistémicos que proveen los árboles complementan las funciones de producción directa que ellos podrían también desempeñar al servir como fuente de alimentos, forraje, leña, materiales de construcción y otras materias primas para los productores y las industrias rurales (Sotomayor, 2016). La agrosilvicultura también es importante en las prácticas tradicionales de aprovechamiento de los suelos al maximizar y diversificar la productividad, incluso en suelos de buena calidad. Los sistemas agrosilvícolas 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.

Aunque muchos de los recientes esfuerzos de investigación agroforestal 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 en el mejoramiento de

los sistemas de ordenación forestal. Al proporcionar a los/as agricultores/as los medios para producir leña, madera, postes con fines de construcción y otros productos forestales en los suelos agrícolas, la agrosilvicultura puede reducir considerablemente las exigencias a las que se ven sometidos los bosques y los suelos forestales pues disminuye o evita la deforestación de terrenos forestales por la presión antropogénica. Al promover estas acciones con el objeto de que aumente y permita sostener la productividad agrícola, la agrosilvicultura también puede reducir en parte la presión que existe para convertir suelos forestales en agrícolas (Sotomayor, 2016). Se exponen a continuación algunos ejemplos de estos sistemas:

- **De la agricultura migratoria al cultivo permanente:** se puede mencionar el Sistema Taungya, que es uno de los sistemas de tala 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.
- **Cultivo en fajas y otros sistemas de cultivos intercalados:** el cultivo en fajas puede definirse como un enfoque zonal de la agrosilvicultura (Sotomayor, 2016) que implica la siembra de cultivos extensivos en las fajas entre las hileras de árboles, o cultivos y praderas protegidos por hileras o cortinas cortavientos (Foto 7.2.); estas se mantienen podadas durante toda la temporada de cultivo a fin de controlar la sombra y la competencia subterránea, y para disponer de abonos verdes y de material vegetal incorporado al suelo para beneficio de los cultivos. Se podrían obtener forrajes y leña como subproductos del sistema, pero la finalidad básica es contar con el servicio ecosistémico en el sistema agrícola de labranza.



Foto 7.2. Cortina cortaviento de pino oregón *Pseudotsuga menziesii* (izquierda) y de roble *Nothofagus obliqua* (derecha), protegiendo praderas y animales.

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 destinarlos a alimentar animales. En este caso se pueden asociar cultivos agrícolas en forma de callejones entre las hileras de árboles. La distancia entre árboles para incluir cultivos pueden variar (por ejemplo, entre 6 a 21 m) dependiendo de las especies utilizadas, como álamos, castaños, encinos, cerezos, nogales u otros multipropósitos y cultivos agrícolas como maíz, porotos, trigo, arvejas u otros, incluyendo animales domésticos como vacunos, ovinos, equinos, porcinos y aves.

Otras aplicaciones

Otro uso de la agroforestería es la protección de riberas de ríos, esteros y lagos. Para ello, se establecen en la ribera del curso de agua árboles, arbustos y pastos. Esta vegetación ayuda a reducir la erosión, retiene contaminantes (herbicidas, fertilizantes, y otros) actuando como biofiltros, evitando que lleguen a los cursos de agua, además de mejorar el hábitat para la fauna y aumenta la biodiversidad (Foto 7.3.).

También se pueden utilizar los árboles para aislar vertederos o comunidades urbanas, ya que permiten atenuar el ruido de carreteras e industrias, olores, y para mejorar la belleza escénica. Otro aspecto importante de los sistemas agroforestales es su contribución a la mitigación del cambio climático, gracias a la captura de carbono y protección de los recursos naturales.



Foto 7.3. Protección de cursos de agua con árboles, arbustos y herbáceas.

Algunos de los sistemas agroforestales más utilizados en Chile y sus componentes, se presentan en el Cuadro 7.1.

Cuadro 7.1. Sistemas agroforestales utilizados en Chile y sus componentes.

