

Capítulo 7

SISTEMAS AGROFORESTALES CON ESPECIES DE ALTO VALOR

Verónica Loewe¹ y Claudia Delard²

RESUMEN

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

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

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

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

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

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

¹ INFOR, Chile, vloewe@infor.cl

² INFOR, Chile, cdelard@infor.cl

SUMMARY

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

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

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

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

INTRODUCCIÓN

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Nogal Común (*Juglans regia* L.)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Cerezo Común (*Prunus avium* L.)

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

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

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

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

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

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

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

Castaña (*Castanea sativa* Mill.)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Roble Rojo Americano (*Quercus rubra* L.)

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

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

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

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

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

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

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

Encino (*Quercus robur* L.)

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

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

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

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

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

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

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

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

Pino Piñonero (*Pinus pinea* L.)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

OBJETIVOS

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

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

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

de forraje. Los Lagos, región de Los Ríos.

- Pino piñonero asociado a cultivos agrícolas y ovinos. El Carmen, región del Bio Bio.

MATERIAL Y MÉTODO

Las características de los sitios donde se establecieron los sistemas evaluados se presentan en el Cuadro N° 1.

Antecedentes respecto del establecimiento de los mismos y su manejo se encuentran en el Cuadro N° 2, y detalles sobre el manejo silvo-agro-forestal del sistema con pino piñonero en el Cuadro N° 3.

Retiro fue establecido el año 1996 sobre una superficie de 2 ha, con una densidad inicial de 1.111 árb ha⁻¹, y corresponde a un diseño de bloques al azar de familias cuyas madres presentaban características de interés desde el punto de vista de la producción maderera. Los primeros 5 años se asoció a maíz en cultivo intercalado, manteniendo una faja libre de 1 m por cada lado de los árboles.

Los Lagos se plantó el 2001 en 2,9 ha, con un diseño en bloques al azar incluyendo plantaciones puras y mixtas, con una densidad de las especies principales de 156 árb ha⁻¹ (8 x 8 m). Las especies principales son cerezo común (*Prunus avium*), roble rojo americano (*Quercus rubra*), encino (*Quercus robur*) y castaño (*Castanea sativa*).

Se incluyen en algunos casos especies secundarias arbóreas, como aliso italiano (*Alnus cordata*), avellano (*Gevuina avellana*), notro (*Embothrium coccineum*), y una arbustiva, piche (*Fabiana imbricata*). Las asociaciones probadas corresponden a:

1. Cerezo común puro
2. Roble rojo americano puro
3. Castaño puro
4. Encino puro
5. Cerezo – roble – castaño – encino
6. Cerezo – roble – castaño – encino – aliso negro
7. Cerezo – roble – castaño – encino – avellano
8. Cerezo – roble – castaño – encino – notro
9. Cerezo – roble – castaño – encino – piche
10. Cerezo – roble – castaño – encino – aliso – piche
11. Cerezo – roble – castaño – encino – avellano – piche
12. Cerezo – roble – castaño – encino – notro – piche

En las entre hileras se mantuvo la pradera presente en el predio con el fin de cosecharla anualmente.

La unidad El Carmen considera dos sistemas agroforestales establecidos con pino piñonero el año 2010, que incluyen cultivos agrícolas y producción ovina. Las densidades de plantación fueron 5 x 5 m y 7 x 7 m.

Cuadro N° 1
LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ENSAYOS

Ensayo	Especie Forestal	Espaciamiento (m)	Ubicación		Altitud (msnm)	Suelo	Precipitación Anual (mm)	Temperatura Media Anual (°C)
			LS	LO				
Retiro	Nogal común	3 × 3	36°06'08.63"	71°46'27.94"	170	Agrícola (clase II con riego)	869,9	13,8
Los Lagos	Cerezo común, roble rojo, castaño y encino	8 × 8	39°52'23.46"	72°50'43,51"	459	Agrícola (clase IV)	1 649,3	10,0
El Carmen	Pino piñonero	5 x 5 y 7 x 7	36°56'55,19"	71°49'55,31"	533	Agrícola (clase III con riego)	958,3	12,1

(Fuente: IREN, 1964 y DGA, 2015)

Cuadro N° 2
INFORMACIÓN SOBRE ESTABLECIMIENTO Y MANEJO DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS EVALUADOS

Actividad	Retiro	Los Lagos	El Carmen
Establecimiento	Julio 1996	Agosto 2001	Julio 2010
Años de Medición	1996, 1997, 1998, 1999, 2002, 2003, 2006, 2007, 2011 y 2015	2001, 2003, 2004, 2005, 2006 y 2015	2010, 2011, 2012, 2013, 2014 y 2015
Cuidados Culturales	Fertilización inicial (50 kg/ha urea y 100 kg ha ⁻¹ superfosfato triple) y fertilizaciones años 1998 y 1999 (102 kg ha ⁻¹ de urea y 3 kg de sulfato de cobre cada año) Control anual de malezas Podas y desyemes años 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2005, 2006, 2007, 2008 y 2009. Raleos años 2002, 2003 y 2005	Fertilización inicial (100 g fosfato mono amónico, 120 g sulpomag, 20 g boronatrocalcita, 20 g sulfato Zinc, 250 g cal) Control anual de malezas Podas y desyemes años 2003, 2004, 2005 y 2006	Fertilización inicial (15 g sulfato Zinc, 20 g boronatrocalcita, 45 g fosfato mono amónico). Fertilización anual según cultivo asociado. Control anual de malezas Poda de formación y levante año 2014
Asociación	Cultivo intercalado de maíz años 1996 a 1999	Cultivo pradera permanente	Avena forrajera, papas y pradera permanente (detalles en Cuadro N° 3)

Para las evaluaciones dasométricas de las especies arbóreas principales se realizaron estadísticas descriptivas y análisis de varianza para diámetro y altura comparando con test LSD de Fisher ($p \leq 0,05$).

El test Chi cuadrado de Pearson ($p=0,05$) se usó para probar homogeneidad de proporciones de variables cualitativas (rectitud y vigor) en el caso del ensayo El Carmen.

Los análisis estadísticos se realizaron con el Software INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2013).

La evaluación de los cultivos agrícolas y pecuarios se basó en un análisis comparativo descriptivo.

Cuadro N° 3
ANTECEDENTES SOBRE ROTACIONES Y MANEJO DE CULTIVOS ASOCIADOS
EN SISTEMA PRODUCTIVO DE PINO PIÑONERO DE EL CARMEN

Parcela	Cultivo Asociado	Periodo	Frecuencia de Riego Año ⁻¹ (8 h duración c/u) (N°)	Fertilizante	Dosis (kg ha ⁻¹)	Producción (kg ha ⁻¹)	Ovejas (N°)
1 (5x5 m)	Avena forrajera ¹	Jul. 2010 a Feb. 2012	Ninguno	mix 5-33-12	320	Pastoreo ovejas	15 durante 10 días mes ⁻¹
	Papas ²	Oct. 2012 a Abr. 2013	6 (Dic.–Feb.)	mix 5–33–12	2 120	10,200	0
	Avena forrajera	Nov. 2013 a Feb. 2014	Ninguno	mix 5–33–12	320	Pastoreo ovejas	15 durante 10 días mes ⁻¹
	Pradera permanente (avena forrajera + ballica ³)	Marzo 2014 hasta ahora	6 (Dic.–Feb.)	Urea	260	Pastoreo ovejas	30 durante 2 días mes ⁻¹ salvo Feb y Mar
2 (7x7 m)	Papas	Nov. 2010 a Abr. 2011	5 (Dic.–Ene)	mix 5-33-12	1 175	13,225	0
	Avena forrajera	Jul. 2011 a Feb. 2012	Ninguno	mix 5–33–12 urea	294 220	2,350 + Pastoreo ovejas	15 durante 12 días mes ⁻¹
	Avena forrajera	Abr. 2012 a Ene 2014	Ninguno	mix 5–33–12 Urea	294 150	Pastoreo ovejas	15 durante 12 días mes ⁻¹
	Pradera permanente (avena forrajera + ballica ³)	Mar 2014 hasta ahora	4 (Nov.–Ene)	Urea	220	Pastoreo ovejas	30 durante 4 días mes ⁻¹ salvo Feb y Mar

1: Avena forrajera (*Avena strigosa*)

2: Papa (*Solanum tuberosum*)

3: Ballica (*Lolium multiflorum*)

RESULTADOS

Retiro

Los resultados de crecimiento dasométrico de los nogales se presentan en los Cuadros N° 4 y N° 5, y Figuras N° 1 a N° 4.

Cuadro N° 4
DIÁMETRO Y ALTURA PROMEDIO PARA NOGAL COMÚN SEGÚN FAMILIA A LOS 19 AÑOS (AÑO 2015)

Familia	DAP (cm)		E.E.	Altura (m)		E.E.
ANDU-1	17,7	abc	1,0	12,0	abc	0,8
ANDU-2	15,8	bc	0,9	10,7	abcd	0,7
ANDU-3	16,3	abc	1,0	11,7	abcd	0,9
ANDU-4	15,1	bc	1,4	9,1	d	1,1
ANDU-5	17,7	abc	0,9	12,0	abc	0,7
ANDU-6	19,5	a	1,2	12,8	ab	1,0
ANDU-7	17,5	abc	1,0	11,9	abcd	0,8
ANDU-8	18,4	ab	0,9	11,1	abcd	0,7
ANDU-9	17,5	abc	1,2	11,3	abcd	1,0
ANDU-10	17,9	abc	1,1	12,1	abc	0,9
ANDU-11	17,7	abc	1,0	12,3	ab	0,8
ANDU-12	18,1	ab	1,1	12,8	ab	0,9
ASTO-1	17,5	abc	0,9	12,0	abcd	0,7
ASTO-2	14,2	c	1,2	9,7	cd	1,0
ASTO-3	16,2	abc	0,9	11,2	abcd	0,7
ASTO-4	14,6	c	1,4	9,4	cd	1,1
ASTO-5	17,3	abc	1,2	11,3	abcd	1,0
CASE-1	19,3	a	1,0	13,0	a	0,8
CASE-2	18,0	abc	1,6	10,6	abcd	1,3
CASE-3	16,2	abc	1,1	10,7	abcd	0,9
CASE-4	17,8	abc	0,9	11,4	abcd	0,7
CASE-5	16,6	abc	1,1	11,7	abcd	0,9
CASE-6	17,4	abc	1,1	10,3	bcd	0,9
ERRA-1	17,6	abc	0,8	12,6	ab	0,6
ERRA-2	17,4	abc	1,2	11,6	abcd	1,0
ERRA-3	17,9	abc	0,8	12,3	ab	0,6
ERRA-4	16,8	abc	0,8	10,9	abcd	0,6
ERRA-5	18,1	ab	0,9	11,3	abcd	0,7
FERN-1	16,4	abc	1,0	10,5	bcd	0,8
FERN-2	17,5	abc	1,4	12,2	abc	1,1

