

PLANTACIONES MIXTAS

Un modelo productivo
con potencial para Chile

Verónica Loewe M.
Marta González O.



INFOR
Instituto Forestal



GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA
INNOVACIÓN AGRARIA
MINISTERIO DE AGRICULTURA



PLANTACIONES MIXTAS

Un modelo productivo con potencial para Chile

Verónica Loewe M.¹
Marta González O.²

Junio 2006

-
1. Ing. Forestal (U. de Chile); Especialización en producción de maderas nobles (U. de Bolonia, Italia); MPA (U. de Harvard, EE.UU.). Profesora Pontificia Universidad Católica de Chile. Jefe de Proyectos. Instituto Forestal, Sede Centro-Norte. Huérfanos 554. Santiago. vloewe@infor.cl
 2. Ing. Forestal (U. de Chile). Ingeniero de Proyectos. Instituto Forestal, Sede Bío-Bío. Camino a Coronel km 7,5. San Pedro de la Paz. mgonzale@infor.cl

I.S.B.N.: 956-8274-68-5

Registro de Propiedad Intelectual N° 151.970

Diseño y Diagramación: Rodrigo Verdugo T.

Impresión: Junio 2006

La información que entrega el presente documento es resultado del proyecto “Plantaciones mixtas: productividad, diversidad y sostenibilidad para el desarrollo forestal de Chile”, ejecutado por el Instituto Forestal (INFOR) entre los años 2000 y 2007, y financiado por la Fundación para la Innovación Agraria y aportes del sector privado.

PRESENTACION

Contribuir al aumento del valor social de la tierra a través de la identificación de nuevas opciones de uso de los suelos es parte del importante rol del estado en el sector forestal. Coincidente con este espíritu, el Instituto de Investigación Forestal de Chile, INFOR, ha definido como una de sus líneas estratégicas, la búsqueda de opciones de cultivos y de tecnologías que permitan a los agentes económicos aprovechar sus recursos con la máxima eficiencia privada y social, en base a la ordenación forestal de acuerdo a criterios de sustentabilidad.

INFOR desde su creación, hace más de cuarenta años, ha generado y transferido información estratégica sobre el sector forestal chileno, por lo que este libro presenta información valiosa para quienes estén interesados en realizar inversiones productivas basadas principalmente en la innovación. Además, representa una importante herramienta técnica tras el objetivo de contribuir a la incorporación progresiva, de parte de las cerca de cuatro millones de hectáreas de suelos de aptitud forestal que pueden sumarse a la actividad productiva de las ya exitosas hectáreas ocupadas con pino radiata y eucalipto, con nuevos cultivos forestales.

La presente obra ha sido realizada en el marco del proyecto “Plantaciones mixtas: productividad, diversidad y sostenibilidad para el desarrollo forestal de Chile”, impulsado por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), cuya ejecución está a cargo de INFOR para el período 2000 y 2007 y que se desarrolla en estrecha colaboración con el sector privado. Este proyecto tiene como objetivo la generación de modelos de plantaciones mixtas de especies de alto valor que permitan generar retornos durante y al final de la rotación, optimizar el recurso suelo y aumentar la biodiversidad con menor riesgo de plagas y enfermedades, además de otros beneficios adicionales a lo productivo, específicamente entre las regiones VII y X.

Para lograr definir modelos de producción sostenida sobre la base de plantaciones mixtas, generados a partir de criterios ecológicos y económicos para potenciar el negocio forestal, resulta imprescindible la investigación y recopilación de los antecedentes sobre este tipo de plantaciones en Chile, establecidas desde hace décadas o en el presente, con objetivos productivos o de Investigación y Desarrollo. De este modo, se logra un escalamiento en la investigación y dada la idoneidad de los investigadores a cargo del proyecto y el capital institucional basado en el conocimiento en el tema de la Diversificación Forestal, esta instancia constituye una gran oportunidad de aplicación para el desarrollo y crecimiento del país.

Marta Abalos Romero

Directora Ejecutiva
Instituto Forestal - INFOR

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. ANTECEDENTES GENERALES	12
2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS	12
2.2 ANTECEDENTES DE POLÍTICAS RELACIONADAS	13
2.3 ANTECEDENTES SOCIO - ECONÓMICOS	14
2.4 ANTECEDENTES CIENTÍFICOS (O SOBRE LAS ALELOPATÍAS).....	16
2.5 ANTECEDENTES SOBRE LA CALIDAD DE LA MADERA	18
3. PLANTACIONES MIXTAS: UN MODELO PRODUCTIVO INNOVATIVO	32
3.1 GENERALIDADES	32
3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS	33
3.2.1 Ventajas	33
3.2.2 Desventajas.....	36
3.3 IMPACTOS DE LAS PLANTACIONES MIXTAS	36
3.3.1 Impactos en el crecimiento	37
3.3.2 Impacto sobre la resistencia a plagas y enfermedades	38
3.3.3 Impacto sobre el suelo	39
3.3.4 Impacto ambiental en sentido amplio	41
3.3.5 Impacto económico.....	43
3.3.6 Impacto social.....	44
3.3.7 Impacto en la gestión y el manejo forestal.....	44
3.4 EFECTOS DE LAS ESPECIES SECUNDARIAS O ACOMPAÑANTES	46
3.5 TIPOS DE PLANTACIONES MIXTAS FACTIBLES	51
3.6 CUANTIFICACIÓN DE PARÁMETROS PARA DIFERENTES TIPOS DE PLANTACIONES MIXTAS	52
3.6.1 Disposición cuadrada.....	52
3.6.2 Disposición rectangular	53
3.6.3 Disposición a tres bolillos.....	54
3.6.4 Disposición en rombo con siete plantas	55
3.7 APLICACIÓN DEL MODELO DE PLANTACIÓN MIXTA BAJO DIFERENTES TÉCNICAS Y ENFOQUES: DE LA ARBORICULTURA A LA SILVICULTURA CON APEGO A LA NATURALEZA	56

3.7.1 Arboricultura y Plantaciones Mixtas.....	57
3.7.2 Silvicultura Tradicional y Plantaciones Mixtas	71
3.7.3 Silvicultura con apego a los Procesos Naturales y Plantaciones Mixtas. H. Siebert	71
3.7.3.1 Introducción	74
3.7.3.2 El por qué de masas y bosques mixtos	76
3.7.3.3 Silvicultura en bosques mixtos.....	78
3.7.3.3.1 Consideraciones básicas	78
3.7.3.3.2 Ejemplos prácticos de silvicultura en masas mixtas en la región de clima templado lluvioso estacional.....	81
3.7.3.4 Consideraciones finales	87
3.7.4 Agroforestería y Plantaciones Mixtas	89
3.8 RECOMENDACIONES PARA LA DEFINICIÓN DE UN MODELO DE PLANTACIÓN MIXTA	93
4. ASOCIACIONES REALIZADAS A NIVEL MUNDIAL QUE FAVORECEN LA PRODUCCIÓN DE MADERA DE ALTO VALOR	110
5. MODELOS DE PLANTACIONES MIXTAS EMPLEADOS EN CHILE.....	123
5.1 DISTRIBUCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PLANTACIONES MIXTAS A NIVEL NACIONAL.....	123
5.2 CARACTERIZACIÓN DE AGENTES ECONÓMICOS CON PLANTACIONES MIXTAS.....	133
5.3 PLANTACIONES MIXTAS REALIZADAS POR INFOR.....	138
6. ANÁLISIS ECONÓMICO DE CASOS DE PLANTACIONES MIXTAS	141
6.1 PLANTACIÓN DE NOGAL COMÚN	141
6.2 PLANTACIÓN DE PINO OREGÓN.....	148
6.2.1 Plantación pura.....	148
6.2.2 Plantación mixta.....	151
6.3 CONSIDERACIONES SOBRE LOS ANÁLISIS ECONÓMICOS.....	156
7. CONCLUSIONES	161
8. FIGURAS.....	195
9. BIBLIOGRAFIA CITADA.....	279

10. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA NO CITADA.....	295
--	-----

ANEXO 1. ESPECIES CONSIDERADAS EN EL DOCUMENTO	165
--	-----

ANEXO 2. EXPERIENCIAS DE ASOCIACIONES DE ESPECIES DE INTERÉS A NIVEL MUNDIAL	170
---	-----

I. INTRODUCCIÓN

En el transcurso de la segunda mitad del siglo XX, las plantaciones forestales se difundieron rápidamente. Este desarrollo se basó principalmente en la expansión de las plantaciones industriales, que tienen la ventaja de ser sistemas simples en términos de propósito, composición, estructura y manejo. Estas formaciones simples pueden ser utilizadas para canalizar convenientemente las presiones ambientales, sociales y económicas (Loewe, 1999); pero resultan necesarias ciertas modificaciones que, junto a una mayor integración con otros usos del suelo, consideren elementos socioeconómicos y sociales.

Por esto, muchos de los proyectos de reforestación que juegan un importante rol en el desarrollo de varios países, han empezado a analizar también aspectos socioeconómicos y ambientales, en lugar de mantener los análisis en niveles puramente financieros y económicos (*op. cit.*).

Paralelamente, la sostenibilidad productiva de largo plazo de las plantaciones puras de especies de rápido crecimiento ha sido cuestionada por sus efectos en la fertilidad de los suelos. Como una alternativa a este tipo de monocultivo, se han probado plantaciones mixtas con especies fijadoras de nitrógeno, demostrándose sus beneficios en el largo plazo (Khanna, 1997).

En las plantaciones de latifoliadas, el objetivo principal es la producción de madera con elevados estándares de calidad (Paris *et al.*, 1999), lo que puede obtenerse usando plantas mejoradas genéticamente (genotipos selectos) y con un cuidadoso establecimiento (disposición, densidad) y cultivo posterior (poda, raleo, fertilización, control de plagas y enfermedades, etc.). Pero a pesar de ello, su éxito técnico y económico es incierto debido a imprevistos de origen biótico y abiótico.

La diversificación de especies puede ser realizada mediante la plantación de especies no tradicionales en forma pura o mixta. En caso de elegirse esta última modalidad, debe planificarse considerando la respuesta de cada especie a condiciones mixtas, dándose preferencia a diseños que pueden ser más productivos que los sistemas puros (Montagnini *et al.*, 1995).

En determinadas situaciones, la diversificación de especies dentro de las plantaciones también puede ser deseable por la incertidumbre respecto del comportamiento de la especie principal, del origen de la semilla y por eventuales daños de plagas y enfermedades (*op. cit.*).

Los modelos mixtos de cultivo tienen la ventaja de mejorar la calidad de la madera (ramas delgadas, mejor forma del fuste, regularidad del crecimiento anual en diámetro [anillos homogéneos]), y

disminuir los riesgos biológicos y económicos respecto a plantaciones puras (Buresti, 1995 cit. por Paris et al., 1999).

Adicionalmente, la cosecha obtenida de plantaciones mixtas es más rica en cuanto a diversidad de productos forestales que la derivada de rodales puros, además de reducir el riesgo de pérdida frente a posibles fluctuaciones del mercado (Loewe, 2003).

Las plantaciones mixtas constituyen sistemas complejos con numerosas interacciones físicas y biológicas, considerándose que pueden ser de alta sustentabilidad ambiental debido a su complejidad ecológica y a la reducción de los inputs energéticos necesarios al cultivo (Paris et al., 1999).

Parte de la inestabilidad de la agricultura y de los sistemas forestales tradicionales puede radicar en el fenómeno conocido como “agotamiento del suelo” (o *soil sickness*), que corresponde a una condición progresiva de poca aceptación del suelo para nuevos ciclos de cultivo de la misma especie. Normalmente, se observa una baja en la productividad del segundo ciclo al usar la misma especie, y también puede afectar a otras especies (Neri, 1998 cit. por Loewe, 1999). Varias explicaciones se han dado para esta situación, incluyendo enfermedades radicales, deficiencias nutricionales y toxinas (Loewe, 1999), pero aún no hay respuestas a este fascinante argumento.

Numerosas plantaciones mixtas experimentales han sido realizadas en diferentes países y continentes. En particular en Italia se ha establecido una red de 420 ha de plantaciones mixtas, de la que se ha obtenido interesantes resultados, entre los que destaca su capacidad de reducir la difusión e impacto de ataques parasitarios (Buresti y De Meo, s.f., cit. por Paris et al., 1999).

En dicho país los agricultores se interesan en los cultivos mixtos, lo que se refleja en la utilización de este modelo productivo en las plantaciones de latifoliadas por décadas (Paris et al., 1999), constituyéndose en una alternativa a las plantaciones tradicionales, pues se considera que tanto la agroforestería como los modelos mixtos pueden jugar un rol importante en el mejoramiento de la rentabilidad de las plantaciones de latifoliadas.

A modo de ejemplo, en Italia, el 80% de la madera requerida en mueblería es importada, siendo Italia uno de los países en que la industria del mueble (desde la manufactura de la madera hasta el ensamblaje de los muebles, incluyendo diseño e ingeniería) es una de las más innovadoras y de mayor desarrollo en el mundo. Por este elevado déficit de madera de calidad, se considera que las plantaciones de latifoliadas nobles pueden ser interesantes para la población rural, siendo la principal limitante la duración de la rotación, con ingresos concentrados al final de la cosecha, aunque

combinando cultivos anuales con otros permanentes de latifoliadas nobles, con la producción de fruta o con cultivos mixtos podría solucionarse este inconveniente (Paris *et al.*, 1999).

Este libro presenta información valiosa para quienes estén interesados en realizar inversiones productivas innovativas. Contiene una recopilación de experiencias de plantaciones mixtas realizadas en diferentes países y continentes, incluyendo Chile; efectuadas con diferentes técnicas -arboricultura, agroforestería, silvicultura tradicional y silvicultura con apego a los procesos naturales-, y con diferentes intensidades de manejo y niveles de inversión. Esta recopilación fue realizada en el marco del proyecto “Plantaciones mixtas: productividad, diversidad y sostenibilidad para el desarrollo forestal de Chile”, en ejecución por el Instituto Forestal entre los años 2000 y 2007, y financiado por la Fundación para la Innovación Agraria y aportes del sector privado.

De su lectura se podrá comprender que resulta factible identificar una alternativa mixta válida y rentable para cualquier situación, empleando conocimiento e ingenio. Mucho se ha avanzado en este tema en las últimas décadas, y ese conocimiento constituye una oportunidad de aplicación para el desarrollo y crecimiento del país, al que el lector está invitado.

Por último, se advierte que la orientación principal del libro es la arboricultura para producir madera de alto valor, debido a la especialización de las autoras, lo que le confiere un sesgo. No obstante lo anterior, se ha hecho el esfuerzo de incorporar otras visiones de esta apasionante temática, que sin duda se enriquecerá con otros aportes.

2. ANTECEDENTES GENERALES

2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El concepto de plantaciones mixtas se desarrolló a fines del siglo XIX como una opción distinta a las plantaciones puras. Uno de los forestales pioneros de esta silvicultura fue Karl Gayer (1886), quien destacó las ventajas del bosque mixto por su estabilidad y versatilidad frente a la acción del viento, nieve, ataques de plagas e incendios.

La evolución de la investigación relacionada a las plantaciones mixtas reviste interés. Parte del importante atractivo que han despertado en la segunda mitad del siglo XX tiene su origen en la observación de una plantación pura de nogal rodeada por dos hileras de aliso como cerco natural, situación común en el centro de Italia. Se apreció que existía un efecto del aliso sobre el crecimiento de las hileras contiguas, que decrecía gradualmente hacia el interior de la plantación de nogal; inicialmente se pensó que ese efecto se debía a la fijación de nitrógeno por parte del aliso. En la Figura 1 se observa el diseño de la situación, y en la Figura 2 la situación de las primeras hileras a los 8 y 10 años de edad.

A partir de esta observación se realizó una plantación pura de nogal, en que sólo una parte fue rodeada por una especie fijadora de nitrógeno (Figura 3), con el objeto de apreciar en forma comparativa su impacto en el crecimiento de nogal, lo que se representa en las situaciones A y B, presentándose mediciones a los 14 y 19 años de edad (Figura 4).

A continuación se procedió a analizar una plantación pura de nogal adyacente a una plantación mixta que estaba conformada por una especie fijadora de nitrógeno y otra no fijadora (Figura 5), con el objetivo de comparar su efecto respecto de las anteriores. Evaluaciones realizadas a los 6 y 9 años de edad confirman el efecto positivo, y mayor aún al detectado con anterioridad, por lo que se concluyó que no dependía solamente de la fijación de nitrógeno (Figura 6).

Esta fue la base de la investigación científica sobre las plantaciones mixtas realizada en Europa a partir de la década de los '80, y que ha despertado gran interés en Europa y en el resto del mundo, especialmente para la producción de madera de calidad.

Posteriormente, los objetivos de la investigación han ido evolucionando. Hasta 1990 las investigaciones se centraron en el efecto de la asociación sobre el crecimiento del nogal; en la década de los '90 en el efecto en la calidad de la madera; y desde el año 2000 los objetivos se han ampliado hacia otros efectos de las mezclas.

A continuación se muestra un ejemplo de diez combinaciones probadas en un ensayo experimental italiano. La progresiva complejidad de las parcelas es un indicador del interés por comprender los mecanismos de interacción, así como de aprender a emplear elementos de la naturaleza para lograr lo que el arboricultor desea, con mayor facilidad y a un menor costo final (Figura 7).

En términos productivos, durante las dos últimas décadas se ha renovado e incrementado el interés por la instalación de rodales mixtos (Luis y Monteiro, 1998). Este interés se basa en el conocimiento de éstos ya que, en general, son biológicamente más estables, menos susceptibles a riesgos naturales (Kenk, 1992 cit. por Luis y Monteiro, 1998), usan mejor los diferentes horizontes del suelo, producen madera de mayor calidad (Brown, 1992 cit. por Luis y Monteiro, 1998), aumentan la posibilidad de regeneración natural del rodal y proporcionan muchos beneficios indirectos (Matthews, 1989 cit. por Luis y Monteiro, 1998). Basado en la teoría del nicho fundamental, Kelty (1992) cit. por Luis y Monteiro (1998) afirma que hay un incremento potencial en la productividad con rodales y plantaciones mixtas, comparados con rodales puros.

La deforestación, principalmente en los países tropicales, ha alcanzado cifras anuales estimadas en 15,4 millones de hectáreas (Palo y Mery, 1996 cit. por Loewe, 1999). De esta problemática se ha sugerido que una solución para el desarrollo sustentable sería el establecimiento de plantaciones forestales. Pero en orden a satisfacer las complejas necesidades socioeconómicas en áreas rurales, las plantaciones podrían ser establecidas con el objetivo de maximizar los beneficios sociales y ambientales, y no sólo basarse en la producción de madera (Loewe, 1999), aspecto que es satisfecho en mayor medida cuando las plantaciones son mixtas.

2.2 ANTECEDENTES DE POLÍTICAS RELACIONADAS

En varios países europeos existe un déficit de madera y productos derivados, de modo que la creación de un patrimonio que permita sustituir la importación resulta altamente deseable; por ello la Unión Europea incentiva la plantación de bosques en tierras agrícolas mediante subsidios, política cuyo éxito podría incrementar la producción maderera, mejorar los ingresos de los agricultores y favorecer el ambiente.

Además, se han desarrollado programas de mejoramiento tecnológico cuyos principales objetivos son (Hammatt, 1994):

- Mejorar la calidad de las semillas, control de la dormancia y factores que afectan el almacenaje;
- Desarrollar técnicas para la viverización en contenedores que permitan extender la

temporada de plantación, minimizar las alteraciones a la raíz y lograr un uso más eficiente del espacio a través de siembras secuenciales;

- Investigar la capacidad que tienen plantas a raíz desnuda para resistir el estrés hídrico después del transplante;
- Desarrollar árboles vigorosos, con arquitectura adecuada y mayor resistencia al ataque de plagas y enfermedades, utilizando técnicas convencionales de reproducción, así como otras de transformación genética, que ayuden a maximizar la producción de madera de calidad;
- Desarrollar técnicas de clonación para crear árboles genéticamente superiores;
- Investigar cómo los árboles responden a los cambios ambientales, especialmente a los atmosféricos, con elevados niveles de dióxido de carbono.

En el contexto europeo, estas políticas privilegian las plantaciones mixtas, llegándose al extremo que algunos gobiernos regionales italianos subsidian solamente plantaciones de ciertas especies (entre ellas nogal) si se establecen en forma mixta (Buresti E., 2000. Com. Personal).

2.3 ANTECEDENTES SOCIO - ECONÓMICOS

La diversificación puede describirse como una fuerza política y económica ya que constituye una forma de aminorar riesgos bióticos (enfermedades) y abióticos, y enfrentar cambios en los mercados (Picard, 1994 cit. por Loewe, 1999).

Para una correcta aplicación, la noción de la diversificación debería analizarse para cada una de las funciones del bosque: producción, protección del ambiente y aspectos sociales, limitando los factores de riesgo mediante el uso de técnicas apropiadas. Para esto, es necesario un conocimiento acabado de los sitios, especies, objetivos, capacidades y motivaciones de las personas que la aplican (Loewe, 1999).

Ciertas estructuras de las poblaciones pueden ser preferibles por los beneficios que generan. Así, bosques multietáneos permiten la producción de diferentes productos en momentos distintos; se puede lograr una mejor adaptación frente a las fluctuaciones de los mercados; y también son más eficientes para responder a las necesidades de las comunidades locales (*op. cit.*).

Aunque las tendencias sociales y económicas, y los modelos de uso del suelo han cambiado radicalmente durante las últimas décadas, los enfoques para la reforestación han cambiado muy poco. En general, la silvicultura de coníferas promueve una preparación del suelo y manejo de plantaciones intensivos en grandes superficies (Phillips y Abercrombie, 1987).

Por otra parte, debido a aspectos políticos y económicos, muchas empresas europeas han cambiado su giro, pasando de agrícolas a agrícola-forestales o agroturísticas. De ahí la necesidad de identificar alternativas que ofrezcan rentabilidades aceptables para salvar los predios del empobrecimiento, degradación y depreciación. Los principales objetivos de los propietarios involucrados en esta situación corresponden a (Matteoli y Bini Moriani, 1997):

- Investigar cultivos deficitarios dentro de la Unión Europea;
- Favorecer la calidad respecto a la cantidad;
- Identificar cultivos o productos aptos para ambientes edafoclimáticos específicos;
- Valorizar al máximo la localidad;
- Maximizar la diversificación de los cultivos;
- Diversificar las inversiones en el corto, mediano y largo plazo;
- Reducir el empleo de mano de obra, debido a su escasez y elevado costo.

Considerando estos objetivos, a modo de ejemplo se presenta el programa de trabajo de un predio del centro-norte de Italia (Matteoli y Bini Moriani, 1997):

- Disminuir progresivamente la superficie destinada al cultivo de especies herbáceas, aunque sin abandonarlas del todo;
- Destinar gran parte del terreno a plantaciones de arboricultura con finalidad productiva en rotaciones cortas (10/12 años), medias (20/25 años), largas (30/40 años), y a plantaciones con finalidad mixta (ambiental y productiva). En líneas generales se prevé lo siguiente:
 - Plantaciones de rotaciones largas: incorporar varios cientos de hectáreas con subsidios, principalmente con especies de alto valor;
 - Plantaciones de rotaciones medias: a efectuarse principalmente con álamo blanco, en 20 a 40 hectáreas;
 - Plantaciones de rotación corta: cultivo del álamo, incorporando 90 hectáreas asociados a cultivos agrícolas (alfalfa y maíz);
 - Con fines productivos se prevé la utilización de plantas micorrizadas para el cultivo y producción de trufa, en especial el blanco (*Tuber magnatum*);
 - Las plantaciones con finalidad mixta se concentran en terrenos con pendiente mayor a 25%, de escasa fertilidad, con dificultades para la mecanización de faenas, incorporando especies que produzcan frutos silvestres y permitan generar un ambiente amigable para la fauna.

Las plantaciones mixtas pueden incluir especies de rápido crecimiento con producciones relativamente altas, y especies de lento crecimiento que pueden aumentar el valor económico del predio y proporcionan una fuente de ingresos diferente (Montagnini *et al.*, 1995 cit. por Stanley y Montagnini, 1998).

A pesar de los costos de establecimiento relativamente altos, las rotaciones y los precios de la madera hacen que las plantaciones mixtas sean financieramente atractivos para los agricultores (Montagnini *et al.*, 1995); los costos de establecimiento se reducen al incluir especies secundarias, generándose un sistema de mayor flexibilidad debido a la variedad de productos finales, dentro de la incertidumbre del marco económico y de los mercados (*op. cit.*).

Las plantaciones pueden ayudar a estabilizar poblaciones rurales en regiones agrícolas donde predominan cambios en el uso de la tierra, al combinar cultivos de subsistencia con cultivos comerciales (agroforestería) o con ganado (silvopastoreo); así las plantaciones pueden usarse como una herramienta útil en proyectos de desarrollo rural (Murdiyarso, 1993 cit. por Montagnini y Porras, 1998).

Como ejemplo, una comunidad campesina cordillerana en Perú ha implementado una estrategia efectiva de manejo de árboles para satisfacer sus necesidades principales, ya que los árboles proporcionan gran cantidad de recursos (madera para la construcción, muebles, pegamento, medicinas, jabón, veneno, etc.). Debido a esto se inventariaron especies arbustivas y arbóreas de uso local y aplicables en agroforestería; especies de los géneros *Acacia*, *Alnus*, *Cordia*, *Erythrina* y *Prosopis* fueron propuestas para plantaciones silvopastorales (Cotler y Maass, 1999).

Otro caso, en Chiapas, México, se centró en reconocer, seleccionar y evaluar especies arbustivas y arbóreas como potencial fuente de forraje; se obtuvieron 37 especies, de las cuales se seleccionaron 14 (6 arbustivas y 8 arbóreas), con el objetivo de establecer plantaciones mixtas multipropósito (Nahed *et al.*, 1997).

Paralelamente, las especies madereras juegan un rol importante en la estructura socioeconómica de la población rural, suministrando madera para implementos agrícolas, construcciones menores, y para la elaboración y comercialización de varios productos (Laurie, 1945 cit. por Masoodi *et al.*, 1996).

2.4 ANTECEDENTES CIENTÍFICOS (O SOBRE LAS ALELOPATÍAS)

En general, se considera que si se asocian dos especies arbóreas la diversidad biológica se va a duplicar, y que si se asocian tres especies ésta se va a triplicar. Pero la diversidad biológica está dada

por la suma de todas las especies y comunidades biológicas presentes en un área, y no sólo por las especies arbóreas. La investigación ha mostrado que en la naturaleza la heterogeneidad a menudo se alcanza a través de un efecto mosaico en el que un gran número de condiciones relativamente homogéneas entran en contacto, generando una diversidad de hábitats requerida para fomentar la diversidad biológica.

En la naturaleza, los monocultivos se ven raramente porque las plantas tienen sociedades altamente desarrolladas en las que cada componente beneficia a los demás, y los desechos de una especie o variedad son utilizados como nutrientes por otras (Hincks, 2004).

Pero también existen especies que perjudican el crecimiento de otras que crecen en sus cercanías, fenómeno conocido desde la antigüedad, pero que sólo a partir de 1930 se acuñó con el término de alelopatía, para explicar las interacciones químicas que ocurren en las comunidades vegetales. Se entiende por alelopatía cualquier efecto, sea benéfico o perjudicial, directo o indirecto, causado por una planta (o microorganismo) en otra, a través de la liberación de sustancias orgánicas en el ambiente. Aún no se sabe exactamente si las sustancias orgánicas son un producto final del metabolismo celular o si son sintetizadas por las plantas con fines específicos (Prevedello et al., 1996).

Por otra parte, también se ha verificado que muchas de las sustancias alelopáticas desempeñan, al mismo tiempo, funciones de protección y de defensa de las plantas contra el ataque de microorganismos e insectos; incluso, aun después de muertas las plantas, estas sustancias se mantienen en los tejidos. Estas sustancias se volatilizan, como es el caso de los terpenos en los eucaliptos y los antibióticos producidos por hongos saprófitos, o por lixiviación.

No obstante lo anterior, los mecanismos de acción de los compuestos alelopáticos relacionados a procesos fisiológicos aun no han sido esclarecidos del todo. Se sabe que algunos inhiben la germinación, interfiriendo en la división celular, en la permeabilidad de las membranas, en la actividad enzimática y en la producción de hormonas; otras, como los ácidos fenólicos, interfieren en la absorción de fósforo y potasio. Procesos fisiológicos como la respiración, transpiración y fotosíntesis pueden ser afectados, directa o indirectamente, por compuestos que afectan la apertura de los estomas (Prevedello et al., 1996). Las fitotoxinas ejercen tres efectos en las plantas: inhiben la germinación, inhiben el crecimiento e inhiben la acción de los microorganismos.

El efecto alelopático puede darse entre especies diferentes e incluso dentro de una misma especie.

3. Callejas J. L. 2004. Administrador de empresa Frutifor Ltda. VII región, Chile.

Un estudio realizado por Nielsen *et al.* (1960) cit. por Prevedello *et al.* (1996) demostró que el extracto de alfalfa retrasa la germinación y el crecimiento de las plántulas de todas las especies probadas, inclusive de la misma alfalfa. Klein y Miller (1980) cit. por Prevedello *et al.* (1996) también obtuvieron menor desarrollo cuando se plantaba en terrenos donde se había cultivado alfalfa; se ha demostrado que sus flores y hojas presentan el mayor efecto inhibidor.

Respecto a la asociación con alfalfa, estudios realizados en Italia y Francia han permitido observar que el cultivo intercalado de nogal con alfalfa no es recomendable, ya que ésta disminuye fuertemente el crecimiento de nogal. Por ello se recomienda evitar la plantación en terrenos que hayan tenido alfalfa en los cinco años previos a la plantación, pues el efecto se mantiene en el tiempo. Sin embargo, el uso del plástico de polietileno negro como mulch disminuye este efecto negativo, aunque no lo elimina del todo (Paris *et al.*, 1998).

Este efecto también se ha observado en plantaciones experimentales (Paris *et al.*, 1999) y productivas de nogal común, en las cuales el crecimiento se ve disminuido por al menos dos años después de la plantación, siempre que se haya hecho una rotación de cultivo con una tercera especie un año antes de la plantación (Callejas³, 2004. Com. Personal).

2.5 ANTECEDENTES SOBRE LA CALIDAD DE LA MADERA

La madera es un producto de origen natural, por lo que presenta características muy variables. No es raro que la diversidad inducida por las condiciones ambientales sean tan marcadas que superen incluso las diferencias inherentes a la especie (Berti *et al.*, 2003). Se debe tener presente que la madera producida en plantaciones intensivas de arboricultura, generalmente presenta propiedades físico-mecánicas distintas de la madera crecida en condiciones de bosque.

Concepto de calidad de la madera: cuando se trabaja con latifoliadas de madera valiosa se busca maximizar su calidad mediante técnicas culturales adecuadas, ya que la madera de calidad siempre tendrá mercado.

La aptitud del material debe satisfacer ciertas exigencias para usos específicos. La calidad no puede definirse en sentido absoluto sin considerar el uso que se dará a la madera, y a la evolución de las tecnologías para su transformación.

En el momento en que se planifica y realiza una plantación deben estar claros los objetivos productivos, porque de ellos depende el concepto de calidad de la madera y, por lo tanto, determina los cuidados culturales aptos para lograrla.

Los parámetros considerados en la valoración de la calidad de los troncos son *dimensionales* (diámetro y largo de las trozas) y *cualitativos*, que consideran las características presentes en la madera a causa de su origen biológico (color, veteado, defectos, etc.).

En arboricultura una de las primeras consideraciones es la selección de la especie, ya que las características de su madera serán mejores cuanto mejores sean las condiciones de crecimiento. Esta elección no debe efectuarse sólo con base en las características del mercado, sino que también en sus exigencias ecológicas (Berti, 1995).

La variabilidad que induce un determinado sitio sobre las características tecnológicas de la madera de cada especie es importante. La variabilidad entre árboles individuales en gran medida es controlada genéticamente, por lo que puede reducirse mediante el mejoramiento genético; por ello se debe poner especial cuidado al seleccionar el material a utilizar en una plantación.

La mayoría de los árboles presentan madera con características diferentes en la base y en la punta del fuste, así como entre la porción central cercana a la médula y aquella externa próxima a la corteza, así como al interior de los anillos anuales. Estas diferencias, prácticamente inevitables, se acentúan con crecimientos incorrectos de la planta, sean estos imputables al hombre o a fenómenos atmosféricos (viento, nieve, etc.) y del sitio (exposición, características del terreno, etc.). Por ejemplo, cuando el fuste no es vertical, o cuando su peso no está centrado respecto a su base -como ocurre en presencia de copas asimétricas-, se tiene la formación de un tipo de madera particular (*madera de reacción*), con características diferentes, anomalía que constituye un defecto grave por su influencia negativa en el comportamiento físico-mecánico y en la trabajabilidad de la madera.

De ahí la importancia de las prácticas silviculturales, que juegan un rol importante en el control de las características tecnológicas de la madera procedente de plantaciones. Este control puede ejercerse de dos maneras: directamente produciendo cambios fisiológicos al interior de la planta (por ejemplo mediante fertilización, riegos, raleos, etc.) o indirectamente, condicionando el fuste (por ejemplo mediante distancias de plantación particulares), que influyen los procesos fisiológicos (Figura 8).

Es importante considerar que en las plantaciones destinadas a madera de alto valor debe reducirse la heterogeneidad del material, por lo que es necesario realizar intervenciones silviculturales previendo los efectos que éstas producirán en las características de la madera (*op. cit.*).

Por lo tanto, los factores principales que determinan el desarrollo de una plantación y regulan la variabilidad de las características tecnológicas de la madera, son: especie idónea, sitio apropiado, material genético seleccionado, plantación y cuidados culturales efectuados para producir madera con la menor cantidad de anomalías posibles.

En arboricultura de alto valor la homogeneidad de la madera es sinónimo de calidad. La madera de plantas que crecen rápidamente, con anillos anchos, puede ser considerada de calidad si esta característica se mantiene durante toda la rotación.

Se entiende por defecto cualquier modificación de la forma del fuste, de la constitución anatómica, de la estructura, de la disposición y continuidad del tejido, que signifiquen un detrimento de la calidad y cantidad de madera.

Defectos típicos de la madera son: mala forma y lesiones; bifurcaciones; ovalidad de la sección y médula excéntrica; curvatura; acebolladura; presencia de ramas a lo largo del fuste; fibra torcida; ramosidad y nudosidad; zonas necrosadas cicatrizadas; relación desequilibrada entre madera tardía y de primavera; infecciones; infestaciones (Carbone y Venzi, 1997).

La noción de calidad de la madera se aplica al valor existente o potencial de la madera de la parte inferior del tronco, bajo la inserción de la copa (IDF, 1981). Para apreciar la calidad de un árbol se debe realizar un examen minucioso del tronco; desgraciadamente los defectos de la madera son numerosos, pero en general detectables desde el exterior, y corresponden principalmente a (*op. cit.*):

- *Regularidad de crecimiento:* la calidad de la madera está determinada por la regularidad de los anillos de crecimiento.
- *Forma:* las trozas más apreciadas son rectas y cilíndricas. Curvaturas, fuertes disminuciones del crecimiento en altura (ahusamiento) y excentricidades, corresponden a los defectos más comunes. Cuando se trata de árboles jóvenes, no hay que ser demasiado exigentes, ya que curvaturas o irregularidades leves disminuyen o desaparecen con la edad.
- *Nudos:* son los defectos más importantes y frecuentes, en función del grosor y localización; los nudos son huellas de ramas, y se controlan a través de podas, tanto naturales como artificiales. Un árbol puede ser considerado como satisfactorio cuando en el transcurso de su crecimiento las ramas han muerto y caído, o han sido eliminadas, mientras el tronco tenía un diámetro inferior a los 8-10 cm. Un árbol puede ser considerado como bien podado si presenta nudos

concentrados en su sección central. Los nudos muertos son los defectos más importantes, ya que constituyen una entrada para pudriciones y asilo para nidos de aves.