Sistema	Tipos y componentes	Sistemas agroforestales
Silvopastoral	<ul style="list-style-type: none"> ● Árboles para producción de madera en praderas para pastoreo. ● Pastoreo en bosques nativos. ● Árboles o arbustos forrajeros para alimentación animal. ● Árboles fruto-forestales asociados a praderas y animales. ● Praderas. ● Animales domésticos y/o silvestres. ● Otros. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Árboles de especies coníferas de los géneros <i>Pinus</i> sp. y <i>Eucalyptus</i> sp. con praderas y ganado doméstico. ● Álamo (<i>Populus deltoides</i>) con praderas y ganado doméstico. ● Árboles fruto forestal con praderas y ganado. ● Bosque nativo (Ej. <i>Prosopis</i> spp., <i>Acacia caven</i>, <i>Nothofagus</i> spp.) con animales. ● Galpones naturales o biológicos (grupo de árboles, o bosquetes, y animales). ● Arbustos forrajeros (Ej. <i>Atriplex</i> spp, <i>Acacia saligna</i>) y animales.
Agrosilvicultural	<ul style="list-style-type: none"> ● Árboles comerciales entre cosechas agrícolas anuales. ● Cercos vivos y cortinas cortavientos alrededor de cultivos. ● Cercos vivos de protección. ● Otros, como huertos familiares, huertos melíferos, árboles frutales con cultivos. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Álamo con cultivos anuales. ● Cercos vivos y de protección. ● Cortinas cortavientos con cultivos agrícolas. ● Especies fruto- forestales (Ej. <i>Juglans</i> sp., <i>Castanea</i> sp.) en callejones y cultivos agrícolas. ● Especies leñosas melíferas (Ej. ulmo, maqui, boldo, peumo, maitén y otras), establecidas en huertos y/o deslindes. ● Bosque nativo con cultivos temporales.
Agrosilvopastoral	<ul style="list-style-type: none"> ● Árboles multipropósito. ● Cercos vivos y cortinas asociados a cultivos y ganadería. ● Cultivos agrícolas y ganadería en plantaciones. ● Árboles frutales en huertos familiares con animales domésticos y aves de corral. ● Otros. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Álamo con cultivos y pastoreo. ● Árboles multipropósitos con cultivos agrícolas y pastoreo. ● Cortinas cortavientos y cercos vivos con cultivos agrícolas y pastoreo. ● Especies frutales y melíferas en huertos familiares, con cultivos y animales domésticos.
Otros	<ul style="list-style-type: none"> ● Árboles y arbustos para protección de riberas de cursos de agua. ● Árboles para aislar vertederos e infraestructura predial. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Sistemas para protección de riberas y cursos de agua. ● Diseños de sistemas con árboles para protección de infraestructura.

Fuente: Sotomayor, 2016.

Funcionamiento e interacciones entre los componentes en sistemas agroforestales

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 con un 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, junto con la protección de suelos y aguas. Además, destacan los árboles por el mejoramiento de las condiciones ambientales dentro de su área de influencia, por la protección que brindan a los vegetales y animales, como la disminución de la velocidad del viento, regulación de la temperatura ambiental y del suelo, aumento de la humedad relativa, disminución del déficit hídrico en el suelo, protección del ganado contra lluvias y bajas temperaturas, entre otros. (Quam *et al.*, 1994; Sotomayor, 2016).

En ensayo establecido el año 2006 en la Región de Aysén, Chile, con el fin de evaluar el efecto de una cortina cortaviento sobre diferentes especies forrajeras, Teuber *et al.* (2016) demostraron que la producción de biomasa acumulada de pasto ovillo (*Dactylis glomerata*) en la zona de mayor protección de sotavento, entre 2H y 4H (siendo H la altura de los árboles expresada en metros) fue entre 17,2, y 18,0 t MS/ha, correspondiente a un 31,6-37,6% de mayor producción en relación a la zona testigo, que es entre 14-15H (Figura 7.1.). Posterior a los 5H los rendimientos descendieron visiblemente, para ubicarse entre 12,7 y 14,4 t MS/ha. Si se considera que para este experimento la altura de 15H en sotavento y la altura de 5H en barlovento son las más desprotegidas y consideradas como área testigo sin protección, se puede observar que hubo un importante incremento del rendimiento por efecto de la cortina cortaviento (Figura 7.1.).

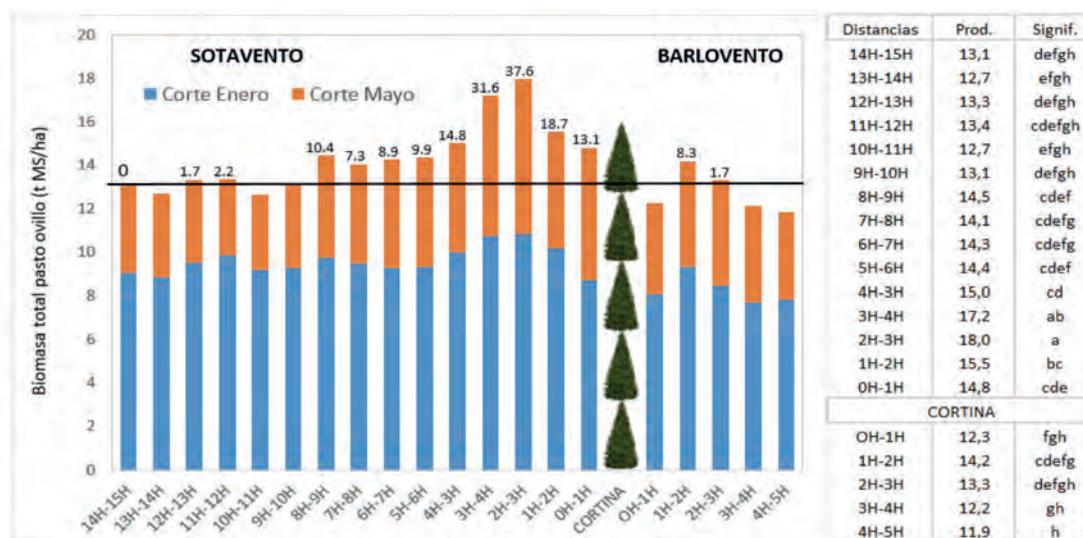


Figura 7.1. Producción acumulada de pasto ovillo (t MS/ha) a diferentes distancias de la cortina cortaviento y porcentaje de aumento con respecto a lo obtenido en zona testigo (valores en % sobre las barras). (Letras distintas señalan diferencia estadísticamente significativas).