Familia	DAP (cm)		E.E.	Altura (m)		E.E.
FERN-3	15,8	bc	1,2	11,1	abcd	1,0
FERN-4	16,9	abc	1,4	11,4	abcd	1,1
FERN-5	14,9	c	1,2	9,3	d	1,0
GEVA-1	16,6	abc	1,1	11,1	abcd	0,9
GEVA-2	16,8	abc	0,8	11,7	abcd	0,7
GEVA-3	16,1	abc	1,4	11,1	abcd	1,1
GEVA-4	17,0	abc	0,8	11,6	abcd	0,6
GEVA-5	16,1	bc	1,0	10,7	abcd	0,8
LECA-1	17,1	abc	1,0	11,1	abcd	0,8
LECA-2	16,7	abc	0,9	10,9	abcd	0,8
LECA-3	16,7	abc	1,4	12,0	abcd	1,3
LECA-4	17,6	abc	0,9	12,1	abc	0,7
LIRA-1	17,8	abc	1,0	12,4	ab	0,8
LIRA-2	16,6	abc	0,8	11,5	abcd	0,7
LIRA-3	17,9	abc	0,9	12,4	ab	0,7
LIRA-4	18,6	ab	1,2	11,8	abcd	1,0
LIRA-5	17,1	abc	1,0	11,5	abcd	0,8
LIRA-6	16,5	abc	1,0	10,9	abcd	0,8
VIDA-1	17,4	abc	1,0	12,4	ab	0,8
VIDA-3	15,9	bc	1,0	11,3	abcd	0,8

E.E.: error estándar

Cuadro N° 5
FAMILIAS DE NOGAL COMÚN IDENTIFICADAS COMO SUPERIORES E INFERIORES
SEGÚN CRECIMIENTO EN DAP Y ALTURA

ALTURA		DAP	
Superiores	Inferiores	Superiores	Inferiores
CASE-1	GEVA-5	ANDU-6	CASE-3
ANDU-6	ANDU-2	CASE-1	GEVA-3
ANDU-12	CASE-3	LIRA-4	GEVA-5
ERRA-1	CASE-2	ANDU-8	VIDA-3
LIRA-3	FERN-1	ANDU-12	FERN-3
LIRA-1	CASE-6	ERRA-5	ANDU-2
VIDA-1	ASTO-2	CASE-2	ANDU-4
ANDU-11	ASTO-4	LIRA-3	FERN-5
ERRA-3	FERN-5	ERRA-3	ASTO-4
FERN-2	ANDU-4	ANDU-10	ASTO-2

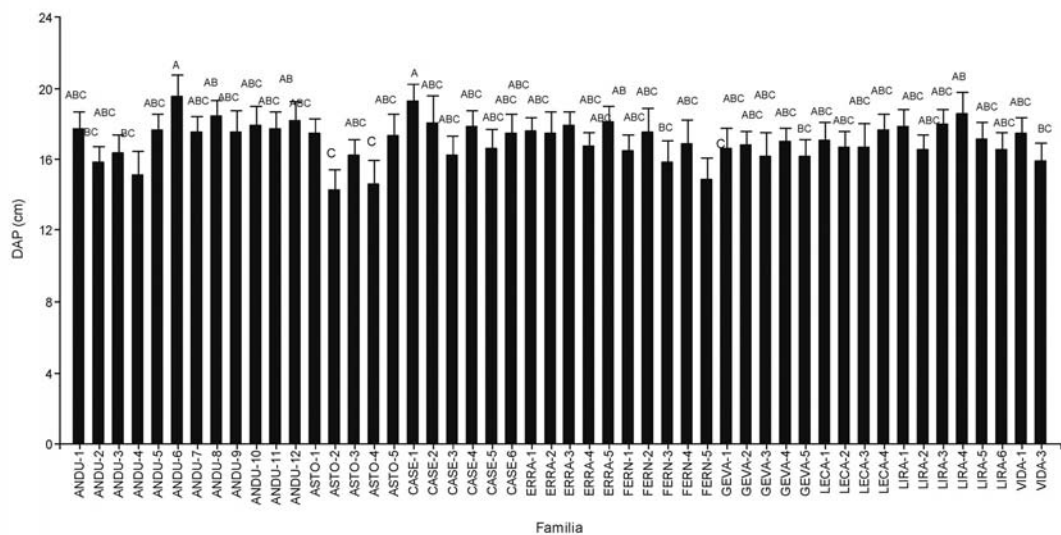


Figura N° 1
DIÁMETRO (DAP) MEDIO DE NOGAL COMÚN SEGÚN FAMILIA A LOS 19 AÑOS DE EDAD

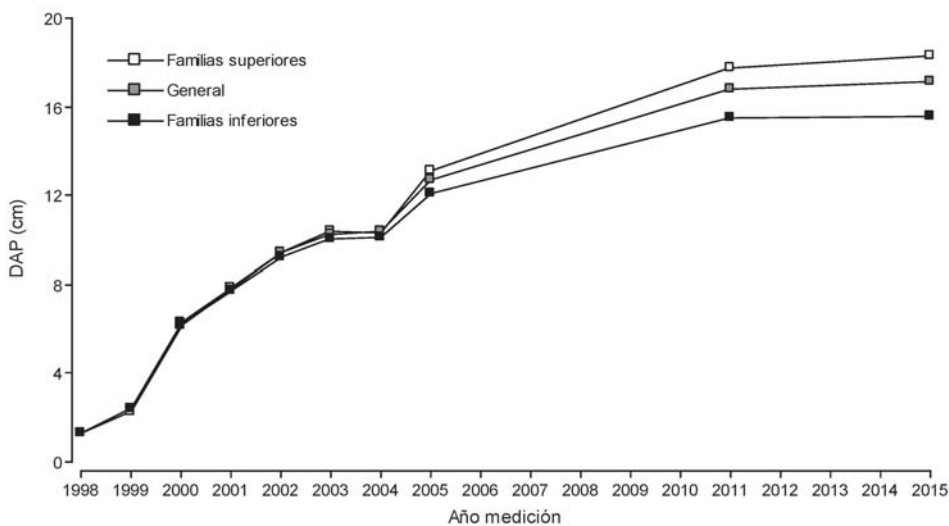


Figura N° 2
EVOLUCIÓN DEL DIÁMETRO DE NOGAL COMÚN CONSIDERANDO MEDIA GENERAL Y DE LAS 10 MEJORES Y PEORES FAMILIAS

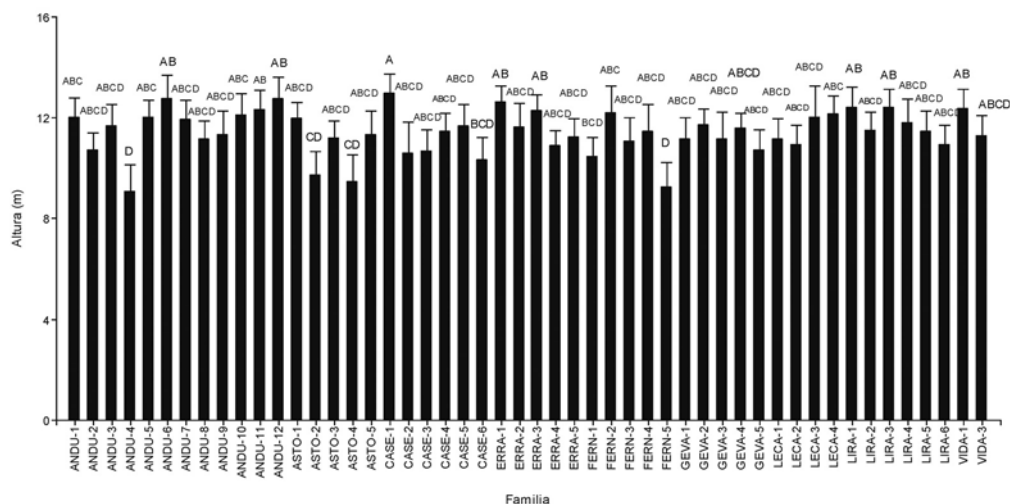


Figura N° 3

ALTURA MEDIA DE NOGAL COMÚN SEGÚN FAMILIA A LOS 19 AÑOS DE EDAD

Las familias que presentan el mayor crecimiento en diámetro (DAP) corresponden a Andu-6 y Case-1, con 19,5 y 19,3 cm, respectivamente, significativamente superiores que el de las familias Asto-2, Asto-4 y Fern-5, con diámetros entre 14,2 y 14,9 cm (Cuadro N° 4 y Figura N° 1).

Las familias que presentan el mayor desarrollo en altura (Cuadro N° 5) alcanzan valores de hasta 13 m a los 19 años, presentando diferencias significativas respecto a las familias de menor crecimiento (Andu-4 y Fern-5) con 9,1 y 9,3 m, respectivamente (Cuadro N° 4 y Figuras N° 3 y N° 4).