- *Heridas*: pueden originarse por daños mecánicos (maquinaria, caída de árboles cercanos, daños de animales, etc.). Las heridas dejan una marca en la madera y constituyen una entrada para patógenos.
- *Presencia de cuerpos extraños*: clavos, alambre de púas, balas y otros también deprecian la madera.
- *Dimensión insuficiente*: la madera de calidad se vende por m³, y su valor depende de las dimensiones del árbol (a mayor grosor mayor valor). Determinados usos, como el debobinado o foliado, los más remunerativos, se realizan con las trozas más gruesas. También influye el largo de la troza, que se refiere a la sección que presenta un aspecto homogéneo (por ejemplo el largo sin ramas y sin defectos), y no el largo total. Trozas de longitud mayor proporcionan un valor agregado, el que sin embargo resulta inferior al valor agregado que deriva de diámetros mayores. Por esto resulta más rentable producir trozas gruesas y cortas.
- *Heladas*: producen grietas verticales en la madera, que afectan desde la periferia hacia el interior. Deprecian los árboles en forma importante y son más frecuentes cuando se planta una especie en un sitio no adecuado.
- *Fibra torcida*: se aprecia desde el exterior por las fisuras oblicuas de la corteza; se da ocasionalmente en encinos y hayas.

Los nudos, heladas, heridas y cuerpos extraños son reconocibles desde el exterior por las anomalías que generan en la corteza. Todos los defectos conllevan una pérdida de madera, o una pérdida de su valor, con una disminución del valor unitario.

Cabe señalar que los objetivos dimensionales de la madera de calidad han ido evolucionando en el tiempo debido al avance tecnológico.

Usos de productos derivados de maderas de alto valor: es muy importante contar con antecedentes sobre las características de los productos derivados de plantaciones mixtas para madera de calidad.

Las especies que poseen madera de alto valor, como el nogal, cerezo, fresno, castaño, arce y otras, se utilizan en la confección de muebles de alta calidad y estilo, chapas decorativas (“veneers”, foliadas), paneles de calidad, culatas de armas, fuentes, tornería, instrumentos musicales, y otros usos.

En general, a nivel artesanal, la madera más apreciada es la rústica de montaña, dura, pesada y de fibra corta. La madera de fibra y estructura más larga, menos pesada y poco resistente, homogénea y de color más claro, como la que se origina en plantaciones especializadas de arboricultura, es la más requerida a nivel industrial.

Entre las maderas apreciadas se encuentran la de nogal común, especie que ocasionalmente desarrolla la llamada raíz o radica⁴; el nogal negro (más oscura y con un hermoso veteado), conocida también como *nogal satinado*; el cerezo común y el cerezo americano; fresno, arce, castaño, encinos (*Quercus petraea*, *Q. robur*), robles americanos (*Q. rubra* y otros), entre otras.

La madera de mayor calidad se destina al foliado y aserrío; las trozas de menor calidad y de ramas gruesas se usan en carpintería y ebanistería; la de las raíces (Figura 9) y *plumas*⁵ (Figura 10) se usan principalmente en chapas decorativas. Adicionalmente, la madera seca de podas o raleos constituye leña.

Elaboración de la madera: los principales procesos de elaboración de la madera son aserrío, debobinado, foliado y triturado (Brunetti y Macchioni, 2002):

A. Aserrío: es la transformación más conocida y practicada, y permite obtener, mediante el uso de varios tipos de sierras, piezas de espesor y largos variables (tablas, vigas, listones), para múltiples usos.

Requisitos: el aserrío puede practicarse con todas las especies. Normalmente se distinguen los troncos que proporcionan materia prima de calidad (diámetros superiores a 18-20 cm.) de aquellos destinados a aserraderos portátiles, con diámetros de más de 13 cm. La presencia de defectos generalmente no impide la elaboración, sino que conlleva un menor valor del producto.

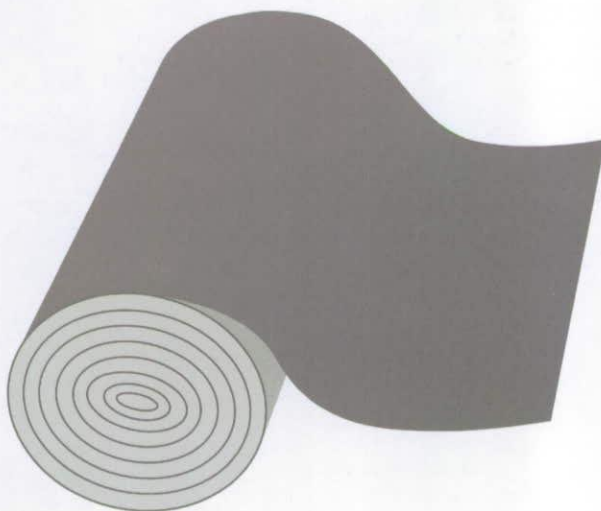
4. Corresponde a una deformación ovoidal de hermoso veteado que se produce en la base del árbol, cuyo precio depende de sus dimensiones y calidad, en particular de la ausencia de involuciones de corteza, caso en que puede alcanzar valores de US\$ 5.000/unidad

5. Porción del fuste en que se produce una bifurcación, con un atractivo veteado y color, y que tiene demanda y precios atractivos si no presenta corteza incluida. También se la conoce como piuma o scrotch.



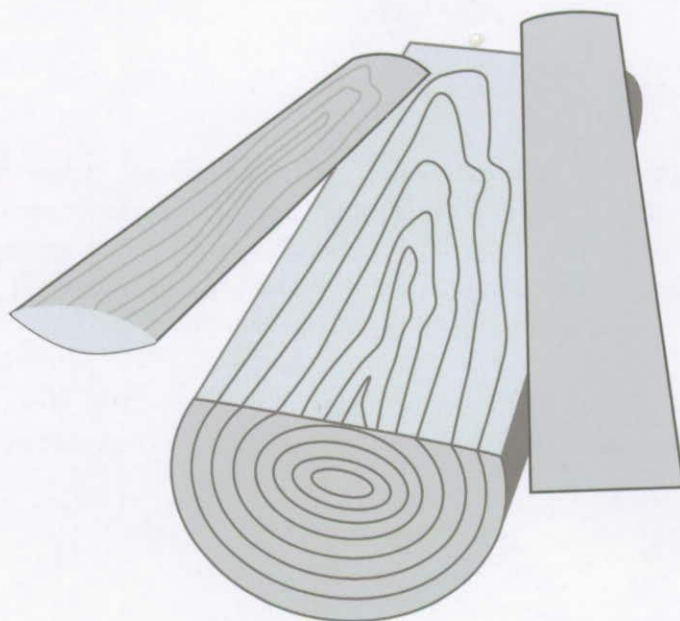
B. Debobinado: mediante este procesamiento los troncos se hacen rotar sobre su eje comprimiéndolo contra un cuchillo que, sin producción de aserrín, produce una hoja de un ancho equivalente al largo del trozo, cuya longitud depende del diámetro del tronco. Las delgadas hojas de madera que se obtienen (chapas debobinadas) con un espesor de 1 a 3 mm, se usan para la producción de paneles compensados, fósforos, baja lenguas, etc.

Requisitos: las especies utilizadas presentan madera poco compacta (álamo, abedul, eucalipto), aunque con tecnologías nuevas es posible utilizar especies como encinos, castaño y ciertas coníferas.



C. Foliado: los troncos se procesan con un cuchillo que, sin producción de aserrín, produce hojas muy delgadas, con un espesor de pocas décimas de milímetro, llamadas chapas decorativas (veneers), que se usan para revestir y dar valor a paneles de maderas de menor valor, o con otros materiales. El proceso de elaboración de chapas considera las etapas de obtención de trozas de la mejor calidad; estabilización de las trozas (vaporización o cocción); foliado; secado; prensado; redimensionado con eliminación de defectos; y empaquetado.

Requisitos: las especies utilizadas presentan madera compacta (encinos, nogal), con diámetros de más de 30 cm. y total ausencia de defectos; el largo óptimo de las trozas es de 3 m.



Estos conceptos se sintetizan y representan en la Figura 11 y en el Cuadro 1.

Cuadro I. Características requeridas por la industria europea de la madera

Características	Aserrió	Debobinado	Foliado	Trozado y Trituración
Dimensiones mínimas	Diámetros > 13 cm. Largo > 1 m	Diámetros > 22 cm. Largo > 1,3 m	No definidas; óptimas diámetro > 30 cm. y largo > 3 m	Diámetro > 3 cm.
Defectos no admitidos	Pudriciones	Pudriciones, acebolladura, grietas de heladas, agujeros de insectos, madera de reacción, fisuras estrelladas, médula excéntrica, alteraciones del color, ovalización, inclusiones de corteza, acanaladuras, curvaturas y fibra helicoidal	Pudriciones, nudos sanos, muertos, y cubiertos; acebolladura, grietas de heladas, agujeros de insectos, madera de reacción, fisuras estrelladas, alteraciones del color, inclusiones de corteza, acanaladuras, curvaturas y fibra helicoidal	
Defectos admitidos con limitaciones	Inclusiones de corteza, albura, agujeros de insectos, grietas de heladas, acanaladuras, curvaturas, fibra helicoidal	Conicidad marcada, restos de corteza, nudos muertos, nudos sanos, nudos cubiertos	Conicidad marcada, restos de corteza, de gomas, resinas, etc.	
Requisitos de la madera	Ningún requisito específico	Generalmente madera poco compacta	Madera compacta de agradable aspecto	Ninguno
Especies utilizadas	Todas	Álamo, abedul, eucalipto	Encinos, nogal, arce, cerezo, fresno	Todas
Usos	Tablas y listones para muebles y decoración, paneles de madera sólida, pisos, vigas, embalajes, pallets	Paneles compensados, embalajes	Chapas para revestimientos	Paneles aglomerados, pulpa y celulosa, extracción de sustancias químicas, leña, postes y polines

Clasificación Cualitativa de Trozas: el objetivo de la clasificación es el de atribuir la madera de un árbol a una categoría cualitativa. En la práctica, consiste en seleccionar el material en función de las posibles transformaciones industriales; desde el punto de vista comercial, consiste en atribuir un valor distinto a las diferentes clases cualitativas, valorizando la madera de buena calidad.

El procedimiento se realiza en la fase de ordenamiento de los árboles abatidos, por medio de la observación preliminar del tronco, para definir los productos que se pueden obtener. Sucesivamente se hace un muestreo de los defectos presentes en la superficie y en las caras del tronco para identificar las características discriminantes entre una clase y otra; la medición del diámetro y del largo del tronco permite verificar la conformidad con las dimensiones mínimas solicitadas para cada clase cualitativa (Figura 12).

Análisis de los defectos: las características que definen la calidad de un tronco son numerosas; algunas son comunes a todas las especies, mientras que otras pueden ser identificadas solamente en algunas. En determinados casos, la presencia de un solo defecto puede ser suficiente para reducir la calidad del tronco, mientras que frecuentemente la magnitud del defecto debe ser evaluada y comparada con límites críticos que separan o definen diferentes clases cualitativas, definidas por las normas vigentes en los mercados. Además, en la definición de la calidad de un tronco pueden intervenir también aspectos que no es posible cuantificarlos con facilidad, como por ejemplo el color y el veteado, que son parámetros muy importantes para algunas especies.

En general el análisis alcanza gran detalle, como se puede observar en el caso de la norma europea de clasificación de la madera de farnia (Cuadro 2).

Cuadro 2. Normas europeas de clasificación de calidad de madera de farnia

Características	Clases			
	A	B	C	D ⁶
Largo mínimo (m)	2,5 ⁷	3 ⁸	2 ⁹	Ningún límite ¹⁰

6. Para todas las características, en la clase D más del 40% del volumen de madera debe ser utilizable.

7. A excepción de cláusula estipulada contractualmente

8. Ibid 6

9. Ibid 6

10. Ibid 6

Características	Clases			
	A	B	C	D ⁶
Diámetro medio mínimo sin corteza (cm.) ¹¹	40 ¹²	35 ¹³	30 ¹⁴	Ningún límite ¹⁵
Albura (cm.) medida en el radio	≤ 3	≤ 4	Admitida	Admitida
Velocidad de crecimiento (mm)	≤ 4	Admitida	Admitida	Admitida
Color	Homogéneo ¹⁶	Admitido ¹⁷	Admitido	Admitido
Nudos sanos visibles	≤ 15/2.5 ¹⁸	¹⁹	Admitidos	Admitidos
Nudos no sanos visibles	No admitidos		< o = 50/2	Admitidos
Restos de corteza (yemas epicórmicas, nudos recubiertos, excrecencias) (Nº/m)	1 yema epicórmica / 2,5 ²⁰		Admitidos	Admitidos
Fibra en espiral (cm./m)	≤ 5	≤ 9	Admitida	Admitida
Médula excéntrica (%)	< 10	< 20	Admitida	Admitida
Albura incluida	No admitida	No admitida	No admitida	Admitida

11. El largo y el diámetro deben ser medidos según la norma EN 1309/1994

12. Ibid 6

13. Ibid 6

14. Ibid 6

15. Ibid 6

16. Ibid 6

17. Ibid 6

18. Solamente si no están presentes otras características que pueden llevar a la desclasificación

19. Suma máxima de nudos (incluidos los otros defectos): 100 mm/3 m. Un nudo sano visible no debe ser > 60 mm, y la suma de los 20. nudos no sanos debe ser = 20 mm. Una yema epicórmica es considerada como un nudo de diámetro 5 mm.

20. Ibid 11

Características	Clases			
	A	B	C	D ⁶
Flecha simple	≤ 2	≤ 4	≤ 10	Admitida
Ovalización (%)	< 10	Admitida	Admitida	Admitida
Fisuraciones simples	Admitidas en el tercio central	No transversales	Admitidas	Admitidas
Fisuraciones estrelladas	No admitidas	Admitidas en el quinto central del diámetro	Admitidas en los 2/3 centrales del diámetro	Admitidas
Grietas de heladas	No admitidas	No admitidas	No admitidas ²¹	Admitidas
Acebolladura	No admitida	Admitida en el quinto central del diámetro	Admitida sólo sobre la cara mayor	Admitida
Fisuraciones de Contracción	No admitidas	Admitidas	Admitidas	Admitidas
Agujeros de insectos	No admitidos	No admitidos	Admitidos en la albura	Admitidos
Pudrición blanda	No admitida	No admitida	No admitida	Admitida
Pudrición café	No admitida	Admitida en el 15% central	Admitida	Admitida
Corazón café	No admitido	No admitido	Admitido en el tercio central del diámetro	Admitido

Fuente: Brunetti y Macchioni (2002)

La clasificación cualitativa de la madera aserrada se realiza para objetivizar el concepto de calidad en el ámbito comercial. Las normativas no se adaptan a los métodos usados en la práctica comercial,

21. Ibid 7

por lo que queda en evidencia la necesidad de desarrollar métodos más cercanos a las exigencias del mercado. Un ejemplo de la norma de clasificación de nogal propuesta recientemente por especialistas italianos se presenta en el Cuadro 3 e ilustra en la Figura 13.

Cuadro 3. Norma de clasificación de madera aserrada de nogal común

Clases	A	B	C	D	E
Largo (cm.)	> 240	> 220	> 170	> 130	> 100
Ancho (cm.)	> 25	> 20 o múltiplos de 15	> 18	> 15	> 10
Usos	Paneles, marcos de puertas, mesas para oficinas, respaldos y largueros de camas, decoración de interiores	Usos análogos a los de la clase A, pero con dimensiones inferiores	Cubiertas de mesas, muebles de cocina, puertas de muebles	Sillas, puertas de cocinas, cachas de armas y fusiles	Pisos

Fuente: Brunetti y Macchioni (2002)

Para nogal existen cinco categorías de calidad:

1. Sólo tablas buenas, sin defectos
2. Tablas buenas y regulares
3. Tablas utilizables en un 70% (calidad monte)
4. Tablas con muchos nudos, solo se obtienen trozos cortos
5. Tablas muy malas, trozos muy pequeños.

Además, existen ciertas características adicionales que es recomendable considerar: cada especie tiene un sistema de clasificación propio, con diferente número de categorías (por ejemplo, en nogal negro sólo existen dos calidades).

La clasificación realizada por empresas europeas muchas veces se efectúa en aserraderos de terceros (incluso en el exterior), pero con supervisión de personal propio. La cubicación es realizada con instrumentos, se mide antes del secado, y se verifica el porcentaje de pérdida después del proceso.

Cabe mencionar que las maderas finas generalmente se venden con corteza, para un mejor aprovechamiento de las trozas (madera con cantos).

Los precios se determinan en gran parte por la calidad, pero también por el nivel de oferta existente. En general el peral es muy caro porque hay muy poca disponibilidad; el arce americano es más caro que el europeo porque se ofrece dimensionado y presenta menos defectos.

Dependiendo de la especie y del objetivo, las trozas de primera calidad se aserream completas y, una vez aserradas, las tablas se ordenan para mantener armada la misma troza (*bouleau*), la que se comercializa de esa manera para lograr una mayor utilización de la materia prima.

Posteriormente, la madera aserrada entra a un proceso de vaporizado (cámara en la que se inyecta vapor e elevadas temperaturas), para saturar la madera con vapor caliente y así homogeneizar su color (Figuras 14 y 15) y estabilizarla. Este proceso se realiza con las maderas finas cuyo objetivo es producir muebles u otras aplicaciones exclusivas. Durante todo el proceso de aserrío se extrae continuamente el aserrín porque mancha la madera (INFOR-FIA, 2001).

Un proceso alternativo realizado con el objetivo de homogeneizar el color y estabilizar el material, consiste en introducir trozas enteras destinadas al foliado en una cámara de cocción, por aproximadamente 24 horas en agua hirviendo (el tiempo de cocción depende del diámetro de la troza y de la especie).

Posteriormente la troza se folia con una máquina foliadora (Figura 16). La maquinaria existente en el comercio puede cortar hasta 60-90 chapas/minuto. El ancho de la chapa está definido por el diámetro de la troza, el largo depende de su largo, y el espesor del producto final deseado. Cuando una chapa tiene algún defecto que puede dañar los cuchillos, es extraído con un punzón o con una motosierra y luego aspirado de modo que no queden astillas, virutas o aserrín que dañe el cuchillo de la foliadora. Luego las chapas se secan (Figura 17), y después se clasifican, redimensionan y empaquetan (*op. cit.*).

Para los envíos de madera de cerezo americano desde Estados Unidos existen especificaciones en cuanto al embarque, calidad y tamaño de las trozas. El embarque puede hacerse todo el año, ya que es una madera muy durable. Todas las trozas se envían con cera protectora y pesticida en los extremos. Además, en la época de calor se incluyen fijaciones metálicas que reducen torceduras y grietas en los extremos. Las calidades de las trozas foliables que se envían se indican en el Cuadro 4, y sus dimensiones corresponden a largos de 2,4-4,8 m. y sus múltiplos; y a 35-45 cm. de diámetro (Loewe et al., 2001).

Cuadro 4. Clasificación de trozas de cerezo americano

Categoría	Especificaciones
AAA	Trozas excelentes y exclusivas para la fabricación de chapas
AA	Selección de trozos especiales
A	Calidad buena, con manchas mínimas
B	Selección de buen color, con escasa presencia de manchas
C	Calidad económica, defectos menores y manchas ocasionales

Fuente: Loewe et al. (2001)

Una vez recibida la madera, su uso final se clasifica en función de las características de las trozas. Las que presentan anillos delgados son deseables para la industria de chapas, en tanto que los anillos más anchos se aceptan para el aserrío, aunque esto varía con la especie.

Esta madera es utilizada por artesanos en tornería, para hacer escritorios y muebles, en particular muebles de estilo, y para la fabricación de instrumentos musicales de viento y cuerda; muebles de cocina y comedores. Los fustes de mayores dimensiones (sobre 35 cm. de diámetro), largos, rectos y sin defectos se emplean para la obtención de chapas decorativas y carpintería (*op. cit.*).

Las trozas con algunos defectos (nudos > 1 por metro) se destinan al aserrío, para la industria de muebles sólidos y pisos. Las piezas de mayor longitud se emplean para cabezales de estantes, cubiertas de mesas y otros. La madera proveniente de los primeros raleos y desechos de explotación se usa para leña.

En general, el castaño no se folia porque no alcanza valores tan altos como otras especies, y se usa principalmente para muebles. En los periodos de mayores precios, la especie alcanza valores similares al cerezo.

Modalidad de importación de maderas: en general las empresas europeas se abastecen por mayoristas; muy pocas veces le compran a particulares o a una empresa específica. Por esto, la cadena de comercialización está constituida por varios intermediarios, cada uno con un rol preciso.

3. PLANTACIONES MIXTAS: UN MODELO PRODUCTIVO INNOVATIVO

3.1 GENERALIDADES

Una silvicultura más sostenible y rentable que permite aumentar la biodiversidad y estabilidad de los sistemas puede basarse en la utilización de asociaciones de especies forestales o plantaciones mixtas, orientadas a la obtención de madera de alto valor y a un aprovechamiento óptimo del suelo.

Las plantaciones mixtas corresponden a modelos que asocian especies principales que generan productos de alto valor al final de la rotación (madera aserrada y foliada), posibles de exportarse a mercados exigentes, y especies secundarias o acompañantes que generan productos como postes, polines, frutos u otros, a obtener en el transcurso de la rotación. Estas especies secundarias favorecen el crecimiento de la especie principal, mejorando además su forma, lo que conduce a una mejor calidad de productos.

Las plantaciones mixtas, si se realizan adecuadamente, permiten diversificar la producción, disminuir los riesgos fitosanitarios, facilitar las intervenciones culturales (sobretudo podas y limpiezas), mejorar la calidad de la madera, mejorar el paisaje y aumentar la productividad (Buresti, 1994). Especialmente en el caso de la asociación de nogal común con especies fijadoras de nitrógeno, se registran incrementos en diámetro y altura superiores en un 50 a 70% respecto a las plantaciones puras de la especie.

Una plantación mixta o asociación se caracteriza por el cultivo simultáneo de dos o más especies en la misma superficie. Las especies utilizadas son principales o secundarias (de acompañamiento o servicio); las principales, arbóreas, se destinan a garantizar la mayor parte del ingreso obtenido de la plantación; las secundarias, arbóreas, arbustivas o herbáceas, se introducen para favorecer a la especie principal durante su fase juvenil y/o adulta, y también pueden generar ingresos complementarios (Buresti y De Meo, 1998a).

Las dos categorías no son rígidas; de hecho una especie principal puede comportarse al mismo tiempo como especie de acompañamiento con respecto a otra. Este es el caso de dos especies con diferente arquitectura del aparato radicular y aéreo, con distintas exigencias en elementos nutritivos y con diferentes ritmos de crecimiento. También puede ocurrir que una especie secundaria se convierta en la principal fuente de ingreso de la plantación si la especie principal no cumple los objetivos fijados (*op. cit.*).

3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

La coexistencia de individuos de la misma especie en los cultivos puros se opone a los requerimientos naturales de biodiversidad. No obstante lo anterior, la alta productividad alcanzada en cultivos puros se debe a la adaptación de ciertas especies a vivir en poblaciones monoespecíficas (Loewe, 1999).

Las ventajas y desventajas de las plantaciones mixtas versus el cultivo puro varían considerablemente con las características de los genotipos y de los sitios. Es más probable que se tenga éxito cuando todas las especies están bien adaptadas al sitio, cuando una especie fija nitrógeno atmosférico ayudando al crecimiento de las otras que están limitadas por una baja cantidad de nitrógeno, o cuando una especie crece más lentamente y es más tolerante a la sombra que las otras (De Bell y Harrington, 1993).

3.2.1 Ventajas

Una vía para incrementar la sustentabilidad ambiental está representada por las plantaciones mixtas, con una cantidad considerable de ventajas. Los cultivos coetáneos puros predominan debido a las ventajas de su manejo, cosecha y comercialización, que resultan sencillas. Por otra parte, los cultivos mixtos, y especialmente multietáneos mixtos, tienen ciertas ventajas biológicas, ambientales (de biodiversidad) y estéticas, además de algunas financieras. Por ejemplo, los rodales mixtos pueden ser más flexibles para satisfacer las demandas del mercado y para paliar errores en la selección de especies. También contribuyen a la recuperación y mejoramiento del suelo por el incremento de la humificación, por la obtención de productos orgánicos, y presentan un menor riesgo de plagas y enfermedades (Loewe, 1999).

Entre los beneficios atribuidos a plantar encinos en forma mixta con especies de rápido crecimiento se cuentan el aumento del crecimiento inicial, protección contra heladas y una mejor forma del fuste. Sin embargo, también se puede obtener beneficios removiendo gradualmente las especies nodrizas o acompañantes. Coníferas como *Picea abies* o *Larix decidua* se recomiendan como especies acompañantes para *Quercus* sp. (Mason y Baldwin, 1995). En plantaciones mixtas de *Quercus* y *Larix* el crecimiento en altura y diámetro del *Larix* es significativamente mayor que el de *Quercus*. Plantaciones mixtas de *Quercus* y *Picea abies* muestran un crecimiento en altura similar en los primeros 15 años, pero después *Picea* aumenta rápidamente su altura, mientras que el crecimiento en diámetro de *Quercus* es inferior desde el comienzo (*op. cit.*).

Según indicaciones de la literatura, los efectos positivos que genera la presencia de varias especies asociadas correctamente en una plantación, pueden resumirse así (Buresti y Morandini, 1992; Buresti,

1993a; Buresti *et al.*, 1993b; Buresti, 1993c; Buresti y Frattegiani, 1994b; Buresti y Frattegiani, 1995b; Buresti y De Meo, 1998a):

- Mejor calidad del fuste de la especie principal, que se presenta más largo, más recto y con nudos más pequeños;
- Regularidad de los anillos de crecimiento, característica fundamental para valorizar la calidad de la madera;
- Aumento de la potencialidad productiva de la plantación, con la creación de mejores condiciones para el crecimiento de la especie principal. Esto es posible con la utilización de especies fijadoras de nitrógeno que aumentan la fertilidad del terreno, o con especies que mejoran las condiciones del sitio, ampliando el rango de cultivo de la especie principal;
- Reducción y simplificación de algunas operaciones culturales. Utilizando especies secundarias adecuadas es posible condicionar el crecimiento de la especie principal, logrando un árbol más balanceado y con ramas más finas (Figuras 18 a 21); el efecto de estas asociaciones, entonces, es facilitar las podas (Figura 22), reduciendo los errores que hacen perder capital (Figura 23). En el caso de asociaciones con especies arbustivas que cubren rápidamente el terreno, en los primeros años hay un menor desarrollo de malezas y, por ende, menos limpiezas.

Wormald (1992), Buresti y Frattegiani (1995a), Loewe (1999) y Paris *et al.* (1999) mencionan las ventajas de las plantaciones mixtas:

- *Sustentabilidad ambiental*: se verifica un incremento de la fertilidad del suelo, especialmente en mezclas que incluyen árboles fijadores de nitrógeno. El tipo y la cantidad de fertilizantes a utilizar varían de acuerdo a la especie, a los requerimientos nutricionales y a los niveles de fertilidad del suelo; la fertilización con nitrógeno en general juega un papel muy importante en el crecimiento inicial y en el desarrollo de las plantas, e incrementa la producción de biomasa (Boyer y South, 1985; Adams y Allen, 1985 cit. por Masoodi *et al.*, 1996). En síntesis, la sustentabilidad ambiental se ve favorecida por la mayor complejidad ecológica y la reducción de aportes energéticos. Cuando las asociaciones se escogen en forma juiciosa y se manejan con criterios razonables, pueden satisfacer las características ecológicas locales y proporcionar una plantación más cercana a una situación natural (Guhathakurta, 1995). En general, se observa una mayor estabilidad del sistema, debido a la riqueza de las especies vegetales y animales presentes, que confieren a la plantación una mayor complejidad y capacidad de resistir perturbaciones externas.
- *Diversificación de la producción*: es posible obtener madera de varias especies en rotaciones similares o diferentes; también se puede usar especies que producen leña, miel, frutos y

otros productos adicionales, dado que una plantación mixta puede entregar varios productos madereros (madera aserrada, foliada, leña, etc.) y no madereros (frutos, miel, etc.).

- *Reducción de riesgos:* una asociación presenta menos riesgos asociados a la incertidumbre económica, a variaciones de los mercados y a la duración de los ciclos de cultivo. Además, la presencia de varias especies en una plantación limita la propagación e intensidad de ataques de plagas y enfermedades, aumenta la resistencia a enfermedades y limita la difusión de patógenos. Paralelamente, un sistema mixto se puede convertir en refugio para insectos predadores útiles a los cultivos agrarios vecinos. Daños por heladas, viento o sequía pueden afectar sólo a algunas especies, atenuando los daños de perturbaciones externas. En resumen, se reducen los riesgos bióticos y abióticos.
- *Aumento de la producción:* a través de asociaciones particulares, o a través del uso de especies que ayudan a mejorar el sitio (como las especies fijadoras de nitrógeno o las que mejoran el microclima). Se logra una mejor utilización de la luz, del agua y de los nutrientes si las especies asociadas tienen diferentes aparatos radiculares, conformaciones de copa y exigencias nutricionales, reduciéndose la competencia y aumentando el vigor de los individuos en comparación a una plantación pura de igual densidad. Aumenta la capacidad productiva, debido a las mejores condiciones ambientales para el crecimiento de las especies principales. Existen experiencias documentadas de asociaciones que potencian no sólo el rendimiento total sino también el de otros componentes del cultivo, fenómeno conocido como “sinergia”.
- *Mejoramiento de la calidad de la madera:* con asociaciones apropiadas se puede producir fustes grandes con ramas delgadas, con una calidad de la madera superior a la obtenida en plantaciones puras.
- *Simplificación de algunas técnicas de cultivo:* usando mezclas apropiadas puede reducirse la cantidad de podas, e incluso eliminar o reducir las limpiezas empleando arbustos o plantas que cubren el suelo. Se reducen y simplifican algunas operaciones culturales utilizando especies secundarias que inducen un crecimiento elongado, recto y con ramas delgadas en las especies principales, por lo que se requiere podas simples y menos traumáticas.
- *Mejoramiento estético:* una población mixta es más hermosa y favorece la presencia de fauna silvestre, lo que embellece el paisaje, aumenta la riqueza florística del sotobosque y posibilita la creación de nichos y fuentes de alimento para ciertos animales.

Por lo tanto, es evidente que una asociación apropiada puede determinar, en diferentes fases del ciclo (no siempre contemporáneamente), una serie de efectos positivos para el establecimiento y la gestión de una plantación de arboricultura. Es necesario controlar posibles efectos negativos derivados de la competencia por agua, luz y nutrientes entre las especies. Cabe notar, que pocas veces se verifican entre las especies daños directos (por ejemplo, quebradura de ramas en el caso de vientos fuertes, o fenómenos alelopáticos a causa de la producción de exudados radiculares o foliares), o indirectos.

En Europa, existe un interés creciente por producir madera de alta calidad debido a la elevada demanda, así como por las ventajas ambientales que presenta. Con el objetivo de crear mejores condiciones para la especie principal, otras especies pueden usarse en forma complementaria; la presencia de varias especies puede incrementar tanto la calidad como la cantidad de madera producida.

3.2.2 Desventajas

Según Buresti y Frattegiani (1995b) las desventajas de las asociaciones son:

- Toma de decisiones más compleja para seleccionar y distribuir (diseño) las especies, ya que es necesario equilibrar la disposición y distribución de las diferentes especies, considerando los requerimientos y características de crecimiento de cada una;
- Los costos de plantación pueden ser mayores que en plantaciones puras, debido a la mayor densidad de plantas y a la mayor complejidad de su distribución, aunque esto depende de la especie (una plantación mixta de nogal implica un costo de plantas inferior a una pura, debido al elevado precio unitario de ellas);
- La investigación está en sus inicios, por lo que no hay explicaciones acerca de todos los mecanismos que regulan la interacción entre especies;
- Se necesita una mayor atención a la evolución de estas plantaciones.

3.3 IMPACTOS DE LAS PLANTACIONES MIXTAS

Las plantaciones mixtas pueden beneficiar la producción de madera de alto valor, considerando tanto la calidad como la cantidad, con impactos ambientales positivos (Loewe, 1999).

3.3.1 Impactos en el crecimiento

En el caso del fresno en plantación mixta, éste recibe protección y acompañamiento lateral, una “libertad vigilada” que, manteniendo un equilibrio, le permite crecer bien a la sombra parcial de la vegetación acompañante, la que se debe controlar periódicamente para llegar a una liberación total.

En un ensayo realizado con plantaciones puras y mixtas en Costa Rica se determinó que las plantaciones mixtas favorecen el crecimiento en diámetro de las especies de rápido crecimiento, el que comienza inmediatamente después del cierre de las copas. En comparación con plantaciones puras de especies de rápido crecimiento, las mixtas tienen mayor volumen de cosecha, con la ventaja adicional de incluir otras especies de alto valor económico; además, si se agregan podas y raleos se podría favorecer el crecimiento de las especies suprimidas (Montagnini *et al.*, 1995).

Se ha establecido gran cantidad de ensayos en varios países europeos para evaluar el efecto de las plantaciones mixtas, usando como comparación la plantación pura de la especie principal. El análisis de los datos disponibles muestra un efecto positivo de las asociaciones sobre la especie principal, aunque su magnitud depende de la asociación específica empleada; ejemplos se aprecian en las Figuras 24 a 33.

El impacto de una mezcla de especies en el crecimiento depende de cuatro elementos: las especies principales y secundarias, el sitio y las labores culturales.

El impacto de las asociaciones sobre el crecimiento es positivo y de una magnitud interesante, con aumentos significativos del diámetro y altura con respecto a la situación pura; no obstante el impacto varía según la asociación específica utilizada.

El crecimiento de nogales muestra una diferencia considerable en plantaciones puras y mixtas. La presencia de otras especies puede incrementar la calidad y cantidad de la madera de nogal (Buresti, 1993c; Buresti, 1995).

Se analizaron plantaciones puras de nogal común y mixtas con tres especies fijadoras de nitrógeno (*Alnus cordata*, *Elaeagnus angustifolia* y *Robinia pseudoacacia*). Los resultados indican que los individuos de las plantaciones mixtas fueron significativamente más altos que los de las plantaciones puras en todos los años controlados; la diferencia es de cerca del 50% para todas las mezclas (Buresti, 1995). El crecimiento en diámetro muestra diferencias significativas entre las plantaciones puras y mixtas con *Alnus* y *Elaeagnus* en todos los años. El crecimiento en diámetro para el nogal asociado con

Robinia fue significativamente menor que en las otras mezclas, igualándose al de las plantaciones puras, debido al rápido crecimiento de la *Robinia*, que hizo necesario cortarla pocos años después de la plantación (Buresti, 1995).

Los resultados también indican un efecto considerable de la asociación en el crecimiento del nogal a los 6 años. La presencia de cerezo aumenta en un 48% la altura y en un 36% el Dap, mientras que las mezclas con especies fijadoras de nitrógeno elevan dichos valores a 76 y 42%, respectivamente (*op. cit.*).