Al mismo tiempo, los recursos forestales establecidos son beneficiados por la introducción del ganado en el sistema, que se alimenta de especies herbáceas, lo que afecta positivamente el establecimiento y crecimiento de los árboles al eliminar la competencia, 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 reciben las praderas y cultivos asociados a las plantaciones, por las deposiciones de los animales, y por el mayor espacio dejado para el crecimiento de los árboles producto de un ordenamiento agroforestal. Otro efecto ambiental importante que otorgan los árboles dentro del sistema es la protección de los suelos, dado que sus raíces que sostienen el suelo en periodos de alta pluviometría evitando aludes, y su follaje intercepta el viento y las gotas de lluvia reduciendo la erosión.

Desde el punto de vista económico, los/as productores/as locales que incorporen estos sistemas integrados de producción en sus predios podrán mantener un flujo de caja anual, expresado en la venta de animales (carne y/o lana), cereales y otros productos agrícolas, que permitirán solventar los gastos propios del grupo familiar. Además, podrán manejar sus bosques hasta que maduren y entreguen sus productos para su venta, principalmente madera (Sotomayor y Cabrera, 2008), mejorando así su calidad de vida. 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 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 realizado un manejo adecuado de sus bosques (Sotomayor y Cabrera, 2008). Además, se puede señalar que los predios se valorizarán al momento de establecer una masa forestal dentro de ellos.

Desde el punto de vista ambiental, estos sistemas aumentan la capacidad de captura del carbono atmosférico con la consiguiente mitigación de gases de efecto invernadero y, al mismo tiempo, generan un entorno y un paisaje más agradable propiciando también la preservación y aumento de la vida silvestre (Nair *et al.*, 2009).

Agroforestería como sistema de manejo integrado

Como se ha expuesto, existen distintos tipos de sistemas agroforestales, y consecuentemente diversos manejos, los que dependerán de los recursos productivos incorporados a estos sistemas, 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 (o *riparian buffer*) en predios agrícolas (Nair, 1987; Sotomayor *et al.*, 2009).

Cuando se establece un sistema silvopastoral, los árboles deben ser manejados permitiendo la entrada de luz solar que llega al suelo para favorecer el desarrollo de las praderas para la producción de forraje, y reduciendo la competencia entre ambos componentes (Sotomayor *et al.*, 2009); este manejo básicamente consiste en regular la densidad de árboles desde un inicio, al definir cuantos árboles se establecerán por unidad de superficie, y manejándolos posteriormente con raleos y podas para balancear la productividad forestal y praterense (Sotomayor y Cabrera, 2008).

En la medida que existe mayor competencia por el uso de los suelos, nuevas alternativas de producción deben ser exploradas para satisfacer las necesidades alimenticias de la población. El silvopastoreo, 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, presentan una serie de ventajas sobre un sistema forestal tradicional para los/as pequeños/as y medianos/as propietarios/as, dado que les permite generar ingresos intermedios por venta de animales y madera proveniente de intervenciones intermedias, mientras el recurso forestal madura hasta obtener su máxima productividad y valor. El éxito de un esquema silvopastoral se basa, en primer lugar, en una correcta programación de sus actividades y su manejo, centrada en objetivos muy bien definidos en ambos rubros, ganadero y forestal; en segundo lugar, en el logro de altos índices productivos en ambos rubros (Sotomayor, 2016).

Algunos beneficios ambientales de los sistemas silvopastorales son los siguientes (Nair, 1987; Nair *et al.*, 2009; Sotomayor, 2016):

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 y a la mitigación de gases efecto invernadero.

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, praderas y/o cultivos, proveen un hábitat diverso, refugio y protección para muchas especies animales terrestres, aumentando su biodiversidad. Los peces y otros animales acuáticos presentes en los cursos de agua se benefician del control de la erosión y filtración de potenciales contaminantes en 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 o pratense 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 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. 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 (2016), 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, destaca la densidad del bosque (explicada en número de árboles, área basal (AB) y cobertura de copa (CC) por unidad de superficie), la que al aumentar puede provocar una disminución en la producción de forraje. Grelen y Loherey (1978) estudiaron la relación entre el rendimiento de la pradera y el AB, encontrando una fuerte relación entre estas dos variables. Señalan que un incremento en el AB de *Pinus palustris* afectó negativamente la producción de forraje, obteniendo un promedio de 1.153, 911 y 770 kg MS/ha para tratamientos con AB de 13,8, 18,4 y 23 m²/ha, respectivamente.