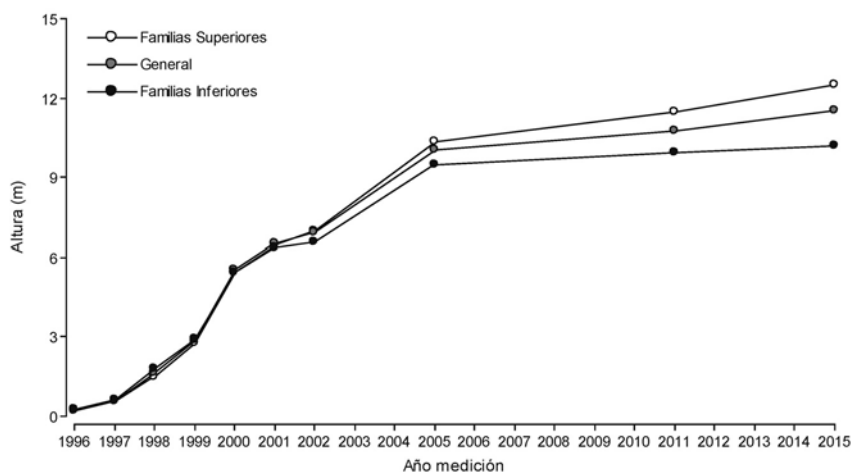


Figura N° 4

EVOLUCIÓN DE LA ALTURA DE NOGAL COMÚN CONSIDERANDO MEDIA GENERAL Y DE LAS 10 MEJORES Y PEORES FAMILIAS

La asociación del nogal con maíz durante los primeros 5 años no manifestó inconvenientes para el nogal, y se obtuvieron rendimientos elevados, que fluctuaron entre 10.000 y 14.000 kg ha⁻¹.

Los Lagos

Los resultados de crecimiento dasométrico de las especies principales en estudio se presentan en los Cuadros N° 6 a N° 9 y en las Figuras N° 5 y N° 6.

Se observa que las diferentes especies principales reaccionan de diferente forma en las asociaciones probadas, siendo algunas de ellas más beneficiosas en términos de crecimiento que para otras. La asociación con el arbusto piche tuvo un efecto negativo en varias de las especies principales en estudio.

Castaño presenta los mejores crecimientos tanto en altura como DAP en la asociación 5, y la menor altura en la mezcla 8 y DAP en la asociación 12 (Cuadro N° 6).

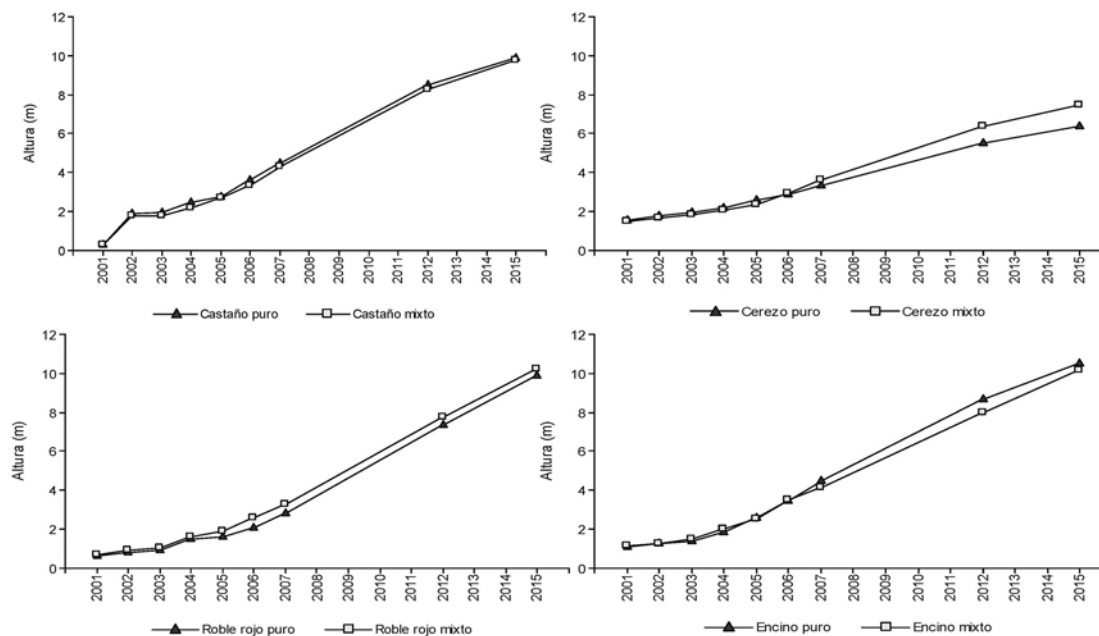


Figura N° 5
EVOLUCIÓN DEL CRECIMIENTO EN ALTURA
EN PLANTACIÓN PURA Y PROMEDIO DE LAS PLANTACIONES MIXTAS PRÓBADAS PARA CADA ESPECIE

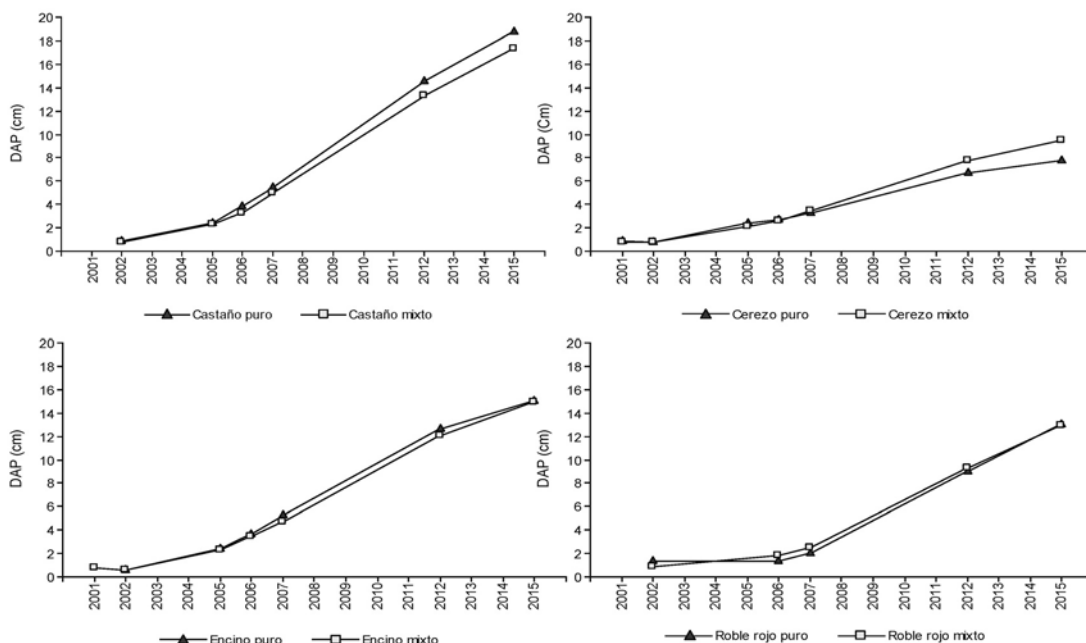


Figura N° 6
EVOLUCIÓN DEL CRECIMIENTO EN DAP
EN PLANTACIÓN PURA Y PROMEDIO DE LAS PLANTACIONES MIXTAS PRÓBADAS PARA CADA ESPECIE

Cuadro N° 6
ALTURA Y DIÁMETRO PROMEDIO DE CASTAÑO SEGÚN ASOCIACIÓN
A LOS 14 AÑOS

Asociación	Altura (m)		E.E.	DAP (cm)		E.E.
3	9,9	a	0,3	18,7	a	0,6
5	10,2	a	0,5	18,8	a	1,1
6	9,7	ab	0,6	17,2	abc	1,5
7	10,0	a	0,5	18,2	ab	1,1
8	8,1	b	0,7	14,5	bc	1,7
9	9,8	a	0,5	18,3	ab	1,1
10	9,3	ab	0,6	16,9	abc	1,5
11	9,8	a	0,5	17,4	abc	1,1
12	10,0	a	0,6	14,4	c	1,4

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).
E.E.: error estándar

Cerezo presenta los mejores crecimientos tanto en altura como DAP en la asociación 12 y la menor altura en las mezclas 7 y 9, y DAP en la asociación 7 (Cuadro N° 7).

Cuadro N° 7
ALTURA Y DIÁMETRO PROMEDIO DE CEREZO SEGÚN ASOCIACIÓN
A LOS 14 AÑOS

Asociación	Altura (m)		E.E.	DAP (cm)		E.E.
1	6,4	c	0,3	7,7	b	0,6
5	7,5	bc	0,8	10,3	ab	1,5
6	8,6	ab	0,6	12,0	a	1,1
7	5,8	c	0,8	7,1	b	1,5
8	7,0	bc	0,6	7,6	b	1,0
9	5,8	c	0,8	7,7	b	1,5
10	7,2	bc	0,6	8,4	b	1,0
11	6,9	bc	0,8	7,6	b	1,5
12	9,6	a	0,7	13,2	a	1,1

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

E.E.: error estándar

Encino presenta los mejores crecimientos tanto en altura como DAP en la asociación 8, y la menor altura y DAP en la asociación 12 (Cuadro N° 8).

Cuadro N° 8
ALTURA Y DIÁMETRO PROMEDIO DE ENCINO SEGÚN ASOCIACIÓN
A LOS 14 AÑOS

Asociación	Altura (m)		E.E.	DAP (cm)	E.E.	
4	10,5	a	0,3	15,0	abc	0,5
5	10,6	a	0,5	15,9	ab	0,8
6	9,8	a	0,6	14,6	abc	1,1
7	10,0	a	0,5	15,0	abc	0,8
8	10,6	a	0,6	16,8	a	1,1
9	10,4	a	0,5	14,0	bc	0,8
10	10,2	a	0,6	14,9	abc	1,1
11	9,9	a	0,5	15,0	abc	0,8
12	9,3	a	0,6	12,9	c	1,0

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

E.E.: error estándar

Roble rojo americano, por su parte, presenta los mejores crecimientos tanto en altura como DAP en la asociación 7, y la menor altura en la mezcla 11 y menor DAP en la asociación 6 (Cuadro N° 9).

Cuadro N° 9
ALTURA Y DIÁMETRO PROMEDIO DE ROBLE ROJO AMERICANO SEGÚN ASOCIACIÓN
A LOS 14 AÑOS

Asociación	Altura (m)		E.E.	DAP (cm)		E.E.
2	9,9	a	0,3	13,0	ab	0,5
5	10,7	a	0,7	13,7	ab	1,1
6	9,7	a	0,5	11,5	b	0,8
7	11,3	a	0,7	14,9	a	1,1
8	10,5	a	0,5	12,6	ab	0,8
9	10,1	a	0,7	13,9	ab	1,1
10	10,1	a	0,5	12,0	b	0,8
11	9,6	a	0,7	11,6	b	1,1
12	10,0	a	0,5	14,4	a	0,9

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$)

E.E.: error estándar

Respecto de la producción de la pradera, los primeros 4 años se obtuvieron 600-800 fardos, los que equivalen a 6.210 a 8.276 kg ha⁻¹, y posteriormente la producción fue decayendo hasta llegar en la actualidad a 3.100 a 4.150 kg ha⁻¹.