Los modelos indirectos de productividad de sitio representan una alternativa práctica para predecir la productividad del sitio en rodales mixtos, ayudando al entendimiento del complejo mundo de los bosques mixtos (Hosting y Titus, 1996).

3.3.2 Impacto sobre la resistencia a plagas y enfermedades

Las condiciones de crecimiento en rodales mixtos o puros pueden afectar la aparición de plagas y enfermedades, dependiendo del agente causal. Por ejemplo, las enfermedades fungosas se extienden rápidamente en plantaciones puras, alcanzando altos niveles de infestación. Aunque la intensidad del daño de insectos depende tanto de las especies como del tipo y especie de insecto, los diseños con varias especies pueden reducir los daños (Montagnini et al., 1995).

La severidad del daño de insectos se reduciría en plantaciones mixtas, ya que las plantaciones puras favorecerían la propagación de insectos (*op. cit.*), presentando un mayor riesgo fitosanitario, el que es aún superior si se emplean clones (Hubert, 1993); para disminuir este riesgo se aconseja establecer plantaciones multiclonales, aunque se reduciría la homogeneidad deseada.

No obstante lo anterior, varios autores indican que hay instancias en que los rodales puros son más resistentes a ciertos insectos que aquellos en que la especie se asocia a otras (Smith, 1986; Perry y Mahembe, 1989; Watt, 1992 cit. por Montagnini et al., 1995).

En Italia, en plantaciones puras de nogal común y mixtas con especies fijadoras de nitrógeno (*Alnus cordata*, *Elaeagnus angustifolia* y *Robinia pseudoacacia*) se observó a los dos años un fuerte ataque de *Stictocephala bisonia*, que afectó notablemente más a las parcelas puras que a las mixtas (Buresti, 1995).

También en Italia, el nogal despierta gran interés debido a su elevado valor y a que sufre menos problemas fitosanitarios y de menor envergadura que el álamo, salvo raras excepciones, por lo que

no necesita tratamientos químicos durante el ciclo productivo (Buresti et al., 2001).

La mezcla reduce los riesgos de plagas y enfermedades de ambas especies y aumenta la posibilidad de éxito al fin de la rotación, con al menos una de las especies. Además reduce los tratamientos químicos necesarios; esto puede producirse por el obstáculo físico que los nogales y las otras especies ponen a la difusión de plagas y enfermedades del álamo. En plantaciones estudiadas a los 4 años, esto se ha logrado (op. cit.), ya que no se han registrado ataques significativos de patógenos de ningún tipo, los que si son muy comunes en plantaciones puras de álamo, requiriendo más de 20 aplicaciones de productos químicos cada año.

En Chile, en plantaciones puras de nogal común y de cerezo común, y mixtas con otras especies principales (nogal común, cerezo común, peral, manzano) y secundarias (aliso negro y olivo de bohemia) de cuatro años de edad, se han observado diferencias significativas en la frecuencia e intensidad de daño de ataques de enfermedades de carácter grave para la obtención de madera de calidad, como la peste negra (*Xanthomonas campestris* var. *juglandis*), *Phytophthora* (*Phytophthora* sp.) y cáncer bacteriano (*Pseudomonas syringae* pv. *Mors-prunorum*). En particular, los ataques de peste negra en el fuste de nogal observados se concentran en un 100% en la plantación pura; daños graves de *Phytophthora* en nogal se presentan en un 24% en la plantación mixta y en un 76% en la plantación pura; y en el caso de cáncer bacteriano sobre el fuste en cerezo se observó un 30% de los casos en plantación mixta y un 70% en plantación pura.

3.3.3 Impacto sobre el suelo

La bibliografía hace referencia a situaciones particulares respecto a este tema.

Las plantaciones mixtas acumulan hojarasca que se descompone más rápidamente que en las plantaciones puras (Byard et al., 1996).

Se ha sugerido que plantaciones tropicales de corta rotación pueden no ser sustentables sin fertilización (Stanley y Montagnini, 1998), debido a que las plantaciones de rápido crecimiento disminuyen la fertilidad del suelo, reduciendo la cosecha en pocas rotaciones, por lo que la oportunidad de manejar la nutrición del sitio empleando plantaciones mixtas merece consideración (Folster y Khanna, 1997 cit. por Stanley y Montagnini, 1998). Las especies de una plantación mixta pueden ser complementarias con respecto a la conservación y/o reposición de algunos nutrientes del suelo (Montagnini et al., 1995 cit. por Stanley y Montagnini, 1998).

Los rodales mixtos pueden mejorar la sobrevivencia y crecimiento de las especies, además del contenido de nutrientes en suelos pobres, si se selecciona una mezcla apropiada de especies (Montagnini et al., 1995).

De hecho, Augusto et al. (2002) demostraron que la composición de una plantación forestal modifica las características químicas, físicas y biológicas del suelo, impacto que es superior en el estrato superior. De la misma manera, distintas especies tienen efectos significativamente diferentes en el balance del agua y en el microclima. Sugieren que las características físicas del suelo modificadas por la composición de la cubierta vegetal dependen de la fauna del suelo. Finalmente, la tasa de mineralización y nitrificación de la materia orgánica también parece depender de la especie arbórea asociada.

Por ello se considera que el establecimiento de plantaciones mixtas es una fuente de dinero, economía y seguridad para agricultores y propietarios (Montagnini y Porras, 1998).

Berger y Hager (2000) destacan la compactación del suelo causada por el sistema radicular de *Picea* en rodales puros, con un impacto negativo en el suelo, en la cama de semillas, en el establecimiento de árboles semilleros y en el crecimiento de los árboles. Este tema es importante para la restauración forestal, especialmente si rodales puros secundarios de *Picea* pueden ser convertidos en rodales mixtos.

Rodales de pino oregón puros y mixtos con aliso rojo se estudiaron en cuatro sitios para determinar el tamaño medio de los árboles según la densidad. En sitios fértiles los rodales mixtos presentaban mayor mortalidad que los rodales puros de coníferas. En sitios pobres los rodales puros estaban por debajo de la relación (dimensión máxima de árboles/densidad), en comparación con los sitios fértiles o rodales mixtos, sugiriendo que los recursos subutilizados del sitio estaban disponibles para el aliso (Binkley, 1984).

Resultados significativos se han obtenido en la recuperación de relaves de la minería con plantaciones mixtas, formándose poblaciones forestales articuladas y con notable potencialidad evolutiva, con importantes impactos ambientales y sociales, por las modificaciones significativas del entorno (Buresti, 1993b). Después de 10 años el suelo, previamente inexistente (presencia solamente de un sustrato mineral arcilloso), se ha formado, presentando características inherentes a los suelos forestales.

Frateggiani (1993) señala que se verifica un aumento de la fertilidad del suelo, especialmente cuando se emplean especies fijadoras de nitrógeno.

Plantaciones de caucho asociadas con *Amomum villosum* incrementan el contenido de materia orgánica del suelo, mejoran la estructura del suelo, incrementan su nivel de fertilidad (NPK disponible),

disminuyen la erosión y mejoran el crecimiento de los árboles de caucho (Zengjiang *et al.*, 1995b). El suelo de una plantación pura de bambú presenta un contenido en materia orgánica de 1,7% mientras que asociado a pino del 3%, y el contenido de nitrógeno sube de 0,1 a 0,17%. Si se comparan rodales puros de bambú con otros mixtos asociados a robinia se obtiene un mejoramiento en materia orgánica (de 1,11 a 2,21% y de 1,03 a 2,35%) y de porosidad del suelo (de 47,53 a 58,26%) (Maoyi *et al.*, 1995).

El aliso y otras especies fijadoras de nitrógeno mejoran la productividad del sitio y el crecimiento de especies coníferas asociadas por medio de la incorporación de nitrógeno y materia orgánica al suelo. El aliso rojo es apropiado en plantaciones de corta rotación debido a su rápido crecimiento juvenil y a su habilidad de fijar nitrógeno. Se recomienda distribuir uniformemente entre 50 y 100 alisos rojos por hectárea y mantenerlos en una posición dominante para mejorar el nivel de nitrógeno y materia orgánica del rodal (Miller y Murria, 1978).

Para evaluar la distancia a la cual grupos de alisos rojos influyen rodal de coníferas adyacentes, se midió la transmisión de luz y el contenido de nutrientes del suelo y de la hojarasca en transectos que unían ambos sectores en tres sitios de diferentes edades en la costa de British Columbia, Canadá. Los niveles de luz fueron mayores en el sotobosque de los rodales de aliso que en los rodales de coníferas. En el suelo, N, NH₄-N, NO₃-N y nitrógeno mineralizado se mantenían altos desde el borde del rodal de aliso hacia afuera por 10 m. La hojarasca de aliso se extendía entre 8 y 18 m dentro de los rodales de coníferas adyacentes. Los autores concluyeron que diseños óptimos para mezclar alisos y coníferas serían grupos o franjas de alisos de al menos 10 m de ancho separadas por 20 m, con orientación norte – sur (Lavery *et al.*, 2004).

3.3.4 Impacto ambiental en sentido amplio

Duflot (1995) conceptualiza sobre la creación de un ambiente forestal como un elemento importante en el cultivo de maderas nobles. En este sentido, la considera como un elemento diversificador, que permite la manifestación de las influencias recíprocas y de las relaciones de vecindad entre árboles, de su acción colectiva sobre el suelo, sobre la atmósfera circundante, sobre la radiación y la penetración de las precipitaciones, entre otras.

Los bosques juegan un rol crítico en la captura y almacenaje de grandes cantidades de carbono atmosférico, contribuyendo a reducir la acumulación de dióxido de carbono (Montagnini y Porras, 1998). La superficie de plantaciones en el trópico corresponde a menos del 10% del área simultáneamente deforestada, por lo que la plantación de árboles compensa en cerca del 0,3% el carbono liberado por deforestación (Bruenig, 1996 cit. por Montagnini y Porras, 1998).

La pérdida del carbono captado por los árboles asociada a la deforestación ocurre a mayor velocidad que la captación de carbono por las plantaciones (Brown y Adger, 1994 cit. por Montagnini y Porras, 1998), pudiendo las plantaciones mixtas realizar un aporte importante en este sentido.

Van de Valle *et al.* (2001) explican que no obstante el almacenamiento total de carbono parece ser similar en diferentes asociaciones vegetales, su distribución entre los diferentes componentes del ecosistema se relaciona con la composición de especies y con las características del sitio. En particular en un rodal puro de fresno la materia orgánica contenía el 53% del total de carbono, la hojarasca el 1% y la vegetación 46%, mientras que en un rodal mixto de abedul y encino los valores fueron 41,5; 11 y 47,5%, respectivamente. Cabe señalar que la mayoría del carbono almacenado en la vegetación se encuentra en los fustes (51,1% en el rodal mixto y 58,7% en el puro).

La presencia de especies secundarias aumenta el número de especies presentes en la plantación, ya que generalmente aumenta la riqueza florística del sotobosque y la resiliencia del ecosistema (Frateggiani, 1993).

Comparando plantaciones puras y mixtas de caucho con *Amomum longiligulare*, se observó que la plantación mixta presenta condiciones ambientales mejoradas, con menor intensidad de luz (entre 41 y 56%), y humedad relativa menor durante el día y mayor durante el amanecer y atardecer, favoreciendo el crecimiento de ambas especies (Zaizhi *et al.*, 1995).

Se evaluaron los patrones de variación de los compuestos húmicos y diversidad de la vegetación en bosques puros y mixtos de haya con carpino blanco. El estudio de los compuestos húmicos muestra una alternancia de las fases de acumulación e incorporación de la materia orgánica en los dos bosques, así como una acidificación del horizonte A en el transcurso de la maduración del bosque puro. La composición específica de las comunidades vegetales en la plantación pura varía poco y son más frecuentes las especies de suelos ácidos (Aubert *et al.*, 2004).

Se comparó plantaciones puras y mixtas de *Eucalyptus exserta* y *Acacia auriculiformis*, concluyendo que la temperatura media del aire, la temperatura del suelo, la intensidad luminosa y la velocidad del viento eran menores en las plantaciones mixtas, así como su rango de variación diaria; y que la humedad relativa era mayor. En resumen, el microclima de las plantaciones mixtas fue mejorado en forma significativa con un impacto positivo en el crecimiento de los árboles; en particular, la temperatura de la plantación mixta se mantuvo entre 20 y 30°C, la más apropiada para el crecimiento de los árboles. La intensidad luminosa en plantaciones puras de *E. exserta* fue seis veces mayor que en la plantación mixta, lo que indica que la energía solar es más eficientemente usada en asociación. La plantación mixta reduce la velocidad del viento en un 60% comparada con la plantación pura

de Eucalipto, sugiriéndose establecer cortavientos con más de una especie para incrementar su eficiencia (Zengjiang et al., 1995a).

3.3.5 Impacto económico

Las plantaciones puras conllevan un mayor riesgo económico, ya que se concentran en la producción de uno o pocos productos, y modificaciones de la coyuntura económica pueden significar pérdidas de rentabilidad por cambio en los mercados (Hubert, 1993).

La gran cantidad de madera cosechada en Europa, debido a catástrofes naturales en plantaciones puras de coníferas en sitios naturalmente dominados por latifoliadas, ha generado un intenso debate sobre la conveniencia de reconvertirlos a bosques mixtos con latifoliadas, debido al efecto negativo obtenido con plantaciones puras coetáneas de coníferas (Hansen, 2004).

Los daños debidos al huracán Vivian fueron más significativos mientras mayores eran la altura, dimensión de los fustes y el porcentaje de coníferas. Y fueron dos y media veces mayores en los bosques puros de coníferas que en los mixtos de latifoliadas (Verlang, 2003).

Se estudió un rodal mixto de *Acer saccharum* y *Betula alleghaniensis* para estimar el grado de daño producido por las tormentas de hielo de 1998 en Québec, Canadá. Los resultados obtenidos usando tablas de contingencia indican que sólo el abedul amarillo sufrió daños significativos, mientras que las otras especies (*Acer saccharum* y *Fraxinus americana*) no presentaron daños o éstos fueron muy leves (Aubert et al., 2004).

En Suecia, la investigación sobre las plantaciones mixtas de abedul con coníferas ha mostrado que es posible obtener una producción combinada sin pérdidas de producción del abeto, debido a que en su fase juvenil las coníferas no son capaces de utilizar todo el potencial del sitio, por lo que al agregar latifoliadas de rápido crecimiento inicial permite obtener una producción complementaria adicional a la del modelo tradicional puro (Burger-Leenhardt, 1996).

En Francia, en plantaciones en hilera también se mezclan especies (Bourgery y Castaner, 1988), para repartir en el tiempo los ingresos. Se asocian especies longevas (como los encinos), especies de rápido crecimiento (como el álamo), y especies de longevidad media (como el cerezo). Las modalidades de plantación son en grupo, por lo que cada sector se cosecha y replanta en forma aislada del resto; las unidades consideradas para cada especie fluctúan entre 300 m (para que sea visible) y 2.000 m (para evitar la creación de vacíos demasiado grandes cuando se coseche). La mezcla de especies de diferente longevidad y rotación permite conjugar objetivos paisajísticos y económicos (*op. cit.*).

En términos económicos, la mejor calidad de la madera producida en igual período de tiempo con asociaciones de especies puede ser de gran importancia. Como referencia debe considerarse que en una plantación pura es factible producir entre 0 y 60% de madera de calidad, mientras que en una plantación mixta dicho rango se eleva a 20-95%, con el consiguiente impacto sobre los flujos de ingreso (Buresti, 2002, com. personal).

En plantaciones mixtas de caucho con *Amomum longiligulare*, caucho creció mejor, con un rendimiento de látex 180 Kg. superior a la plantación pura, a lo que se le debe sumar el ingreso de los frutos de la especie secundaria (Zaizhi et al., 1995).

Miller y Murray (1978) describen los efectos de largo plazo de la introducción de aliso rojo en una plantación de 4 años de pino oregón; el aliso rojo incrementó, en un sitio deficiente en nitrógeno, la altura y el diámetro del pino oregón, e incrementó el volumen en 6,5% respecto a la plantación pura de pino oregón, al que debe sumársele el volumen del aliso rojo (2.500 pies³), obteniéndose un volumen total en la plantación mixta correspondiente al doble del obtenido en una plantación pura de pino oregón.

3.3.6 Impacto social

Para el público en general, las plantaciones mixtas resultan más atractivas y proporcionan mejores escenarios de recreación y turismo.

Los bosques son de importancia para el bienestar físico y psíquico del hombre, y son una fuente de silencio para la reflexión, meditación y comunión con la naturaleza, y para el encuentro con sí mismo.

En algunas especies, como el abedul en los países escandinavos, se aplica un tipo de manejo más cercano a la naturaleza debido a los requerimientos del público, que rechaza grandes extensiones de plantaciones puras (Burger-Leenhardt, 1996). Por esto, a modo de ejemplo, en Suecia la investigación sobre las plantaciones mixtas que asocian abedul con coníferas se ha definido como prioritaria.

3.3.7 Impacto en la gestión y el manejo forestal

La asociación de bambú con coníferas o latifoliadas mejora el crecimiento y la calidad de ambos componentes, y el factor de forma del fuste. Las ramas laterales son más delgadas y mejora la poda natural (Maoyi et al., 1995).

Clark y Hutchinson (1973) mencionan que el uso de cultivos, arbustos o árboles fijadores de nitrógeno (robinia y aliso italiano, entre otros) pueden aportar al suelo una cantidad de nitrógeno tal que es

posible eliminar las fertilizaciones; dichas especies, también se usan para incrementar el crecimiento de las especies principales y diversificar los cultivos.

Asociaciones de aliso rojo, *Tsuga* y *Thuja*, pueden ser deseables; en los sitios buenos el aliso crecerá por sobre las otras especies. La *Thuja* reduce la cantidad de ramas del aliso y el ahusamiento y mejora la calidad de su madera; de hecho, la madera de aliso de rodales con coníferas es preferida a la producida en rodales puros. En rodales mixtos se observa que los individuos de pino oregón que dominan al aliso generalmente son árboles lobo²². El uso de estos árboles como una media del índice de sitio es erróneo, ya que su crecimiento puede ser favorecido por el aporte de nitrógeno del aliso. Se aconseja la plantación de pino oregón en hileras ubicadas a 3,7 m y permitir la incorporación del aliso entre las hileras con el objetivo de obtener una mejor calidad de madera (Stubblefield y Oliver, 1978).

Se evidencia una mayor disponibilidad de nitrógeno para el nogal cuando se establece en forma mixta. Las dos especies fijadoras de nitrógeno empleadas (aliso italiano y robinia) contribuyen a un aumento importante de la concentración de nitrógeno en las hojas del nogal. La asociación de nogal con aliso italiano da óptimos resultados. Los escasos resultados de la asociación con robinia aconsejan una profundización en los aspectos relacionados a la competencia entre plantas principales y secundarias (Tani et al., 2004).

La asociación de especies coníferas y latifoliadas proporciona mayor flexibilidad económica, diversidad biológica y beneficios estéticos con respecto a las plantaciones tradicionales puras. Un estudio efectuado por Groninger et al. (1997) comparando plantaciones puras y mixtas de *Pinus tadea* y *Robinia pseudoacacia* con diferentes composiciones (25:75, 50:50 y 75:25) concluyó que cuando las especies crecen juntas, ambas presentan fustes más largos y mayores volúmenes fustales y de copa con respecto a las plantaciones puras. La presencia de pino hace que la altura de inserción de copa de la robinia se eleve, efecto que se reduce a medida que decrece la presencia de pino dentro de la plantación. El estudio concluye que esta asociación es positiva y origina una producción comercializable en una rotación inferior a la necesaria con plantaciones puras de cualquiera de las dos especies.

Un estudio sobre el crecimiento y calidad en plantaciones mixtas de roble, raulí, coigüe y pino oregón, en función de los factores exposición y sombra lateral, concluyó que en plantaciones efectuadas en campo abierto el desarrollo de todas las especies fue más acelerado que en los claros, pero en estos últimos la calidad de los fustes fue mejor (Winstroer et al., 2003). El análisis cualitativo se basó en cinco criterios: presencia de daños, presencia y posición de bifurcaciones, rectitud, excentricidad del

22. Árbol lobo: árbol excesivamente ramoso, con ramas abundantes y gruesas y copa que ocupa mucho espacio y genera una fuerte competencia con los vecinos.

fuste y grosor de las ramas. A cada criterio se le asignaron notas para llegar a una calificación general que permitió determinar el árbol futuro.

Los raleos en plantaciones mixtas pueden tener diferentes objetivos: bajar la densidad, garantizar porcentajes de mezcla y/o maximizar el incremento en valor, liberando el árbol futuro de competidores indeseados, concentrando el incremento en estos candidatos. En el caso de rodales mixtos para producir madera de alto valor con especies de distinto ritmo de crecimiento, hay otro argumento que hace necesario intervenir a temprana edad: mantener la mezcla y no perder fustes de calidad en la fuerte competencia interespecífica. En los árboles dominantes de las plantaciones analizadas hay un alto porcentaje de individuos de mala calidad (*op. cit.*).

En Francia, se emplean plantaciones mixtas de nogal común para condicionar desde el principio las fases de desarrollo de la especie principal. De esta manera las especies secundarias, arbóreas y arbustivas, se han dispuesto de modo de ejercitar su influencia en etapas diferentes del desarrollo del nogal. En un caso los arbustos se dispusieron a un metro sobre la fila, y la especie arbórea a 4 m, con el fin de acompañar al nogal hasta que haya formado su fuste objetivo (una troza de 4 m); este sistema tiene la ventaja de presentar menores costos de manejo (limpias y podas más simples) (Becquey, 1993; Mori, 1999).

También se ha probado plantaciones puras y mixtas de nogal híbrido, asociándolo con tres tipos de arbustos ubicados a 2 m del nogal para favorecer su desarrollo en altura y reducir ramas, así como la asociación de nogal común con sauces en terrenos húmedos, constatándose que un distanciamiento de 4 m es muy reducido para el desarrollo del nogal, porque resulta dominado o crece excesivamente en altura buscando la luz (Mori, 1999).

3.4 EFECTOS DE LAS ESPECIES SECUNDARIAS O ACOMPAÑANTES

Respecto a las especies acompañantes, estas pueden inducir a uno o más efectos positivos en la asociación:

- Estimulan el crecimiento de la especie principal, favoreciendo una dominancia apical elevada y la formación de ramas pequeñas, especialmente las especies arbóreas secundarias. Éstas deben caracterizarse por un notable desarrollo en altura en los primeros años y por un ritmo de crecimiento posterior inferior para proporcionar un estímulo inicial a la especie principal y, sucesivamente, ejercer una menor competencia por la luz y el espacio (Figuras 34 y 35).

- Minimizan la competencia por luz, proporcionando también una protección lateral a la especie principal.
- Protegen a la especie principal de heladas tardías al presentar brotación precoz y obstaculizan el desarrollo de malezas.
- Algunas especies fijan nitrógeno, característica que puede ser muy importante, particularmente en terrenos con carencias.

En general, el disponer de especies secundarias que producen bienes complementarios en el transcurso de la rotación es un factor de importancia notable si se considera que el ingreso principal de una plantación de arboricultura es lejano en el tiempo respecto al momento de la plantación.

En definitiva, para alcanzar los objetivos prefijados con la realización de una plantación mixta es necesario tener un conocimiento acabado de las características bioecológicas de las especies utilizadas y de cómo éstas se integran cuando se asocian en un mismo sitio (Buresti y De Meo, 1998a).

Por ello, una vez elegidas las especies, es importante seleccionar una disposición adecuada de plantación, ya que es fundamental que la plantación esté perfectamente estructurada y balanceada, garantizando las mejores condiciones de crecimiento para la especie principal. La plantación de las especies debe resultar de la repetición de un determinado esquema básico que prevé una disposición equilibrada y simétrica de las especies secundarias respecto a la especie principal (Buresti y Frattegiani, 1994b), para permitir un crecimiento equilibrado de la planta tanto en la primera fase de su desarrollo como después de los raleos (Buresti y Mori, 1995).

El módulo o esquema básico considera la disposición en el terreno y la distancia de plantación, la especie utilizada y su disposición dentro del esquema. Se puede pasar de modelos muy simples constituidos por una sola especie a otros muy complejos compuestos por especies principales y secundarias arbóreas y arbustivas (*op. cit.*), los que proporcionan mayor flexibilidad a la plantación (Figura 36).

En las plantaciones de arboricultura es necesario tener en cuenta que mientras más lejos se está del óptimo ecológico de la especie elegida, mayor deberá ser el aporte energético (fertilización, control de malezas, riego, etc.) que se deba aplicar a esa plantación y, por lo tanto, el balance financiero será más negativo.

Disposición de la plantación

La disposición de la plantación es una referencia geométrica modular que, llevada al terreno, permite distribuir las plantas estableciendo relaciones precisas entre los diferentes componentes.

Al planificar una plantación se debe evaluar bien la disposición, pues de ésta depende la instalación del riego por goteo o por surco, del mulch, etc. De hecho, el costo de su operación y mantención depende de la disposición espacial de las plantas.

Una plantación puede realizarse en esquema cuadrado, rectangular, a tres bolillos (cuya base es un triángulo isósceles, y que se obtiene poniendo una planta en el centro de un cuadrado), o en un hexágono con 7 plantas (Figura 37), y se caracterizan por lo siguiente:

- La disposición cuadrada facilita la distribución de las plantas, la plantación misma y simplifica la remoción del suelo. Las plantas gozan de la misma iluminación, pero queda parte importante de la superficie inutilizada.
- La disposición rectangular tiene las mismas características, pero se diferencia en que al disminuir el distanciamiento de las plantas sobre la hilera se reduce la cantidad de plástico para el mulch o de material de las instalaciones de riego. El porcentaje de terreno cubierto por las copas es el menor de todos los casos y la iluminación no es uniforme, lo que puede llevar a copas de forma asimétrica, lo que puede causar irregularidades o curvaturas del tronco.
- La disposición a tres bolillos tiene las mismas características que la cuadrada porque se trata de la misma figura geométrica, pero que ha sufrido una rotación de 45° , lo que la hace más compleja (Figura 38).
- El hexágono con siete plantas tiene la ventaja de establecer una distancia constante entre las plantas y de maximizar la superficie cubierta por las copas. En una misma superficie y distancia entre plantas cabe un 15,5% más de plantas respecto a la disposición cuadrada. Denci *et al.* (1982) la consideran como la más recomendable.

Queda de manifiesto que la disposición que usa de mejor forma el espacio disponible es la última, mientras que las disposiciones cuadrada o rectangular presentan una baja utilización del terreno, además de una interacción entre los individuos poco conducente a la obtención de madera de calidad.

En arboricultura se pueden adoptar varias disposiciones contemporáneamente, obteniéndose una disposición compuesta (Figura 39), que normalmente se adopta en el caso de asociaciones, que es más compleja y cara de establecer, pero que se adapta mejor a las exigencias de la empresa/propietario.

Distancia de plantación

Los árboles se benefician por una protección lateral y crecen mejor en ambiente “forestal” (de semi sombra) que aislados, a condición de que esta protección no cree una fuerte competencia y sobretodo una cubierta invasora a nivel apical; se dice que esta protección debe ser como un *poncho*, dejando siempre la “cabeza” libre.

La asociación mejora la forma de muchas especies y facilita la formación de un tronco de calidad (Buresti y Mori, 1995). Si se realizan plantaciones densas debe aplicarse raleos cuando las copas empiezan a toparse; por ello es importante, en la fase de diseño, evaluar la disponibilidad del propietario de efectuar raleos repentinos, y si hubiese dudas al respecto se aconseja adoptar distancias de plantación mayores aunque se requiera de un mayor número de limpiezas u otras actividades.

Si se desea una plantación de nogal que garantice un mínimo de ingresos en el primer raleo, no se debe plantar a menos a 7 m, ya que distancias menores implican efectuar raleos sobre material no utilizable por sus reducidas dimensiones. Sin embargo, distancias inferiores (3,5–4 m) permiten obtener una planta de mejor forma y la posibilidad de seleccionar los individuos que llegarán al final de la rotación (*op. cit.*).

Cuando se emplean distancias mayores para obtener plantas de calidad se requiere un aporte energético más elevado (fertilización, control de malezas, podas, etc.) pero tiene un costo de plantación y de protección bajos; en estos casos generalmente no se necesita de raleos, y en el caso de efectuarse, pueden llegar a ser económicamente atractivos.

El Cuadro 5 resume algunas ventajas y desventajas de las plantaciones puras y mixtas con diferentes distanciamientos, sintetizando experiencias productivas de los últimos 20 años.

Cuadro 5. Ventajas y desventajas de plantaciones puras y mixtas de nogal

Tipo de Plantación	Ventajas	Desventajas
Plantación pura		
Distancia 3,5– 4 m	• Menos remociones del suelo • Mayor posibilidad de elegir las mejores plantas • Mejor forma de las plantas	• Alto número de plantas • Elevado costo de plantación • Elevado costo de protección individual • Varios raleos a desecho • Dificultad para realizar los raleos • Alto riesgo por problemas fitopatológicos
Distancia 5 m	• Menor costo de plantación (respecto al 3,5 o 4 m) • Menor costo para el control de plagas y enfermedades	• El propietario, erróneamente, puede llegar al final de la rotación sin realizar raleos • Mayor dificultad para realizar las podas respecto a distancias inferiores
Distancia 7– 8 m	• Menor costo de plantación • Menor costo de protección por planta • Posibles raleos económicamente atractivos	• Necesidad de mayor atención a la poda • Más remociones del terreno • Baja posibilidad de elegir las mejores plantas
Distancia 10–12 m	• Bajo costo de plantación • Posibilidad de tener frutos como productos secundarios, que no compiten con la producción de madera	• No se pueden elegir las plantas • Elevada mecanización • Necesidad de mayor atención en la poda
Plantación mixta		
Distancia 7–8 m	• Baja incidencia de problemas fitosanitarios • Eventuales ingresos derivados de los raleos y de la producción secundaria de otras especies • Mejores características de la madera	

Fuente: Buresti y Mori (1995)

3.5 TIPOS DE PLANTACIONES MIXTAS FACTIBLES

Las plantaciones mixtas pueden realizarse con diferentes disposiciones espaciales (Buresti y Frattegiani, 1995b):

Plantaciones en grupo: constituidas por núcleos puros o monoespecíficos, en los cuales el efecto de la asociación se expresa en forma más marcada en los bordes de los grupos, y en forma limitada dentro de ellos. Su ventaja es que los esquemas de plantación son más simples y pueden adoptarse distanciamientos menores, seleccionando dentro de cada grupo. Se emplean si existen condiciones de sitio diferenciadas en el área.

Plantaciones en hilera: se caracterizan por hileras puras, donde cada hilera puede tener al lado hileras de la misma especie o de otras especies. Tiene un mayor efecto lateral y permite la selección de los mejores individuos dentro de cada hilera. Si se usan especies de rotaciones distintas, este esquema facilita la cosecha (Figura 40).

Asociaciones a nivel de árbol individual o pie a pie: cada planta puede estar rodeada de especies distintas según un esquema simétrico y repetitivo. Esta tipología maximiza el efecto de la asociación. Si las especies tienen rotaciones distintas es muy importante estudiar detenidamente el esquema de plantación, para facilitar la cosecha y extracción (Figuras 41 y 42).

En la Figura 41 se observa que, a pesar de la complejidad del esquema, éste considera aspectos prácticos de gestión, entre ellos las vías de saca.

En la Figura 42 se observa que el raleo interrumpe la competencia entre las especies arbóreas principal y secundaria. La especie arbustiva es dejada para mantener un microclima favorable al desarrollo de la especie principal, proteger el fuste de la exposición a la radiación y para impedir que se desarrollen brotes epicórmicos, que reducen la calidad de la madera.

El modelo de plantación se define después de efectuar un estudio del predio y del área, considerando las características del terreno, los objetivos, la organización y capacidad de gestión de la empresa, así como características de la economía local y cultura dominante.

3.6 CUANTIFICACIÓN DE PARÁMETROS PARA DIFERENTES TIPOS DE PLANTACIONES MIXTAS

Las fórmulas presentadas a continuación son útiles porque facilitan los cálculos para la plantación, instalación de equipos y posterior manejo de la plantación en forma especializada (Buresti y Mori, 2001a, b, c y d). Los cálculos, en el caso de plantaciones mixtas, se refieren al módulo de plantación, que corresponde a la unidad mínima de superficie que contiene todas las especies, que representa o incluye al menos una vez la disposición y el distanciamiento de cada especie, y que permite reproducir el esquema en toda la plantación rotándolo repetidamente en 180°, sin alterar las relaciones entre las especies consideradas.

3.6.1 Disposición cuadrada

(a) Plantación pura

$$\text{Número de plantas por hectárea: } N/ha = \frac{10.000}{d^2} \quad \text{En que: } d = \text{distancia de plantación}$$

$$\text{Número total de plantas: } N \text{ total} = \frac{Si}{d^2} \quad \text{En que: } Si = \text{superficie total en m}^2$$

$$\text{Distanciamiento inicial de plantación: } d = \sqrt{\frac{10.000}{N/ha}}$$

$$\text{Distanciamiento después del raleo en filas diagonales: } D = \sqrt{d^2 + d^2}$$

(b) Plantación mixta

$$\text{Número total de plantas por hectárea: } N/ha = \frac{10.000}{d^2} \quad \text{En que: } d = \text{distancia de plantación}$$

$$\text{Número total de plantas: } N \text{ total} = \frac{Si}{d^2} \quad \text{En que: } Si = \text{superficie total en m}^2$$

$$\text{Número de plantas por especie: } NSI = \frac{Si}{Sm} \times n \text{ s l}$$

En que: N_{SI} = número plantas de la especie I
 S_i = superficie total en m^2
 n_{sI} = número plantas de la especie I presentes en el módulo
 S_m = superficie del módulo en m^2

Distanciamiento inicial de plantación: $d = \sqrt{\frac{10.000}{N/ha}}$

Distanciamiento después del raleo en filas diagonales: $D = \sqrt{d^2 + d^2}$

En la Figura 43 se presenta un esquema que ejemplifica la contribución de cada especie y árbol en la constitución de un módulo mixto con disposición cuadrada.

3.6.2 Disposición rectangular

(a) Plantación pura

Número de plantas por hectárea: $N/ha = \frac{10.000}{a \times b}$

En que: a y b son los distanciamientos entre y sobre las filas, respectivamente

Número total de plantas: $N_{total} = \frac{S_i}{a \times b}$

En que: S_i = superficie total en m^2

Distanciamiento inicial de plantación si se quiere partir de un número determinado de plantas por hectárea: $b = \frac{10.000}{N/ha \times a}$

Distanciamiento después del raleo en filas diagonales: $B = b \times 2$ $A = \sqrt{a^2 + b^2}$

En que: A = distanciamiento nuevo entre hileras
 B = distanciamiento nuevo sobre la hilera
 a = distanciamiento original entre hileras
 b = distanciamiento original sobre la hilera

(b) *Plantación mixta*

Número total de plantas por hectárea: $N/ha = \frac{10.000}{d^2}$ En que: d = distancia de plantación

Número total de plantas: $N \text{ total} = \frac{Si}{d^2}$ En que: Si = superficie total en m²

Número de plantas por especie: $NSI = \frac{Si}{Sm} \times n \text{ s l}$

En que:
 N SI = número plantas de la especie I
 Si = superficie total en m²
 n s l = número plantas de la especie I presentes en el módulo
 Sm = superficie del módulo en m²

En la Figura 44 se presenta un esquema que ejemplifica la contribución de cada especie y árbol en la constitución de un módulo mixto con disposición rectangular.