En relación a la CC, en estudio realizado en la Región de Aysén con *Pinus contorta*, Sotomayor *et al.* (2016) encontraron que este fue el mejor indicador de la producción de la pradera, superior al AB y al número de árboles (Figura 7.2.). Para analizar el efecto de los árboles, ordenado en sistema silvopastoral sobre la producción de la pradera, se ajustaron los parámetros AB y CC en relación a la producción pratense. El AB no mostró una buena correlación con la producción de pradera con $r^2=0,22$ y $r^2=0,35$ para sistema silvopastoral tradicional y en fajas respectivamente. En cambio, existe una relación positiva de la CC en relación con la pradera, con una correlación de $r^2=0,88$ y $r^2=0,69$ para el tratamiento silvopastoral tradicional y en fajas respectivamente (Figura 7.2.).

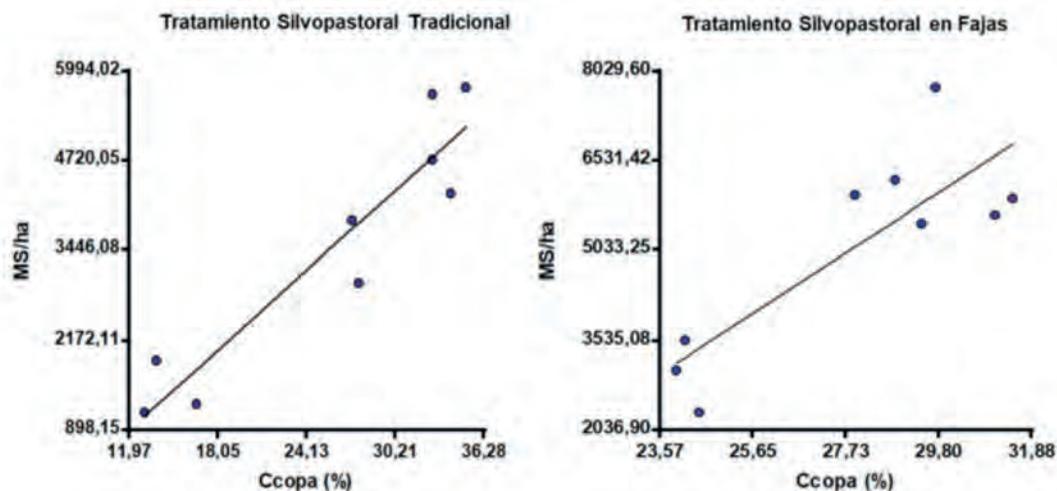


Figura 7.2. Regresión lineal cobertura de copa (CC%) - productividad pradera (kg MS/ha), a) silvopastoral tradicional y b) silvopastoral en fajas, temporadas 2004 a 2008, Unidad Agroforestal San Gabriel, Región de Aysén, Chile. Fuente: Sotomayor *et al.* (2016).

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, por el contrario, ocurre un efecto de complementación entre los componentes, aumentando la productividad de la pradera (Mead, 2009; Sotomayor y Cabrera, 2008). 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, como podas y raleos, los desechos originan el cubrimiento en la superficie perjudicando el desarrollo de la pradera y su consumo por los animales (Benavides *et al.*, 2008; Mead, 2009).

En un estudio realizado en Australia, en bosques de pino insigne (*Pinus radiata*), Anderson *et al.* (1988), demostraron el efecto de la densidad sobre la intercepción de luz solar, la incidencia en la producción de la pradera y la cantidad de animales que podía soportar el sistema (Cuadro 7.2.). A medida que la densidad aumentaba, la luz transmitida a través del dosel disminuía, reduciendo la producción de forraje y la capacidad de carga animal.

Cuadro 7.2. 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 *Pinus radiata* en Australia.

Edad del rodal (años)	Densidad del rodal (árboles/ha)	Luz transmitida (%)	Producción de forraje (%)	Capacidad de carga animal (%)
6 - 7*	0	100	100	100
	100	81	87	82
	300	69	76	73
20**	0	100	100	100
	70	47	67	59
	150	24	39	24

Nota: *poda a 4 metros; **poda a 6 metros.
Fuente: Anderson *et al.*, 1988.

La competencia por agua y nutrientes bajo el suelo también es importante y debe ser considerada en el diseño y manejo del sistema; esta ocurre en la zona radicular y es importante en la selección de los componentes vegetales del sistema, ya que deben compartir diferentes zonas de interacción radicular y/o diferentes temporadas de crecimiento, de forma de no crear competencia entre ellos. Un ejemplo claro de esta interacción es al momento de plantación; si las plantas forestales están rodeadas por una pradera establecida, sufrirán un alto nivel de estrés debido a la competencia (Sotomayor, 2016), lo cual puede ocasionar mortalidad si no se realizan labores de control local de malezas (Mead, 2009).