En los primeros años, estos valores no son muy diferentes de los obtenidos en la zona por Montecinos (2011), quien obtuvo 4.690 a 9.783 kg ha⁻¹ de MS en pradera natural sin fertilizar y fertilizada, respectivamente. Por su parte, Demanet y Contreras (1988) indican que en esta región la productividad fluctúa entre 0,5 y 12 t ha⁻¹ de MS, y que la principal limitante para el desarrollo del potencial productivo es la baja fertilidad de los suelos, escasa fertilización e inadecuado manejo pastoril de los pastizales.

El Carmen

Los rendimientos de los cultivos intercalados y del pastoreo de ovejas se presentan en el Cuadro N° 3. Los resultados de crecimiento, supervivencia y producción frutal del pino piñonero se presentan en las Figuras N° 7 y N° 8 y en el Cuadro N° 10, y los indicadores obtenidos en la evaluación económica en el Cuadro N° 11.

Cuadro N° 10
CRECIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD DE PINO PIÑONERO EN DOS SISTEMAS AGROFORESTALES
ESTABLECIDOS EN EL PIEDMONT DE LA CORDILLERA DE LOS ANDES EN EL CARMEN

Variable	Parcela 1 (5x5 m)	Parcela 2 (7x7 m)
DAC ¹ a los 4 años (cm)	9,9 ± 1,7	11,2 ± 1,8 *
DAP ² a los 5 años (cm)	4,4 ± 1,6	4,3 ± 1,6
Altura a los 5 años (m)	2,4 ± 0,04	2,5 ± 0,04
Diámetro de copa a los 3 años (m)	0,93 ± 0,024	1,12 ± 0,024 *
Supervivencia a los 5 años (%)	97,5	95,1
Árboles con conos maduros a los 5 años (%)	0	1,3
Árboles con estróbilos a los 5 años (%)	6,3	0
Vigor		
Vigorousos (%)	97	87
Vigor medio (%)	3	12
Vigor bajo (%)	0	1
Rectitud		
Rectos (%)	42	56
Curvados (%)	54	35
Muy curvados (%)	4	9

¹DAC: Diámetro a la altura del cuello de la planta

²DAP: Diámetro a la altura del pecho (1.3 m)

*Diferencias estadísticamente significativas (p<0.05).

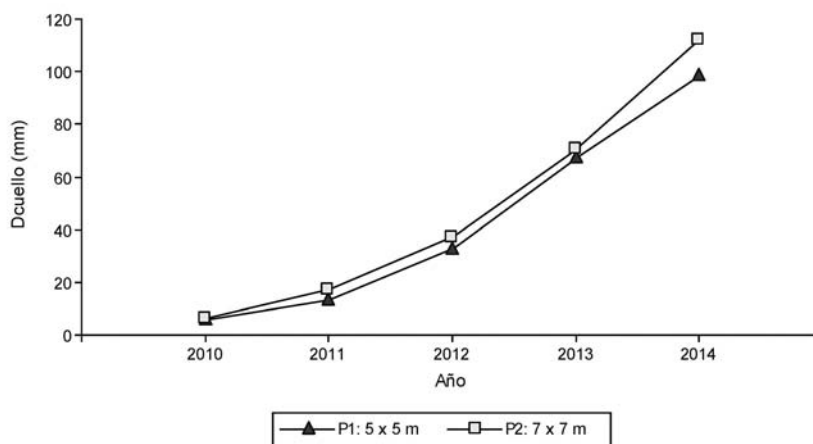


Figura N° 7
EVOLUCIÓN DEL DAC DE PINO PIÑONERO SEGÚN DENSIDAD EN SISTEMA AGROFORESTAL

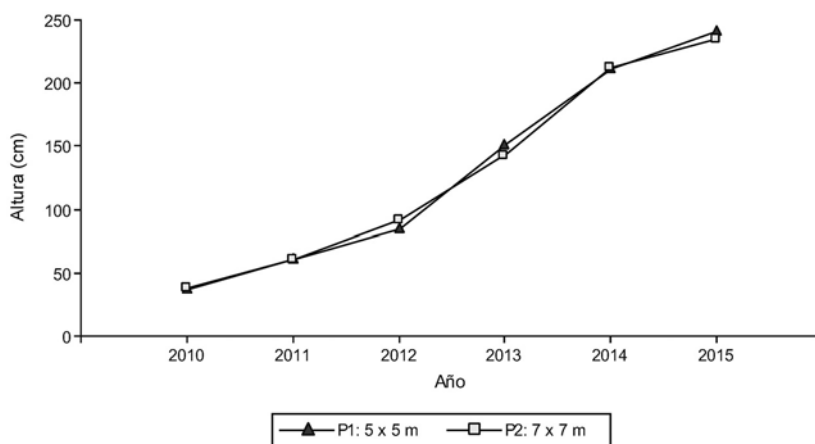


Figura N° 8
EVOLUCIÓN DE LA ALTURA DE PINO PIÑONERO SEGÚN DENSIDAD EN SISTEMA AGROFORESTAL

El análisis del crecimiento de pino piñonero evidencia que el crecimiento anual en altura ha sido sostenido, similar en las parcelas 1 y 2 (Figura N° 8), de casi 50 cm en ambas parcelas. El diámetro a la altura del cuello también presentó una tendencia creciente y sostenida, y fue significativamente mayor en la parcela 2 a menor densidad (Figura N° 7), con un valor de 2,24 cm contra 1,98 cm en la parcela 1 de mayor densidad. El crecimiento anual en DAP a los 5 años alcanzó 0,88 y 0,86 cm en las parcelas 1 y 2, respectivamente.

Los valores de diámetro de copa reportados corresponden a mediciones del año 3, ya que antes de la medición siguiente se realizó una intensa poda formativa que redujo significativamente este parámetro. La mortalidad fue baja (inferior al 5%) en ambas parcelas.

Aunque pino piñonero se presenta vigoroso en ambas parcelas, se encontraron diferencias significativas; el mayor porcentaje de árboles vigorosos se encontró en la parcela 1 (97%) y en la parcela 2 este valor se reduce a un 87% (Cuadro N° 10). En la parcela 1 a mayor densidad no se encontraron individuos con bajo vigor, mientras que en la parcela 2 ese valor fue muy bajo (1%).

Respecto a la rectitud, también se observan diferencias estadísticas entre parcelas. El mayor porcentaje de árboles rectos se concentra en la parcela 2, a menor densidad. En la parcela 1 un 54% de los individuos son curvos, a pesar de la densidad más alta que normalmente promueve una mejor forma. La parcela 2 también tuvo el mayor porcentaje de árboles muy curvados (9%).

La fructificación se evaluó a partir de los 3 años a pesar de la corta edad de la plantación. A los 5 años, se observó que en la parcela 1 más del 6% de los árboles tenían al menos un estróbilo (conos de 1 año de edad). Pocos árboles empezaron a florecer en el segundo año y algunas de esas flores se desarrollaron y alcanzaron la madurez a los cinco años, considerando el ciclo de 3,5 años para que el fruto alcance la madurez.

A los 5 años, la producción ovina en la parcela 1, con árboles espaciados a 5 x 5 m, fue equivalente a 3,7 ovejas ha⁻¹ año⁻¹, mientras que en la parcela 2, con menor densidad, este valor ascendió a 4,4 ovejas ha⁻¹ año⁻¹. Teniendo en cuenta que la producción media en pastizales de calidad regular en Chile llega a 4 (3-5) ovejas reproductivas por hectárea (Claro, 2009), estos resultados en las parcelas 1 y 2 representan el 92 y el 110% de los valores a nivel de país, respectivamente.

Cuadro N° 11
INDICADORES ECONÓMICOS DE UNA PLANTACIÓN PURA ORIENTADA A PRODUCCIÓN DE PIÑAS Y DE UN SISTEMA AGROFORESTAL, AMBOS CON Y SIN SUBSIDIO AL ESTABLECIMIENTO

Indicador	Plantación sin Subsidio	Sistema Agroforestal sin Subsidio	Plantación con Subsidio	Sistema Agroforestal con Subsidio
VAN (\$ ha ⁻¹) (tasa interés 8%)	327.618	2.287.751	968.913	2.929.743
TIR (%)	8,4	12,3	9,2	15,9

Los resultados de las evaluaciones económicas (TIR y VAN al 8%) (Cuadro N° 11) muestran que sin subsidio el VAN es casi siete veces superior bajo el sistema agroforestal (producción de piñas, cultivos intercalados y ovejas) que en la plantación pura para producción de piña (\$2.287.751 ha⁻¹ contra \$ 327.618 ha⁻¹), y el TIR se eleva de 8,4% a 12,3% en el sistema agroforestal. En el escenario con subsidio, el VAN es 300% superior en el sistema agroforestal (\$2.929.743 ha⁻¹ contra \$ 968 913 ha⁻¹) y la TIR es un 7% más alta (16% contra 9%).

DISCUSIÓN

Los tres casos analizados consideran información interesante no sólo por las especies que los componen, innovadoras en el contexto nacional, sino también por la cantidad de años evaluados, que fluctúa entre 5 y 19 años, aportando información valiosa para su réplica en ambientes y condiciones similares.

Retiro

En este sistema agroforestal las condiciones de crecimiento de los árboles mejoraron por el manejo intensivo del cultivo agrícola, lo que se ha observado especialmente en sitios pobres (Zhanxue *et al.*, 1991). El cultivo de maíz no presentó efectos negativos en el desarrollo, de hecho induce un aumento de la altura y vigor o sanidad del nogal, a diferencia del cultivo de alfalfa, ya que esta asociada a nogal reduce su crecimiento por los siguientes tres a cinco años (Paris *et al.*, 1995), por lo que debe evitarse. Si se desea favorecer el desarrollo del nogal se lo puede asociar con especies fijadoras de nitrógeno (Cutini *et al.*, 1997, Buresti y De Meo, 1998), ya sean hierbas, arbustos o especies arbóreas.