3.6.3 Disposición a tres bolillos

(a) *Plantación pura*

Número de plantas por hectárea: $N/ha = \frac{10.000}{b \times c}$ En que: b y c son los distanciamientos sobre y entre las filas, respectivamente

Número total de plantas: $N \text{ total} = \frac{Si}{b \times c}$ En que: Si = superficie total en m²

Distanciamiento inicial de plantación si se quiere partir de un número determinado de plantas por hectárea: $b = \frac{10.000}{N/ha \times a}$

(b) *Plantación mixta*

$$\text{Número total de plantas por hectárea : } N/ha = \frac{10.000}{d^2}$$

$$\text{Número total de plantas: } N \text{ total} = \frac{Si}{d^2} \quad \text{En que: } Si = \text{superficie total en m}^2$$

$$\text{Número de plantas por especie: } NSI = \frac{Si}{Sm} \times n \text{ sI}$$

En que: NSI = número plantas de la especie I
 Si = superficie total en m^2
 $n \text{ sI}$ = número plantas de la especie I presentes en el módulo
 Sm = superficie del módulo en m^2

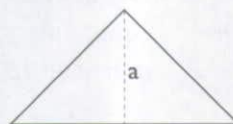
La Figura 45 presenta un esquema que ejemplifica la contribución de cada especie y árbol en la constitución de un módulo mixto con disposición a tres bolillos.

3.6.4 Disposición en rombo con siete plantas

(a) *Plantación pura*

Con base en la superficie:

$$\text{Superficie de cada planta: } Sp = d \times a, \quad a = \frac{d\sqrt{3}}{2}$$



$$\text{Número de plantas: } N = \frac{Si}{Sp}$$

En que: Si = superficie total en m^2
 Sp = superficie total de cada planta

Con base en el distanciamiento de plantación:

$$\text{Lado del hexágono: } le = \frac{(2 \times a)}{\sqrt{3}}$$

$$\text{Superficie de cada planta: } Sp = (le \times a) \times 3$$

(b) Plantación mixta

$$\text{Número total de plantas por hectárea: } N/ha = \frac{10.000}{d^2} \quad \text{En que: } d = \text{distancia de plantación}$$

$$\text{Número total de plantas: } N \text{ total} = \frac{Si}{d^2} \quad \text{En que: } Si = \text{superficie total en m}^2$$

$$\text{Número de plantas por especie: } NSI = \frac{Si \times n \text{ s l}}{Sm}$$

En que:
 NSI = número plantas de la especie I
 Si = superficie total en m^2
 $n \text{ s l}$ = número plantas de la especie I presentes en el módulo
 Sm = superficie del módulo en m^2

La Figura 46 esquematiza la contribución de cada especie y árbol en la constitución de un módulo mixto con disposición en rombo con siete plantas.

3.7 APLICACIÓN DEL MODELO DE PLANTACIÓN MIXTA BAJO DIFERENTES TÉCNICAS Y ENFOQUES: DE LA ARBORICULTURA A LA SILVICULTURA CON APEGO A LA NATURALEZA

Las plantaciones mixtas permiten múltiples variaciones y pueden ser ejecutadas y manejadas de acuerdo a diferentes sistemas y técnicas de manejo. Entre ellas la arboricultura, intensiva o extensiva, orientada a la producción de grandes volúmenes de madera, o a la producción de madera de alta

calidad y valor; la silvicultura tradicional; y la silvicultura con apego a la naturaleza, con principios aplicados por Pro Silva en muchos países.

3.7.1 Arboricultura y Plantaciones Mixtas

La **arboricultura** se define como una ciencia aplicada que se dedica al cultivo, durante un período de tiempo, de árboles individuales o de un conjunto de árboles, con el objetivo de producir madera con determinadas características. Esta disciplina se caracteriza por técnicas culturales repentinas, racionales, fundadas sobre bases económicas, ecológicas, agronómicas y/o silviculturales. Por ello la arboricultura no puede ser clasificada completamente en el ámbito agrario y tampoco en el forestal, sino que se ubica en una posición intermedia entre los dos, con un carácter único.

Existen dos conceptos diferentes asociados al término arboricultura: la arboricultura de cantidad, y la arboricultura de calidad (Mercurio, 1993).

La **arboricultura de cantidad** tiene por objetivo producir gran cantidad de madera de determinadas dimensiones, en períodos breves, sin prestar mayor atención a la calidad estética o tecnológica de la madera producida. En este caso el elemento base de referencia es el conjunto de árboles, y la duración del ciclo productivo está condicionada por alcanzar, en el menor tiempo posible, determinadas dimensiones predefinidas. Se aplica con álamos, eucaliptos y pinos, entre otras, y corresponde a la silvicultura intensiva tradicional aplicada en plantaciones a gran escala.

La **arboricultura de calidad** tiene por objetivo producir, en períodos relativamente breves, madera con determinadas dimensiones y características estéticas y tecnológicas que permitan su colocación en segmentos altos del mercado. El elemento base de referencia es cada árbol individual de la(s) especie(s) principal(es), debido a que la mayor parte del ingreso depende directamente de la idoneidad y de la calidad de cada individuo en particular con relación a un objetivo específico, en general asociado a productos lo más rentable posible. En este caso la duración del ciclo productivo está condicionada por alcanzar, en el menor plazo posible, dimensiones y características estéticas y tecnológicas en cada árbol de la(s) especie(s) principal(es).

En contraste con los términos descritos, la **silvicultura** puede ser definida como el arte y la ciencia de controlar el establecimiento, crecimiento, composición, salud y calidad de bosques y terrenos forestales, para satisfacer las necesidades y valores de los propietarios y de la sociedad sobre una base sustentable (Helms, 1998).

La silvicultura y la arboricultura tienen diferentes objetivos. La primera tiene por sujeto al ecosistema forestal íntegro y cada intervención se realiza considerando su evolución; en la segunda el sujeto es cada árbol de la plantación, a los que se da mucha importancia pues cada uno genera un ingreso al final de la rotación (Buresti, 1994). La relación entre los tres conceptos mencionados se grafica en forma simple en la Figura 47.

Principios: existen seis principios generales que caracterizan la arboricultura:

1. **Temporalidad y reversibilidad del cultivo:** las plantaciones se caracterizan por destinar exclusivamente a dicho objetivo el terreno durante la rotación (Mercurio, 1988), asimilándose a un cultivo agrícola (Buresti y Frattegiani, 1995a).
2. **Objetivo productivo:** las plantaciones de arboricultura, aún cuando generan beneficios adicionales relacionados a la presencia de una plantación o a determinadas especies, se realizan con el objetivo principal de producir madera.
3. **Duración del ciclo productivo:** esta no puede ser definida a priori porque depende de numerosas variables, algunas de las cuales no se pueden prever con precisión.
4. **Diversificación:** las plantaciones deben ser lo más diversificadas posible para limitar y repartir los riesgos bióticos, abióticos y económicos, permitiendo tener siempre un cierto margen de acción.
5. **Complementariedad de funciones:** aunque se trata de plantaciones con objetivo productivo también desarrollan funciones complementarias, algunas de ellas muy importantes. Se ha llegado a denominar “arboricultura multifuncional”, porque se asigna mayor importancia a efectos que antes se consideraban secundarios.
6. **Compatibilidad ecológica:** las intervenciones deben realizarse minimizando impactos ambientales negativos (Buresti, 1994), buscando soluciones técnicas que permitan maximizar el nivel de autosuficiencia de la plantación, disminuyendo los aportes energéticos externos (Buresti y Frattegiani, 1995a).

Existen tres tipos de arboricultura, según sea el aporte energético externo; arboricultura intensiva, semi extensiva y extensiva.

Entre las peculiaridades de la arboricultura existen dos características principales. En primer lugar no existen recetas sobre modelos productivos, sino que un conjunto de experiencias e informaciones que permiten definir las características de cada iniciativa en particular; en segundo término, no existen simulaciones previas, dada la gran variedad de situaciones de sitio, especies y técnicas culturales factibles. Por todo esto el arboricultor, como un artista, interpreta la naturaleza; y dentro de sus reglas, encuentra variaciones aptas a exigencias específicas.

Tipología de plantaciones de arboricultura: se consideran cuatro alternativas principales (Buresti y Mori, 2003):

- 1. Plantaciones puras:** son plantaciones constituidas por una sola especie principal. Sus ventajas consideran un diseño y ejecución simple, la definición y realización de los cuidados culturales con relativa facilidad, y competencias profesionales requeridas limitadas a una sola especie. Sus desventajas incluyen riesgos en la selección de una especie idónea para un determinado sitio, elevados riesgos de daños de plagas y enfermedades y de eventos climáticos; frecuentemente se requieren cuidados culturales intensivos, mayor costo de establecimiento en plantaciones densas; mayores cuidados culturales en las plantaciones establecidas a densidad final, y el riesgo económico inherente al “monoproducto”. Este tipo de plantación se recomienda cuando se conoce muy bien el sitio y la especie seleccionada se encuentra en una situación óptima; cuando se trabaja en zonas en las cuales la especie tiene una tradición de cultivo; cuando se trabaja en rotaciones cortas (ya que cuanto más cortas las rotaciones, menores son los riesgos ecológicos y económicos); cuando el manejo de la plantación está a cargo de un profesional/técnico competente; cuando este tipo de cultivo forma parte de una planificación empresarial a escala media a grande; y cuando es posible efectuar una arboricultura intensiva para producción de madera de alto valor. Se sugiere tener el máximo cuidado cuando se efectúan plantaciones puras de especies que en la naturaleza se encuentran siempre en asociación.
- 2. Plantaciones mixtas:** son plantaciones con dos o más especies, que pueden estar constituidas sólo por varias especies principales, como por una o más especie(s) principal(es) asociadas a una o más especie(s) secundaria(s), arbóreas o arbustivas. Se reconocen los siguientes tipos de plantaciones mixtas:
 - a) Plantaciones “puras con especies accesorias”:** formadas por una especie principal y por una o más secundarias, arbóreas o arbustivas, incorporadas con el objetivo de condicionar positivamente el desarrollo de la especie principal. Entre sus ventajas se citan la reducción de las remociones del terreno, una simplificación de las podas, una mejor estructura arquitectónica de la especie principal, un enriquecimiento del terreno, sobretodo si hay alguna especie secundaria que fija nitrógeno; la obtención de productos complementarios, si la especie secundaria es arbórea o frutal; se reduce la competencia para la especie principal, si las secundarias usan una porción aérea y radicular diferentes; y se reducen los riesgos bióticos y abióticos respecto a una plantación pura.

Entre sus desventajas se citan la necesidad de identificar una o más especies secundarias, aptas al sitio y a desempeñar uno o más roles en el ciclo productivo; mayor complejidad en la

definición del módulo de plantación respecto a una plantación pura, sobretodo si hay varias especies secundarias; el riesgo de comprometer toda la producción por daños bióticos o abióticos sobre la especie principal; y el riesgo económico inherente al “monoproducto”.

Este sistema conviene cuando se desea condicionar la estructura arquitectónica de la especie principal reduciendo la intensidad del cultivo respecto a la situación pura; cuando no hay disponibilidad de buenos podadores, y se desea facilitar su tarea; para reducir las remociones del terreno después de los primeros años; cuando el propietario no puede hacerse cargo directamente de la plantación, o cuando su prioridad recae en otros cultivos, por ejemplo, frutícolas; y cuando se está en un sitio óptimo para la especie seleccionada pero se quieren crear mejores condiciones para su crecimiento.

- b) Plantaciones “mixtas”:** formadas por dos o más especies principales. Entre sus ventajas se citan la reducción de riesgos bióticos o abióticos respecto a las plantaciones puras; una reducción de los riesgos económicos respecto a las plantaciones puras (dos o más productos a cambio de uno solo); mayores posibilidades de selección durante la rotación respecto a las plantaciones puras (se puede cosechar con dos especies, o solo una o la otra); mejor uso del espacio aéreo y del terreno, si las especies seleccionadas se integran bien.

Entre sus desventajas se citan la mayor complejidad en la definición del módulo de plantación respecto a una plantación pura; dificultad en la selección de dos o más especies de alto valor que puedan convivir empleando el mismo sitio y con el mismo manejo; necesidad de mayores competencias técnicas para la definición y el manejo posterior de la plantación; se debe evitar la asociación de especies que entran en competencia en forma temprana.

Conviene cuando se desea reducir los riesgos económicos respecto a las plantaciones puras; cuando se dispone de mano de obra que conoce las especies seleccionadas; cuando se está en un buen sitio, aunque no óptimo, para una o más de las especies empleadas (óptimo al menos para una de las especies); cuando se desea tener la posibilidad de modificar la composición del rodal en función de la respuesta de las especies a las condiciones cambiantes del sitio; y cuando el propietario no puede hacerse cargo directamente de la plantación, o cuando su prioridad recae en otros cultivos, por ejemplo, frutícolas, principalmente en empresas medianas o grandes.

- c) Plantaciones “mixtas con accesorias”:** compuestas por dos o más especies principales y por una o más especies secundarias, arbóreas o arbustivas, incluidas con el objetivo de favorecer y condicionar positivamente el desarrollo de las especies principales.

Entre sus ventajas están la reducción de los riesgos de origen biótico y abiótico respecto a las plantaciones puras y mixtas (descritas en (b)); reducción de los riesgos económicos respecto a las plantaciones puras; mayores opciones de selección durante la rotación respecto a plantaciones puras; reducción de las remociones y limpiezas del terreno, respecto tanto a las puras como a las “mixtas”; mejor estructura arquitectónica de una o más especies principales; enriquecimiento del terreno si se incluyen especies fijadoras de nitrógeno; obtención de productos adicionales respecto a los objetivos definidos; creación de un microclima favorable para el desarrollo de las especies principales; y reducción del estrés de aislamiento de las especies principales en el caso de rotaciones diferidas o de raleos.

Entre sus desventajas se citan una mayor complejidad en la definición del módulo de plantación, tanto respecto a las plantaciones puras como respecto a las puras con accesorias (a), y “mixtas” (b); mayor dificultad en la selección de las especies principales y secundarias en grado de convivir mejorando la productividad y/o la calidad de las especies principales; se requieren mayores competencias técnicas para el diseño, establecimiento y manejo respecto de los casos anteriores; y mayores dificultades en la definición del programa de cuidados culturales.

Este tipo conviene cuando se desea reducir los riesgos económicos respecto a las plantaciones puras; cuando se dispone de mano de obra que conoce las especies seleccionadas; cuando se está en un buen sitio, aunque no óptimo, para una o más de las especies empleadas (óptimo al menos para una de las especies); cuando se desea tener la posibilidad de modificar la composición del rodal en función de la respuesta de las especies a las condiciones cambiantes del sitio; cuando el propietario no puede hacerse cargo directamente de la plantación, o cuando su prioridad recae en otros cultivos, por ejemplo, frutícolas, principalmente en empresas medianas o grandes; cuando se está en un buen sitio óptimo o bueno para las especies principales, pero se espera crearles mejores condiciones de crecimiento; cuando se desea condicionar la estructura arquitectónica de la(s) especie(s) principal(es), reduciendo la intensidad de cultivo respecto a una plantación pura; y cuando no se dispone de podadores expertos, y se desea simplificar las podas.

3. **Plantaciones en hilera:** se trata de producir madera en hileras alrededor de campos, caminos, calles o huertos, obteniéndose una mejor y mayor utilización del espacio disponible, complementando las alternativas de ingreso de la unidad productiva.
4. **Producción de maderas finas dentro de cortinas cortaviento:** producción de maderas finas dentro de cortinas cortaviento, obteniéndose un producto adicional de alto valor, además de la función de protección original de la cortina.

Fases de desarrollo de un árbol, técnicas de manejo y productos a obtener: un concepto de importancia es el de las etapas de desarrollo de un árbol, que se representa en la Figura 48. Existe una primera etapa, que puede abarcar 1-3 años después de la plantación, si ésta fue bien hecha, que consiste en el establecimiento de un sistema radicular frondoso, equilibrado y armónico con relación al tamaño y forma del individuo. En esta etapa no es importante que la planta crezca, sino que es más bien deseable que concentre sus energías en este proceso.

Luego existe una segunda etapa en que se forma la estructura de la planta, el eje central que constituirá el fuste de alto valor. Por ello se deben efectuar podas de formación y de levante que permitan, al momento de su finalización, contar con un eje (fuste) sin ramas, defectos ni deformaciones. Esta etapa cobra gran importancia a nivel de manejo, ya que es cuando se define la calidad del producto final.

En tercer lugar, está la etapa de engrosamiento del individuo, en que comienza a crecer en diámetro, centrándose en la cantidad de material a producir. Para efectos de producción de madera de alto valor, este período es de gran importancia, ya que se deben mantener incrementos diamétricos constantes en el tiempo (Figura 49). Esta característica marca una profunda diferencia con las técnicas de cultivo de las plantaciones industriales o arboricultura de cantidad, en que se fija un diámetro objetivo final sin importar los anchos de los anillos ni el ritmo de crecimiento. Lograr lo anterior no es fácil, y requiere de gran habilidad y conocimiento.

Esto puede lograrse con un elevado input energético, a través de un mayor número de intervenciones; o con uno menor, a través del acondicionamiento de la especie principal por medio de la introducción de una(s) especie(s) acompañante(s) (Buresti y Mori, 1998); para ello se deben seleccionar especies que modifiquen la estructura o arquitectura de la especie principal, el microclima y/o el terreno.

En este caso, puede ser necesario controlar la competencia entre especie principal y secundaria por medio de raleos, si se usan especies secundarias de mayor velocidad de crecimiento, lo que en determinados casos es muy útil para estimular el desarrollo longitudinal y una arquitectura apropiada (*op. cit.*).

Finalmente, la duración de la rotación varía en función de:

- Tiempo en que la(s) especie(s) alcanzarán dimensiones remunerativas;
- Tipo de productos que demandará el mercado en los próximos años;
- Reacción que tendrán los árboles a los cuidados culturales aplicados;
- Tiempo, en el caso de las plantaciones mixtas, en que se obtendrán las dimensiones comercializables para las diferentes especies empleadas;

- Continuidad de la plantación (porque plantaciones manejadas en forma intensiva durante toda la rotación llegarán a dimensiones comerciales antes que aquellas manejadas en forma extensiva);
- Efectos de la aparición de nuevas tecnologías que permitan procesar material de menores dimensiones a la definida como objetivo inicialmente.

Son todas preguntas que no se pueden responder con certeza, y que hacen que la plantación sea un acto de fe y esperanza.

Estudio de caso: plantaciones mixtas de nogal común para producir madera de alto valor con un sistema intensivo de arboricultura en terrenos agrícolas o marginales a la agricultura en la VII región, Chile.

Factores determinantes:

- El sitio: **Sector Cerro:** suelos profundos ($\pm 1,50$ m), principalmente arcillosos, pH entre 6,5 y 6,8; altitud 340 msnm; presencia de heladas tardías hasta los primeros días de noviembre, y heladas tempranas en mayo, con temperaturas que bordean -2°C ; las precipitaciones se concentran en el periodo invernal y fluctúan entre 800 y 1.000 mm al año. La vegetación existente corresponde a un bosque esclerófilo degradado con presencia de matorrales de quillay, boldo, litre y espino. Riego tecnificado. **Sector Marengo:** suelo liviano, permeable, poco profundo ($\pm 60-70$ cm.), franco pedregoso; existe menor presencia de heladas tardías y tempranas menos intensas (con temperaturas que bordean 0°C) que el sector del cerro; las precipitaciones se concentran en el periodo invernal y bordean los 600 mm al año. El suelo es agrícola, cultivado tradicionalmente con hortalizas. Riego tecnificado.
- La empresa/propietario: **mano de obra siempre disponible;** maquinaria disponible tanto para la preparación del suelo como para los cuidados culturales; **personal competente más para la plantación que para los cuidados culturales;** la plantación se insertará dentro de la programación normal de la empresa. La empresa se dedica a la producción y comercialización de fruta fresca (manzana, pera y kiwi). También poseen una fábrica anexa al packing donde se elaboran pallets y bins que utilizan y comercializan en el mercado.
- Características socioeconómicas y técnicas: cuentan con financiamiento propio para la plantación y el manejo, y parcial estatal para el riego; posibilidad de contar con asistencia técnica especializada.

Objetivos del propietario: producción de madera de nogal de alto valor (troncos de 5,5 m de largo y 40 cm. de diámetro), para foliado y madera aserrada para muebles.

Exigencias específicas del propietario: la producción de leña o productos del raleo pueden usarse en la empresa.

Tipo de plantación: **Sector Cerro:** plantación mixta con dos especies principales, nogal y cerezo (Figuras 50 y 51). **Sector Marengo:** plantación mixta con dos especies principales, nogal y cerezo, y algunas secundarias (olivo de bohemia, aliso negro, manzano, y otras) (Figuras 52 y 53), bajo diferentes combinaciones.

Disposición de la plantación: cuadrada.

Distanciamiento: **Sector Cerro:** 3 x 3 m; **Sector Marengo:** 3,5 x 3,5 m.

Especies Principales: nogal común, distanciado a 6 o 7 m entre filas (Sector Cerro y Marengo, respectivamente); cerezo común, distanciado a 6 o 7 m entre filas (Sector Cerro y Marengo, respectivamente).

Consideraciones: estas plantaciones presentan un manejo intensivo, con riego tecnificado, uso permanente de tutores altos (sobre 4 m) o estructuras en espaldera para mejorar la forma, dado el rápido crecimiento inicial (que en ciertos casos supera 1 cm. en altura por día durante la temporada de crecimiento). El control de malezas es permanente aunque no intensivo y el primer año de plantación en el sector Marengo se estableció maíz entre las hileras. Las podas se realizan desde el primer año, aunque no siempre bien ejecutadas.

Estudio de caso: plantaciones mixtas de nogal común para producir madera de alto valor asociado a álamo y especies secundarias mediante la técnica de la arboricultura, en terrenos agrícolas en regiones del centro – norte de Italia (Lombardia, Piemonte y Toscana).

El nogal despierta un gran interés debido a su elevado valor y a que es una especie que sufre menos problemas fitosanitarios que el álamo, y además las plagas y enfermedades que lo afectan parecen menos temibles que aquellas que atacan al álamo y que, salvo raras excepciones, no necesita tratamientos químicos durante el ciclo productivo (Buresti et al., 2001).

Ventajas de la asociación (Buresti et al., 2001; Buresti y Ravagni, 2001):

- La presencia del álamo permite obtener parte del ingreso antes que si se cultivara nogal puro;
- La presencia de nogal permite obtener un ingreso significativamente mayor que el de una plantación pura de álamo;

- La mezcla reduce los riesgos de plagas y enfermedades de ambas especies y aumenta las probabilidades de éxito con al menos una de las especies;
- El riesgo económico se reparte entre las dos especies;
- La presencia del álamo facilita el cultivo del nogal, condicionándolo a crecer más rápidamente en altura y a mantener una arquitectura alargada, buena dominancia apical, ramas de pequeñas dimensiones, y un crecimiento elevado y sostenido en el tiempo para ambas especies.

A pesar que, históricamente, se ha considerado al nogal como una especie poco sociable debido a la producción de un exudado alelopático llamado “juglone”, pareciera que éste actúa sólo en casos muy particulares que hasta la fecha no han sido documentados o avalados con datos experimentales (Buresti *et al.*, 2001). Según Giannini y Mercurio (1997, cit. por Buresti *et al.*, 2001) pareciera que el juglone se manifiesta con mayor fuerza en aquellos sitios desaconsejados para la producción de madera de nogal. Adicionalmente, hay casos concretos que muestran que muchas especies arbustivas y arbóreas no tienen ningún problema para reproducirse cerca o bajo el dosel del nogal; no obstante lo anterior, el grado de competencia entre plantas de distintas especies depende de las dimensiones y la distancia a la que se encuentran, así como a la forma de interacción de sus copas y aparatos radiculares (Buresti *et al.*, 2001).

Algunos de los casos estudiados muestran que (Buresti *et al.*, 2001):

- Una plantación pura de nogal se vio favorecida por la protección lateral de plantaciones puras de álamo.
- Existen casos de plantaciones mixtas de nogal y álamo ya cosechadas que se han desarrollado sin problemas.
- El nogal puede regenerarse y crecer bajo el dosel de álamo manteniendo una elevada dominancia apical y desarrollando una estructura arquitectónica alargada, que generalmente se trata de inducir a través de las podas; además produce ramas delgadas y fáciles de podar (Buresti y Ravagni, 2001).

La información analizada indujo la realización de plantaciones mixtas con nogal y álamo, habiéndose ya efectuado varias en Italia (Lombardia, Piemonte y Toscana) con éxito.

A continuación se describen dos experiencias de interés (Buresti *et al.*, 2001; Ravagni y Buresti, 2003):

Caso I: Plantación de una hectárea, ubicada en Mantova, con 944 arb/ha de las cuales 236 son especies principales (157 nogal y 79 álamo), 472 aliso negro y 236 olivo ornamental. El álamo se plantó dos años

después que las otras especies. El diseño de esta plantación se detalla en la Figura 54.

A. Objetivo de los álamos: los álamos se encuentran a 12,1 m para:

- Permitir al propietario obtener antes de la cosecha del nogal, parte del ingreso del cultivo. Los crecimientos verificados durante los primeros 8 años permiten estimar que en 10-12 años se obtendrán trozas de calidad para debobinado.
- Inducir en el nogal una estructura arquitectónica apta para la producción de madera de calidad, facilitando la poda. Después de 8 años se observa que su arquitectura responde en la forma esperada, aunque no es posible saber cuánto de esto es atribuible al álamo y cuánto a las especies secundarias.
- Obstaculizar la difusión de plagas y enfermedades.

B. Objetivo del nogal: los nogales se encuentran a 7 m con el objetivo de:

- Permitir al propietario obtener un ingreso total mayor que el que se obtendría sólo con álamos.
- Reducir las aplicaciones de tratamientos químicos.
- Alcanzar dimensiones tales que permitan amortizar los raleos. A los 8 años los nogales ya han superado la fase de calidad y se encuentran en la fase de cantidad (ver punto 3.7.1), en la que el objetivo es obtener crecimientos diamétricos constantes y elevados. Proyectando los crecimientos obtenidos (más de 2 cm./año) se puede esperar alcanzar el objetivo productivo mínimo de 30 cm. de diámetro en menos de 20 años.

C. Objetivo de la especie secundaria arbustiva: el olivo decorativo se ubica a 3,5 m del nogal y del álamo para:

- Reducir el estrés de aislamiento de las plantas que quedan después de la corta del álamo y/o aliso.
- Favorecer una rápida cobertura del terreno facilitando el control de malezas. Después de 8 años de crecimiento, el olivo ha cubierto el suelo, reduciendo la frecuencia de los controles de maleza.
- Incrementar la cantidad de nitrógeno disponible para el álamo y el nogal.

D. Objetivo de la especie secundaria arbórea: el aliso negro se ubica a 3 m del nogal y del álamo para:

- Favorecer el crecimiento en altura del nogal y mantener la estructura arquitectónica deseada. A los 8 años aún es difícil determinar si el logro de este objetivo se debe solamente al efecto del aliso negro.
- Incrementar la cantidad de nitrógeno disponible para el nogal y el álamo.
- Proporcionar leña una vez que haya finalizado su rol formativo del nogal.

Posibles evoluciones de la plantación

Escenario A:

Tanto los nogales como los álamos llegan al final de la rotación sin problemas con las siguientes acciones y consideraciones:

- El aliso negro deberá cortarse apenas termine la formación del nogal; esta especie podría ser utilizada dos o más veces durante la rotación. A los 8 años, el aliso ha terminado su rol formador pero no crea problemas porque está dominado por el nogal, por lo que puede dejarse o cortarse, decisión que debe tomar el propietario por otro tipo de consideraciones.
- El álamo se cortará en cuanto alcance las dimensiones mínimas aceptadas para los usos mejor pagados.
- La corta del álamo permitirá anticipar ingresos sin dañar a los nogales porque se cuenta con líneas de saca anchas (7 m).
- Una vez cortado el álamo, el distanciamiento de los nogales (7 m) debiera permitirles superar 30 cm. de Dap sin ralear. En este momento podrá decidirse si cortar todos los nogales o solo el 50% de ellos, caso en el cual los individuos se encontrarán a 12,1 m y podrán seguir creciendo y, por lo tanto, vender un mayor volumen de madera de calidad a precios más elevados.
- Una evaluación realizada a los 8 años confirma que en el caso de esta plantación el objetivo económico se logrará, permitiendo al propietario obtener un ingreso superior al de una plantación pura de álamo sin tener que esperar toda la rotación del nogal, como ocurriría con una plantación pura de nogal.

Escenario B:

La mayor parte de los nogales no puede llegar con éxito al final de la rotación (por ejemplo, porque hay un factor limitante que no fue considerado, o porque la procedencia de las plantas fue inadecuada).

Las acciones y consideraciones posibles son:

- La plantación producirá solo álamo y deberá manejarse sin considerar la evolución del nogal.
- Dado que los álamos se encuentran a 12,1 m se podrá obtener fustes de más de 30-35 cm. de diámetro, alargando 2-3 años la rotación para incrementar el ingreso final.
- Los alisos que competirán con los álamos deberán cortarse.
- Al momento de la corta de los álamos, también, deberá cortarse todas las otras especies.
- No se alcanzará el objetivo económico propuesto, pero una parte del ingreso podrá ser obtenida, igualmente, a través de la venta del álamo.

Escenario C:

La mayor parte de los álamos no llegan al final de la rotación (por ejemplo por el ataque de una grave enfermedad). Las acciones y consideraciones son:

- La plantación producirá solo nogal y deberá manejarse sin considerar la evolución del álamo; la disposición de los nogales permite un desarrollo equilibrado.
- Podrá ser necesario cortar los álamos, si es que quedan, cuando hayan alcanzado dimensiones que obstaculicen el desarrollo de los nogales, empleando las vías de saca (7 m).
- El aliso negro deberá cortarse apenas el nogal termine su rol formativo; esta especie podría ser utilizada dos o más veces durante el ciclo productivo.
- Se prevé una mayor dedicación, podando los nogales para mantener la dominancia apical y un fuste recto y alargado.
- Se perderá el ingreso del álamo.
- También en este caso, como en el escenario A, podrá decidirse si cortar todos los nogales o sólo el 50%, caso en el cual los individuos se encontrarán a 12,1 m y podrán seguir creciendo, y por lo tanto vender un mayor volumen de madera de calidad a precios más elevados.
- No se alcanzará el objetivo planteado, pero buena parte del ingreso se obtendrá de los nogales.

En este caso, durante los primeros 8 años, los incrementos diametrales del nogal se han mantenidos elevados y más o menos constantes, de más de 2 cm., y con una altura media de más de 5 m, por lo que el objetivo económico mínimo para esta especie, es decir, fustes rectos y cilíndricos de al menos 2,5 m y sin ramas, se ha alcanzado. También el álamo, una vez superadas las dificultades iniciales, estabilizó sus incrementos diamétricos anuales en más de 3 cm.; para esta especie el objetivo económico mínimo de un fuste sin ramas de 5-6 m se ha alcanzado.

Caso 2: Plantación de 25 hectáreas, en Cremona, con 1.143 arb/ha de los cuales 214 son especies principales (71 nogal y 143 álamo), 357 de secundarias arbórea (aliso negro) y 572 de especies arbustivas (286 avellano europeo y 286 sambuco). El álamo y los nogales se plantaron al mismo tiempo. Su diseño se detalla en la Figura 55. A diferencia del caso anterior, los álamos se disponen en hileras para proteger lateralmente los nogales.

A. Objetivo de los álamos: los álamos están a 5 m sobre la hilera para:

- Permitir al propietario anticipar parte del ingreso del cultivo.
- Acentuar la protección lateral del nogal; los nogales se encuentran a 7 m de la protección lateral de dos hileras de álamo.
- Producir madera de álamo de calidad.
- Además del efecto de protección lateral ejercida por los álamos, después de la corta del aliso los álamos permitirán la mantención de una estructura arquitectónica alargada del nogal a través de una ligera competencia por luz. Una evaluación a los 4 años corrobora este rol del álamo y sugiere que este efecto positivo se acentuará,

pudiendo convertirse en una competencia negativa si no se corta oportunamente el álamo.

- Reducir los tratamientos químicos por el obstáculo físico que los nogales y las otras especies ponen a la difusión de plagas y enfermedades del álamo. A los 4 años esto se ha logrado, ya que no se han registrado ataques significativos de patógenos, los que si son comunes en plantaciones puras de álamo.

B. Objetivo del nogal: el diseño considera un nogal cada dos álamos, con una disposición rectangular (10 x 14 m) con el objetivo de:

- Permitir al propietario obtener un ingreso total mayor que el que se obtendría sólo con álamos. A los 4 años los nogales ya han superado la fase de calidad y se encuentran en la fase de cantidad (ver punto 3.7.1). Proyectando los crecimientos obtenidos (más de 1,5 cm. /año) se espera alcanzar el objetivo productivo mínimo de 30 cm. de diámetro en poco más de 20 años. Cabe notar que en esta plantación no se ha regado ni fertilizado.
- Reducir las aplicaciones de tratamientos químicos.
- Alcanzar diámetros superiores a 35 cm. sin ralear.

C. Objetivo de la especie secundaria arbustiva: el avellano europeo y el sambuco se encuentran a 1,75 m del nogal y del álamo para:

- El sambuco estimulará el crecimiento en altura del nogal durante los primeros años, favorecerá el desarrollo de ramas delgadas y reducirá la emisión de brotes epicórmicos.
- Tanto el sambuco como el avellano europeo, cuando se corten el álamo y el aliso negro, reducirán el estrés de aislamiento de las plantas que quedan después de la corta.
- La densidad de las especies arbustivas y arbóreas favorecerá una rápida cobertura del terreno reduciendo el control de malezas, lo que se ha verificado a los 4 años de la plantación.
- El avellano producirá leña de calidad que representa un modesto anticipo de los ingresos totales de la plantación.

D. Objetivo de la especie secundaria arbórea: el aliso negro se ubicó a 3,5 m del nogal y del álamo para:

- Favorecer el crecimiento en altura del nogal y mantener la estructura arquitectónica deseada en el momento en que el sambuco ya no pueda competir con el nogal.

- Incrementar la cantidad de nitrógeno disponible para el nogal y el álamo.
- Proporcionar leña una vez que se corte, cuando haya finalizado su rol formativo del nogal.

Posibles evoluciones de la plantación

Escenario A:

Tanto los nogales como los álamos llegan al final de la rotación sin problemas con las siguientes acciones y consideraciones:

- El aliso negro puede ser utilizado varias veces en la rotación, tanto para formar al nogal como para producir leña, producto con demanda.
- El álamo se cortará en cuanto alcance las dimensiones mínimas aceptadas para los usos mejor pagados.
- La corta del álamo permitirá anticipar ingresos sin dañar a los nogales porque su distancia al nogal asegura que no hayan daños.
- Una vez cortado el álamo, el distanciamiento de los nogales (10 x 14 m) debiera permitir a los nogales superar 35 cm. de diámetro sin ralear.
- El objetivo económico se logrará plenamente. En el caso de una coyuntura de mercado desfavorable para uno de los productos, es posible que los otros permitan atenuar las pérdidas (o el menor ingreso) que se habría obtenido en el caso de una plantación pura con la especie que atraviesa la coyuntura de mercado desfavorable.