Aspectos para 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, el manejo de la pradera y animales, son aspectos de suma importancia para el buen resultado en un sistema silvopastoral. Para favorecer la entrada de luz al piso del bosque y la producción praterense y reducir la competencia bajo el suelo, en términos generales, la densidad de plantas a establecer en el terreno en un manejo con fines silvopastorales, es menor que en una plantación tradicional con fines de producción de madera, (Sotomayor, 2016).

Efecto de la distribución o arreglo espacial de los árboles

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 en fajas de

árboles, pero adyacentes a la pradera). Si bien el primer sistema es el más usado, el segundo al parecer es el más conveniente cuando el objetivo es favorecer la producción praterense, ya que la pradera y los árboles pueden ser manejados en forma separada, optimizando la producción del sitio.

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 20 m con plantas distanciadas a 2 a 3 m sobre la hilera, o plantaciones en conglomerados (Sotomayor y Cabrera, 2008). Un mayor espacio entre las hileras permite desarrollar mejores actividades mecanizadas para la conservación de forraje. Con plantaciones dispuestas 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 menor densidad inicial de plantación, y un aumento en la producción de la pradera por un menor sombreado por la 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, establecida con una densidad de 1.157 árboles/ha con distintas distribuciones en el terreno, con hileras simples y dobles, y dejando una franja con pradera adyacente entre las hileras de árboles con anchos variables. Como se puede observar en Cuadro 7.3., la mayor producción de la pradera se obtuvo en el tratamiento D-3, con un ancho entre las hileras dobles de pino de 26,8 m.

Cuadro 7.3. Configuración espacial y cobertura de copa en plantaciones de *Pinus elliottii*, a una densidad de 1.157 árboles/ha, a la edad de 13 años, y producción de pradera.

Configuración espacial (m)	Tratamiento*	Área bajo la copa (%)	Área sin cobertura de copa (%)	Rendimiento pradera (MS kg/ha)
2,4 x 3,6 m	S-1	100	0	1.275
1,2 x 7,2 m	S-2	53	47	607
0,6 x 14,4 m	S-3	29	71	1.197
(1,8 x 2,4) x 7,2 m	D-1	60	40	1.509
(1,2 x 2,4) x 12,0 m	D-2	44	56	1.416
(0,6 x 2,4) x 26,8 m	D-3	20	80	2.882

S: hilera simple; D: hilera doble.
Fuente: Lewis *et al.*, 1985.

En un estudio realizado en la Región de Aysén, con *Pinus contorta* y pradera natural fertilizada compuesta principalmente por trébol blanco y pasto ovillo bajo un sistema silvopastoral, Sotomayor *et al.* (2016) encontraron que, en general, la mejor producción de la pradera en todas las temporadas la obtuvo el tratamiento silvopastoral en fajas (SSF) con un ancho de 21 m entre fajas, y con 400 árboles/ha; le siguió el sistema silvopastoral tradicional con

400 árboles/ha (SST) con árboles distribuidos homogéneamente en el terreno, y finalmente el sistema ganadero sin árboles (SG) (Cuadro 7.4), aunque en los últimos años no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos SST y SG. La peor temporada de producción fue el primer periodo de evaluación, 2004-2005, para los tres tratamientos, debido a que fue el primer año de producción después de la apertura del dosel en los tratamientos silvopastorales y la fertilización de la pradera.

Cuadro 7.4. Producción de la pradera por tratamiento y por temporada de crecimiento.

Tratamiento	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010
	kg MS ha ⁻¹ ± E.E.					
T2 SST	1485,7 ^a ± 229	6109,7 ^a ± 846	4153,2 ^b ± 708	4330,9 ^{ab} ± 465	3423,6 ^b ± 432	3382,2 ^b ± 116
T3 SSF	2684,9 ^a ± 381	7181,6 ^a ± 470	6394,5 ^a ± 602	5359,7 ^a ± 313	5835,7 ^a ± 484	4756,1 ^a ± 181
T4 SG	2452,1 ^a ± 435	3832,1 ^b ± 591	3874,1 ^b ± 472	3513,6 ^b ± 470	4410,4 ^{ab} ± 597	3847,0 ^b ± 230
Produccion media	2207,6	5707,8	4807,3	4401,4	4556,6	3995,1

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

Fuente: Sotomayor et al., 2016.

Efecto de los árboles sobre la producción y bienestar animal

La producción de forraje es el factor más importante que permite determinar la capacidad de carga animal de la pradera y, como consecuencia, su productividad está íntimamente relacionada con la disponibilidad de alimento (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.