La elevada densidad inicial de árboles reduce el período en el que los cultivos intercalados se pueden mantener. La densidad inicial de plantación en estos sistemas varía entre 278 a 1.111 árb ha⁻¹, con una densidad final esperada de 100 a 250 árb ha⁻¹ según la especie.

Los crecimientos anuales medios de 0,95 cm año⁻¹ en diámetro y 0,63 m año⁻¹ en altura, son valores intermedios respecto a los reportados por Loewe *et al.* (2013a), que fluctúan entre 0,5 y 1,8 cm año⁻¹ en DAP y entre 0,38 y 1,07 m año⁻¹ en altura según las especies y sitios, correspondiendo en algunos casos a tasas de crecimiento superiores a algunas observadas en Europa (Buresti *et al.*, 1997, Tani *et al.*, 2006). En particular, el incremento diamétrico es superior al observado por Buresti *et al.* (1997) a los 8 años, que alcanza 0,77 cm año⁻¹, aun cuando el incremento anual en altura es similar al observado en plantaciones puras por Cutini y Giannini (2009) (64 cm/año) y por Buresti *et al.* (1997) (69 cm/año).

Según la clasificación de familias superiores e inferiores, en las primeras se observan alturas promedio de 12,5 m y DAP de 18,3 cm, mientras que en las familias inferiores, estos valores fueron de 10,2 m y 15,6 cm, respectivamente, a los 14 años. Es por ello que se observa una diferencia entre las peores y mejores familias del 18% en el incremento diamétrico y del 22% en incremento en altura, lo que se traduciría en 5 años de diferencia en la duración de la rotación considerando como diámetro objetivo 40 cm.

Loewe y González (2001) indican que esta vigorosa especie alcanza los 20-25 m de altura y hasta 1 m de DAP, con tronco recto y una gran copa, por lo que con el incremento de 0,63 m año⁻¹, a los 26 años se lograría la altura señalada para familias superiores y a los 29 años para familias inferiores. La densidad de plantación de 3 x 3 m, podría estar generando el mayor crecimiento en altura que en diámetro, donde según el incremento medio en DAP de 0,95 cm año⁻¹, no se alcanzaría un DAP de 1 m simultáneamente con las alturas propuestas.

La asociación del nogal con maíz durante los primeros 5 años no manifestó inconvenientes para el nogal, y se obtuvieron rendimientos elevados, que fluctuaron entre 10.000 y 14.000 kg ha⁻¹. Estos valores son 40% superiores a la media de la producción de los últimos 3 años en la región del Maule (Muñoz, 2014), por lo que este sistema es positivo y replicable por parte de productores de la zona.

Los Lagos

Para castaño, el mayor desarrollo en DAP (18,8 cm, 1,3 cm año⁻¹) y en altura (10,2 m, 73 cm año⁻¹) se presentó en la asociación 5, correspondiente a la mezcla de las especies principales. La asociación de las cuatro especies principales más notro y piche como secundarias (asociación 12) muestra el menor diámetro a los 14 años, coincidente a lo observado por Loewe y Gonzalez (2009). En forma similar, para la altura, la asociación con notro tuvo un efecto negativo.

Los crecimientos medios de la plantación pura alcanzaron 1,3 cm año⁻¹ en diámetro y 49 cm año⁻¹ en altura, coincidentes con información de crecimiento en Chile entre las regiones del Bio Bio y Los Lagos, presentada por Loewe y González (2003), quienes mencionan alturas superiores a 20 m a los 25 años, y DAP de 29 cm a los 22 años; y por Loewe *et al.* (1994) quienes indican incrementos medios anuales en diámetro que varían entre 1,0 y 1,5 cm en árboles sin manejo, sin injertar y en un amplio rango de distribución geográfica y de edad. Estos crecimientos anuales están dentro de los rangos reportados en España en sitios buenos, de 1 - 2 cm de diámetro (Vieitez *et al.*, 1996), y en Francia donde alcanzan 0,8 - 1,1 cm año⁻¹ a los 12 años (Bourgeois *et al.*, 2004).

El cerezo presenta los mejores crecimientos tanto en DAP (13,2 cm, 0,9 cm año⁻¹) como en altura (9,6 m, 69 cm año⁻¹) en la asociación 12 correspondiente a la asociación entre especies principales, notro y piche, con valores que se encuentran dentro de los rangos indicados por Loewe *et al.* (2013b). Si bien Loewe y González (2009) indican que la altura de esta especie disminuye cuando se asocia al arbusto piche, estas recientes observaciones no concuerdan, ya que la especie asociada a las demás principales (roble rojo, castaño y encino) y notro y piche como acompañantes muestra la mayor altura y diámetro. Se observa asimismo que el crecimiento en altura en Chile coincide con los mayores valores reportados que en plantaciones agroforestales de 8 años de edad en Francia, donde el crecimiento anual en altura oscila entre 31 y 69 cm año⁻¹ (Balandier y Dupraz, 1999). Respecto al incremento diamétrico registrado, los valores son inferiores a los reportados por Migeot *et al.* (2014) en sistemas agroforestales en Francia, que alcanzan 1,5 a 1,8 cm año⁻¹.

Para el encino se observa que los mejores crecimientos, tanto en altura (10,6 m, 75,7 cm año⁻¹) como DAP (16,8 cm, 1,2 cm año⁻¹), se verifican en la asociación 8, que corresponde a las 4 especies principales asociadas a notro como especie secundaria, y la menor altura y DAP en la asociación 12 con piche y notro. Estas observaciones coinciden con Loewe y González (2009) para el crecimiento en DAP. Los incrementos anuales observados en todas las asociaciones en este sistema agroforestal son superiores a los valores reportados por Loewe (2009), quien cuantificó en el sur de Chile crecimientos superiores a 0,5 cm año⁻¹ en diámetro y 60 cm año⁻¹ en altura, superiores a los su hábitat de origen, y a mediciones realizadas por Aguayo (2000) en la región de la Araucanía a edades sobre 70 años.

Roble rojo americano por último, presenta los mejores crecimientos tanto en altura (11,3 m, 81 cm año⁻¹) como DAP (14,9 cm, 1 cm año⁻¹) en la asociación 7, que corresponde a las 4 especies principales asociadas a avellano chileno como especie secundaria, la menor altura en la asociación 11 y el menor DAP en la asociación 6, con notro como especie secundaria. Los incrementos en DAP en todas las asociaciones, que fluctúan entre 0,8 y 1,0 cm año⁻¹, se encuentran en el límite superior del rango indicado por USDA (1965), organismo que señala crecimientos anuales entre 0,5 y 1 cm año⁻¹.

Aun cuando se ha reportado la importancia de especies del género *Quercus* y del castaño para la alimentación animal (Lojka y Martinik, 2014), a la fecha en esta plantación no se ha hecho uso de los frutos con este objetivo, posiblemente por su corta edad que limita la fructificación.

Respecto de la producción de la pradera, en los primeros 4 años los valores fueron similares a los obtenidos por Montecinos (2011) en la zona, lo que permite proponer este sistema agroforestal en nuevos emprendimientos.

El Carmen

En el caso de El Carmen, el estudio sugiere que es posible asociar el cultivo de pino piñonero con cultivos anuales intercalados y también con pastoreo controlado, con interesantes valores de crecimiento y desarrollo del árbol, al igual como se ha demostrado con otras especies fruto forestales (Chiffot *et al.*, 2005), en particular con nogal (Loewe y González, 2006) y cerezo (Balandier y Dupraz, 1999).

En los primeros cinco años desde que se establecieron estos sistemas agroforestales experimentales, las cosechas fueron más bajas que el promedio en el país en el monocultivo,

que alcanza valores 40% superiores en ambos casos (forraje de avena y papas). Sin embargo, también se debe considerar en las estimaciones las ovejas que se alimentan directamente en el campo y el establecimiento de los árboles.

La posibilidad de combinar pino piñonero y animales ya fue señalado por Agrimi y Ciancio (1994), quienes afirmaron que el pastoreo en pinares abiertos podría proporcionar algún ingreso, a pesar de que en Europa las principales especies asociadas a la ganadería son castaños, álamos, robles mediterráneos y árboles frutales, aunque también pinos (Pardini y Nori, 2011), por lo general en las zonas costeras.

La producción de forraje en estas plantaciones no es suficiente para mantener el pastoreo, pero el ganado ocasionalmente pasta allí; si el pastoreo es periódico, se reduce el crecimiento de arbustos, el costo de limpiezas mecánicas o químicas y el riesgo de incendios. Es más, si hay una regulación continua de la capacidad de carga, los árboles no serían dañados, como se observó en este estudio, y como se señaló anteriormente por Anderson *et al.* (1988).

También se observó una fragmentación del suelo y el enriquecimiento de nutrientes a través de las fecas de cabras durante el pastoreo, acelerando la descomposición de la hojarasca y la incorporación de nitrógeno, reduciendo la acumulación de acículas de pino y el riesgo de incendios (Mancilla-Leyton *et al.*, 2013). Este efecto del pastoreo es importante teniendo en cuenta el creciente número de incendios en plantaciones forestales y que las plantaciones son esenciales en la actividad forestal en Chile, ya que suministran el 98% de la madera utilizada por la industria (INE, 2014).

En cuanto al desarrollo de pino piñonero, se aprecia un crecimiento superior al registrado en Cataluña, España, donde en los primeros 15 - 20 años el crecimiento medio diamétrico se sitúa por sobre 1 cm año⁻¹, para luego reducirse rápidamente, y a partir de los 40 se estanca bajo 0,2 - 0,3 cm año⁻¹; de ahí según Piqué (2004) la importancia de realizar raleos precoces, antes de los 20 años, cuando la especie tiene mayor capacidad de respuesta. Respecto de Chile, los resultados son más altos que los reportados para la mejor macrozona de crecimiento para la especie definidos por Loewe *et al.* (2015), situada en el sur, donde la tasa de crecimiento es de 0,35 m año⁻¹ en altura y de 1,5 cm año⁻¹ en DAP. Esto podría ser debido a la corta edad de las plantaciones donde es característico un rápido crecimiento, y también por el efecto positivo de la asociación con los cultivos en los que la fertilización y el riego se han añadido 8 y 21 veces, respectivamente, en los primeros 5 años. El efecto positivo de la densidad de los árboles sobre el crecimiento en altura es característico de la especie debido a su intolerancia a la sombra, que requiere altos niveles de luz (Loewe y Delard, 2012).