Escenario B:

La mayor parte de los nogales no llega con éxito al final de la rotación (por ejemplo, por un error de diseño o en la aplicación de técnicas de cultivo). Las acciones y consideraciones posibles son:

- La plantación producirá solo álamo y deberá manejarse sin considerar la evolución del nogal.
- Ya que las hileras de álamo se encuentran a 14 m, sus copas tienen espacio suficiente para desarrollarse a pesar que sobre la hilera la distancia sea solo de 5 m. Se podrá alargar 2 a 3 años la rotación con el objetivo de obtener mayor volumen de madera.
- Si los alisos y/o nogales obstaculizan el desarrollo de los álamos deberán cortarse.
- Al momento de la corta de los álamos también deberán cortarse las otras especies.
- No se alcanzará el objetivo fijado, pero parte del ingreso podrá obtenerse vendiendo el álamo y la leña de los alisos y del avellano europeo.

Escenario C:

Muchos álamos no llegan al final de la rotación (por ejemplo, porque una enfermedad atacó la plantación). Las acciones y consideraciones son:

- La plantación producirá solo nogal, por lo que toda la atención se centra en obtener el mejor resultado técnico y económico con dicha especie.
- Faltando los álamos para guiar al nogal se contará solo con los alisos que, encontrándose a 3,5 m, probablemente deberán cortarse antes que los nogales alcancen la estructura deseada.
- Una vez cortados los alisos y en ausencia de los álamos se necesitarán más podas para mantener la dominancia apical y un fuste largo y recto.
- Se perderá el ingreso del álamo, por lo que el anticipo del ingreso corresponderá solo a la producción de leña de aliso y avellano.
- No se alcanzará el objetivo esperado pero buena parte del ingreso se obtendrá vendiendo los nogales y la leña.

3.7.2 Silvicultura Tradicional y Plantaciones Mixtas

Para producir madera de alto valor se puede utilizar la silvicultura tradicional o la arboricultura, una de cuyas opciones son las plantaciones mixtas. Por definición la silvicultura implica el manejo de los árboles a nivel de rodal o en forma grupal, lo que implica muchas veces intervenciones más drásticas o intensas; por su parte, el modelo de plantaciones mixtas involucra un manejo a nivel de árbol individual el que, dependiendo de los diseños y modelos, en general considera intervenciones menos drásticas, dado que la intensidad del manejo se ve reducida por la función que ejercen las especies acompañantes y por la interacción con estas.

La experiencia indica que producir madera de alto valor utilizando la silvicultura tradicional es técnicamente factible, aunque el aporte energético (en cuanto a la intensidad de manejo) es mucho mayor que si se utiliza el modelo de plantaciones mixtas, dado que el comportamiento de las especies es distinto en ambos casos. La silvicultura, generalmente, utiliza pocos raleos intensos, así como fuertes podas de levante, con pocas o ninguna poda de formación.

3.7.3 Silvicultura con apego a los Procesos Naturales y Plantaciones Mixtas. Herbert Siebert W.²³

Pro Silva es una asociación europea de silvicultores que aplican y difunden una gestión silvícola basada en los procesos naturales, fundada en Eslovenia en 1989.

23. Herbert Siebert W. Ing. Forestal. Profesor Universidad Austral de Chile, Consultor Forestal, Silvicultor. hsiebertw@surnet.cl

La silvicultura aplicada por Pro Silva trata de optimizar la conservación, la protección y la gestión económica de los ecosistemas forestales para que los bosques puedan satisfacer sus funciones ecológicas y socioeconómicas en forma durable, sostenible y remunerativa. Para esto incluye objetivos tanto económicos como no económicos, y considera al ecosistema forestal en forma integral (Wolynski, 1999).

Pro Silva considera que los bosques desempeñan principalmente cuatro funciones:

- a. Función bio-ecológica:** la vitalidad y la capacidad de interacción de todas las formas de vida del ecosistema forestal es una condición necesaria para el desarrollo de todas las otras funciones. Los elementos más significativos de esta capacidad funcional son: la diversidad de plantas y animales típicos; la diversidad genética; la variabilidad de las estructuras forestales típicas; el buen funcionamiento de los procesos ecológicos; la complejidad de las relaciones internas del ecosistema; las influencias ecológicas del bosque sobre el ambiente, y las interacciones con el paisaje.

Para garantizar la capacidad funcional de los ecosistemas, Pro Silva propone los siguientes principios:

- Prestar atención a la dinámica natural vegetacional;
 - Mantener elevada la fertilidad del suelo, manteniendo una cobertura permanente;
 - Mantener o buscar la mezcla de especies;
 - Emplear especies no autóctonas con objetivos económicos asociándolas a la vegetación natural.
- b. Función de protección:** los elementos que caracterizan esta función se resumen en: conservación o recuperación de la fertilidad y estructura del suelo; conservación de asociaciones forestales naturales; conservación de especies particulares del sitio; protección contra la erosión y otros; protección y purificación de las reservas del agua; protección y mejoramiento del clima; mantención o aumento de la fijación de CO₂; protección y mejoramiento de la calidad del aire; protección contra el ruido.

La propuesta de Pro Silva para garantizar esta función considera:

- Adoptar un enfoque holístico y buscar coberturas forestales permanentes;
- Reforzar algunas funciones específicas de protección;
- Crear una red regional de protección de bosques con determinadas funciones prevalentes;

- Adoptar medidas específicas de manejo para acentuar determinadas funciones de protección física.

c. Función de producción: Pro Silva realiza un manejo forestal con objetivos económicos, siendo las otras funciones necesarias para la continuidad económica de los bosques.

Para su correcto desarrollo se consideran esenciales los siguientes elementos: conservación de la fertilidad del suelo; garantizar la continuidad del ecosistema y de la producción de madera, y conservación de los ciclos naturales de energía y materia. Para garantizar lo anterior, la propuesta de Pro Silva considera:

- Mantención de una cobertura permanente;
- Producción de madera de alto valor;
- Mantención de la biomasa en un nivel óptimo;
- Búsqueda de un equilibrio entre crecimiento y corta de madera;
- Mejoramiento de la estabilidad de las poblaciones;
- Rechazo a los sistemas de producción basados en la tala rasa, ya que destruyen las condiciones de bosque;
- Aplicación de tala rasa admitidas solo por motivos biológicos y en superficies reducidas;
- Abolición del concepto de rotación para determinar cuándo una planta debe ser cortada;
- Incorporar acciones que favorezcan la regeneración natural;
- Renovación y desarrollo de las poblaciones sin plantación;
- Uso de métodos de cosecha prudentes que eviten daños al suelo y a los árboles;
- Utilización cuidadosa de maquinaria;
- Uso mínimo de fertilizantes y productos fitosanitarios;
- Alcanzar un nivel de densidad de fauna compatible con la conservación del ecosistema.

d. Función cultural: Pro Silva reconoce la importancia creciente de los bosques para el bienestar físico y psíquico del hombre; los elementos esenciales de esta función son los siguientes: funcionalidad del bosque para una restauración psico física respetuosa de la naturaleza; capacidad de las poblaciones forestales de mantener las relaciones tradicionales del hombre con el bosque (leyendas, misterios, fábulas, relaciones históricas); funcionalidad de los bosques para conservar parte de la tradición cultural que inspira el arte.

Con el objetivo de desempeñar mejor esta función, Pro Silva propone los siguientes principios:

- Dar prioridad a una forma de recreación silenciosa (senderos, etc.);
- Concentrar las instalaciones de recreación en ciertas zonas del bosque;
- Mantener zonas de silencio para la reflexión, meditación y comunión con la naturaleza;
- Conservar plantas de interés particular y de atracción visual;
- Conservar claros, miradores sobre valles, rocas características, superficies de agua y otros paisajes especiales.

Junto al énfasis en la sostenibilidad, Pro Silva promueve un uso forestal que imite los procesos naturales, reduciendo los riesgos ecológicos y económicos. El objetivo central es incrementar el beneficio derivado de los bosques, tanto para las generaciones actuales como para las que vendrán.

Este movimiento, que está adquiriendo cada vez mayor difusión en muchos países de varios continentes, considera que el cambio puede ser instaurado en casi todas las situaciones, así como en todas las fases de desarrollo de las formaciones forestales.

Entre las actividades principales desarrolladas se encuentra el intercambio de información dentro de los grupos regionales de trabajo; el establecimiento de bosques demostrativos; la realización de encuentros y excursiones en bosques demostrativos; la cooperación con instituciones educacionales y científicas, entre otras.

3.7.3.1 Introducción

Para abordar la silvicultura en masas mixtas, en este capítulo se justifica dicha gestión; se aclaran los conceptos involucrados, analizándolos desde el punto de vista técnico y económico.

En particular se comenta el establecimiento, manejo, corta y regeneración en masas mixtas en experiencias concretas y los resultados en el trabajo práctico con estas plantaciones en la región climática de clima templado lluvioso estacional de Chile (provincias de Cautín, Valdivia y Osorno); la que, sin duda, es una región privilegiada para practicar silvicultura, en la cual los bosques naturales son mixtos (tipos forestales) y, frecuentemente, presentan más de una especie arbórea por estrato, y dos o más estratos.

Antes de entrar en materia, y para un mejor entendimiento, se definen los siguientes conceptos silvícolas:

- a) Gestión centrada en la biomasa: gestión silvícola, muy difundida en el mundo actual, basada en plantaciones puras, coetáneas, de rápido crecimiento, en rotaciones cortas, con uso de mejoramiento genético clonal, fertilizantes y pesticidas, y talas rasas en grandes superficies.
- b) Gestión bajo el concepto Pro Silva: gestión silvícola con apego a la naturaleza y a los procesos naturales en masas forestales mixtas, irregulares, multiestratificadas, compuestas preferentemente por especies autóctonas o bien adaptadas al sitio, y utilizadas mediante métodos de corta y regeneración para cubiertas boscosas permanentes.
- c) Masa forestal mixta: a continuación se citan algunas definiciones de masa forestal mixta: El Lexicon Silvestre, (Simon, 1995)²⁴, define a la masa forestal mixta como aquella compuesta por dos o más especies arbóreas, en la cual las especies asociadas aportan por lo menos con un 5% del área basal total. Por su parte el Waldbauliche Terminologie (Brünig y Mayer, 1980)²⁵, la define como masa forestal compuesta por dos o más especies arbóreas, en que cada una por si sola, y especialmente en conjunto, influyen significativamente sobre la ecología de la masa. Las especies pueden asociarse individualmente, en grupos reducidos, en grupos o por bosquetes. Según la Terminología de ordenación forestal de IUFRO (Siebert, 1999), el bosque mixto es aquel conformado por masas mixtas (Figura 56).

Aproximadamente hace 100 años, el profesor de Silvicultura de la Universidad de München, Dr. Karl Gayer, en su libro *Der Gemischte Wald* (El bosque mixto) (1886) afirma que, en una masa mixta, además del porcentaje de participación de las especies asociadas, importa su edad y su valor comercial.

Hace unos 500 años, esta región climática de Chile estaba cubierta por extensos bosques mixtos. Posteriormente vino la sobreexplotación, y la historia se repite tal como en otros países; también aquí se suplió la crisis maderera con plantaciones puras de especies exóticas de rápido crecimiento. En su momento esta tendencia, y la postura de que la silvicultura debía ser la disciplina responsable de solucionar el problema de la insuficiente producción maderera, no sólo condujeron a esta disciplina por un rumbo unilateral y simplista, sino que además causó la destrucción de considerables extensiones de bosques naturales recuperables.

Con el tiempo estas masas, por su inestabilidad e incapacidad para hacer frente a catástrofes y plagas, obligan a retomar la senda de los bosques mixtos, que por naturaleza son más estables y sanos. Leibundgut (1943) sostiene que la producción verdaderamente sostenible sólo es posible en bosques

24. Traducción Herbert Siebert

25. Ibid 23.

biológicamente sanos, y son justamente los países de topografías más abruptas y climas más severos como Suiza, los cuales se han visto obligados a trabajar con asociaciones y razas locales y desarrollar técnicas silvícolas rentables en medio de numerosas restricciones naturales y ambientales.

3.7.3.2 El por qué de masas y bosques mixtos

Son muchas las especies arbóreas cuyos requerimientos de sitio hacen que necesariamente crezcan asociadas, son las tolerantes y semitolerantes a la sombra, las que especialmente durante su germinación y desarrollo juvenil necesitan protección, ya sea bajo dosel o dentro de formaciones pioneras. Entre ellas la mayoría de las especies siempreverdes comerciales del bosque chileno: laurel, tepa, olivillo, lingue, ulmo, tineo, entre otras.

También en el sentido comercial, una adecuada y acertada asociación de especies permite mejorar las calidades fustales y su poda natural y racionalizar en costos de cuidados culturales (formación y poda). Las masas mixtas naturales y las “artificiales bien logradas” presentan sinergias que permiten aprovechar óptimamente las fuerzas productivas del sitio. Según Burschel y Huss (1997), las masas en bosques comerciales deberían estar estructuradas de modo tal que presenten un alto grado de diversidad. También Rittershofer (1994) sostiene que los bosques mixtos son ecológicamente mejores, ya que en ellos se produce una mayor actividad radicular, se encuentra una mejor calidad de humus, una más completa y más rápida descomposición de la hojarasca y se encuentra una mayor diversidad de especies en el sotobosque. Masas asociadas presentan una mayor diversidad de especies, sistemas, estructuras y productos, lo que a su vez implica una mayor estabilidad en los siguientes aspectos:

- La producción y oferta de una mayor gama de especies y productos significa para el propietario, sin duda, una situación menos riesgosa y de mayor solvencia, especialmente frente a situaciones coyunturales del mercado. El bosque mixto es, además, un recurso renovable diversificado, con mayores posibilidades en un futuro incierto.
- En el transcurso de los años se ha comprobado que las masas irregulares mixtas son considerablemente más estables frente a catástrofes climáticas como temporales de viento, nevazones, temperaturas extremas y otras situaciones de alta exigencia. En este sentido Burschel y Huss (1997), sostienen que las mezclas fomentan la estabilidad cuando están constituidas por especies que se complementan ecológicamente. En este sentido, no deja de ser interesante observar que, en los últimos 15 años en Alemania, y debido a grandes temporales (Wiepke en 1990 con 80 millones de m³ perdidos y Lothar en el año 2000, con el doble de madera destruida), se ha pasado de una superficie boscosa manejada del 5% en 1990 según el concepto Pro Silva a más de un 80% en la actualidad.

- Las masas mixtas compuestas por especies nativas o especies bien adaptadas, y las asociaciones naturales presentan, además, claras ventajas de resistencia frente al ataque de plagas en comparación con masas puras artificiales. En los sistemas boscosos naturales de Chile también existen, por cierto, innumerables agentes patógenos que atacan a las diferentes especies arbóreas. Sin embargo, sus efectos son controlados en gran medida por otros agentes también presentes en el sistema, y por las defensas que las mismas especies arbóreas han desarrollado en el tiempo. Como es natural, los árboles jóvenes y vigorosos son capaces de defenderse bien, mientras que los sobremaduros y estresados, son presa fácil para los patógenos.

Diferente es el caso en las especies introducidas para las cuales, después de algunos años, también se han introducido diferentes plagas, y con toda seguridad, se irán agregando otras. Lo que lamentablemente no resulta tan sencillo y “automático” es la introducción de agentes controladores naturales de dichas plagas. En el transcurso de estos últimos 30 años han llegado numerosas plagas para complicar la vida a las “especies estrella”, *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*. Ello ha significado considerables costos adicionales en el manejo de estas masas, y la aplicación (contaminación) de cientos de toneladas de pesticidas sobre los bosques y aguas, mermas en la rentabilidad y, si esta tendencia continúa, es probable que en un futuro cercano estas especies dejen de ser negocio para el dueño del bosque.

Ya en 1886, K. Gayer decía que las lecciones que nos dejan las catástrofes climáticas y plagas deben alertarnos para buscar otros caminos, y así evitar legar bosques catastróficos a nuestros descendientes.

La gestión bajo el concepto de biomasa es sinónimo de “mucho en volumen, deficiente en calidad, reducido en alternativas, bajo en precios de mercado y riesgoso”. El riesgo es para el dueño del bosque y el negocio para el industrial.

De seguro que también aquí con el tiempo se repetirá el caso de otros países, en los que por el motivo antes expuesto, las especies naturales irán recuperando su importancia en bosques y mercados; y quizás en 50 o 100 años más, los bosques estarán otra vez y, principalmente, formados por especies nativas de esta región. Es de esperar que, para entonces, el tan mal entendido mejoramiento genético (aún muy apoyado, practicado y difundido en la actividad forestal chilena), no haya empobrecido en demasía la rica base genética del bosque natural de los distintos ambientes de Chile.

Otras ventajas de las masas mixtas son los siguientes servicios ambientales y sociales que son capaces de ofrecer de manera más integral:

- Protección y recuperación del suelo y su fuerza productiva;
- Protección, mejoramiento y regulación del sistema hídrico;
- Protección de flora y fauna del lugar;
- Mayor belleza escénica para la recreación y el turismo.

El bosque no puede ni debe ser tratado con los mismos principios que se aplican a otros rubros de la economía, porque la naturaleza del bosque exige plazos largos y continuidad en la gestión. Lo que se establece ahora en el bosque va a madurar en 40, 50 o 60 años más. ¿Quién puede garantizar que el programa de gestión recomendable para el momento actual será reconocido por las futuras generaciones? (Gayer, 1886).

3.7.3.3 Silvicultura en bosques mixtos

La naturaleza es el mejor y más perfecto creador de masas y bosques mixtos. En estos modelos se asocian numerosas especies arbóreas, arbustivas y otras, las cuales durante miles de años se han adaptado para vivir en perfecta armonía. El hombre, al usar los bosques, los corta, o altera su composición y estructura, resintiéndose con ello la integridad de su funcionamiento. Sin embargo, cuando las alteraciones son menores, como cuando con fines comerciales se modifica la participación de las diferentes especies arbóreas (sin eliminar especies), aún los modelos pueden seguir funcionando bien. Pero cuando las alteraciones son drásticas, frecuentemente dejan de funcionar; en ese momento, por ejemplo, invaden el sotobosque especies indeseadas, los bosques pierden su estabilidad frente a catástrofes climáticas, dejan de regenerar, atacan plagas, entre otros fenómenos.

Cuando el silvicultor pretenda crear y desarrollar masas mixtas, por las ventajas que de ellas espera, se dará cuenta que ha abordado un tema en extremo complejo, el cual requerirá de mucha dedicación, experiencias, correcciones y paciencia para lograr resultados satisfactorios en su gestión.

En el presente capítulo se presenta, comenta y analiza elementos y principios sobre el funcionamiento de masas mixtas, que pueden ser de utilidad a silvicultores que incursionen en el tema.

3.7.3.3.1 Consideraciones básicas

En un bosque mixto en funcionamiento, con sus numerosas ventajas, el método de corta y regeneración no debe alterar el sistema. Ello excluye la tala rasa en superficies mayores como método de cosecha. Sería absolutamente contradictorio lograr una masa con un largo y tedioso trabajo creativo, hacerla funcionar y luego cortarla. En el bosque mixto, irregular, multietáneo, multiestratificado, no existe

edad de rotación, sólo existe una edad del árbol individual y/o de grupos de árboles, manejados como cubiertas permanentes.

Para lograr bosques mixtos, conservarlos y utilizarlos se requiere de un manejo orientado hacia el árbol individual (no a la masa). En el bosque mixto son varias las especies arbóreas que participan en el resultado comercial, y las especies secundarias también cumplen importantes funciones. Cada dueño de bosques no sólo tiene el derecho, sino la obligación, de mejorar los resultados de su empresa, pero de hecho, sólo dentro de los límites concientes de la sostenibilidad. Para este tipo de gestión es importante saber reconocer aquel límite y tener la voluntad de no sobrepasarlo.

- **Sitio**

El sitio es el alfa y omega de todas las consideraciones, y adquiere mayor importancia aún en masas y bosques mixtos. Según Dannecker (1993), la parte más importante del capital bosque es un suelo sano y productivo. Además, con una adecuada gestión silvícola, es prioritario adaptar la masa forestal al sitio.

La regeneración natural funciona especialmente bien cuando en el sotobosque existe una óptima protección del viento; los estratos intermedio e inferior dan una buena protección al suelo y a los fustes valiosos. Un equilibrado clima interno de bosque conlleva a una rica vida en el suelo y a una óptima descomposición de la hojarasca, lo que a su vez permite acelerar el ciclo de nutrientes. Según Leibundgut (1943), la continuidad de la productividad y sostenibilidad del sitio se logran mejor con masas mixtas.

- **Regeneración**

El uso de regeneración natural permite trabajar con procedencias y razas autóctonas.

Acortar el período regenerativo empobrece la asociación de especies, siendo una antigua experiencia que la regeneración del bosque es más segura mientras más lento sea el proceso. Para ello debe haber una adecuada receptividad de semillas en el suelo; es deber del silvicultor aprovechar de la mejor forma la regeneración natural y cada una de las ofertas de la naturaleza (Gayer, 1886). Cuando no se dan las condiciones para que el bosque se regenere naturalmente, cuando se debe establecer sobre superficies descubiertas, dentro de viejos bosques estériles, en suelos degradados y/o empastados, en general no hay otra alternativa que establecer artificialmente.

- **Establecimiento**

Con el método usual de plantación a campo abierto es poco probable obtener masas mixtas duraderas con participación de diferentes especies. Así, cuando se pretende que varias especies en conjunto

formen masas mixtas, habrá que analizar sus características biológicas (mayor o menor dinámica de crecimiento juvenil en altura en un sitio determinado, y sus requerimientos de luz, tolerancia a la sombra, y espacio para el desarrollo de la copa). Otros factores importantes son la ocurrencia de heladas y las diferencias de edad de madurez de las especies. Mientras más minuciosamente se analicen estas características en las especies a asociar, menores serán los problemas y mayores las probabilidades de éxito en la gestión.

Al contrario, cuando un establecimiento mixto se realiza sin un análisis adecuado de las especies, del sitio y de la modalidad de asociación, su futuro puede depender de un minucioso y costoso programa de intervenciones periódicas de “salvataje”. Dichas intervenciones son posibles en superficies menores, por lo menos durante la etapa juvenil de la masa. Pero al tratarse de superficies mayores, habría que intervenir muy drásticamente, y ahí surge la crítica de que en un comienzo se establece a altos costos y luego se corta sacrificando volumen.

En plantaciones mixtas a campo abierto es recomendable incluir especies de semisombra, que habrán de formar el estrato intermedio. Como excepciones a esta regla en el establecimiento de masas mixtas se citan:

- El caso de asociaciones a muy baja densidad (arboricultura);
- Al tratarse de masas pequeñas; y,
- En el caso de asociaciones temporales.

• Manejo

La masa mixta debe tener, en si misma, la fuerza y capacidad de mantenerse mixta, y en ese sentido ser establecida, manejada y utilizada; dicho en otras palabras, por su naturaleza debe darse a la masa la capacidad de protegerse de la pérdida de la mezcla. Si bien esto no significa eximir del todo al silvicultor de realizar alguna intervención reguladora a la mezcla, ésta resultará mucho menos determinante. Esta cualidad de una masa se puede lograr a través de la dis o heterotaneidad, y/o asociación por franjas o grupos.

Así como el individuo debe asociarse para sobrevivir, también una especie de menor vigor se agrupa para sobrevivir. Ya se comentó lo estériles que, a menudo, resultan los esfuerzos para salvar asociaciones establecidas sin considerar los principios básicos del funcionamiento de las masas mixtas. En muchos casos, en masas mixtas coetáneas mientras el programa de manejo contemple realizar el primer raleo al momento en que éste sea rentable (comercial), en la mayoría de los casos ya se ha perdido el momento más importante, y esas masas ya han dejado de ser mixtas (Gayer, 1886).

La desaparición de muchas especies arbóreas valiosas de los bosques se debe a la ignorancia de las relaciones biológicas y sociológicas dentro de la masa. Los fustes protegidos por el estrato intermedio producen maderas más finas. El estrato intermedio adelanta y mejora la poda natural y permite la formación de fustes rectos y lisos y proporciona libertad de acción al raleo por lo alto. Los raleos y cortas de liberación permiten el desarrollo de la copa a la especie comercial semitolerante y emergente del estrato intermedio. Sin embargo, en este contexto, Rittershofer (1997) sostiene que en sitios con insuficiente precipitación, frecuentemente no sobrevive un estrato intermedio.

En bosques abiertos de cubiertas irregulares pueden sobrevivir especies secundarias y una rica estructuración conserva el clima interno de la masa, tan necesario para la producción sostenida; sin embargo, la masa joven debe permanecer cerrada sobre todo en etapa juvenil, mientras se forman los fustes valiosos.

- **Cosecha**

En bosques mixtos de cubierta permanente, el programa y el método de corta deben ser adecuados a los objetivos. Todos los sectores aún no cosechables dan lugar al volteo. La cosecha individual en cubiertas permanentes requiere de una red de accesibilidad gruesa y fina, adaptada a la topografía y a la masa forestal, y personal de cosecha profesional capacitado.

Según el concepto de gestión silvícola Pro Silva, el volumen de biomasa no debe ser el objetivo, sino el mayor valor por la calidad fustal (dimensión y calidad de la madera) al momento de cosechar el árbol. Sin embargo, el mercado de la biomasa (astillas y leña) constituye una buena alternativa que permite financiar las primeras intervenciones en la gestión silvícola.

3.7.3.3.2 Ejemplos prácticos de silvicultura en masas mixtas en la región de clima templado lluvioso estacional

Esta descripción no pretende dar recetas sobre el establecimiento y manejo de masas mixtas, sino más bien mostrar y analizar modelos y experiencias prácticas en la región, con antecedentes sobre origen y modo del establecimiento, modalidad de asociación, manejo, cosecha, problemas suscitados, dinámica, objetivos, sitio, entre otros.

Los tipos forestales que se encuentran en esta región climática indican que por naturaleza estos bosques naturales son mixtos, todos con dos o más especies principales asociadas.

Las masas mixtas se pueden clasificar según los siguientes criterios:

- Las especies principales de importancia comercial consideradas en el manejo;
- Tengan uno, dos ó más estratos;
- Sean asociaciones permanentes o temporales;
- Su modalidad de asociación inicial, pie a pie o individual, por hileras, por franjas, grupos o por estratos.

Para comenzar con los ejemplos, se presenta y analiza el origen, desarrollo, utilización y regeneración de una masa mixta natural, para visualizar la complejidad de estos modelos comparados con masas puras. Se trata de una masa del tipo forestal roble-raulí-coihue, que en su juventud se conoce como renoval de roble y a mayor edad como un subtipo roble-laurel-lingue.

La regeneración inicial, en general, es de roble puro a campo abierto, alrededor de los árboles semilleros. La semilla del roble es diseminada por el viento y por tratarse de una nuez no cae lejos del árbol madre. Por su parte, la semilla del roble es capaz de germinar y desarrollarse como plántula en medio de densos pastizales. Esta formación nueva, hasta alcanzar una altura promedio de 50 cm., se conoce como *regeneración*. A continuación, y hasta alcanzar los 2 m de altura, se denomina *monte bravo*. Desde los 2 m y hasta que los robles dominantes alcanzan los 7 cm. de Dap, se conoce como formación *brinzal*.

Durante la etapa brinzal, y debido a la competencia y la sombra, desaparecen los pastos que cubrían el suelo, y aparecen las primeras plántulas de las especies arbóreas tolerantes a la sombra, lingue y olivillo, diseminados por las torcazas (*Columba araucana*), y el laurel por el viento. Además de estas, aparecen también otras especies como avellano, mañío de hojas largas, ulmo, y algunas mirtáceas.

En su etapa de *latizal* (la altura del roble es de 8 a 12 m y su edad aproximadamente 15 años), las plántulas de especies arbóreas tolerantes a la sombra que se establecen son numerosas y variadas. Al final de la etapa brinzal y durante su estado latizal (los robles dominantes presentan un Dap entre 7 y 20 cm.), es cuando se crean las bases para un estrato intermedio diversificado en la masa de roble. Cuando el renoval entra en su etapa *fustal* (estado de desarrollo en la cual los robles dominantes superan los 20 cm. de Dap) esta asociación estratificada de especies en general ya es perfecta (Figura 57). Esta asociación natural, para establecerse, desarrollarse y llegar a la madurez comercial de sus árboles, no necesita más ayuda del ser humano que la exclusión del ganado doméstico. Pero este ser humano, en un justo propósito de mejorar el resultado económico de su bosque, lo interviene para mejorar la calidad fustal de los árboles seleccionados y concentrar en un menor tiempo el crecimiento en estos fustes valiosos.

En relación con las intervenciones, se recomienda intervenir de preferencia en el estrato de roble, cuidando de conservar el estrato intermedio. En la primera intervención, en estado de latizal, se realiza un clareo (raleo no comercial) en que se eliminan los árboles lobo (selección negativa), que son aquellos más vigorosos pero de características indeseadas (ramas numerosas y gruesas, fustes curvos, etc.). Desde la etapa de fustal, se seleccionan los árboles de características deseadas (fuste recto, cilíndrico y largo, adecuada poda natural, copa vigorosa, sanos, etc.) mediante una selección positiva, y se liberan progresivamente, en el transcurso de periódicas cortas de liberación, de sus competidores principales.

Finalmente los robles se cortan por grupos, una vez que hayan alcanzado una madurez comercial de entre 55 y 70 cm. de Dap, y las arbóreas tolerantes y semitolerantes una vez que hayan alcanzado diámetros que permitan una adecuada comercialización. La ubicación de los claros dentro de la masa, debería decidirse de preferencia en puntos donde, por naturaleza, pareciera recomendable (ya existe un claro pequeño, o un grupo de robles maduros, etc.). Para lograr regeneración de roble en dichos claros, es necesario que éstos sean suficientemente grandes (diámetro no menor a la altura de un árbol adulto) y cortar además las tolerantes de esos claros (Figura 58). Además habrá que esperar, en lo posible, un año de buena semillación de roble para decidir esa intervención de formación de claros. La distancia entre claros es muy relativa, pero con tres o cuatro por hectárea podría dar buenos resultados. En los claros resultantes, debido a la entrada de luz, se producirán grupos de regeneración. Periódicamente (cada 6-8 años) se vuelve a intervenir para extraer principalmente árboles maduros, ubicados en las márgenes de los claros. Con ello éstos irán periódica y controladamente creciendo y la regeneración formará un cono que crecerá en superficie, reponiendo la masa productiva.

Para realizar una cosecha cuidadosa con la masa residual y con el sitio, es imprescindible contar con una adecuada red de accesibilidad gruesa (camino forestales) a una distancia no mayor de 300 m uno de otro; y fina (vías de saca) a una distancia no mayor a 30 m una de otra (dependiendo todo de la topografía del terreno, de la masa y del sistema de madereo). Además la cosecha debe ser realizada por personal calificado.

El modelo descrito permite cosechar, regenerar y manejar como cubierta irregular permanente una masa forestal natural, mixta y estratificada con todas sus características estructurales y ventajas. Este modelo silvicultural del roble también es válido, con las modificaciones pertinentes, para otros tipos forestales de la región.

Las siguientes asociaciones se presentan y comentan en forma esquemática.

Ejemplos de enriquecimiento de formaciones naturales

- *Claros en masas de roble en formación*

En masas de roble en formación siempre se presentan numerosos claros sin regeneración. En los bordes de dichos claros en general se desarrollan, por la mayor disponibilidad de luz, árboles lobo de reducido valor comercial. Para evitar este efecto, es recomendable complementar tempranamente dichos claros mediante plantación. Estos claros se pueden enriquecer con la misma especie, roble, o en su defecto puede resultar interesante con pino oregón, que se desarrolla bien en claros, y se aviene con el roble (Figura 59). La calidad fustal del pino oregón creciendo entre robles es muy buena, presenta crecimiento y desarrollo parecidos al roble. En claros pequeños (5 a 10 m de diámetro) es conveniente enriquecer con un grupo de plántulas en el centro del claro, separadas 2 a 3 m entre ellas. El objetivo de esta asociación es producir algún volumen complementario de esta conífera dentro de masas de roble (Figura 60).

Consideraciones sobre el uso de especies introducidas

De acuerdo a los principios y recomendaciones de Pro Silva Europa, para incorporar especies exóticas se debe considerar los siguientes aspectos:

- No debe ser tan agresiva en su regeneración y comportamiento competitivo como para desplazar especies arbóreas autóctonas e impedir otras formas de vegetación;
- Debe estar adaptada al clima y suelos de la región. No debe empeorar los suelos. Su hojarasca debe degradarse fácilmente. La incorporación y mineralización debe ser realizada por animales, microorganismos y hongos de especies autóctonas;
- No debe diseminar enfermedades o contribuir a la inestabilidad de ecosistemas;
- No debe estar amenazada, por sobre lo normal, por riesgos bióticos y abióticos;
- Debería ser integrada a la vegetación nativa en forma modesta. Por ello debe mezclarse con la flora y fauna autóctona sin excluirlas;
- Debería ser capaz de regenerar naturalmente, junto a las especies autóctonas.

- *Claros en formaciones jóvenes de ulmo*

También existen experiencias que hacen recomendable enriquecer claros en renovales de ulmo con plántulas de pino oregón. Esta conífera cierra antes la masa y obliga al ulmo a desarrollar fustes de calidad; permite un mejor uso del sitio y una segunda alternativa de mercado.

- *Claros en formaciones pioneras*

Enriquecer formaciones pioneras nativas de radial, notro, y/o maqui, en claros con especies intolerantes o semitolerantes a la sombra. Para este enriquecimiento pueden considerarse especies

intolerantes como roble o raulí, o las introducidas encino o castaño, o semitolerantes como el pino oregón (Figura 61), o aramo australiano (blackwood) (Figura 62). Basado en la experiencia se recomienda densidades de 400 a 600 arb/ha. Las especies introducidas en estas formaciones se desarrollan muy bien, por cuanto las pioneras ya les han preparado el sitio. Además estas especies enriquecidas irán creando las condiciones y el dosel para fomentar el establecimiento de tolerantes naturales, que formarán el estrato intermedio de la masa (Figura 63).

- *Aprovechar la regeneración natural autóctona que se establece dentro de masas artificiales*

a) Regeneración de lingue, laurel, y olivillo, bajo masas de pino radiata

En esta región climática es frecuente observar en plantaciones de pino radiata, aproximadamente a partir del año 15, numerosa regeneración de lingue, laurel, olivillo y otras (Figura 64), siempre y cuando no sea destruida periódicamente durante las intervenciones. Puede resultar una alternativa silvicultural interesante el fomento del desarrollo de esta regeneración como estrato intermedio de una futura masa forestal. Con una adecuada red de vías de saca y personal capacitado habrá que cosechar el pino radiata mediante cortas periódicas de los árboles que hayan alcanzado el diámetro objetivo. Después de una primera corta de pinos maduros (por ejemplo DAP objetivo 45 cm., alrededor del año 20), habrá que establecer las especies que han de formar el estrato superior de la futura masa. En esas condiciones se han probado con éxito las especies roble y pino oregón (Figura 65), que se desarrollan bien y con buena forma en esas condiciones. Al caer los últimos pinos, en la tercera o cuarta corta, los robles y oregones más tolerantes ya han constituido una masa forestal biestratificada.

b) Regeneración de lingue y otras bajo plantación de eucalipto

También, bajo una plantación de eucalipto se observa una numerosa regeneración de lingue y otras, con las cuales se puede proceder de igual forma que en a). Toda regeneración de especies naturales tiene un gran valor, además porque se trata de razas y procedencias del lugar.