Los sistemas integrados de árbol y pradera no solo benefician indirectamente la producción pecuaria, a través del mejoramiento de la productividad de las praderas, sino que además pueden beneficiar a los animales por la sombra y abrigo otorgado por los árboles, ayudándolos a disminuir el gasto metabólico de regulación de la temperatura corporal, por estrés calórico en verano y para generación de calor en invierno (Bird *et al.*, 1992; Quam *et al.*, 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.

El Cuadro 7.5. presenta el efecto del viento en la temperatura ambiental, donde a medida que la velocidad del viento aumenta, la temperatura ambiental se reduce y aumenta el riesgo de sobrevivencia para los animales. Por ejemplo, con temperatura exterior de 13°C y 40 km/hr del viento, la temperatura ambiental se reduce a -1°C. Las zonas destacadas con color indican las temperaturas de riesgo para los animales, el color amarillo indica temperaturas de riesgo alto y naranja de riesgo máximo de muerte. Con la misma velocidad del viento, pero con -12°C en situación de calma, la temperatura se reduce a -34°C, lo cual es una situación de riesgo alto para los animales (Quam *et al.*, 1994).

Todos los animales de sangre caliente deben mantener su temperatura corporal dentro de un rango o zona confortable, que en el caso de los bovinos es cercana a los 39°C. Cuando el animal es mantenido en una zona de termo-neutralidad, es decir, entre 5 y 20°C, no tendrá problemas para mantener dicha temperatura, basándose principalmente en la energía liberada producto de la fermentación ruminal, de la actividad motriz del retículo rumen y de los procesos metabólicos de su organismo (Quam *et al.*, 1994).

Cuadro 7.5. Velocidad del viento invernal (km/hr) y su relación sobre la disminución de la temperatura ambiente (°C), y aumento del riesgo para animales.

Tº exterior		13	4	-1	-7	-12	-18	-23	-29	-34
Velocidad del viento	Calma	13	4	-1	-7	-12	-18	-23	-29	-34
	8	9	3	-3	-9	-14	-21	-26	-32	-37
	16	4	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-43	-50
	24	2	-6	-13	-21	-28	-35	-43	-50	-58
	32	0	-8	-16	-23	-31	-39	-47	-55	-63
	40	-1	-9	-17	-26	-34	-42	-51	-59	-67
	48	-2	-11	-19	-28	-36	-45	-53	-62	-69
	56	-3	-12	-20	-29	-37	-47	-55	-63	-72
	64	-3	-12	-21	-29	-38	-47	-56	-64	-73
	72	-4	-13	-21	-30	-39	-48	-57	-65	-74
	Zona de riesgo alto									
Zona de riesgo máximo										

Fuente: Adaptado de Quam *et al.*, 1994.

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 termo-neutralidad.

Cuando la temperatura del aire desciende, los animales deben gastar energía para mantener el calor corporal; cuando se aproxima el invierno muchas especies de animales 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°C. Una temperatura inferior a esta le genera estrés y comienza a consumir alimento adicional para mantener la temperatura corporal (Quam *et al.*, 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).

Como se ha indicado anteriormente, una cubierta de árboles ya sea en diseño silvopastoral, como cortinas cortavientos o en bosquetes, le otorga a los animales una protección muy significativa, en especial en los períodos invernales. Quam *et al.*, (1994) y 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 este ahorro a un 17,5%. 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 (Cuadro 7.6), sino que disminuye también la situación de estrés de los animales y aminora los costos de inversión.

Cuadro 7.6. Efecto del lugar de suplementación invernal sobre el crecimiento de novillos.

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

Fuente: Redbo *et al.*, 1996.

Efecto del componente forestal sobre el microclima en sistemas agroforestales

Ha sido reportado por diversos/as autores/as el papel de los árboles en la modificación del microambiente en su entorno (Guevara-Escobar *et al.*, 2000; Mead, 2009; Sotomayor, 2016). 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 (Peri *et al.*, 2007; Mead, 2009), el viento, la humedad y la temperatura (Mead, 2009; Sotomayor, 2016)

En el estudio mencionado anteriormente, realizado en la Región de Aysén (Sotomayor *et al.*, 2016), se evaluó también el efecto de los árboles en la velocidad del viento, comparando dos sistemas silvopastorales con 400 árboles/ha, uno con árboles distribuidos uniformemente en el sitio (SST) y el segundo distribuido en fajas alternas (SSF) separadas cada 21 m, en relación con un tratamiento ganadero sin árboles (SG). El viento fue un 200% mayor en tratamiento SG en relación con los sistemas silvopastorales, y la menor velocidad se encontró en el tratamiento silvopastoral con árboles homogéneamente distribuidos.

En relación con la temperatura del ambiente Sotomayor y Teuber (2011) encontraron que no se presentaron grandes diferencias entre los tratamientos. De acuerdo con los resultados recogidos entre octubre de 2007 y febrero de 2008 se observó que el tratamiento silvopastoral en fajas (SSF) tuvo valores promedios para ese periodo, levemente mayores al tratamiento ganadero sin árboles (SG), de 10,2 °C y 9,9 °C respectivamente. En el periodo febrero a marzo 2008, estos valores bajaron a 7,9 °C para SSF, 7,7 °C para el tratamiento silvopastoral tradicional (SST) y 7,9 °C para el tratamiento SG.