El hecho que el 6,3% de los árboles de 5 años de edad en una de las parcelas tenga estróbilos, que debieran llegar a la madurez a los 8 años, dado el largo ciclo de desarrollo de la fruta (42 meses), es notable, ya que en su área de distribución natural la producción de conos comienza entre 10 años (Crawford, 1995) y 20 años (Goor y Barney, 1976). Esto indica los efectos beneficiosos generales del sistema en el desarrollo reproductivo de los árboles, y podría ser una ventaja para las plantaciones tradicionales en que no habrá necesidad de utilizar plantas injertadas, que son de mucho mayor costo que las plantas de semilla de un año de edad.

La planificación del manejo forestal proporciona un marco para establecer prioridades, fijar objetivos y diseñar estrategias para hacer frente a los riesgos (Day y Pérez, 2013). Desde el punto de vista de la gestión, esta combinación técnica resultó ser un esquema simple, fácil de

seguir por pequeños y medianos propietarios con capital y base de conocimientos limitado.

Cada año Chile se ve afectado por los incendios forestales que consumen grandes áreas de bosques nativos y plantaciones. En el caso de las plantaciones forestales, el área significativa plantada con pino radiata y varias especies de eucalipto crea un escenario en el que cada vez que se produce un incendio forestal se plantea un grave problema que afecta a los recursos forestales, la infraestructura, los servicios, los ecosistemas y, lo más importante, a vidas humanas (Pinilla, 2014).

La cantidad de combustibles asociados al manejo forestal es muy importante; se ha reportado que un manejo apropiado de la biomasa combustible a través de la silvicultura reduce la probabilidad de incendios forestales (Peña y Pedernera, 2004). En este contexto, se definió la silvicultura preventiva con el objetivo de reducir la amenaza y la vulnerabilidad a los incendios forestales, reduciendo el número de incendios, y lo más importante, su tamaño. En concordancia, USDA (2006) señaló que la disminución de la densidad de la masa forestal, del combustible del sotobosque y de la superficie son factores que explican las históricas tasas de incendios. Por lo tanto, los esfuerzos para prevenir daños y pérdidas en plantaciones apuntan a que se incluya medidas relacionadas al uso de cortafuegos, disminuyendo la continuidad del combustible vertical y horizontal, utilizando medidas de prevención en la cosecha o en áreas de raleo, manejo del combustible, una adecuada zonificación y manejo de plantaciones, entre otros, que contribuyan a la reducción de la probabilidad de incendios forestales, minimizando las pérdidas y apoyando las acciones para una rápida extinción si es que se producen. Los sistemas agroforestales propuestos entonces resultan ser no solo una solución productiva, sino también una práctica de gestión con efectos positivos previsibles sobre la reducción de la probabilidad de incendios debido a la importante reducción de combustible y su continuidad definida por la menor densidad y por la presencia de pastoreo de animales, mientras que proporciona varios beneficios como la mejora del acceso, los ingresos extra y los reducidos riesgos de incendios.

Desde el punto de vista económico, se encontró que el sistema combinado es significativamente más rentable que el monocultivo de pino piñonero orientado a la producción de piñones. Los resultados obtenidos están en línea con las experiencias reportadas en Nueva Zelanda, donde se encontró que el sistema combinado era más económico que el pastoral, agricultura y plantaciones forestales de forma individual (Arthur-Worsop, 1984), y en Australia en los sistemas agroforestales de pino (Garland *et al.*, 1984), además de los beneficios ambientales, como la fuerte influencia ejercida por los árboles en la creación de un microclima favorable dentro de los sistemas silvopastorales (Dube *et al.*, 2013).

Respecto de los cultivos intercalados, los rendimientos de los cultivos fueron inferiores a la media en el país (INE, 2012), que ascienden a 5.070 kg ha⁻¹ de avena forrajera y 23.380 kg ha⁻¹ para papas. En los primeros 3 años de estos ensayos agroforestales se lograron 46 y 44% de los valores a nivel de país, respectivamente. Los cultivos ensayados no tuvieron un impacto negativo en el desarrollo de los árboles.

El pastoreo periódico tiene varios impactos positivos en las plantaciones de pino, como la reducción de malezas y crecimiento de arbustos, con la consecuente reducción de costos de limpieza mecánica o química periódica y de riesgo de incendios.

Aunque la producción de forraje en estas plantaciones no fue suficiente para mantener un pastoreo permanente, el ganado permaneció allí durante un número limitado de días por

mes durante 10 meses al año, lo que contribuye a la producción de carne de cordero. Es de interés que, a pesar que las ovejas se introdujeron en la plantación desde su establecimiento, no hay registro de daño en los árboles, ya que hubo un estricto control sobre la disponibilidad de forraje y de la presión animal, y adicionalmente el estiércol de oveja constituye un abono útil para incrementar la materia orgánica (Fernández, 2013).

Además, la producción agrícola/animal durante los primeros años genera ingresos que en una plantación tradicional de pino piñonero no existen hasta que se alcanza la madurez sexual de los árboles. Esta importante producción adicional no solo es atractiva debido a sus implicaciones económicas, sino también porque los propietarios de tierras necesitan ingresos anuales continuos.

Se han identificado brechas técnicas y comerciales importantes que afectan a pequeños y medianos propietarios forestales y pymes, que se caracterizan por la falta de opciones comerciales importantes en parte debido a su fragmentación. Los resultados preliminares del sistema productivo agroforestal propuesto son relevantes para futuras políticas de desarrollo, desde su implementación y adopción, ya que podría ser una manera de potenciar la incorporación de estos beneficiarios a una actividad forestal más sostenible, coincidiendo con lo recomendado por Loewe y Venegas (2005).

Asimismo, el ensayo de pino piñonero - cultivos agrícolas - sistema de pastoreo de ovejas mostró un desempeño económico que justifica un subsidio del gobierno para la creación y gestión de sistemas agroforestales para mejorar la economía rural.

CONCLUSIONES

Las experiencias evaluadas muestran que es posible realizar una actividad productiva en forma ambientalmente amigable, sostenible y que fomente el desarrollo rural y la biodiversidad, de acuerdo con las nuevas tendencias. En ese marco, es posible diseñar sistemas agroforestales adaptados a diferentes situaciones, teniendo en cuenta el capital disponible, los objetivos de los propietarios, la capacidad de gestión operativa, y las condiciones del mercado. La duración de la producción animal y de cultivos asociados depende del desarrollo de las copas de los árboles, pero de acuerdo con las experiencias evaluadas, se espera que dure entre 5 y 8 años.

Los ingresos anuales procedentes de los cultivos y de los animales en los sistemas agroforestales ensayados son relevantes para la economía predial, especialmente durante los primeros años de desarrollo de los árboles cuando todavía no producen fruta en el caso de aquellas especies fruto-forestales. La producción de forraje en estas plantaciones no es suficiente para mantener el pastoreo permanente, pero las ovejas pastan durante ciertos períodos programados, lo que contribuye a la producción de carne ovina; además, el pastoreo periódico reduce el crecimiento de arbustos, riesgo de incendio y el costo de limpieas periódicas mecánicas o químicos. No se observaron daños causados por las ovejas en los árboles.

Los crecimientos anuales de los ensayos 5 a 19 años después del establecimiento de las distintas especies probadas son similares a los reportados en experiencias previas, por lo que su cultivo en sistemas agroforestales permitiría la generación de ingresos anuales sin castigar el crecimiento de los árboles, por lo que se concluye que la combinación de árboles para producción de fruta y madera, junto a cultivos agrícolas intercalados y pastoreo de animales es

factible técnicamente y positivo para la economía y el desarrollo predial.

Las plantaciones agroforestales constituyen un recurso con bajo riesgo de incendios dado su marco de plantación amplio, sin malezas y, en ciertos casos, con implementación de riego durante la temporada de mayor riesgo.

RECONOCIMIENTOS

Dada la duración del estudio, este se desarrolló gracias al apoyo de diferentes fuentes de financiamiento. En especial gracias a los siguientes proyectos que posibilitaron el establecimiento y mantención de las unidades experimentales: Silvicultura de especies no tradicionales, una mayor diversidad productiva financiado por FONSIPI (CORFO) y FIA entre 1995 y 1998; Silvicultura de especies no tradicionales, una mayor diversidad productiva (Fase II) financiado por FIA entre 1998 y 2003; Plantaciones mixtas: la productividad, la diversidad y la sostenibilidad para el desarrollo forestal financiado por FIA entre 2000 y 2008; El Piñón comestible del pino (*Pinus pinea* L.), un negocio atractivo para Chile financiado por INNOVA-CORFO entre 2008 y 2012; Desarrollo de técnicas de manejo para producir piñones de pino piñonero (*Pinus pinea* L.), una opción comercial atractiva para Chile financiado por FONDEF entre 2012 y 2016. Las autoras agradecen igualmente a los propietarios privados y empresas que colaboraron activamente en esta iniciativa.

REFERENCIAS

- Agrimi, M. and Ciancio, O., 1994.** Italian Stone Pine (Il pino doméstico) (*Pinus pinea* L.). FAO Silva Mediterránea. Larnaca, Chipre.
- Aguayo, H. F., 2000.** Evaluación del crecimiento de una plantación de *Quercus robur* L. en un sector de la región de la Araucanía. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 4-29 p.
- Anderson, G. W.; Moore, R. W. and Jenkins, P. J., 1988.** The integration of pasture, livestock and widely-spaced Pine in South West Western Australia. *Agroforest Syst*, 6: 195-211
- Arthur-Worsop, M. J., 1984.** An economic evaluation of agroforestry: the national viewpoint. In: *Proceedings of a technical workshop on agroforestry*. Ministry of Agriculture and Fisheries, Wellington, New Zealand, Pp. 61-70.
- Badal, E., 2001.** La recolección de piñas durante la prehistoria en la Cueva de Nerja (Málaga). In: Villaverde V (Ed). *De neandertales a cromañones, el inicio del poblamiento humano en las tierras valencianas*. Universidad de Valencia, España, Pp. 101–104.
- Bagnaresi, U., 1986.** Il Castagno da Frutto. *Il Divulgatore* N° 28. Serie Regione Emilia Romagna. 52 p.
- BAILLIE, 2015.** Red Oak. [En línea] <http://www.baillie.com/red-oak>. [Revisado: 23/09/15]
- Balandier, P. and Dupraz, C., 1999.** Growth of widely spaced trees. A case study from young agroforestry plantations in France. *Agroforest Syst* 43: 151-167
- Balandier, P.; De Montard, F. X. and Curt, T., 2008.** Root competition for water between trees and grass in a silvopastoral plot of ten-year-old *Prunus avium*. In : "Ecological basis of agroforestry", D. R. Batish, R. K. Kohli, S. Jose and H. P. Singh, Eds., CRC Press, Boca Raton, FL, USA, Chapter 13, 253-270.
- BBC. 2014.** Eva Mueller: UN urges action on forest diversity. <http://m.bbc.com/news/science-environment-27963330>. Consultado 23 Junio 2014.