- *Establecimientos coetáneos mixtos sobre campo abierto*

A diferencia de los ejemplos anteriores, en silvicultura (masas densas), se presentan a menudo serias dificultades en el desarrollo de masas establecidas de manera mixta y coetánea sobre superficies abiertas, debido a la dinámica diferente de desarrollo juvenil de las especies participantes. A menudo, cuando se ha elegido una modalidad de asociación pie a pie, o por hileras distanciadas a no más de 2,5 m, antes del primer raleo comercial todo se ha transformado en una masa pura con algunos ejemplares suprimidos de la especie menos vigorosa en la juventud. Para evitar la pérdida de especies asociadas, habrá que analizar detenidamente el sitio y, con base en experiencias

similares, la dinámica juvenil del crecimiento en altura de las diferentes especies en dicho sitio. En este sentido también cabe mencionar que, generalmente, el crecimiento en altura en sitios de laderas frescas, húmedas y sombrías es considerablemente mayor al que se logra en laderas soleadas, secas y calurosas, y puede además cambiar radicalmente la relación de crecimiento entre las especies.

Elección adecuada de densidad, espaciamiento y modalidad de asociación

Resulta recomendable elegir entre asociaciones por grupos o franjas, que son las más seguras, o hileras. Los resultados de las asociaciones pie a pie son extremadamente inciertos y, en general, sólo resultan con “drásticas intervenciones de salvataje” y sacrificio de volúmenes.

La asociación por grupos es la más segura, aunque al aumentar el tamaño de los grupos se pierde parte de las ventajas de las masas mixtas. Con relación a la elección de especies para la asociación, y con el fin de lograr un máximo de ventajas, Burschel y Huss (1997) dicen que se logra un máximo de estabilidad cuando las especies se complementan en sentido ecológico. Los pares complementarios por ejemplo son: coníferas con latifoliadas, especies de raíces pivotantes con otras de raíces superficiales, especies tolerantes a la sombra con intolerantes, y otras.

A continuación se presenta diferentes casos de asociación por franjas e hileras, en las cuales se obtuvieron resultados satisfactorios.

- *Eucalipto y roble/pino oregón o raulí/pino oregón, asociados en franjas*

Con el fin de disponer en una misma masa de una especie como el eucalipto con retornos más acelerados y otra(s) especie(s) bastante más lenta(s) en su desarrollo, se recomienda una asociación con 3 hileras de eucalipto alternadas con 3 o 4 hileras de pino oregón puro (Figura 66) o pino oregón asociado a roble o raulí. Esta asociación no se puede recomendar alternando hileras, por cuanto al voltear el eucalipto se dañaría(n) considerablemente la(s) otra(s) especie(s). Para evitar daños, el eucalipto se voltear sobre la franja de eucalipto. El espaciamiento puede ser de 3,4 m entre hileras y 1,8 m sobre hileras (cada tres hileras conforman una franja). El espaciamiento de 3,4 m entre hileras (entre especies) es un espacio buffer que protege en numerosos modelos de asociación, en la juventud, una especie de menor velocidad de crecimiento en altura de otra más rápida.

- *Asociando por hileras alternadas el roble o raulí con pino oregón*

Se obtienen buenos resultados con un espaciamiento de 3,4 m entre hileras y 1,8 m sobre la hilera. Esto da una densidad aproximada de 1.600 arb/ha. En esta asociación se logra una buena sinergia que mejora las calidades fustales de ambas especies (Figuras 67 y 68).

- *Alternando hileras de pino oregón con hileras de blackwood*

Esta asociación también puede realizarse por hileras alternadas de estas dos especies y espaciamiento igual al anterior. Con esta asociación también se logra mejorar las calidades fustales de ambas especies (Figura 69). Sin embargo, al incorporar el blackwood asaltan algunas dudas respecto de su regeneración invasiva (recomendación Pro Silva mencionada anteriormente).

- *También se puede asociar hilera por medio pino radiata con el blackwood*

Espaciamiento y densidad igual al modelo anterior (Figura 70).

- *Asociación de encino con castaño*

De preferencia esta asociación se debería establecer en sitios frescos (Figura 71). Espaciamiento de 3,4 m entre hileras y 1,8 m sobre la hilera y densidad de 1.600 arb/ha. Una vez cerradas las copas, es recomendable incorporar entre hileras alguna(s) especie(s) tolerante(s), unos 500 arb/ha (de preferencia laurel, tepa u olivillo). Estas siempreverdes formarán el estrato intermedio, que mantendrá los fustes de encino y castaño libres de brotes epicórmicos (producción de madera libre de nudos), y no competirán por el espacio de desarrollo de copa con las dos especies principales.

Estos ejemplos no pretenden ser “recetas”, sino que deben considerarse como ejemplos que funcionan y, bajo las reservas necesarias, pueden ser recomendados por las ventajas que presentan. Al igual que en toda masa forestal comercial hay que establecer programas de manejo (podas y raleos) para regular la mezcla, mejorar la calidad fustal y concentrar el volumen en los árboles seleccionados.

3.7.3.4 Consideraciones finales

En un mundo globalizado, en que la sociedad moderna se siente cada vez más llamada a hacer valer sus derechos por un ambiente más saludable (certificación), también a los silvicultores corresponderá actualizar sus conocimientos y técnicas. Esto significará buscar nuevos caminos, con bosques más diversificados, más estables y sanos, en que la protección de la vida, en el más amplio sentido, sea uno de los objetivos centrales.

La silvicultura en masas y bosques mixtos constituye una manera real y práctica, mediante la cual el silvicultor se puede proyectar hacia un futuro más exigente con los recursos y el ambiente. Para contribuir en este aspecto, y por el hecho que dicha silvicultura constituye un tema en sí complejo, aún poco conocido y poco difundido en Chile, se procedió a revisar, analizar y publicar experiencias foráneas y locales, que pretenden ser una herramienta para la gestión silvícola local.

Estudio de caso: plantaciones mixtas de varias especies, coníferas y latifoliadas, nativas y exóticas, para producir madera de alto valor con un sistema extensivo de silvicultura con apego a los procesos naturales en terrenos forestales previamente explotados en la minería, X región, Chile.

Factores determinantes:

- El sitio: el clima es templado lluvioso, con más de 2.000 mm de precipitación anual y con una temperatura media de 12°C, con una mínima de -3°C y una máxima de 33°C, y unos veinte días de heladas al año. El 90% del predio se encuentra a menos de 500 msnm. Los suelos son de origen volcánico (trumao), profundos, sobre roca metamórfica, de color pardo oscuro a pardo rojizo, de alta porosidad, livianos, de buen drenaje y alta infiltración; ricos en materia orgánica y moderado contenido de nutrientes. La topografía se caracteriza por laderas onduladas y de pendiente media, en distintas exposiciones, soleadas (N, NE y NW) o sombrías (S, SE y SW).
- La empresa/propietario: **mano de obra no siempre disponible**; animales (bueyes) disponibles tanto para la preparación del suelo como para los cuidados culturales; **personal competente más para la plantación que para los cuidados culturales**; la plantación se inserta dentro de la programación normal de la empresa.
- Características socioeconómicas y técnicas: posibilidad de obtener financiamiento para la plantación y para el manejo, y de asistencia técnica especializada.

Objetivos del propietario: producción de madera de alto valor de cada una de las especies consideradas (troncos de largo mínimo de 6 m y diámetro mayor a 40 cm.), para foliado, debolinado y madera aserrada para muebles.

Exigencias específicas del propietario: **los productos derivados del raleo (metro ruma y leña) pueden venderse en el mercado nacional.**

Tipo de plantación: plantaciones mixtas de especies principales como pino oregón, aramo australiano o blackwood, sequoia y thuja y una especie secundaria como eucalipto, pino radiata, roble, coigüe y otras.

Disposición de la plantación: en hileras o franjas.

Distanciamiento: 1,8 x 3,4 m (Figuras 72 y 73).

Especies Principales: principalmente pino oregón, aramo australiano.

Consideraciones: estas plantaciones son manejadas extensivamente, no consideran riego ni tutores. El control de malezas se realiza sólo al momento de la plantación. El manejo se realiza en forma gradual y comienza alrededor de los 6-8 años, dependiendo de la evolución de las especies, y se realiza sólo a los individuos de mejores características, denominados “árboles futuro o M”. El manejo aplicado a estas plantaciones considera la utilización de elementos de la naturaleza para potenciar el desarrollo de las especies, favoreciendo su altura y dominancia. Las especies secundarias reducen el tamaño y cantidad de ramas de las especies principales, haciendo menos intensas y periódicas las podas. Comúnmente se favorece el desarrollo del dosel inferior compuesto por regeneración de especies nativas comercialmente interesantes, en particular especies tolerantes y semitolerantes.

3.7.4 Agroforestería y Plantaciones Mixtas

La **Agroforestería silvoarable**, denominada así por la escuela francesa, corresponde a la asociación de árboles plantados a baja densidad, de producción a mediano-largo plazo, asociados a cultivos agrícolas anuales. También se define como un sistema que asocia la agricultura con la silvicultura.

Frente a la expectativa que produce la evolución de la Política Agraria Comunitaria (PAC), los agricultores han estudiado diferentes alternativas, tanto para diversificar su producción como para practicar una agricultura rentable (Liagre, 2003). En Europa, existen alrededor de 600.000 hectáreas manejadas bajo sistemas agroforestales; en general se trata de cereales de invierno asociados a encinos, olivos y árboles frutales, o de cultivos de verano (maíz y soya) asociados a álamo o nogal en las zonas templadas (Anónimo, 2002). Cabe señalar que en otros países el crecimiento de este sistema ha sido exponencial, como por ejemplo en China, donde hay más de 3.000.000 de hectáreas de *Paulownia* asociada a trigo.

El campo agrícola moderno, a menudo es un desierto ecológico, lo que lo hace vulnerable al ataque de parásitos y plagas, por lo que es necesario estimularlo con fertilizaciones y protegerlo con pesticidas, los que después se encuentran en el suelo y en el agua. Históricamente, la intensificación y la mecanización de la agricultura han hecho desaparecer los árboles, derivado de lo cual en una parcela agroforestal, árboles y cultivos agrícolas se mezclan en forma voluntaria.

Los árboles tienen la ventaja de introducir una serie de insectos acompañantes, algunos de los cuales se alimentan de los parásitos que destruyen los cultivos, lo que permite reducir el aporte de pesticidas. Por ejemplo el *Sorbus sp.* hospita ácaros que matan algunos de los ácaros más nefastos para las viñas, las arañas amarillas y rojas. Para los agricultores, los árboles representan un ingreso suplementario, destinándolos a la producción de madera de calidad, *Sorbus sp.*, nogales, cerezos, que reemplazan en la ebanistería e industria del mueble a las maderas tropicales (Anónimo, 2003b; Anónimo, 2003c; Anónimo, 2003d).

En los últimos años, en Europa, ha aumentado el interés por este tema, que se concretó con el desarrollo de un proyecto europeo denominado SAFE (Silvoarable Agroforestry for Europe), recientemente terminado, basado en que los sistemas productivos silvoarables son muy eficientes en términos de los recursos empleados y, a la vez, que permiten establecer sistemas productivos agrícolas innovativos, amigables con el ambiente y económicamente rentables.

El cultivo de árboles de alto valor asociados voluntariamente con cultivos agrícolas puede mejorar la sustentabilidad de los sistemas agrícolas, diversificar los ingresos, proporcionar nuevos productos para la industria de la madera y crear atractivos paisajes (Anónimo, 2004).

El proyecto SAFE, que agrupó nueve instituciones de siete países europeos (España, Francia, Italia, Holanda, Inglaterra, Suiza y Grecia), se abocó a reducir la incertidumbre relacionada con la validez de los sistemas silvoarables, comparando antecedentes de los sistemas agroforestales tradicionales con otros recientemente desarrollados; a extrapolar los resultados obtenidos en parcelas experimentales; y propuso implementar la agroforestería en el contexto de la política europea, elaborándose una categoría especial de “estatus agroforestal” para los países en que los impuestos o subsidios son otorgados con base en el uso de la tierra. Para lograr lo anterior se desarrollaron herramientas económicas y sociales para informar a los agricultores y legisladores sobre el potencial de la agroforestería moderna, contribuyendo a un desarrollo sustentable de las zonas rurales europeas.

Los argumentos económicos son tales que han interesado a los agricultores. Este tipo de asociación es rentable, pues los árboles crecen más rápido en presencia de cultivos, y producen madera libre de defectos que es demandada para el foliado y aserrado. El rendimiento de los cultivos intercalados permanece estable por 10 a 15 años en un 90% de la parcela y, a continuación decrece lentamente. Por esto representa una alternativa para los agricultores, permitiéndoles diversificar su producción, y proporciona madera de calidad a la industria maderera (Patriarca, 2004).

La investigación ha mostrado que ciertas asociaciones de árboles y cultivos son productivas, rentables, compatibles con la mecanización agrícola y presentan ventajas ambientales significativas (Anónimo, 2003f). Las ventajas principales de este sistema, en comparación con los cultivos agrícolas tradicionales, corresponden a (Anónimo, 2002; Anónimo, 2003a; Anónimo, 2003g):

- Diversificación de la producción e inversión de largo plazo (patrimonio de árboles de alto valor), sin interrumpir el ingreso anual de los cultivos agrícolas. La producción agrícola se reduce menos de un 5%, pues la competencia entre ambos cultivos no reduce la eficiencia del sistema.

- Rol protector de los árboles para los cultivos intercalados o para los animales, tanto de los factores climáticos (sol, lluvia y viento), como de conservación del suelo, favoreciendo su fijación y estimulando la microfauna y microflora.
- Estimulación de la biodiversidad creada por los árboles y el grupo de especies acompañantes, que impacta positivamente la fauna silvestre, la que se beneficia del refugio proporcionado.
- Los árboles limitan el riesgo de contaminación por lixiviación de fertilizantes, especialmente los nitratos que alcanzan las napas freáticas, que gracias a las raíces profundas de los árboles son extraídos al bombear el agua cargada de nitrógeno; se reduce la erosión, se enriquece el suelo en materia orgánica; y se reduce la aplicación de productos químicos.
- Posibilidad de conciliar el interés del propietario de la madera y del agricultor (propietario de los cultivos) que puede tener acceso a las superficies cultivadas, en caso de que los propietarios de ambos recursos sean diferentes. Esta opción es empleada en varios países europeos y se basa en un contrato notarial que define las particularidades de la asociación y se fijan penalidades por faltas en el desempeño de ambas partes (por ejemplo, si el agricultor daña un árbol, se establece el costo de dicha acción).
- Alternativa a la forestación total de tierras agrícolas, manteniendo una actividad productiva en los terrenos agrícolas, por lo que se conservan sus potencialidades agrícolas. El cultivo de árboles es reversible, y las tierras se mantienen limpias. De hecho la parcela agroforestal, aun considerando una densidad de 200 arb/ha, conserva su especialización agrícola (Liagre, 2003).
- En el ámbito forestal, el mayor distanciamiento entre los árboles permite un crecimiento más rápido y regular (diámetro, calidad de la madera), los cultivos intercalados aportan al cuidado de la plantación y a la prevención de incendios en zonas de riesgo. Además, las especies de alto valor usadas (alisos, cerezo, nogal, paulonia, tulipero, arce, peral, *Sorbus sp.*, etc.), no compiten con la producción forestal tradicional, pues ofrecen madera de calidad en cantidades limitadas, sustituyendo la importación de maderas tropicales. Por otra parte, los árboles están en una situación de “crecimiento libre”, sin competencia (Anónimo, 2003f).
- En términos ambientales, representa un mejoramiento y valoración de los recursos naturales.
- Creación de paisajes de parques arbóreos abiertos, atractivos.

En la práctica, las especies de alto valor se plantan en hileras en medio de campos cultivados, separados en 15 a 40 m para no interferir con la maquinaria. Se seleccionan para no competir con los cultivos, los que pueden ser espárragos (Figura 74), viñas, raps (Figura 75), lavanda (Figura 76), trigo, maíz u otros cereales (Figura 77). El nogal combina bien con los cultivos de invierno, pues brota en forma tardía; el *Sorbus domestica* proporciona una sombra sutil conveniente para los cultivos de verano (Anónimo, 2003b).

Según cálculos del INRA, la agroforestería aumenta la productividad de los terrenos agrícolas, ya que plantando en forma progresiva 10 al 20% de la superficie del predio, un agricultor establece un capital de gran valor, con una disminución mínima de su producción de cereales, de menos del 5% para el total del período. La formación de este capital mejorará su jubilación o facilitará la venta de su propiedad. Con densidades bajas (50 a 200 arb/ha) el agricultor conserva una superficie importante en producción agrícola, aun cuando los árboles se cosechan a los 40-50 años, momento en que la mitad de la superficie aun es cultivada. En todo caso, según la fertilidad de la parcela y las especies arbóreas, la cosecha final se puede realizar entre los 15 y 50 años.

La asociación árboles-cultivos puede ser muy eficiente, ya que una hectárea agroforestal produce el equivalente de 1,3 hectáreas cultivadas en forma separada, es decir, produce un 30% más (Anónimo, 2003e). Esta mayor productividad se explica por la complementariedad de las necesidades de los árboles y cultivos (Hébrard, 2003), los que no se ven afectados negativamente por los árboles espaciados. También se pueden mencionar el cultivo de árboles frutales con copa alta para producir madera y fruta en forma simultánea.

Entre las dificultades que hay que sortear para difundir esta modalidad está la tarea de convencer a agricultores que por siglos han eliminado árboles y bosquetes, y mecanizado muchas de las operaciones.

La literatura agroforestal menciona algunos logros técnicos, del interés de este libro. Entre ellos se mencionan árboles (paulonia, abeto chino, castaño) asociados a té, árboles frutales, bambusáceas y cultivos agrícolas. Resultados relevantes indican que el manzano y las vides se asocian bien, pero el durazno no. Se determinó que la paulownia es una excelente especie para utilizar en sistemas agroforestales por la estructura abierta de su copa (Mantang, 1995).

Otros autores describen el sistema agroforestal de aliso asociado a arroz; el aliso fija nitrógeno, y su hojarasca y raíces contienen abundante NPK y protegen al cultivo, a lo que se suma la atracción de aves benéficas que disminuyen la tasa de incidencia de plagas y enfermedades (Jihne et al., 1995).

Clark y Hutchinson (1973) consideran a las plantaciones mixtas y los sistemas agroforestales como alternativas de corta rotación, que presentan ventajas con respecto a las plantaciones tradicionales; indican espaciamientos de 2,7 x 7,3 a 5,5 x 11 m con densidades fluctuantes entre 150 y 500 arb/ha.

3.8 RECOMENDACIONES PARA LA DEFINICIÓN DE UN MODELO DE PLANTACIÓN MIXTA

Se recomienda que el diseño de una plantación mixta obedezca a una serie de parámetros que deben evaluarse cuidadosamente para tener éxito, los que corresponden a:

1. El sitio: el sitio debe evaluarse cuidadosamente, incluyendo aspectos climáticos, edáficos (suelos), topográficos, y de cultivos, entre los que destacan los últimos cultivos realizados.
2. Las especies: es necesario evaluar varias especies “candidatas”, económicamente interesantes, y verificar su aptitud al sitio. Al respecto, se recomienda realizar un análisis del micrositio para reducir la probabilidad de fracaso.
3. El capital disponible: este factor define básicamente dos aspectos, la inversión inicial posible de realizar y el tipo de manejo que se podrá ejecutar durante la rotación. En este sentido, si el capital disponible es bajo, será necesario implementar un diseño que permita minimizar las intervenciones durante la rotación, reduciendo las podas, limpiezas y fertilizaciones, y que generalmente implicará una rotación de mayor duración; por el contrario, si se dispone de un capital elevado, podrán incorporarse en el diseño elementos que intensifiquen el manejo, reduciendo la rotación.
4. La economía nacional e internacional: cada plantación debe diseñarse en función a un producto final deseado porque se prevé tendrá una demanda interesante a futuro. Al respecto se recomienda identificar muy bien cuál(es) es (son) el(los) producto(s) objetivo de la plantación, y los estándares de calidad que exige el mercado respectivo, para, en función a ello, definir un diseño que permita su obtención.
5. La economía local: las características de la economía local pueden ser importantes en la definición de las especies secundarias a incluir en el diseño. Por ejemplo, si se trata de una zona turística, podrían privilegiarse especies melíferas (por la venta de miel), o que produzcan un fruto atractivo para las aves (por la observación), o que permitan alimentar animales de caza, entre otras muchas posibilidades.

6. Los objetivos y capacidad de gestión del propietario: tanto sus objetivos como su capacidad de gestión, entendida ésta como la capacidad de ejecución a nivel operativo, son relevantes para definir el diseño a emplear. Por ejemplo, un propietario con los objetivos claros, con capital elevado y una capacidad de gestión limitada difícilmente tendrá éxito en una plantación que requiere un manejo intensivo. Generalmente puede afirmarse que los propietarios o inversionistas que no viven cerca del lugar de plantación poseen una capacidad de gestión limitada, aun cuando cuenten con personal permanente en el predio.

La capacidad de síntesis y de interpretación de los factores señalados define la habilidad del profesional que realiza el diseño, y éste a su vez define el grado de éxito que tendrá una plantación. En general los diseños resultan mejor cuando son muy discutidos con el propietario y encargado de la plantación.

Para elaborar un proyecto acorde con las características de la empresa y del propietario, en función de sus características, objetivos y exigencias, resulta útil obtener y procesar información referente a (Buresti y Mori, 2003):

I. Respecto al propietario:

- Su competencia en el cultivo de plantaciones especializadas de arboricultura para madera de calidad;
- Sus objetivos a nivel de empresa o propiedad;
- La cuantificación de sus objetivos productivos: debe definirse una rotación y uno o más objetivos técnicamente factibles;
- Exigencias específicas: muchas veces el propietario desea establecer una determinada especie, o por el contrario, presenta aversión por otra. También puede manifestar preferencias por productos secundarios, como por ejemplo la leña, si la usa dentro de la empresa. Si se interesa en la producción de miel, solicitará que se incorporen especies melíferas, y así sucesivamente;
- Tipo de plantación preferido: esto es importante porque si está satisfecho con su plantación pondrá mayor atención a su gestión;
- Financiamiento de la plantación.

II. Respecto a la empresa y sitio:

- Características particulares del sitio que no son observables fácilmente, como el viento, problemas para la preparación del terreno, y otras;
- Administración de la empresa: resulta importante calibrar el diseño de la plantación respecto a la gestión que involucra la plantación;

- Capacitación del personal involucrado en la ejecución y posterior manejo de la plantación: es importante para evaluar el grado de especialización de la mano de obra. Obreros de empresas que manejan álamo tendrían mayores competencias que los que se han dedicado a la producción de cereales. Si no se dispone de mano de obra especializada en podas, será aconsejable efectuar una plantación mixta en la que el efecto de las especies secundarias permita limitar y simplificar esa operación;
- Tipo de asistencia técnica: según la disponibilidad de asistencia técnica especializada se podrá implementar diseños que requieren conocimientos más especializados para su manejo;
- Disponibilidad de maquinaria: importa para determinar la distancia entre hileras, para prever cuáles labores se efectuarán en forma mecanizada con equipos propios, o si se subcontratará;
- Planificación empresarial: es fundamental considerar la organización de la empresa, y cómo la plantación se inserta en este contexto.

A modo de referencia se enumeran algunas conclusiones relacionadas con los aspectos que se debe considerar para definir un diseño:

- Los bosques con varias especies son menos vulnerables a ataques de plagas y enfermedades y, generalmente, se necesitan menos intervenciones que en las plantaciones puras. Por ello se considera poco aconsejable la ejecución de plantaciones puras y monoclonales en grandes superficies (más de 2-3 hectáreas).
- La presencia de varias especies arbóreas en los ecosistemas forestales es común en la naturaleza. Estos modelos naturales pueden ser reproducidos con éxito en plantaciones artificiales para la producción de madera de calidad, incrementando la calidad y cantidad por medio de la asociación de especies.
- Se ha confirmado la fragilidad de las plantaciones puras, verificándose la oportunidad de usar plantaciones mixtas con objetivo productivo.
- La asociación de coníferas y latifoliadas proporciona mayor flexibilidad económica, diversidad biológica y beneficios estéticos, en comparación con las plantaciones tradicionales de una sola especie.
- La combinación de especies latifoliadas nobles con otras especies arbóreas, arbustivas y/o herbáceas representa un sistema de uso del suelo favorable en muchas situaciones.

- La incorporación de especies rústicas de rápido crecimiento en plantaciones mixtas con diseño pie a pie, en hileras o en grupos, mejora el crecimiento de las especies principales en un 40-50% con respecto a la situación pura de la especie principal.
- El impacto de las asociaciones sobre el crecimiento es positivo y de una magnitud interesante, con aumentos significativos del diámetro y altura respecto a la situación pura, aunque dicho impacto varía según la asociación específica utilizada.
- Es importante considerar las características del sistema radicular de las especies que se asociarán.

A continuación se presenta ejemplos de módulos de plantación italianos (Buresti y Mori, 2003) considerando los elementos descritos anteriormente, con el objetivo de comprender el procedimiento lógico que se debe efectuar, que no constituyen recetas a aplicar en forma repetitiva. Recuerde que la elaboración de un diseño particular para una situación específica es el principio básico para tener éxito en la inversión, por lo que merece la pena dedicarle tiempo y los recursos necesarios. Los factores diferenciadores de mayor importancia se presentan en letras más oscuras.

Caso 1: Plantación mixta con especies secundarias y paracaídas

Factores determinantes:

- El sitio: clima fresco; temperatura media mínima del mes más frío entre 0 y 6°C, temperatura media anual de 11°C. Precipitación media 900 mm, promedio de precipitaciones en verano 135 mm. Suelo de pH neutro a ácido; limoso arenoso, de más de 3 m de profundidad; 280 msnm. Raras heladas tardías; geomorfología de fondo de valle. **Napa freática a 0,8-1,2 m, con posibles inundaciones por períodos breves;** especies indicadoras *Quercus robur*, *Populus nigra*, *Alnus glutinosa*, *Corylus avellana*, *Euonymus europeus*; ausencia de daños significativos de fauna; no hay evidencia de patologías en las especies arbóreas y arbustivas presentes; poco ventoso, sobretodo en verano.
- La empresa/propietario: **mano de obra no siempre disponible;** maquinaria disponible tanto para la preparación del suelo como para los cuidados culturales; **personal competente más para la plantación que para los cuidados culturales;** la plantación se insertará dentro de la programación normal de la empresa.

- Características socioeconómicas y técnicas: posibilidad de obtener financiamiento para la plantación y para el manejo durante los primeros cinco años; posibilidad de contar con asistencia técnica especializada; las dos especies principales son comercializables a nivel local o superior.

Objetivos del propietario: producción de madera de alto valor (troncos de 2,5-4,5 m de largo y 30-40 cm. de diámetro), para foliado, debobinado y madera aserrada para muebles.

Exigencias específicas del propietario: **la producción de leña puede usarse en la empresa.**

Tipo de plantación: plantación mixta con especies secundarias y paracaídas.

Disposición de la plantación: rectangular (Figura 78).

Distanciamiento: 5 x 2,5 m.

Especies Principales: nogal común, disposición cuadrada, distanciamiento a 10 m; Álamo (I 214), disposición cuadrada, distanciamiento a 10 m.

Especies Secundarias: farnia, disposición cuadrada, distanciamiento a 10 m; Aliso negro, disposición cuadrada, distanciamiento a 10 m; Avellano europeo, disposición cuadrada, distanciamiento a 5 m.

Consideraciones: con la napa freática relativamente alta y la posibilidad de inundaciones, la farnia tiene un rol de “secundaria paracaída” (es decir sustituto potencial en caso de problemas del nogal). Avellano y aliso después de los primeros tres años van a influir en la estructura arquitectónica de las especies principales, y además proporcionarán leña como producto complementario.

Caso 2: Plantación mixta con especies secundarias y paracaídas

Factores determinantes:

- El sitio: clima fresco; temperatura media mínima del mes más frío entre 0 y 6°C, media anual de 11°C. Precipitación media 900 mm, promedio de precipitaciones en verano 135 mm. Suelo de pH neutro a ácido; limoso arenoso, de más de 3 m de profundidad; 280 msnm. Raras heladas tardías; geomorfología de fondo de valle. **Napa freática a 0,8-1,2 m, con posibles inundaciones por períodos breves**; Especies indicadoras *Quercus robur*, *Populus nigra*, *Alnus glutinosa*, *Corylus avellana*, *Euonymus europaeus*; ausencia de daños significativos de fauna; no hay evidencia de patologías en las especies arbóreas y arbustivas presentes; poco ventoso, sobretodo en verano.

- La empresa/propietario: **mano de obra no siempre disponible;** maquinaria disponible tanto para la preparación del suelo como para los cuidados culturales; **personal competente para la plantación y para los cuidados culturales, pero no para la poda;** la plantación se insertará dentro de la programación normal de la empresa.
- Características socioeconómicas y técnicas: posibilidad de obtener financiamiento para la plantación y para el manejo durante los primeros cinco años; posibilidad de contar con asistencia técnica especializada; las dos especies principales son comercializables a nivel local o superior.

Objetivos del propietario: producción de madera de alto valor (troncos de 2,5-4,5 m de largo y 30-40 cm. de diámetro), para foliado, debobinado y madera aserrada para muebles. Desea producir más álamo para debobinar que nogal para foliar.

Exigencias específicas del propietario: **la producción de leña puede usarse en la empresa.**

Tipo de plantación: plantación mixta con especies secundarias y paracaídas.

Disposición de la plantación: rectangular (Figura 79).

Distanciamiento: 5 x 1,75 m.

Especies Principales: nogal común, disposición rectangular, distanciamiento a 10 x 14 m; álamo (I 214), disposición rectangular, distanciamiento a 5 x 14 m.

Especies Secundarias: farnia, disposición rectangular, distanciamiento a 10 x 14 m; Aliso negro, disposición rectangular, distanciamiento a 5 x 7 m; Avellano europeo, disposición rectangular, distanciamiento a 5 x 3,5 m.

Consideraciones: con la napa freática relativamente alta y la posibilidad de inundaciones, la farnia tiene un rol de “secundaria paracaída”. La poca distancia entre el avellano y las especies principales facilitará la poda desde el principio. Luego el aliso negro influirá sobre las especies principales.

Caso 3: Plantación pura con especies secundarias

Factores determinantes:

- El sitio: clima fresco; temperatura media mínima del mes más frío entre 0 y 4°C, media anual de 10°C. Precipitación media 1.000 mm, promedio de precipitaciones en verano 135 mm. Suelo de pH

neutro a ácido; limoso arenoso, de más de 3 m de profundidad. 280 msnm. Raras heladas tardías; geomorfología de fondo de valle. **Napa freática a 1,5-2 m, con posibles inundaciones por períodos breves;** Especies indicadoras *Quercus robur*, *Populus nigra*, *Alnus glutinosa*, *Corylus avellana*, *Sambucus nigra*; ausencia de daños significativos de fauna; no hay evidencia de patologías en las especies arbóreas y arbustivas presentes; poco ventoso, sobretodo en verano.

- La empresa/propietario: **mano de obra disponible, según las necesidades, sólo en los primeros años;** maquinaria disponible tanto para la preparación del suelo como para los cuidados culturales; personal competente para la plantación y para los cuidados culturales; la plantación se insertará dentro de la programación normal de la empresa.
- Características socioeconómicas y técnicas: posibilidad de obtener financiamiento para la plantación y para el manejo durante los primeros cinco años; posibilidad de contar con asistencia técnica especializada; el nogal se puede comercializar a nivel local (3 compradores) o superior.

Objetivos del propietario: producción de madera de alto valor (troncos de 2,5-4,5 m de largo y 30-40 cm. de diámetro), para foliado y madera aserrada para muebles.

Exigencias específicas del propietario: **se solicita que después de los primeros años sea posible reducir la intensidad de los cuidados culturales y de las eventuales fertilizaciones.**

Tipo de plantación: plantación pura con especies secundarias.

Disposición de la plantación: cuadrada (Figura 80).

Distanciamiento: 4,5 m.

Especies Principales: nogal común, disposición cuadrada, distanciamiento a 9 m.

Especies Secundarias: aliso italiano, tres disposiciones cuadradas, distanciamiento a 9 m.

Consideraciones: con el distanciamiento la presencia del aliso condicionará la estructura arquitectónica del nogal después que se haya formado un fuste suficientemente largo gracias a podas adecuadas.

Caso 4: Plantación pura con especies secundarias

Factores determinantes:

- El sitio: clima fresco; temperatura media mínima del mes más frío entre 0 y 4°C, media anual de 10°C. Precipitación media 1.000 mm, promedio de precipitaciones en verano 135 mm. Suelo de pH neutro a ácido; limoso arenoso, de más de 3 m de profundidad, 280 msnm. Raras heladas tardías; geomorfología de fondo de valle. Napa freática a 1,5-2 m, con posibles inundaciones por períodos breves; Especies indicadoras *Quercus robur*, *Populus nigra*, *Alnus glutinosa*, *Corylus avellana*, *Sambucus nigra*; ausencia de daños significativos de fauna; no hay evidencia de patologías en las especies arbóreas y arbustivas presentes; poco ventoso, sobre todo en verano.
- La empresa/propietario: **mano de obra no siempre disponible**; maquinaria disponible tanto para la preparación del suelo como para los cuidados culturales; **personal competente para la plantación y para las remociones del terreno, pero no para podas**; la plantación se insertará dentro de la programación normal de la empresa.
- Características socioeconómicas y técnicas: posibilidad de obtener financiamiento para la plantación y para el manejo durante los primeros cinco años; posibilidad de contar con asistencia técnica especializada; el nogal se puede comercializar a nivel local (3 compradores) o superior.

Objetivos del propietario: producción de madera de alto valor (troncos de 2,5-4,5 m de largo y 30-40 cm. de diámetro), para foliado y madera aserrada para muebles.

Exigencias específicas del propietario: **se solicita que después de los primeros años sea posible reducir la intensidad de los cuidados culturales y de las fertilizaciones.**

Tipo de plantación: plantación pura con especies secundarias.

Disposición de la plantación: cuadrada (Figura 81).

Distanciamiento: 3 m.

Especies Principales: nogal común, disposición cuadrada, distanciamiento 9 m.

Especies Secundarias: aliso italiano, disposición cuadrada, distanciamiento 9 m.

Consideraciones: respecto al caso anterior, la mayor densidad de aliso condicionará la estructura arquitectónica del nogal aún en su tercera fase de crecimiento, facilitando las podas que de todas

maneras deberán efectuarse. En este caso se cubrirá el terreno más rápidamente, por lo que se reducirá la necesidad de remover el terreno, junto a un mayor aporte de nitrógeno.

Caso 5: Plantación pura con especie secundaria

Factores determinantes:

- El sitio: sitio adaptado a la especie. Requerimientos ecológicos adecuados a los requerimientos de la especie, en términos de suelo, clima y precipitaciones.
- La empresa/propietario: **mano de obra siempre disponible**; maquinaria disponible tanto para la preparación del suelo como para los cuidados culturales; **personal competente para la plantación y para las remociones del terreno**; la plantación se insertará dentro de la programación normal de la empresa.
- Características socioeconómicas y técnicas: posibilidad de obtener financiamiento para la plantación y para el manejo durante los primeros cinco años; posibilidad de contar con asistencia técnica especializada.