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 menor 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 insignis (*Pinus 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, también reduce su poder erosivo sobre los suelos. Bird *et al.*, (1992) encontraron que con una cortina de una hilera de *Eucalyptus gomphocephala* reducía en 62% el viento en relación con una situación abierta, pero en un estimado de su fuerza erosiva se reducía a 25%.

La intensidad de luz parece ser uno de los principales factores que influyen 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 dado que con un incremento de la densidad resulta en un incremento de la sombra (Wall *et al.*, 1997). 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 árboles/ha fue un 81% en relación con una pradera descubierta y de 69% con 300 árboles/ha (Burner y Brauer, 2003). La penetración de la luz varía también entre especies, debido a diferencias en la arquitectura del árbol; se ha descrito la altura, tamaño de la copa, número y distribución de ramas, densidad foliar, área y ángulo de hojas, características de refractancia (McAdam, 1996) y variación estacional en crecimiento del follaje (deciduas y perennes), como factores que afectan la penetración de la luz.

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 ingresa 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 (*Populus deltoides*) fue de un 34, 24, 10 y 6% menor en rodales con densidad de 37 árboles/ha (29 años), 100 árboles/ha (8-11 años), 44 árboles/ha (15 años) y 156 árboles/ha (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.

Comentarios finales

Para lograr la adopción de la agroforestería como una práctica habitual en el manejo de los predios, son muy importantes los instrumentos de fomento, particularmente en la decisión de pequeños/as y medianos/as propietarios/as, que son los más beneficiados/as 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 de fomento forestal en el año 2012, las tasas anuales de forestación en el país han caído dramáticamente y son justamente estos segmentos de propietarios/as los más afectados/as por la falta de incentivos del Estado. Sin embargo, es necesario perfeccionar los instrumentos de fomento existentes y diseñar nuevos para la promoción, esta vez, de sistemas agroforestales, que consideren la integralidad de ellos en sus componentes leñosos, práticos y animales, como también en la protección 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, así como de instrumentos de fomento y recursos financieros. En la actualidad, no existen iniciativas de fomento diseñadas específicamente para sistema agroforestales; la disponible, como el Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios (SIRSD-S), termina el año 2022, por lo que se hace indispensable la incorporación de estas propuestas en el futuro instrumento.

Referencias

- Altieri, M. (Ed.). (1999).** *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*. Editorial Nordan-Comunidad. https://www.icia.es/icia/download/Agroecolog%C3%ADa/Material/Agricultura_sustentableII.pdf
- 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(2), 255-263. doi:10.2307/1934853
- Anderson, G.W., Moore, R.W and Jenkins, P.J. (1988).** The integration of pasture, livestock and widely-spaced pine in South West Western Australia. *Agroforestry Systems*, 6(1-3), 195–211. doi:10.1007/BF02344759
- Benavides, R., Douglas, G. B., and Osoro, K. (2008).** Silvopastoralism in New Zealand: review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics. *Agroforestry Systems*, 76(2), 327–350. doi:10.1007/s10457-008-9186-6

- 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. *Agroforestry Systems*, 20(1-2), 59-86. doi:10.1007/978-94-011-1832-3_3
- Burner, D. and Brauer, D. (2003).** Herbage responses to spacing of Loblolly Pine trees in a minimal management silvopasture in southeastern USA. *Agroforestry Systems*, 57(1) 69-77. doi:10.1023/A:1022943224478
- Cañas, R. (1995).** Requerimientos nutricionales en R. Cañas (Ed.), *Alimentación y nutrición animal*. Pontificia Universidad Católica de Chile. 37p.
- 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. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 63, 131-138. doi:10.33584/jnzg.2001.63.2441
- Grelen, H. and Loherey, R. (1978).** *Herbage yield related to basal area and rainfall in a thinned Longleaf plantation*. USDA. Forest Service. Res. Note SO-232. https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/rn/rn_so232.pdf
- 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 Physiology*, 20(2), 97-106. doi:10.1093/treephys/20.2.97
- Lewis, C., Tanner, G. and Terry, W. (1985).** Double vs. Single row Pine plantation for wood and forage production. *Southern Journal of Applied Forestry*, 9(1), 55–61, doi:10.1093/sjaf/9.1.55
- McAdam, J.H. (1996).** Vegetation change and management in temperate agroforestry systems. *Aspects of Applied Biology*. 44, 95-100.
- 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 L. Currie, R. Stewart and C.W. Anderson (Eds). *Environmental management using soil-plant systems*. Fertilizer and Lime Research Centre. Massey University, New Zealand.
- McLaughlin, S. P. (1978).** Overstory Attributes, Light, Throughfall, and the Interpretation of Overstory-Understory Relationships, *Forest Science*, 24(4)550–553. doi:10.1093/forestscience/24.4.550
- Mead, D. (2009).** Biophysical interactions in silvopastoral systems: A New Zealand perspective en Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Ed.) *Actas del 1^{er} Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles*.
- Moreno, G., Obrador, J. and García, A. (2007).** Impact of evergreen Oaks on soil fertility and crop production in intercropped dehesas. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 119(3-4), 270-280. doi:10.1016/j.agee.2006.07.013