- Beer, J.; Kapp, G. B. and Lucas, C., 1994.** Alternativas de reforestación: Taungya y sistemas agrosilviculturales permanentes versus plantaciones puras. Publicación N° 7 Serie Generación y transferencia de tecnología, CATIE, 26 p.
- Benedetti, R. S.; Loewe, M. V.; López, L. C. y González, O. M., 2007.** Castaño, madera de alto valor para Chile. INFOR-FIA-INNOVA BIO FONDEF, 307 p.
- Benoit, I., 2006.** Ficha Árboles Urbanos. Roble común o Encino (*Quercus robur* L.). Chile Forestal 325: 61.
- Bourgeois, C.; Sevrin, E. et Lemaire, J., 2004.** Le chateignier, un arbre, une bois. Institut pour le Développement Forestier, 2da edición. Paris, Francia. 347 p.
- Buresti, E.; De Meo, I.; Falcioni, S. e Frattegiani, M., 1997.** L'utilizzo del noce comune, del noce nero e del noce ibrido in arboricoltura da lego. Primi risultati di una prova comparativa in impianti misti di 8 anni di età. Annali Istituto Sperimentale Selvicoltura, Arezzo (XXV e XXVI): 243-260.
- Buresti, E. e De Meo, I., 1998.** L'impiego delle consociazioni nelle piantagioni di arboricoltura da legno: primi risultati di un impianto di noce comune (*Juglans regia* L.). Annali Istituto Sperimentale Selvicoltura, Arezzo (29): 57-66.
- CABI, 2012.** *Pinus pinea* (Stone Pine) Forestry Compendium. [En línea] <http://www.cabi.org/fc/?compid=2&dsid=41689&loadmodule=datasheet&page=2147&site=163> [Consulta: 10-8-2012].
- Carnevale, J. A., 1955.** Árboles forestales, descripción, cultivo y utilización. Buenos Aires, Argentina. 689 p.
- Chiffot, V.; Bertoni, G.; Cabanettes, A. and Gavaland, A., 2005.** Beneficial Effects of Intercropping on the Growth and Nitrogen Status of Young Wild cherry and Hybrid Walnut Trees. Agroforest Syst 66(1): 13-26.
- Claro, M., 2009.** Pequeñas explotaciones ovinas en la zona sur de Chile. [Online] <http://es.slideshare.net/miclaro/pequeas-explotaciones-ovina-zona-sur-de-chile?related=1> [Citado 12 Septiembre 2015]
- Crawford, M., 1995.** Nut pines. Yearbook, West Australian Nut and Tree Crops Association 19: 56-66.
- Cutini, A, Martini M, Buresti E. (1997).** Effetti della consociazione con ontano napoletano in impianti di farina. Annali Istituto Sperimentale Selvicoltura, Arezzo (25-26): 261-283.
- Cutini A. and Giannini, T., 2009.** Effects of thinning and mixed plantations with *Alnus cordata* on growth and efficiency of common Walnut (*Juglans regia* L.). Forest@ 6: 29-38.
- Day, J. K. and Pérez, D. M., 2013.** Reducing uncertainty and risk through forest management planning in British Columbia. Forest Ecology and Management 300: 117-124.
- Demagnet, R. y Contreras, R., 1988.** Especies de la pradera naturalizada. Investigación y Progreso Agropecuario Carillanca (Chile) 7 (2): 2-6.
- DGA, 2015.** Información pluviométrica, fluviométrica, estado de embalses y aguas subterráneas. Dirección General de Aguas. Boletín N° 449.
- Downs, A., 1942.** Early responses to weedings in some Eastern mountain hardwoods. Jour. Forestry 40: 865-872.
- Dube, F.; Thevathasan, N. V.; Stolpe, N.; Espinosa, M.; Zagal, E. and Gordon, A. M., 2013.** Selected carbon fluxes in *Pinus ponderosa*-based silvopastoral systems, exotic plantations and natural pastures on volcanic soils in the Chilean Patagonia. Agroforest Syst, 87(3): 525-542
- Eichhorn, M. P.; Paris, P.; Hderzog, F.; Incoll, L. D.; Liagre, F.; Mantzanas, K.; Mayus, M.; Moreno, G.; Papanastasis, V. P.; Pilbeam, D. J.; Pisanelli, A. and Dupraz, C., 2006.** Silvoarable systems in Europe – past, present and future prospects. Agroforest Syst 67: 29-50.
- Fernández, J. A., 2013.** Desarrollo sostenible y silvoagricultura. VI Congreso Forestal Español. Vitoria-Gasteiz, España.
- Garland, K. R.; Fisher, W. W. and Greig, P. J., 1984.** Agroforestry in Victoria. Technical Report Series (Victoria. Dept. of

Gil, L., 1999. La transformación histórica del paisaje: La permanencia y la extinción local del pino piñonero. In: Marín, F.; Domingo, J. y Calzado, A. (Eds.). Los montes y su historia, una perspectiva política, económica y social. España, Pp. 151-185.

Gordo, A. J.; Calama, S. R.; Rojo, G. L.; Madrigal, C. G.; Álvarez, M. D.; Mutke, R. S.; Montero, G. G. y Finat, G. L., 2009. Experiencias de claros en masas de *Pinus pinea* L. en la meseta Norte. V Congreso Forestal Español. SECF, Junta de Castilla y León.

Gordo, J.; Mutke, S.; Calama, R. y Gil, L., 2011. El uso del pino piñonero en sistemas agroforestales. Jornadas de cultivos alternativos con especies forestales. Valladolid, España.

Goor, A. and Barney, C., 1976. Forest tree planting in arid zones. 2nd Ed., The Ronald Press Company, New York, US. 504 p.

Gutiérrez, P., 2007. Análisis del sector de la piña y el piñón y sus aprovechamientos en Andalucía. Trabajo Profesional Fin de Carrera, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Universidad de Córdoba, España. 355 p.

Hoare, M., 1996. Establecimiento y crecimiento inicial de *Quercus robur* L. en ex reserva forestal Contulmo, VIII región. Universidad de Concepción. Los Ángeles, Chile. 21-46 p.

Hoffmann, A., 1995. El árbol urbano en Chile (segunda edición). Ediciones Fundación Claudio Gay. Santiago, Chile, 255 p.

INE, 2012. Agropecuarias. Instituto Nacional de Estadísticas, Chile. [Online] http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/calendario_de_publicaciones/pdf/agropecuarias_informe_anual_2012.pdf [Revisado 23 Septiembre 2015].

INE, 2014. Agropecuarias. Instituto Nacional de Estadísticas, Chile. [Online] http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/calendario_de_publicaciones/pdf/agropecuarias_informe_anual_2014.pdf [Cited December 2, 2014] (in Spanish).

INFOR, 2004. Informe Técnico N°1, Anexo 1 "Caracterización productiva, socioeconómica y ambiental de pequeños y medianos productores asociados a bosque nativo, entre la VII a XI región". En: Proyecto FDI-CORFO Generación de modelos de manejo sustentable en bosque nativo y guías expertas de manejo forestal para pequeños y medianos productores. Instituto Forestal. Santiago, Chile.

IREN, 1964. Suelos, descripciones Proyecto aéreo fotogramétrico. Chile/O.A.E/B.I.D. Instituto de Investigación de Recursos Naturales, Chile. 391p.

Loewe, M. V., 1995. Proyecto Silvicultura de Especies no tradicionales, un aporte al proceso de diversificación productiva. Ciencias Forestales 10 (1-2): 63-72.

Loewe, M. V., 2003. Perspectivas para el desarrollo de la arboricultura para producción de madera de alto valor en Chile. INFOR-FIA, Santiago, Chile, 289 p.

Loewe, M. V., 2009. Usos y Mercados de la madera de Encino o Roble Europeo. Chile Forestal 345:45-49.

Loewe, M. V. y González, O. M., 2001. Producción de madera de alto valor: Tecnología productiva apta para un desarrollo rural con equidad. En: Congreso Latino Americano "Retos y perspectivas del desarrollo rural para alcanzar la equidad de género". CATIE, Turrialba, Costa Rica, Pp. 18-20.

Loewe, M. V. and González, O. M., 2002. High grafting, technique that allows producing wood and fruit of quality simultaneously. 17th Symposium of the International Farming Systems Association. Orlando, Florida, EE.UU. Pp. 17-20.

Loewe, M. V. and González, O. M., 2003. Sicomoro, grevillea, roble rojo americano, pino piñonero, castaño, ruil y cerezo americano, alternativas para producir madera de alto valor. INFOR-FIA, Santiago, Chile, 320 p.

Loewe, M. V. and González, O. M., 2004. Cerezo común: Alta cotización mundial. Chile Forestal 303:41-43.

Loewe, M. V. and González, O. M., 2005a. Los robles rojos americanos. Chile Forestal 315: 46-48.

Loewe, M. V. and González, O. M., 2005b. Castaño: Especie multipropósito. Chile Forestal 309:52-53.