Objetivos del propietario: producción de madera de alto valor (troncos de 2,5-4,5 m de largo y 30-40 cm. de diámetro), para foliado y madera aserrada para muebles.

Exigencias específicas del propietario: es importante que el propietario utilice y venda la leña extraída con el raleo, de modo que no solo se cubran los costos del raleo sino que se generen flujos positivos.

Tipo de plantación: plantación pura con una especie secundaria, en hileras. Corresponde a un diseño clásico de plantación mixta en hileras con una especie acompañante.

Disposición de la plantación: cuadrada (Figura 82).

Distanciamiento: 3,5 m.

Especie Principal: farnia, disposición rectangular, distanciamiento 3,5 x 7 m.

Especie Secundaria: aliso italiano, disposición rectangular, distanciamiento 3,5 x 7 m.

Consideraciones: se realizará un raleo del 50% de la farnia de modo de llegar a una distancia de 7 m entre individuos de la especie principal. Se podría aplicar un raleo geométrico (sistemático sobre las diagonales) para lograr un desarrollo simétrico de los individuos, pero tiene el inconveniente de eliminar no sólo la mitad peor de los individuos, sino que también la mitad mejor. Para superar

este inconveniente, la selección precoz sugeriría un raleo selectivo de la farnia, dejando los mejores individuos, lo que no permite un desarrollo simétrico al distribuirse irregularmente en la plantación, situación que lleva a producir madera heterogénea, afectando la calidad del producto, sobretodo si el raleo se realiza cuando los individuos son relativamente jóvenes.

En el primer caso, y sobretodo en el segundo, se corre el riesgo de realizar una intervención a pérdida, porque el material extraído principalmente es leña, que genera bajos ingresos que no cubren el raleo, sobretodo cuando el propietario no lo realiza por sí mismo (Buresti y Mori, 1999).

Caso 6: Plantación pura con especie secundaria

Factores determinantes:

- El sitio: sitio adaptado a la especie. Requerimientos ecológicos adecuados a los requerimientos de la especie, en términos de suelo, clima y precipitaciones.
- La empresa/propietario: el propietario no es dueño de la tierra, **mano de obra no siempre disponible**; maquinaria disponible tanto para la preparación del suelo como para los cuidados culturales; **personal no competente para la plantación y para las remociones del terreno**; la plantación no se inserta dentro de la programación normal de la empresa.
- Características socioeconómicas y técnicas: posibilidad de obtener financiamiento para la plantación y para el manejo durante los primeros cinco años; posibilidad de contar con asistencia técnica especializada.

Objetivos del propietario: producción de madera de alto valor (troncos de 2,5-4,5 m de largo y 30-40 cm. de diámetro), para foliado y madera aserrada para muebles.

Exigencias específicas del propietario: el propietario **no está interesado en los ingresos derivados del primer raleo** de una plantación densa de 3,5 x 3,5 m como en el caso anterior.

Tipo de plantación: plantación pura con una especie secundaria, pie a pie. Corresponde a un diseño clásico de plantación mixta en hileras con una especie de acompañamiento.

Disposición de la plantación: cuadrada (Figura 83).

Distanciamiento: 3,5 m.

Especie Principal: farnia, disposición cuadrada, distanciamiento 7 m.

Especie Secundaria: aliso italiano, tres disposiciones cuadradas, distanciamiento a 7 m.

Consideraciones: la presencia de farnia y aliso será, respectivamente, de 25 y 75%. El mayor distanciamiento entre la farnia retardará la competencia y permitirá efectuar un primer raleo cuando las plantas tengan las dimensiones necesarias para alcanzar valores apreciados en el mercado. Por otra parte, la productividad de los trabajadores durante la intervención será mejor gracias al mayor volumen a extraer.

Los aspectos señalados no son los únicos a considerar cuando se trata de definir el distanciamiento de plantación. Un distanciamiento mayor no reduce el costo del raleo, pero sí reduce la posibilidad de seleccionar los individuos mejores. Utilizando una distancia de 7 m, se pasa de 408 a 204 farnia/ha; considerando que al final del ciclo productivo se debe llegar a cerca de 100 – 200 arb/ha de la especie principal, se debe reducir un elevado porcentaje de individuos.

Además, si se desea efectuar una sola cosecha, los individuos menos adaptados presentarán dimensiones muy inferiores respecto a los más adaptados y, por lo tanto, tendrán precios inferiores, reduciendo las expectativas del propietario.

Finalmente, si se adoptan distancias elevadas entre las plantas de la especie principal se corre el riesgo de tener una plantación poco homogénea, una menor posibilidad de elección entre los individuos de la especie principal, y una reducida capacidad de intervención para reorientar la evolución de la plantación. Por esto se puede establecer plantaciones con distanciamiento elevado entre los individuos de la especie principal sólo cuando existe la posibilidad de obtener plantas seleccionadas y cuando se conoce en detalle las características del sitio, de la especie, la calidad y la procedencia del material de vivero.

Caso 7: Plantación pura con especie secundaria

Factores determinantes:

- El sitio: sitio apto a la especie. Requerimientos ecológicos adecuados a los requerimientos de la especie, en términos de suelo, clima y precipitaciones.
- La empresa/propietario: **mano de obra no siempre disponible**; maquinaria disponible tanto para la preparación del suelo como para los cuidados culturales; **personal competente para la plantación y para los cuidados culturales, pero no para la selección de árboles en el raleo**; la plantación se insertará dentro de la programación normal de la empresa.

- Características socioeconómicas y técnicas: posibilidad de obtener financiamiento para la plantación y para el manejo durante los primeros cinco años; posibilidad de contar con asistencia técnica especializada.

Objetivos del propietario: producción de madera de alto valor (troncos de 2,5-4,5 m de largo y 30-40 cm. de diámetro), para foliado y madera aserrada para muebles.

Exigencias específicas del propietario: la selección de árboles del raleo no debe ser difícil. Asegurar un número determinado de árboles futuro.

Tipo de plantación: plantación pura pie a pie con una especie principal establecida con el sistema de “doble planta”, y una secundaria arbórea.

Disposición de la plantación: cuadrada (Figura 84).

Distanciamiento: 3,5 m.

Especie Principal: farnia, disposición cuadrada, distanciamiento 7 m.

Especie Secundaria: aliso italiano, disposición cuadrada, distanciamiento 7 m.

Consideraciones: este modelo surgió de una antigua técnica forestal utilizada en la reforestación de terrenos difíciles, degradados, muy pobres y superficiales, en que para reducir la mortalidad se usaba plantar 2-3 plantas a 40-60 cm. a lo largo de la hilera, asegurando una rápida cobertura del terreno y aumentando las probabilidades de éxito.

En arboricultura, si la especie a utilizar se elige bien y si se efectúan correctamente las labores culturales, no deberían presentarse problemas de prendimiento. La técnica, por lo tanto, es similar a la forestal, pero la razón por la cual se aplica es diferente: elegir los individuos más adaptados al sitio después de haber verificado en terreno su velocidad de desarrollo y su forma.

La alternativa descrita consiste en poner de a dos el mismo número de plantas de la especie principal a una distancia de 3,5 m (408 arb/ha) en la posición que deberían tener si la distancia de plantación fuese de 7 m. De este modo se liberan 204 “espacios” por hectárea, que pueden ser utilizados para colocar ejemplares de la especie de acompañamiento. Las 204 plantas de acompañamiento son el único costo extra respecto a la plantación mixta (50% de farnia y 50% de aliso) de disposición

cuadrada y distanciamiento de 3,5 m. Se obtiene así una plantación compuesta por 1.020 arb/ha con un 40% de farnia y un 60% de la especie acompañante.

Una vez efectuada la plantación se procede con los cuidados culturales como en cualquier plantación; mientras tanto el par de árboles crecerá y se diferenciará en función de su capacidad de adaptación al sitio y al efecto de una moderada competencia intraespecífica, pudiendo seleccionarse el mejor individuo de cada par a los 2-3 años. Respecto a un sistema tradicional de plantación no se ha obtenido diferencias en el crecimiento que reflejen efectos derivados de la cercanía de las plantas.

Con esta técnica resulta fácil y económico realizar un raleo selectivo, sin alterar el diseño original y las ventajas del mismo:

- Es fácil porque no se corre el riesgo de crear áreas con densidad poco uniforme al interior de la plantación, ni de desbalancear las copas de los individuos de la especie principal; se debe elegir sólo entre dos individuos, que hasta el momento del raleo no inducen recíprocamente curvas al fuste.
- Es barato porque la selección del individuo a ralear es una tarea fácil que puede ser efectuada directamente por el trabajador y es más rápido respecto a un raleo efectuado a los 10-12 años.

Con *Quercus robur* esta técnica funciona asegurando el futuro de la plantación, pues se reduce significativamente el costo del raleo y se selecciona en terreno a los individuos mejores sin renunciar a las ventajas de una cierta variabilidad genética, gracias a una distribución espacial homogénea y a un crecimiento equilibrado de los individuos de la especie principal. Es una técnica aplicable con todas las especies para las que no existe material genético seleccionado (altamente variable).

Caso 8: Plantación mixta con especie secundaria y paracaída

Factores determinantes:

- El sitio: sitio esta cercano al río Po, terreno aluvial, durante el invierno permanece completamente inundado. La precipitación anual es cercana a los 750 mm, concentrada en el período primaveral y otoñal. Terrenos profundos, con alta presencia de arena y limo; la capa de arena se ubica a 0,8 m. El pH es básico. Se ha cultivado maíz, remolacha y álamo.
- La empresa/propietario: el propietario está personalmente a cargo de las actividades de su predio, ayudado por sus familiares. Tiene una vasta experiencia en el cultivo del álamo.
- Características socioeconómicas y técnicas: posibilidad de obtener financiamiento para la

plantación y para el manejo durante los primeros cinco años; posibilidad de contar con asistencia técnica especializada.

Objetivos del propietario: producción de madera de alto valor (troncos de 2,5-4,5 m de largo y 30-40 cm. de diámetro), para foliado y madera aserrada para muebles. El propietario planificó obtener la mayor parte del ingreso al final de la rotación del nogal común, y en menor proporción del nogal híbrido.

Exigencias específicas del propietario: **desea establecer nogal a pesar de que en el sitio se presentan inundaciones por las crecidas del río Po.**

Tipo de plantación: plantación mixta pie a pie con especies principales paracaídas, y una secundaria arbórea.

Disposición de la plantación: cuadrada.

Distanciamiento: 4 m.

Especies Principales: nogal común, disposición cuadrada, distanciamiento 8 m. Nogal híbrido, disposición cuadrada, distanciamiento 8 m.

Especies Secundarias: farnia, disposición a tres bolillos, distanciamiento 16 m en la hilera de plantación; fresno oxifilo, disposición en rombo, distanciamiento 16 m entre las plantas opuestas; aliso negro, disposición en rombo, distanciado 8 m entre las plantas opuestas.

Consideraciones: en este caso, tanto la farnia como el fresno oxifilo son especies “paracaídas”, es decir, especies de madera de alto valor que en la eventualidad que el nogal falle o muera, proporcionen el ingreso principal de la plantación. El aliso es una especie secundaria que proporciona nitrógeno, cubre rápidamente el terreno reduciendo las actividades culturales, proporciona leña, y mejora la arquitectura del nogal. En los primeros años la plantación sufrió inundaciones, por lo que muchos nogales perdieron el ápice y la verticalidad del fuste, ante lo cual se debieron efectuar podas de formación invernal y primaveral para corregir este defecto.

A los 4 años de edad se efectuó un raleo geométrico de los alisos (en diagonal), antes que ejercieran competencia sobre la especie principal. Posteriormente, si el nogal se desarrolla bien y no presenta problemas, se deberá ralear la especie paracaída y finalizará como una plantación pura de nogal con

disposición cuadrada y un distanciamiento de 8 m; en el caso que los nogales mueran, se favorecerá las especies paracaídas, respetando la disposición cuadrada y la distancia de 8 m. En el caso que la plantación sea poco homogénea, o lo sea sólo en algunas áreas, se llegará a una composición mixta, eliminando en ciertas zonas el nogal y en otras la especie paracaída. Además, en forma complementaria, el aliso seguirá ayudando a ambas especies, pues una vez raleado rebrota y ejerce los mismos efectos positivos sobre la plantación.

Como consecuencia de todos los raleos posibles, la plantación puede presentarse al final de la rotación con tres diversas composiciones específicas:

- Nogal común más rebrote de aliso;
- Farnia y/o fresno más rebrote de aliso;
- Nogal común, farnia y/o fresno más rebrote de aliso.

El fresno oxifilo tuvo un fuerte desarrollo en los primeros dos años, mientras que la farnia mostró crecimientos más moderados, lo que corresponde al comportamiento típico de estas especies.

En las Figuras 85 y 86 se observa el diseño y desarrollo de esta plantación; en 1997 todas las especies presentaban un notable desarrollo en altura, lo que demuestra la elevada fertilidad del suelo y la idoneidad de las especies a ser cultivadas en la zona. Además, los incrementos en el bienio 1995-1997 (gráfico inferior) son muy similares, mientras que en 1995 se observa una mayor heterogeneidad (Buresti y De Meo, 1998b).

La evolución de la plantación plantea consideraciones sobre las especies utilizadas:

- El fresno oxifilo muestra gran heterogeneidad de forma; por cada planta recta hay otra que ha debido podarse repetidamente.
- El nogal híbrido muestra pérdidas del ápice y de ramas laterales por efecto de las lluvias estivales, con grandes heridas a lo largo del fuste.
- El nogal común, a causa de las inundaciones repetidas, ha requerido la realización de podas para corregir su forma y recuperar el ápice. Incluso en algunos casos se han cortado las plantas en la base para que emitan rebrotes y seleccionar el mejor; éstos generalmente son muy vigorosos y en una temporada pueden superar los 2 m de altura.

Caso 9: Plantación pura con especie secundaria

Factores determinantes:

- El sitio: suelos planos, textura franco a franco-limosa de más de 1 m de profundidad, buenos, muy permeables, riego disponible con pocas limitaciones y sin pedregosidad ni salinidad. Estos suelos corresponden a trumaos típicos, derivados de depósitos de cenizas volcánicas. La precipitación media anual es de 1.155 mm, distribuidos entre marzo y septiembre, con un período seco de seis meses. Las temperaturas invernales son bajas, con muchas heladas y veranos calurosos. La topografía general es plana con pendientes que fluctúan entre 0 y 8%, situado a 150 msnm. Son suelos de aptitud agrícola, destinados al cultivo del álamo y hasta el tercer año se cultiva maíz entre hileras.
- La empresa/propietario: **mano de obra siempre disponible**; maquinaria disponible tanto para la preparación del suelo como para los cuidados culturales; **personal competente para la plantación y para los cuidados culturales, pero necesita asesorías específicas para algunas actividades culturales como poda y raleo**; la plantación se insertará dentro de la programación normal de la empresa. Tiene una vasta experiencia en el cultivo del álamo, que corresponde a un sistema de arboricultura de cantidad.
- Características socioeconómicas y técnicas: financiamiento propio; posibilidad de contar con asistencia técnica especializada.

Objetivos del propietario: producción de madera de alto valor (troncos de 6-9 m de largo y 30-40 cm. de diámetro), para foliado y madera aserrada para muebles.

Exigencias específicas del propietario: **se solicita que después de los primeros años sea posible reducir la intensidad de los cuidados culturales.**

Tipo de plantación: plantación pura pie a pie con una especie principal y una secundaria.

Disposición de la plantación: cuadrada (Figura 91).

Distanciamiento: 3,5 m.

Especie Principal: nogal común, disposición a tres bolillos, distanciamiento 3 m.

Especie Secundaria: olivo de bohemia, disposición a tres bolillos, distanciamiento 3 m.

Consideraciones: en 1997 se estableció una plantación mixta de nogal común y olivo de bohemia en la comuna de Retiro, VII región. La evolución del crecimiento de la plantación mixta (Retiro 97) se compara con dos plantaciones puras (una a igual densidad (Retiro 96) y otra a densidad menor (Retiro 95)), establecidas en el mismo sitio, con la misma calidad genética de las plantas y con el mismo tipo de manejo (Figuras 87 a 90).

Los resultados son atractivos, en particular los aumentos significativos en altura respecto del desarrollo de una plantación pura a la misma edad (Figuras 89 y 90).

Es posible concluir que la combinación de nogal con una especie acompañante fijadora de nitrógeno (olivo de bohemia en particular) presenta ventajas dasométricas (por el mayor crecimiento observado) y cualitativas, induce formas significativamente superiores, ramas laterales horizontales, delgadas y poco vigorosas, y copas vivas alargadas, de mayor eficiencia fotosintética y orientadas a la producción de madera de calidad. No obstante lo anterior, debe prestarse mucha atención al desarrollo del olivo, que si es vigoroso puede inducir defectos de forma en el nogal, debiéndose en estos casos podarlo.

A igual densidad el diámetro es mayor en la plantación mixta. La plantación pura de menor densidad presenta un mayor diámetro medio, pero la calidad de los individuos que la conforman es significativamente inferior. A esto se suma el mayor requerimiento de mano de obra en la plantación pura respecto a la mixta, que alcanza cifras significativamente superiores: el manejo en ambas situaciones considera costos entre 300 y 600% superiores en las plantaciones puras respecto a la mixta, según antecedentes de la empresa (Loewe et al., 2004a).

4. ASOCIACIONES REALIZADAS A NIVEL MUNDIAL QUE FAVORECEN LA PRODUCCIÓN DE MADERA DE ALTO VALOR

El Cuadro 6 resume las asociaciones descritas por la bibliografía que se han mostrado favorables para la producción de maderas duras de alta calidad y valor. Mayores detalles se encuentran en el Anexo 2.

Cuadro 6. Resumen de asociaciones de interés

País	Especie(s) principal(es)	Especie(s) Secundaria(s)	Efecto de la asociación respecto a la situación pura	Observaciones	Cita bibliográfica
	Pino	Encino, tulipero	Elevada	Costos de forestación se reducen en un 50%, mayor sobrevivencia y crecimiento del pino, buen crecimiento de especies secundarias, mayor biodiversidad del rodal, menor erosión	Abercrombie (1987)
	Álamo	<i>Hippophae rhamnoides</i>	Elevada	Asociación muy productiva en suelos aluviales	Aleksandrova et al. (1993)
	Álamo	Robinia	Elevada	Asociación muy productiva en suelos calcáreos chernozem	Aleksandrova et al. (1993)
	Nogal negro	Árbóreas fijadoras de nitrógeno	Media a elevada	Aumento de ingresos y mejor adaptación a tierras agrícolas marginales.	Campbell y Dawson (1989)
	Aliso negro	Álamo negro	Elevada	Mayor fijación de N	Kurdali et al. (1990)
	Farnia	Pino silvestre	Media	Rodal más estable	Korotaev (1991, 1992)

País	Especie(s) principal(es)	Especie(s) Secundaria(s)	Efecto de la asociación respecto a la situación pura	Observaciones	Cita bibliográfica
	Nogal negro	Aliso negro	Baja a elevada	La asociación incrementa la fertilidad del suelo, pero en ciertos suelos el nogal resulta alelopático a la especie secundaria	Neave y Dawson (1989)
	<i>Pinus taeda</i>	Robinia	La mezcla de estas especies es positiva y origina una producción comercializable en una rotación más corta que con plantaciones puras de cualquiera de las dos especies.	La asociación de especies coníferas y latifoliadas proporciona mayor flexibilidad económica, diversidad biológica y beneficios estéticos con respecto a las plantaciones puras. Un estudio comparó plantaciones puras y mixtas de <i>Pinus taeda</i> y <i>Robinia pseudoacacia</i> con diferentes composiciones (25:75, 50:50 y 75:25). Concluyó que cuando las especies crecen en asociación ambas presentan fustes más largos y mayores volúmenes fustales y de copa con respecto a las plantaciones puras de ambas especies	Groninger et al. (1997)
África	Árboles frutales	Especies forestales (<i>Antiaris sp.</i> , <i>Terminalia sp.</i>)	Elevada	Frutales con rendimientos superiores en 5-10%	Montagnini et al. (1995)
Alemania	Cerezo, Farnia	Varias no especificadas, pino.	Elevada	Crecimiento en diámetro y altura a los 20 años es significativamente superior en la asociación	Spiecker (1994)

País	Especie(s) principal(es)	Especie(s) Secundaria(s)	Efecto de la asociación respecto a la situación pura	Observaciones	Cita bibliográfica
Argentina	Teca, caoba y toona		Satisfactoria cuando se establecen bajo dosel protector		González M. (1999, com. personal)
Argentina	Grevillea, melia,		Satisfactoria		González M. (1999, com. personal)
Canadá	Picea	Aliso	Elevada	Significativo incremento en diámetro y altura. Fijación de 50 Kg./ha/año de nitrógeno	Hudson (1993)
Chile (Retiro)	Nogal común	Olivo de bohemia	Elevada	Incrementos significativos en diámetro y altura respecto a la situación pura a los 7 años de edad	Loewe V. (2001, com. Personal)
Chile (Molina)	Nogal común	Cerezo común	Elevada	Se observan buenos crecimientos tanto en nogal como en cerezo, sólo es necesario controlar y manejar adecuadamente las especies en cuanto a podas, uso de tutores y riegos	Loewe y González (2004, com. Personal)
Chile (Molina)	Nogal común	Cerezo común, olivo de bohemia, peral, manzano	Media a elevada	Es necesario ejecutar un manejo adecuado de acuerdo a las mezclas y a la evolución de las especies	Loewe y González (2004, com. Personal)

País	Especie(s) principal(es)	Especie(s) Secundaria(s)	Efecto de la asociación respecto a la situación pura	Observaciones	Cita bibliográfica
Chile (Lanco)	Aromo australiano	Pino oregón, roble, maqui, pino radiata y eucalipto	Media a elevada, dependiendo de las especies	La asociación de aromo y maqui, resultó ser la que entrega un porcentaje mayor de árboles "M" o futuro y un número menor de árboles que presentan bifurcaciones, mientras que la plantación pura de aromo entrega el menor porcentaje de árboles futuro	Loewe et al. (2004b)
China	Caucho	<i>Amomum longiligulare</i>	Elevada	Caucho creció mejor, con un rendimiento de látex 180 Kg. superior a la plantación pura, a lo que se le debe sumar el ingreso de los frutos de la especie secundaria	Zaizhi et al. (1995)
China	<i>Populus tomentosa</i>	Cultivos agrícolas	En este sistema agroforestal las condiciones de crecimiento de los árboles especialmente en sitios pobres.	La comparación de plantaciones puras con y sin fertilización de álamo (<i>Populus tomentosa</i>) con plantaciones de álamo asociada a cultivos agrícolas (sistema agroforestal) mostró que el incremento en diámetro del rodal de álamo asociado fue 16% mayor que el de la plantación pura fertilizada y 37% superior que el de la plantación pura sin fertilización	Zhanxue et al. (1991)

País	Especie(s) principal(es)	Especie(s) Secundaria(s)	Efecto de la asociación respecto a la situación pura	Observaciones	Cita bibliográfica
Estados Unidos	Pino oregón	Aliso rojo	El diámetro, la altura y el volumen son significativamente superiores en las plantaciones mixtas de ambas especies, efecto que se mantiene en el tiempo y que ha sido registrado por más de 50 años.	En una plantación de 4 años de pino oregón la introducción de aliso rojo incrementó, en un sitio deficiente en nitrógeno, la altura y el diámetro del pino oregón, e incrementó el volumen en 6,5% respecto a la plantación pura de pino oregón, al que debe sumársele el volumen del aliso rojo (2.500 pies ³), obteniéndose un volumen total en la plantación mixta correspondiente al doble del obtenido en una plantación pura de pino oregón. El aliso rojo es apropiado en plantaciones de corta rotación debido a su rápido crecimiento juvenil y a su habilidad de fijar nitrógeno a una edad temprana. Los autores recomiendan distribuir uniformemente entre 50 y 100 alisos rojos por hectárea y mantenerlos en una posición dominante para mejorar el nivel de nitrógeno y materia orgánica del rodal	Miller y Murray (1978)
Francia (Rougement)	Fresno, arce, tulipero, encino, álamo, metasequoia	Aliso	Media	Ensayo en terreno agrícola abandonado, con el objetivo de producir maderas valiosas y biomasa	CEMAGREF, Sf. Fiches d'essai

País	Especie(s) principal(es)	Especie(s) Secundaria(s)	Efecto de la asociación respecto a la situación pura	Observaciones	Cita bibliográfica
Italia	Nogal negro, cerezo común, farnia, fresno oxifilo	Aliso italiano, olivo de bohemia	Elevada	Especies secundarias mejoran el crecimiento de las especies principales	Bosco et al. (1991)
Italia (Bologna)	Fresno, farnia, nogal común, cerezo común		Media	Cerezo y la farnia presentan un alto % de ramas epicórmicas, en cambio fresno un bajo %	Bagnaresi (2000)
Italia (Modena)	Fresno, farnia, nogal común		Elevada	El fresno presentó un alto % de ramas epicórmicas	Bagnaresi (2000)
Italia (Modena)	Cerezo y nogal		Elevada	Nogal presenta un alto % de ramas epicórmicas	Bagnaresi (2000)
Italia (Reggio Emilia)	Cerezo y nogal		Elevada	Cerezo presenta un % mayor de ramas epicórmicas que nogal	Bagnaresi (2000)
Italia	Nogal común	Olivo de bohemia y aliso italiano	Elevada	116% mayor crecimiento en altura y 42% en diámetro a los 7 años de edad. Menores ataques por plagas y enfermedades (19 vs 58%) 170% mayor crecimiento en altura y 162% en diámetro a los 10 años	Buresti (Com. Pers.); Buresti (1993); Buresti y De Meo (1998a)
Italia	Nogal común	Aliso italiano y olivo ornamental	Elevada	76% mayor crecimiento en altura y 69% en diámetro	Buresti (Com. Pers.)
Italia	Nogal común, cerezo común	Cerezo común	Elevada	49% mayor crecimiento en altura y 48% en diámetro 64% mayor altura y 131% en diámetro a los 6 años	Buresti (Com. Pers.). Buresti et al. (1997)
Italia	Nogal común, cerezo común	Aliso italiano y olivo ornamental	Elevada	77% mayor crecimiento en altura y 81% en diámetro	Buresti (Com. Pers.)

País	Especie(s) principal(es)	Especie(s) Secundaria(s)	Efecto de la asociación respecto a la situación pura	Observaciones	Cita bibliográfica
Italia	Nogal común	Aliso italiano	Elevada	Mayor altura (6,5 vs 10,2 m) y mayor diámetro (8,8 vs 10,1 cm.); 128% crecimiento en altura y 41% en diámetro respecto a la situación pura a los 7 años de edad	Buresti (Com. Pers.)
Italia	Nogal común	Olivo ornamental, sambuco	Media	Nogal presenta similar altura y menor diámetro (8,82 vs 7,23 cm.)	Buresti (Com. Pers.)
Italia	Nogal común	Olivo ornamental, sambuco y aliso negro	Elevada	Nogal presenta mayor altura (5,6 vs 6,3 m) y menor diámetro (8,8 vs 8,3 cm.)	Buresti (Com. Pers.)
Italia	Nogal común	Olivo ornamental y avellano europeo	Media	Mayor altura del nogal; diámetro un poco inferior a la situación pura	Buresti (Com. Pers.)
Italia	Nogal común	Olivo ornamental, avellano europeo y aliso italiano	Elevada	Mayor altura (3,0 vs 4,7 cm.; 3,8 vs 4,15 cm.) y diámetro similar	Buresti (Com. Pers.)
Italia	Nogal común	Robinia	Elevada	56% mayor crecimiento en altura y 7% en diámetro a los 7 años de edad	Buresti (Com. Pers.)
Italia	Nogal común	Robinia y olivo de bohemia	Elevada	96% mayor crecimiento en altura y 18% en diámetro a los 7 años de edad	Buresti (Com. Pers.)
Italia	Farnia	Aliso italiano	Elevada	Mejor forma del fuste y ramas laterales de menor diámetro	Buresti et al. (1990)

País	Especie(s) principal(es)	Especie(s) Secundaria(s)	Efecto de la asociación respecto a la situación pura	Observaciones	Cita bibliográfica
Italia	Cerezo común	Robinia	Media	Mayores altura (6,5 vs 5,3 m) y diámetro (9,8 vs 9,9 cm.) con respecto a la situación pura	Buresti (1993b)
Italia	Cerezo común	Aliso italiano	Elevada	Mayores altura (6,0 vs 5,3 m) y diámetro (11,5 vs 9,9 cm.) con respecto a la situación pura	Buresti (1993b)
Italia	Cerezo común	Olivo de bohemia	Elevada	Mayores altura (5,7 vs 5,3 m) y diámetro (10,8 vs 9,9 m) con respecto a la situación pura	Buresti (1993b)
Italia	Farnia, fresno, nogal negro.	Aliso italiano	Elevada	Mayores valores en altura (7 vs 5,9 m) y diámetro (8,7 vs 9,0 cm.) respecto a la situación pura Menor diámetro de las ramas	Buresti (1993b)
Italia	Farnia, fresno, nogal y cerezo	Aliso italiano	Elevada	Mayores diámetros que en plantaciones puras	Buresti (1993b)
Italia	Fresno	Olivo de bohemia	Elevada	Máximo incremento en diámetro, mayor incluso que con aliso italiano	Buresti (1993b)
Italia	Nogal común	Especies fijadoras de nitrógeno	Elevada	Nogal incrementa su diámetro y altura media en 50-70%	Buresti (1994)
Italia (Valdarno)	Farnia	Aliso italiano	Elevada	Incremento significativo en altura y diámetro en la plantación mixta respecto a la plantación pura; madera de mejor calidad, menos ramas y de menor grosor en plantaciones mixtas	Buresti y Frattegiani (1994a)

País	Especie(s) principal(es)	Especie(s) Secundaria(s)	Efecto de la asociación respecto a la situación pura	Observaciones	Cita bibliográfica
Italia	Cerezo común, fresno, nogal común, farnia	Aliso italiano, olivo de bohemia, robinia	Elevada a los 7 años	-Cerezo con aliso: +6% altura y +23% en diam. respecto al puro -Cerezo con olivo: -2% en altura y +10% en diam. -Cerezo con robinia: +5% en altura y +9% en diam. -Fresno con aliso: -2% en altura y +12% en diam -Fresno con olivo: +16% en altura y +17% en diam. -Fresno con robinia: +7% en altura y +11% en diam. -Nogal negro con aliso: +59% en altura y +43% en diam. -Nogal negro con olivo: +50% en altura y +43% en diam. -Nogal negro con robinia: +47% en altura y +14% en diam. -Farnia con aliso: +9% en altura y +13% en diam. -Farnia con olivo: +10% en altura y +1% en diam. -Farnia con robinia: +8% en altura y -11% en diam.	Buresti y Frattegiani (1995a)
Italia (Valdarno)	Nogal negro	Cerezo común	Elevada	Mayores altura (6,0 vs 2,9 m) y diámetro (9,5 vs 2,8 cm.) con respecto a la situación pura, a los 6 años de edad	Buresti et al. (1997)

País	Especie(s) principal(es)	Especie(s) Secundaria(s)	Efecto de la asociación respecto a la situación pura	Observaciones	Cita bibliográfica
Italia (Valdarno)	Nogal híbrido	Cerezo común	Elevada	Mayores altura (5,6 vs 4,4 m) y diámetro (8,5 vs 4,8 cm.) con respecto a la situación pura, a los 6 años de edad	Buresti <i>et al.</i> (1997)
Italia (Valdarno)	Nogal común, cerezo común	Aliso italiano, olivo de bohemia	Elevada	Menor ataque de chicharra y roedores en plantaciones mixtas respecto a las plantaciones puras; efecto positivo de especies fijadoras de nitrógeno sobre las especies principales	Buresti y De Meo (1998a)
Italia (Valdarno)	Farnia	Aliso italiano	Elevada	Incrementos significativamente superiores en diámetro (0,92 vs 0,72 cm./año) y altura (8,3 vs 7,2 m). Fijación de 50 Kg./ha/año de N. Calidad de madera superior a la de plantaciones puras. Altura: 9,9 vs 8,6 m; diámetro: 13 vs 12,8 cm.; volumen: 65,6 vs 55,5 m³, a los 12 años para la plantación mixta y 13 años para la pura	Buresti (1993a); Cutini <i>et al.</i> (1997)
Italia	Nogal común	Aliso italiano y aliso negro; especies accesorias, farnia y fresno oxifilo	Satisfactoria	Es útil considerar especies accesorias en el diseño, especialmente cuando la especie principal pueda presentar problemas de crecimiento en sitios no adecuados	Ciardi (1997)

País	Especie(s) principal(es)	Especie(s) Secundaria(s)	Efecto de la asociación respecto a la situación pura	Observaciones	Cita bibliográfica
Italia (Grizzana Morandi)	Cerezo, nogal, fresno y arce		Satisfactoria a una altitud de 450 msnm a los 3 años de edad		CRBP (1995)
Italia (Sala Bolognese)	Arce, cerezo, fresno	Bagolaro, fresno austral y álamo blanco	Satisfactoria a los 3 años de edad		CRBP (1995)
Italia (Zola Predosa)	Fresno mayor, olmo, cerezo, arce, álamo blanco	Gelso, bagolaro	Satisfactoria a los 4 años de edad		CRBP (1995)
Italia (Zola Predosa)	Fresno mayor, fresno austral, cerezo, farnia, nogal	Gelso	Satisfactoria a los 3 años de edad		CRBP (1995)
Italia (Crevalcore)	Fresnos mayor y austral, cerezo, arce, álamo blanco, nogal, tilos, arce de azúcar	Gelso	Satisfactoria aunque nogal presenta un escaso desarrollo a los 5 años de edad		CRBP (1995)
Italia (Umbria)	Nogal común y cerezo común		Moderada a elevada	Flexibilidad para elegir la especie que llegará al final de la rotación, ya sea por desarrollo o por ingresos	Frattegiani y Mori (1996)

País	Especie(s) principal(es)	Especie(s) Secundaria(s)	Efecto de la asociación respecto a la situación pura	Observaciones	Cita bibliográfica
Italia	Cerezo común	Fresnos, nogal común, nogal negro, álamo, farnia, encino, roble americano, arce, alisos, carpino, avellano europeo, olivo de bohemia, olivo ornamental, robinia, sambuco, y otras	Elevada		Frattegiani (1997)

País	Especie(s) principal(es)	Especie(s) Secundaria(s)	Efecto de la asociación respecto a la situación pura	Observaciones	Cita bibliográfica
Italia	Nogal común, cerezo común	Aliso italiano, Olivo de bohemia y Robinia	Elevada	Alturas significativamente mayores en las asociaciones; la diferencia es de cerca del 50% para todas las mezclas. El diámetro es significativamente mayor en las plantaciones mixtas con Alnus y Elaeagnus. El diámetro de nogal asociado a Robinia fue significativamente menor que en las otras mezclas, igualándose al de las plantaciones puras; el rápido crecimiento de la Robinia hizo necesario cortarla poco después de la plantación. Los resultados indican un efecto considerable de la asociación en el crecimiento del nogal a los 6 años. La presencia de cerezo aumenta en un 48% la altura y en un 36% el Dap, y las mezclas con especies fijadoras de nitrógeno elevan dichos valores a 76 y 42% respectivamente.	Buresti (1995)

Fuente: Elaboración propia

5. MODELOS DE PLANTACIONES MIXTAS EMPLEADOS EN CHILE

5.1 DISTRIBUCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PLANTACIONES MIXTAS A NIVEL NACIONAL

El Cuadro 7 y Figura 92 presentan la distribución regional de las plantaciones mixtas identificadas en el país. Esta información fue obtenida directamente de los dueños o administradores de los predios entrevistados, así como de información que genera INFOR a través del Proyecto Actualización de Plantaciones (INFOR, 2002).