- Nair, P. K. R. (1987).** Soil productivity under agroforestry in H.L. Gholz, N. Martinus and W. Junk (Eds.) *Agroforestry Realities, Possibilities and Potentials*. Dordrecht.
- Nair, P.K.R., Kumar B.M., Nair V.D. (2009).** Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(1), 10–23. doi:10.1002/jpln.200800030
- Peri, P., Varella, A., Lucas, R. and Moot, D. (2001).** Cocksfoot and lucerne productivity in a *Pinus radiata* silvopastoral system: a grazed comparison. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 63,139-147. <https://hdl.handle.net/10182/4575>
- 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. *Agroforestry Systems*, 55, 207–219. doi:10.1023/A:1020588702923
- Peri, P., Lucas, R. and Moot, D. (2007).** Dry matter production, morphology and nutritive value of *Dactylis glomerata* growing under different light regimes. *Agroforestry Systems*, 70(1) 63–79. doi:10.1007/s10457-007-9029-x
- Quam, V., Johnson, L., Wight, B. and Brandle. (1994).** *Windbreaks for Livestock Operations*. University of Nebraska Cooperative Extension EC 94-1766-X. 9p. <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1836&context=extensionhist>
- Redbo, I., Mossberg, I., Ehrlemark, A. and Ståhl-Hóberg, S. (1996).** Keeping growing cattle outside during winter: behavior, production and climatic demand. *Animal Science*. 62(1),35-41. doi:10.1017/S1357729800014284
- 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*, 14(2),269-286. doi:10.52904/0718-4646.2008.105
- Sotomayor, A., Teuber, O. y Moya, I. (2009).** Resultados y experiencia sobre manejo de sistemas silvopastorales en la región de Aysén en O. Teuber (Ed.), *Sistemas Agroforestales para la Región de Aysén. Cortinas Cortaviento y silvopastoreo* (pp: 165-199). Instituto de Investigaciones Agropecuarias e Instituto Forestal. Santiago, Chile.
- Sotomayor, A. y Teuber, O. (2011).** Evaluación del efecto de los árboles manejados bajo ordenación silvopastoral en los parámetros climáticos del sitio, en relación a un manejo ganadero sin árboles. *Ciencia e Investigación Forestal*, 17(1),23-40. doi:10.52904/0718-4646.2011.357
- Sotomayor, A., Schmidt, H., Salinas, J., Schmidt, A., Sanchez-Jardon, L., Alonso, M., Moya, I. and Teuber, O. (2016).** Silvopastoral Systems in the Aysen and Magallanes Regions of the Chilean Patagonia in P. Peri, F. Dube and A. Varella (Eds.) *Silvopastoral Systems in Southern South America. Advances in Agroforestry*, 11, 213-320. Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-319-24109-8_9

- Sotomayor, A. (2016).** Introducción a los sistemas agroforestales y las interacciones entre sus componentes en A. Sotomayor y S. Barros (Eds.) *Los Sistemas Agroforestales en Chile* (Cap 1. pp. 09-56). Instituto Forestal. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/21189>
- 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 O. Teuber (Ed.), *Sistemas Agroforestales para la Región de Aysén. Cortinas Cortaviento y silvopastoreo* (pp: 85-128). Instituto de Investigaciones Agropecuarias e Instituto Forestal. Santiago, Chile.
- Teuber, O., Sotomayor, A., Moya, I. y Salinas J. (2016).** Cortinas Cortavientos y su Impacto en la Producción Agropecuaria de la Región de Aysén en A. Sotomayor y S. Barros (Eds.), *Los Sistemas Agroforestales en Chile*. (Cap 9. pp. 209-230). Instituto Forestal, Santiago, Chile. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/21189>
- 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. <https://doi.org/10.33584/jnzg.1997.59.2238>



Cosecha de remolachas (1911). Leon Jan Wyczółkowski.

La fertilidad del suelo es la capacidad de hacer producir, un suelo más fértil no es aquel que presente mayores niveles de indicadores químicos de fertilidad, sino aquel con mayor capacidad para aumentar la producción de las especies, en una rotación de cultivos correctamente seleccionada, en función de la aptitud agrícola de ese suelo. La imagen representa la cosecha de remolacha y la utilización de los rastrojos para el alimento de los animales que se distinguen en el fondo.



Agroecología

Fundamentos y técnicas de producción, y experiencia en la Región de Los Ríos