- Loewe, M. V. y Venegas, V., 2005.** Escenarios y Desafíos del Desarrollo Forestal Chileno. En: Economía del Conocimiento y Nueva Agricultura. Eds. Barrera A.; Venegas V.; Tomic T.; Rojas H. Pp. 265-289. 325 p.
- Loewe, M. V. y González, O. M., 2006.** Plantaciones Mixtas, un modelo productivo con potencial para Chile. INFOR-FIA, Santiago, Chile, 299p.
- Loewe, M. V. y González, M., 2007.** Pino piñonero: El potencial de su madera y fruto. Chile Forestal 334: 49-53.
- Loewe, M. V. y González, O. M., 2009.** Evaluación del Crecimiento de Roble Rojo Americano (*Quercus rubra*), Encino (*Quercus robur*), Cerezo (*Prunus avium*) y Castaño (*Castanea sativa*) en plantaciones mixtas y pura orientadas a la producción de madera de alto valor en el sur de Chile en un periodo de siete años. XIII Congreso Forestal Mundial 2009, Buenos Aires, Argentina, 18 al 25 de Octubre 2009.
- Loewe, M. V. y Delard, R. C., 2012.** Un nuevo cultivo para Chile, el pino piñonero (*Pinus pinea* L.). INFOR-CORFO, 364 p.
- Loewe, M. V.; Neuenschwander, A. A. y Alvear, S. C., 1994.** El castaño en Chile: Un cultivo fruto-forestal promisorio. Santiago, Chile, Chile Forestal. 12 p. Chile Forestal. Documento Técnico N° 85.
- Loewe, M. V.; Toral, M.; Delard, C.; López, C. y Urquieta, E., 1998.** Monografía de pino piñonero (*Pinus pinea*). Santiago, Chile, CONAF-INFOR-FIA, Santiago, Chile, 81 p.
- Loewe, M. V.; Pineda, B. G. y Delard, R. C., 2001.** Cerezo común (*Prunus avium* L.), una alternativa para producir madera de alto valor. INFOR-FIA, Santiago, Chile, 105 p.
- Loewe, M. V.; Álvarez, D. A. y Barrales, L., (2013a).** Growth development of hardwood high value timber species in central south Chile, South America. Proceedings International Scientific Conference on Hardwood Processing (ISCHP), Pp. 50-61. Florencia, Italia, 7-9 Octubre 2013.
- Loewe, M. V.; González, O. M. and Balzarini, M., 2013b.** Wild Cherry Tree (*Prunus avium*) growth in pure and mixed plantations of South America. Forest Ecology and Management (2013), Pp. 31-41. DOI information: 10.1016/j.foreco.2013.06.015.
- Loewe, M. V.; Delard, R. C.; Balzarini, M.; Álvarez, C. A. and Navarro-Cerrillo, R. M., 2015.** Impact of climate and management variables on Stone Pine (*Pinus pinea* L.) growing in Chile. Agricultural and Forest Meteorology 214-215: 106-116.
- Lojka, B. and Martiník, A., 2014.** Agroforestry in Czech Republic. 2da Conferencia EURAF, 4-6 Junio 2014, Cottbus, Alemania.
- Mancilla-Leyton, J. M.; Sánchez-Lineros, V. and Vicente, A. M., 2013.** Influence of grazing on the decomposition of *Pinus pinea* L. needles in a silvopastoral system in Doñana, España. Plant Soil 373: 173-181.
- Migeot, J.; Dufour, J.; Santi, F.; Vallée, B. e Gavaland, A., 2014.** Legname di ciliegio in 30 anni. Miglioramento genetico e agroforestazione in Francia. Sherwood 200: 20-22.
- Minotta, G., 1989.** Il rimboschimento dei terreni ex-agricoli: primi risultati sul confronto tra diverse tecniche di lavorazione del suolo. L' Italia Forestale e Montana XLIII, 6: 474-483.
- Mohni, C.; Pelleri, F. and Hemery, G. E., 2009.** The modern silviculture of *Juglans regia* L.: A literature review. Die Bodenkultur 59 (Sondernummer): 19-32.
- Montecinos, F. B., 2011.** Producción de forraje y calidad nutritiva de praderas mejoradas por diferentes métodos, en la zona sur de Chile. Memoria para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Austral de Chile. Valdivia – Chile. 60 p.
- Morcillo, M.; Sánchez, M. y Vilanova, X., 2015.** Cultivar Trufas, una Realidad en Expansión. Micología Forestal y aplicada. 352 p.
- Mutke, S.; González-Martínez, S.; Soto, A.; Gordo, J. y Gil, L., 2008.** El pino piñonero, un pino atípico. Actas de la IV Reunión sobre Genética Forestal. Pontevedra, España. Cuad Soc Esp Cs For 24: 81-85.
- Muñoz, M., 2014.** Maíz: Producción, precios y comercio exterior. Avance a junio 2014. Publicación del a Oficina de Estudios y Políticas Agrarias del ministerio de Agricultura (ODEPA). 20 p.

- Najera, F. y Angulo, V. L. F., 1969.** Estudio de las principales maderas comerciales de frondosas peninsulares. INIA. 278 p.
- Palma, J. H. N.; Crous-Duran, J.; Merouani, H.; Paulo, J. A. and Tomé, M., 2014.** Innovating tree plantation design: Spiralographing agroforestry. 2da Conferencia EURAF, 4-6 Junio 2014, Cottbus, Alemania.
- Pardini, A. and Nori M., 2011.** Agro-silvo-pastoral systems in Italy: Integration and diversification. *Pastoralism: Research, Policy and Practice* 1(1): 26.
- Paris, P.; Cannata, F. and Olimpieri, G., 1995.** Influence of alfalfa (*Medicago sativa* L.) intercropping and polyethylene mulching on early growth of Walnut (*Juglans regia* L.) in central Italy. *Agroforestry Systems* 31: 169-180.
- Paris, P.; Pisanelli, A.; Buresti, E. and Cannata, F., 2001.** Agroforestry in Italy: Tradition of the practice and research indications on new models. En: *Forestry and Agroforestry for Environmental Protection and Rural Development*. SINO-ITALIAN Workshop. Pp. 91-100.
- Pellegrino, S. e Bassi, R., 1993.** Aspetti della tecnica colturale del noce. *Frutticoltura* (12) 53-59.
- Peña, E. y Pedernera, P., 2004.** Silvicultura preventiva para combatir incendios forestales. *Chile Forestal* 302:12-14.
- Pinilla, J. C., 2014.** El manejo forestal y su efecto sobre los incendios forestales. In: Loewe, Verónica; Vargas, Víctor (Eds.). 2014. Análisis de prefactibilidad de creación, desarrollo e implementación del sello SAFOR.INFOR, Santiago, Chile. 57 p.
- Piqué, M., 2004.** La modelización forestal como base para la gestión y aprovechamiento sostenible de los montes de *Pinus pinea* L. de Cataluña. *Rural Forest. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya*. 8 p.
- Prada, M. A.; Gordo, J.; De Miguel, J.; Mutke, S.; Catalán, G.; Iglesias, S. y Gil, L., 1997.** Las regiones de procedencia de *Pinus pinea* L. en España. Organismo Autónomo de Parques Naturales, Madrid.
- Reisner, Y.; De Filippi, R.; Herzog, F. and, Palma, J., 2007.** Target regions for silvoarable agroforestry in Europe. *Ecol Engineer* 29: 401-418.
- Roberts, S. J., 2001.** Bacterial canker of cherry (*Prunus avium*): Biology, epidemiology and resistance. Review Report WD0224/WD0234 Horticulture Research International. 10 p.
- Rollinson, T. J. D. and Evans, J., 1987.** The yield of Sweet Chestnut coppice N° 64.
- Ruas, M. P., 2005.** Aspects of early medieval farming from sites in Mediterranean France. *Veget Hist Archaeobot* 14: 400-415.
- Saavedra, O. E., 1981.** Perspectivas para el Desarrollo de Frutales Tipo Nuez en Chile. CORFO, Gerencia de Desarrollo AA 81/45.
- Savill, P. S., 2001.** The silviculture of trees used in British forestry. CABI, 143 p.
- Schoeneberger, M.; Bentrup, G.; de Gooijer, H.; Soolanayakanahally, R.; Sauer, T.; Brandle, J.; Zhou, X. and Current, D., 2012.** Branching out: agroforestry as a climate change mitigation and adaptation tool for agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation* 67 (5): 128A-136A.
- Shanqing, Y.; Shuangshang, W.; Pinghe, W.; Zhaohua, Z.; Xinyu, L. and Yaomin, F., 1991.** A study in Paulownia – tea intercropping system: Microclimate modification and economic benefits. Pp. 150-161. In: *Agroforestry systems China*. Ed. Zhaoaug Z.; Mantang C.; Shiji W.; Youxu J. 217 p.
- Siebert, H., 2006.** Experiencias silvícolas con las especies *Quercus robur* y *Quercus rubra*. *Guía día silvícola*. 2-3 p.
- D.; Gysling, J. y Loewe, V., 2008.** Antecedentes del Mercado Internacional de Piñones de Pino. *Ciencia e Investigación Forestal* 14 (3): 599-623.
- Tani, A.; Maltoni, A.; Mariotti, B. and Buresti Lattes, E., 2006.** *Juglans regia* L. Tree plantations for wood production in mining area of S. Barbara (AR). Evaluation of N-fixing accessory trees effect. In: *Lingua E, Zano R, Minotta G, Motta R, Nosenzo A, Bovio G (Eds). Proceedings of the V SISEF Congress "Forests & Society - Changes, Conflicts, Synergies"*. 3: 588-597

Trap, L., 1996. *Pinus pinea*: An edible nut Pine of many uses. The Australian New Crops Newsletter N°6. 3 p.

USDA, 1965. Silvics of Forest trees of United States. Agriculture Handbook N° 271

USDA, 2006. Wildland Fire and Fuels Research and Development Strategic Plan: Meeting the Needs of the Present, Anticipating the Needs of the Future. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Research and Development. 50 p.

Van Noordwijk, M. and Purnomosidhi, P., 1995. Root architecture in relation to tree soil crop interactions and shoot pruning in agroforestry. *Agroforestry Systems* (30) 161-173.

Vieitez, E.; Vieitez, M. L. y Vieitez, F. J., 1996. El Castaño, Edilesa, León, Spain.

Zhanxue, Z.; Shoupo, L.; Xuezheng, G.; Zhenku, L. and Jinxian, Y., 1991. Intercropping with *Populus tomentosa* and its beneficial effects. Pp. 109-112. In: *Agroforestry systems China*. Ed. Zhaoaug Z.; Mantang C.; Shiji W.; Youxu J. 217 p.