Cuadro 7. Distribución regional de Plantaciones Mixtas en Chile

Región	Superficie (hectáreas)	%
Metropolitana	36,5	0,60
VI	5,0	0,08
VIII	179,0	2,92
IX	936,1	15,28
X	3.033,7	49,52
XI	1.935,3	31,59
Total	6.125,6	100,00

Fuente: Elaboración propia

Resalta la importante concentración de estas plantaciones en la X región, que alcanza casi a la mitad (49,5%), y la importancia de las regiones IX, X y XI, que en conjunto suman un 96,4%. Lo anterior se debería a la presencia en la zona desde hace varias décadas de ingenieros forestales y silvicultores procedentes de la escuela europea, especialmente de Alemania, los que de acuerdo a su tradición aplicaron sistemas productivos mixtos.

El principal modelo de plantación mixta utilizado en Chile corresponde al diseño en hileras. Las superficies son de tamaño variable, distribuyéndose en forma alternada una hilera de una especie y otra de otra especie, o de un número variable de hileras intercaladas (una hilera de una especie y tres hileras de otra, etc.), repitiéndose el mismo esquema o módulo sobre toda la superficie (Figura 93).

Otro modelo utilizado es el de las plantaciones mixtas en grupos, es decir se plantan grupos de árboles de la misma especie, seguidos por otros grupos de árboles de una especie distinta a la del bloque del lado (Figura 94).

Entre las principales especies que se han empleado en plantaciones mixtas en la IX y X región se encuentran las siguientes asociaciones:

- Pino oregón - raulí - roble - coihue - encino
- Pino oregón - ciprés - castaño - aroma australiano
- Pino oregón - aroma australiano - eucalipto
- Pino oregón - ciprés lusitánica - thuja - sequoia - aroma australiano
- Encino - castaño - arce - avellano - aroma australiano
- Aroma australiano - *Eucalyptus delegatensis*
- Pino oregón - aroma australiano
- Pino oregón - *Eucalyptus nitens* - aroma australiano
- Pino oregón - sequoia - thuja - aroma australiano
- Pino radiata - pino oregón
- Pino oregón - pino radiata - eucalipto
- *Eucalyptus globulus* - aroma australiano

En la XI región las especies más empleadas en asociaciones son:

- Pino ponderosa - aliso
- Pino ponderosa - pino silvestre - pino oregón - picea
- Pino contorta - pino silvestre
- Pino contorta - pino silvestre - pino ponderosa
- Pino contorta - pino ponderosa
- Pino silvestre - pino contorta
- Pino silvestre - picea - larix
- Pino silvestre - abedul
- Pino oregón - abedul
- Pino contorta - raulí - notro - ciprés
- Pino oregón - notro - roble - larix - aliso - raulí - ciprés

Se concluye que los modelos de plantaciones mixtas establecidos en Chile principalmente se han realizado asociando especies principales con muy pocas o ninguna especie arbórea acompañante, y sin participación de especies arbustivas o herbáceas secundarias.

Es importante señalar que parte de las asociaciones establecidas se han realizado incorporando pocas consideraciones técnicas. La selección de las especies se ha realizado teniendo en cuenta la mezcla de especies exóticas que comparten el mismo nicho en su lugar de origen, o solamente considerando las especies que más le interesan a los propietarios o encargados de la plantación, sin analizar las dinámicas de crecimiento de las diferentes especies, su arquitectura aérea o radicular, ni otros parámetros determinantes para el éxito de una plantación.

Para hacer más eficiente el uso del suelo de un rodal mixto, se deben seleccionar las especies conociendo sus sistemas radiculares, pues esto determinará la competencia por el nicho y los nutrientes en un mismo estrato. Lo óptimo es asociar especies que tienen sistemas radiculares con diferentes estructuras (por ejemplo especie(s) que posee(n) un sistema radicular profundo y especie(s) de sistemas radiculares superficiales), de modo de compartir un mismo suelo pero sin competir por él, colonizando cada una diferentes estratos del suelo, incrementando la potencialidad productiva del sitio.

Por otra parte, cuando se asocian especies distintas, muchas veces no se sabe si son compatibles. Estudios han demostrado que algunas especies perjudican el crecimiento de otras que crecen en sus cercanías, fenómeno conocido desde la antigüedad, pero que sólo a partir de 1930 se acuñó con el término de alelopatía, para explicar las interacciones bioquímicas que ocurren en las comunidades de plantas (Ver punto 2.4).

El Cuadro 8 presenta detalles de los rodales individualizados, incluyendo antecedentes sobre el propietario, especies y superficies involucradas.

Cuadro 8. Antecedentes de Rodales de Plantaciones Mixtas en Chile

Predio	Región	Propietario	Superficie	Descripción Rodales Mixtos
Cascada de las Animas	Metropolitana	Eduardo Astorga y Cía. Ltda.	36,5 ha	EUCALIPTO/PINO/ACACIO/QUILLAY/ESPINO/OLMO/ ÁLAMO, plantado el 2001. Forestación de compensación por construcción gasoducto de Gas Andes; plantación bajo riego por goteo a más de 1.500 msnm.
SUBTOTAL			36,5 ha	

Predio	Región	Propietario	Superficie	Descripción Rodales Mixtos
Santa María de Miraflores	VI	Fundación Chilena Trapense	5 ha	CASTAÑO/ CEREZO AMERICANO/ NOGAL NEGRO, plantado el 2002. Diseño en hileras, sólo el cerezo considera riego.
SUBTOTAL			5 ha	
Rucamanqui	VIII	Forestal Monteáguila	85 ha	ROBLE/RAULÍ, plantado en 1997.
Rucamanqui	VIII	Forestal Monteáguila	90 ha	EUCALIPTUS NITENS/E. GLOBULUS, plantado el 2001.
Nihuinco	VIII	Forestal Monteáguila	4 ha	EUCALIPTUS NITENS/ACACIA DEALBATA, plantado en 1987.
SUBTOTAL			179 ha	
Voipir, comuna de Villarrica	IX	Forestal Voipir Ltda.	81,4 ha	PINO OREGÓN/CASTAÑO/ACACIA, 12,6 ha, plantado en 1974. PINO OREGÓN/SEQUOIA/CASTAÑO, 62,7 ha, plantado en 1974. PINO OREGON/THUJA, 6,1 ha, plantado en 1982.
Quilas Bajas	IX	Toepfer Klima Hernán TY Otros.	352,7 ha	PINO OREGÓN/AROMO AUSTRALIANO/ CASTAÑO/SEQUOIA/ENCINO/ROBLE/PINO/ EUCALIPTOS/LINGUE/TEPA y otros de diversas edades, pero principalmente desde 1982
San Pedro, comuna Gorbea	IX	Hugo Castro	1,7 ha	CASTAÑO/CIPRES, plant. 1993. 0,6 ha con trat. agroforestal. 3x3 m. CA: 4,9 m alt/5,5 cm. DAP; Cl: 5,9 m alt./9,1 cm. DAP
Paillahuente, comuna Panguipulli	IX	Soc. Paillahuente Ltda.	150 ha	P. OREGÓN/RAULI/ROBLE/COIHUE/tolerantes nativas. Plantado desde 1986 al 2002, mezcla individual.
Pirihueico, comuna Panguipulli	IX	Agroforestal Pirihueico S.A.	50 ha	PINO OREGÓN/RAULÍ/roble/coihue. Plantado desde 1995 al 2002, mezcla pie a pie.
Europa, comuna Freire	IX	Peter Drackman	65 ha	PINO OREGÓN/SEQUOIA/CIPRES LUSITANICA/ aromo australiano/castaño. Plantado desde 1986 a 1990, mezcla por hileras, primeros manejos (clareos y podas).
El Coihue, comuna Loncoche	IX	Oregón S.A.	50 ha	PINO OREGÓN/CIPRES/CASTAÑO/aromo australiano. Plantado en 1971, diseño en hileras

Predio	Región	Propietario	Superficie	Descripción Rodales Mixtos
Reserva Nacional Malalcahuello	IX	CONAF	94,3 ha	PINO OREGÓN/PINO PONDEROSA, 46,1 ha, plantado en 1959. PINO OREGÓN/PINO PONDEROSA, 48,2 ha, plantado en 1973.
La Alianza Lote B	IX	Ema Contreras Maynard	6 ha	EUCALIPTUS GLOBULUS/ROBLE/RAULÍ, plantado en 1993.
Santa Elena de la Paz Lt2	IX	Carlos Espejo Zúñiga	7,4 ha	PINO OREGÓN/THUJA, plantado en 1993.
Tres Marías - Millali	IX	Hans Jurgens Richters Asztalos	31,1 ha	PINO OREGÓN/CIPRES/CASTAÑO, plantado en 1987.
Los Pinos Bajos	IX	Hans Uwe Roth Schleyer	11,4 ha	PINO OREGÓN/CIPRES/CASTAÑO, plantado en 1984.
Rinconada	IX	SECURITY LEASING S.A	8,2 ha	PINO OREGÓN/CASTAÑO, plantado en 1986.
Rucañanco	IX	SOCIEDAD CRIADEROS DE FREIRE	26,9 ha	ACACIA/EUCALIPTUS/PINO OREGÓN, 4,3 ha plantado en 1985; 10,3 ha plantado en 1990. PINO OREGÓN/ACACIA, 12,3 ha plantado en 1985.
SUBTOTAL			936,1 ha	
Fundo Pedernal, comuna Frutillar	X	Ruth Schillins Steinbauer	8 ha	ENCINO/PINO OREGÓN, plantado en 1986. SEQUOIA/PINO OREGÓN, plantado en 1981.
San Juan	X	Ercir Altamirano	3,7 ha	Mezcla de tres especies, plantado en 1987.
Pumillahue A-C	X	Xavier De Angelis	109,1 ha	Mezcla de tres especies, 72 ha plantado en 1988. Mezcla de dos especies, 37,1 ha plantado en 1988.
San Miguel	X	Claudio Errázuriz	38,6 ha	Mezcla de tres especies: 15,8 ha plantado en 1987; 13,5 ha plantado en 1988 y 9,3 ha plantado en 1989.
Pumillahue Sur Lote B	X	Forestal Tornagaleones	19,3 ha	Mezcla de tres especies, 5,8 ha plantado en 1985. Mezcla de dos especies, 5,4 ha plantado en 1982 y 8,1 ha plantado en 1985.
Reserva Nacional Llanacura	X	Forestal San Pedro	33,8 ha	Mezcla de tres especies, plantado en 1977.
Las Trancas	X	Forestal Valdivia S.A.	30,2 ha	Mezcla de tres especies, plantado en 1974.

Predio	Región	Propietario	Superficie	Descripción Rodales Mixtos
Quitacalzón	X	Enrique Schele B.	72,2 ha	Mezcla de tres especies: 30,7 ha plantado en 1987; 41,5 ha plantado en 1989.
Pille Coz-Coz	X	George Spiegelfeld	12,8 ha	Mezcla de tres especies plantadas en 1990.
Santa Victoria	X	Lucia Stange D.	6,2 ha	Mezcla de tres especies plantadas en 1982.
Quesquechan	X	Peter Schauenburg	29,3 ha	Mezcla de dos especies: 13,1 ha plantado en 1987 y 16,2 ha plantado en 1988.
El Maqui	X	Oscar Michaelis	4,9 ha	Mezcla de dos especies plantadas en 1986.
El Milagro	X	Renato Abbot	15 ha	PINO OREGÓN/ COIGUE/ CASTAÑO/ ENCINO/AROMO/AVELLANO, plantado en 1996. Diferentes bosquetes combinando las especies mencionadas (sector con bastante quila)
Crucero nuevo	X	Karin Schilling	2 ha	EUCALIPTO DELEGATENSIS/AROMO AUSTRALIANO, plantado en 1987. Diseño de hileras 1 x 2 m. Plantación raleada y podada
Crucero viejo	X	Hugo Schilling	6 ha	PINO OREGÓN/ EUCALIPTO NITENS/AROMO AUSTRALIANO, plantada en 1996. Diseño tres hileras separada por una de aroma.
Crucero viejo	X	Hugo Schilling	2 ha	PINO OREGÓN/AROMO AUSTRALIANO, plantada en 1996. Diseño 1 x 1m.
Crucero viejo	X	Hugo Schilling	3 ha	PINO RADIATA/EUCALIPTO NITENS, plantada en 1982, nitens plantado en 1998. Diseño en hileras, plantación bajo dosel.
Crucero viejo	X	Hugo Schilling	4 ha	PINO RADIATA/PINO OREGÓN, plantado en 1986, oregón plantado en 1999. Diseño en hileras, pino Oregón bajo dosel de pino radiata.
La Parrilla	X	Felicitas Heinrich	3 ha	PINO RADIATA/EUCALIPTO GLOBULUS, plantado en 1999. Diseño hileras alternadas.
La Parrilla	X	Felicitas Heinrich	3 ha	PINO OREGON/EUCALIPTO NITENS, plantado en 1999. Diseño hileras alternadas.
La Parrilla	X	Felicitas Heinrich	5 ha	PINO OREGÓN/CASTAÑO/RAULÍ, plantado en 1999. Diseño bloques en hileras (3 x 1 y 1 x 1m)
La Parrilla	X	Felicitas Heinrich	4 ha	PINO OREGÓN/EUCALIPTO GLOBULUS/ EUCALIPTO NITENS, plantado en 1999. Diseño hileras 1 x 1m.

Predio	Región	Propietario	Superficie	Descripción Rodales Mixtos
La Parrilla	X	Felicitas Heinrich	3 ha	PINO OREGÓN/EUCALIPTO NITENS, plantado en el 2000. Diseño hileras 1 x 1 m.
La Parrilla	X	Felicitas Heinrich	8 ha	PINO OREGÓN/EUCALIPTO GLOBULUS, plantado en el 2000. Diseño hileras 1 X 1 M.
La Parrilla	X	Felicitas Heinrich	1 ha	PINO OREGÓN/EUCALIPTO GLOBULUS, plantado en el 2000. Diseño hileras, plantación bajo dosel.
La Vega	X	Agrícola y Ganadera La Vega Ltda.	2 ha	PINO OREGÓN/SEQUOIA/CIPRES/ROBLE, plantado en 1963. Diseño por hileras y grupos. Plantación raleada, se extrajo el pino marítimo.
La Vega	X	Agrícola y Ganadera La Vega Ltda.	8 ha	PINO OREGÓN/EUCALIPTO GLOBULUS/aromo, plantado en 1994. Diseño por hileras.
Fundo Los Ciervos	X	Ana María Schilling	20 ha	PINO RADIATA/PINO OREGÓN, plantado en 1981 pino radiata, plantado en 1996 pino oregón. Plantación bajo dosel en hileras con espaciamiento entre 7 y 12 m
Fundo Los Ciervos	X	Ana María Schilling	20 ha	PINO RADIATA/PINO OREGÓN/EUCALIPTO NITENS/EUCALIPTO GLOBULUS, plantado entre 1993 y 1998. Bloque de hileras, con una hilera de eucalipto separando bloques.
Fundo Los Corrales	X	Margoth Geisse Detleffsen	2 ha	CIPRES/PINO RADIATA/AROMO AUSTRALIANO, ciprés plantado en 1969, pino radiata y aromo plantado en 1994. Enriquecimiento bajo dosel en hileras alternadas.
Fundo Los Corrales	X	Margoth Geisse Detleffsen	3 ha	PINO OREGÓN/PINO RADIATA, plantado en 1996. Diseño 3 hileras de oregón y 1 de radiata.
Fundo Los Corrales	X	Margoth Geisse Detleffsen	2 ha	EUCALIPTO GLOBULUS/PINO OREGÓN/AROMO AUSTRALIANO/PINO RADIATA, plantado en 1993. Diseño en hileras alternadas y mixtas sobre ellas.
Fundo Los Corrales	X	Margoth Geisse Detleffsen	4 ha	PINO OREGÓN/PINO RADIATA/EUCALIPTO GLOBULUS, plantado en 1999. Diseño 3 hileras de oregón, 2 de eucalipto, 3 de radiata y 1 de eucalipto.

Predio	Región	Propietario	Superficie	Descripción Rodales Mixtos
Fundo Los Corrales	X	Margoth Geisse Detleffsen	3 ha	PINO OREGÓN/PINO RADIATA/EUCALIPTO GLOBULUS, plantado en 1996. Diseño 3 hileras de oregón, 2 de eucalipto, 3 de radiata y 1 de eucalipto.
Fundo Los Corrales	X	Margoth Geisse Detleffsen	3 ha	PINO OREGÓN/PINO RADIATA/EUCALIPTO GLOBULUS, plantado en 2000. Diseño 3 hileras de oregón, 2 de eucalipto, 3 de radiata y 1 de eucalipto.
Fundo Los Corrales	X	Margoth Geisse Detleffsen	6 ha	PINO OREGÓN/PINO RADIATA/EUCALIPTO NITENS, radiata plantado en 1978, oregón y nitens plantado en el 2000. Diseño 3 hileras de nitens y 1 de oregón bajo dosel de radiata.
Las Palmas	X	Universidad Austral de Chile	2,88 ha	EUCALIPTO GLOBULUS/ACACIA MELANOXYLON, plantado en 1984.
Las Palmas	X	Universidad Austral de Chile	2,3 ha	ROBLE/COIGUE/RAULI, plantado en 1999.
Las Palmas	X	Universidad Austral de Chile	0,88 ha	ROBLE/RAULI, plantado en 1980.
Las Palmas	X	Universidad Austral de Chile	0,68 ha	ROBLE/RAULI, plantado en 1975.
Las Palmas	X	Universidad Austral de Chile	2,98 ha	COIGUE/ROBLE, plantado en 1997.
Las Palmas	X	Universidad Austral de Chile	1,28 ha	COIGUE/AVELLANO, plantado en 2000.
Las Palmas	X	Universidad Austral de Chile	4,58 ha	PINO OREGÓN/AROMO AUSTALIANO, plantado en 1986.
Las Palmas	X	Universidad Austral de Chile	9,19 ha	PINO OREGÓN/AROMO AUSTALIANO, plantado en 1987.
Las Palmas	X	Universidad Austral de Chile	1,95 ha	PINO OREGÓN/PINO SILVESTRE, plantado en 1958.
Los Pinos	X	Universidad Austral de Chile	2,29 ha	EUCALIPTO GLOBULUS/AROMO AUSTRALIANO, plantado en 1987.
Los Pinos	X	Universidad Austral de Chile	2,15 ha	EUCALIPTO GLOBULUS/AROMO AUSTRALIANO, plantado en 1989.
Los Pinos	X	Universidad Austral de Chile	2,28 ha	COIGUE/ROBLE, plantado en 1992.

Predio	Región	Propietario	Superficie	Descripción Rodales Mixtos
Los Ulmos	X	Universidad Austral de Chile	8,17 ha	EUCALIPTO NITENS/ACACIA DEALBATA, plantado en 1997.
Hijuela 2, Guay Guay, comuna Los Lagos	X	Luz María Manterola Vergara	10 ha	ROBLE/RAULI/COIGUE/PINO OREGÓN, 8 ha, plantado entre 1995 y 1997, 3x3 m; coigue y pino oregón excelente estado, roble y raulí atacados.
Arquihue, comuna Futrono	X	Soc.Agrícola Taquihue Ltda.	510 ha	*PINO OREGÓN/RAULI/ROBLE/COIHUE. 500 ha, plantados entre 1988 y 2000, mezcla pié a pié; *ENCINO/tolerantes nativas. 10 ha, plantados entre 1991 y 1998.
Colegual, comuna Los Lagos	X	Eddagro S.A.	450 ha	PINO OREGÓN/aromo, eucalipto. Plantados entre 1990 y 1997. Mezclas por fajas y franjas
Dollinco, comuna Mariquina	X	Herbert Siebert	31 ha	PINO OREGÓN/AROMO AUSTRALIANO/EUCALIPTO. 10 ha, plantado en 1987, mezcla por hileras. Oregones tienen poda a 4,5 m, y aromos y eucaliptos raleo fuerte; *OREGÓN/CIPRES LUSITANICA/THUJA/SEQUOIA/AROMO AUSTRALIANO/ROBLE. 6 ha, plantado en 1991, coníferas en grupos dentro de latifoliadas; *ENCINO/CASTAÑO/ARCE/AVELLANO/AROMO AUSTRALIANO. 5 ha, plantados entre 1989 y 1991, mezcla en hileras; *AROMO AUSTRALIANO/E. DELEGATENSIS/PIONERAS NATIVAS. 10 ha, plantado en 1991, enriquecimiento en formaciones nativas pioneras.
Miraflores, comuna Lanco	X	Alberto Montecuccoli L.	250 ha	*PINO OREGÓN/SEQUOIA/THUJA/AROMO AUSTRALIANO. 50 ha, plantado en 1986 y 2000, mezcla por hileras y franjas; *PINO OREGÓN/AROMO/EUCALIPTO, 200 ha, plantado en 1986 y 2000, por hileras y franjas.
Arquihue, comuna Futrono	X	Soc.Agrícola Taquihue Ltda.	80 ha	COIHUE, ROBLE, RAULÍ, PINO OREGÓN, ULMO. Plantación realizada el año 2002.
Arquihue, comuna Futrono	X	Soc.Agrícola Taquihue Ltda.	45 ha	PINO OREGÓN, RAULÍ, EUCALIPTO. Plantación realizada el año 2001.
Miraflores, comuna Lanco	X	Alberto Montecuccoli L.	10 ha	ROBLE, COIHUE, PINO OREGÓN. Plantación realizada el año 2002.

Predio	Región	Propietario	Superficie	Descripción Rodales Mixtos
Miraflores, comuna Lanco	X	Alberto Montecuccoli L.	6 ha	PINO OREGÓN, RAULÍ, EUCALIPTO. Plantación realizada el año 2001.
San Vicente, comuna Futrono	X	Rudolph Fahr von Furstenberg	60 ha	CASTAÑO/ENCINO/PINO OREGÓN/TOLERANTES NATIVAS. Plantados entre 1983 y 1985, mezcla individual y por grupos.
Fundos San Antonio, Cuncharo y Sotillo I y II	X	Forestal Natalhue S.A.	1040 ha	PINO OREGÓN/RAULÍ/SEQUOIA/THUJA/CIPRES Edades variables
SUBTOTAL			3.033,7 ha	
Reserva Nacional Coyhaique	XI	CONAF	202,4 ha	*PINO PONDEROSA/ALISO, 4,6 ha, plantado en 1984; *PINO PONDEROSA/PINO SILVESTRE/PINO OREGÓN/PICEA, 22,8 ha, plantado en 1979; * PINO CONTORTA/PINO SILVESTRE, 6 ha, plantado en 1986; * PINO CONTORTA/PINO SILVESTRE/PINO P. PONDEROSA, 151 ha, plantado en 1982; *PINO CONTORTA/PINO PONDEROSA, 0,7 ha, plantado en 1977; *PINO SILVESTRE/PINO CONTORTA, 0,5 ha, plantado en 1991; *PINO SILVESTRE/PICEA/LARIX, 15 ha, plantado en 1984; *PINO SILVESTRE/ABEDUL, 1,8 ha, plantado en 1981.
Reserva Nacional Cerro Castillo	XI	CONAF	54,1 ha	PINO PONDEROSA/PINO SILVESTRE/LARIX, plantado en 1978.
Los Coihues, comuna Cochrane	XI	Nelson Vera	600 ha	PINO PONDEROSA/PINO SILVESTRE, plantado entre 1973 y 1976.
Los Trinos, sector Lago Frío	XI	José Manuel Carrillo	36 ha	PINO PONDEROSA/PINO CONTORTA, plantado en 1986.
Lote 80-81, sector Mano Negra	XI	Alejandro Ossa	58 ha	PINO PONDEROSA/ABEDUL/ARCE/PINO CONTORTA/PICEA, plantado en 1986.
San Gabriel, sector Mano Negra	XI	Víctor Matta Echevarría	174,8 ha	PINO PONDEROSA/PINO CONTORTA, plantado en 1990.

Predio	Región	Propietario	Superficie	Descripción Rodales Mixtos
El Daño, sector Emperador Guillermo	XI	Felipe Solís Cabezas	150 ha	PINO OREGÓN/NOTRO/ROBLE/LARIX/ALISO/RAULÍ/CIPRES, plantado en 1989.
El Daño, sector Emperador Guillermo	XI	Felipe Solís Cabezas	160 ha	PINO CONTORTA/RAULÍ/NOTRO/CIPRES, plantado en 1988.
La Cabaña (Don Carlos) sector Mano Negra	XI	Sergio Salas Donoso	140 ha	PINO SILVESTRE/LARIX, plantado en 1979.
La Cabaña (Don Carlos) sector Mano Negra	XI	Sergio Salas Donoso	60 ha	PINO OREGÓN/ABEDUL, plantado en 1979.
Lote 77, sector Mano Negra	XI	Héctor Cantín Bus	300 ha	PINO SILVESTRE/PINO CONTORTA, plantado en 1979.
SUBTOTAL			1.935,3 ha	

Fuente: Elaboración propia

Es posible observar que más de la mitad de la superficie informada (60,5%) corresponde a 8 rodales de más de 200 ha, concentrándose el resto en plantaciones pequeñas.

5.2 CARACTERIZACIÓN DE AGENTES ECONÓMICOS CON PLANTACIONES MIXTAS

En el Cuadro 9 y Figuras 95 y 96 se observa el tipo de agente económico (tipo de empresas, propietarios y otros) involucrado en la plantación o manejo de plantaciones mixtas en el país.

Los agentes de mayor tamaño, empresas o propietarios, presentan una baja participación (4,7 y 4,1%, respectivamente), lo que se explica por su dedicación especializada a plantaciones tradicionales (plantaciones industriales).

El estrato mediano, tanto en el ámbito de empresas como de propietarios, es el que presenta una mayor participación en las plantaciones mixtas (47,1 y 36,6%, respectivamente), lo que se explica por la gran flexibilidad que presenta este modelo productivo, el que incorpora o da cabida en forma importante al hombre como elemento constitutivo de la cadena productiva.

Los pequeños propietarios presentan una participación intermedia, pues a pesar de la flexibilidad que ofrece el modelo, requiere de mayor conocimiento y capacitación, factores que son deficitarios en este segmento socioeconómico.

El Estado posee el 5,7% de las plantaciones registradas a la fecha, lo que indica un claro liderazgo del sector privado en el desarrollo de esta opción productiva.

Cuadro 9. Tipo de agente socioeconómico ejecutor de plantaciones mixtas en Chile

Región	Tipo de Agente Económico	Superficie de Plantaciones Mixtas (hectáreas)
Metropolitana	Empresa Mediana	36,5
VI	Empresa Mediana	5,0
VIII	Empresa Grande	179,0
IX	Empresa Grande	8,2
IX	Empresa Mediana	711,0
IX	Propietario Mediano	107,5
IX	Propietario Pequeño	15,1
IX	Estado	94,3
X	Empresa Grande	99,3
X	Empresa Mediana	2.135,0
X	Propietario Grande	250,0
X	Propietario Mediano	457,5
X	Propietario Pequeño	50,3
X	Universidad	41,6

Región	Tipo de Agente Económico	Superficie de Plantaciones Mixtas (hectáreas)
XI	Propietario Mediano	1.678,8
XI	Estado	256,5
TOTAL		6.125,6

Fuente: Elaboración propia

La Figura 96 y Cuadro 10 entregan detalles sobre la distribución porcentual de las plantaciones mixtas según el tipo de agente socioeconómico involucrado a nivel regional.

Cuadro 10. Antecedentes sobre tipo de propietarios con rodales mixtos

Predio	Región	Propietario	Sup. Pl. Mixtas (Ha)	Tipo de Propietario
Cascada de la Animas	Metropolitana	Eduardo Astorga y Cía. Ltda.	36,5	Empresa mediana
SUBTOTAL			36,5	
Santa María de Miraflores	VI	Fundación Chilena Trapense	5,0	Empresa mediana
SUBTOTAL			5,0	
Rucamanqui	VIII	Forestal Monteáguala	175,0	Empresa grande
Nihuinco	VIII	Forestal Monteáguala	4,0	Empresa grande
SUBTOTAL			179,0	
La Alianza Lote B	IX	Ema Contreras Maynard	6,0	Propietario pequeño
Santa Elena de la Paz Ltda.	IX	Carlos Espejo Zúñiga	7,4	Propietario pequeño
San Pedro, comuna Gorbea	IX	Hugo Castro	1,7	Propietario pequeño
Europa, comuna Freire	IX	Peter Drackman	65,0	Propietario mediano

Predio	Región	Propietario	Sup. Pl. Mixtas (Ha)	Tipo de Propietario
Tres Marías – Millali	IX	Hans Jurgens Richters Asztalos	31,1	Propietario mediano
Los Pinos bajos	IX	Hans Uwe Roth Schleyer	11,4	Propietario mediano
Voipir, comuna de Villarrica	IX	Forestal Voipir Ltda.	81,4	Empresa mediana
Quilas Bajas	IX	Toepfer Klima Hernán TY Otros.	352,7	Empresa mediana
Paillahuente, comuna Panguipulli	IX	Soc. Paillahuente Ltda.	150,0	Empresa mediana
Pirihueico, comuna Panguipulli	IX	Agroforestal Pirihueico S.A.	50,0	Empresa mediana
Rucañanco	IX	Sociedad Criaderos de Freire	26,9	Empresa mediana
El Coihue, comuna Loncoche	IX	Oregón S.A.	50,0	Empresa mediana
Rinconada	IX	Security Leasing S.A	8,2	Empresa grande
Reserva Nacional Malalcahuello	IX	CONAF	94,3	Estado
SUBTOTAL			936,1	
Fundo Pedernal, comuna Frutillar	X	Ruth Schillins Steinbauer	8,0	Propietario pequeño
San Juan	X	Ercir Altamirano	3,7	Propietario pequeño
San Miguel	X	Claudio Errázuriz	38,6	Propietario pequeño
Pumillahue A-C	X	Xavier De Angelis	109,1	Propietario mediano
Quitacalzón	X	Enrique Schele B.	72,2	Propietario mediano
Pille Coz-Coz	X	George Spiegelfeld	12,8	Propietario mediano
Santa Victoria	X	Lucia Stange D.	6,2	Propietario mediano
Quesquechan	X	Peter Schauenburg	29,3	Propietario mediano
El Maqui	X	Oscar Michaelis	4,9	Propietario mediano

Predio	Región	Propietario	Sup. Pl. Mixtas (Ha)	Tipo de Propietario
El Milagro	X	Renato Abbot	15,0	Propietario mediano
Crucero nuevo	X	Karin Schilling	2,0	Propietario mediano
Crucero viejo	X	Hugo Schilling	15,0	Propietario mediano
La Parrilla	X	Felicitas Heinrich	27,0	Propietario mediano
Fundo Los Ciervos	X	Ana María Schilling	40,0	Propietario mediano
Fundo Los Corrales	X	Margoth Geisse Detleffsen	23,0	Propietario mediano
Hijuela 2, Fundo Guay Guay, comuna Los Lagos	X	Luz María Manterola Vergara	10,0	Propietario mediano
Dollinco, comuna Mariquina	X	Herbert Siebert	31,0	Propietario mediano
San Vicente, comuna Futrono	X	Rudolph Fahrre von Furstenberg	60,0	Propietario mediano
Miraflores, comuna Lanco	X	Alberto Montecuccoli L.	266,0	Propietario grande
La Vega	X	Agrícola y Ganadera La Vega Ltda.	10,0	Empresa mediana
Arquihue, comuna Futrono	X	Soc. Agrícola Taquihue Ltda.	635,0	Empresa mediana
Colegual, comuna Los Lagos	X	Eddagro S.A.	450,0	Empresa mediana
Fundos San Antonio, Cuncharo y Sotillo I y II	X	Forestal Natalhue S.A.	1.040,0	Empresa mediana
Pumillahue Sur Lote B	X	Forestal Tornagaleones	19,3	Empresa grande
Reserva Nacional Llanacura	X	Forestal San Pedro	33,8	Empresa grande
Las Trancas	X	Forestal Valdivia S.A	30,2	Empresa grande
Las Palmas	X	Universidad Austral de Chile	26,7	Universidad
Los Pinos	X	Universidad Austral de Chile	6,7	Universidad

Predio	Región	Propietario	Sup. Pl. Mixtas (Ha)	Tipo de Propietario
Los Ulmos	X	Universidad Austral de Chile	8,2	Universidad
SUBTOTAL			3.033,7	
Los Coihues, comuna Cochrane	XI	Nelson Vera	600,0	Propietario mediano
Los Trinos, sector Lago Frío	XI	José Manuel Carrillo	36,0	Propietario mediano
Lote 80-81, sector Mano Negra	XI	Alejandro Ossa	58,0	Propietario mediano
San Gabriel, sector Mano Negra	XI	Víctor Matta Echevarría	174,8	Propietario mediano
El Dañino, sector Emperador Guillermo	XI	Felipe Solís Cabezas	310,0	Propietario mediano
La Cabaña (Don Carlos) sector Mano Negra	XI	Sergio Salas Donoso	200,0	Propietario mediano
Lote 77, sector Mano Negra	XI	Héctor Cantín Bus	300,0	Propietario mediano
Reserva Nacional Coyhaique	XI	CONAF	202,4	Estado
Reserva Nacional Cerro Castillo	XI	CONAF	54,1	Estado
SUBTOTAL			1.935,3	

Fuente: Elaboración propia

5.3 PLANTACIONES MIXTAS REALIZADAS POR INFOR

En función de los actuales conocimientos acerca de las plantaciones mixtas, el Instituto Forestal, en el marco de los proyectos “Silvicultura de especies no tradicionales: una mayor diversidad productiva” y “Plantaciones mixtas: productividad, diversidad y sustentabilidad para el desarrollo forestal”, desde el año 1997 ha establecido nueve ensayos mixtos desde la VII a la X región. El objetivo general de estos ensayos es evaluar el comportamiento y crecimiento de una(s) especie(s) principal(es) con otra(s) secundaria(s). Los modelos de plantación han considerado la selección de especies de alto valor, asociadas generalmente a especies arbóreas fijadoras de nitrógeno, y recientemente se han incluido especies arbustivas acompañantes.

En el Cuadro II se describe el tipo de plantación realizada, las especies utilizadas y otros antecedentes de los ensayos establecidos por INFOR.

Cuadro II. Descripción de plantaciones mixtas experimentales con especies de alto valor

Región	Ubicación	Año de plantación	Tipo de plantación	Especies Principales	Especies Secundarias
VII	Alupenhue Molina	2001	Mixta pie a pie 3,5 x 3,5 m	Castaño, cerezo	Aliso negro, olivo de bohemia, avellano europeo
VII	El Yacal Molina	2001	Mixta pie a pie 3 x 3 m (Diseño, Figura 100)	Nogal común, cerezo, peral, manzano	Aliso negro, olivo de bohemia
VII	Huapi Linares	2001	Mixta pie a pie 3,5 x 3,5 m	Cerezo	Acacio
VII	Copihue Retiro	1997 (Figura 97)	Mixta pie a pie 3 x 3 m	Nogal común	Olivo de bohemia
VIII	Antiquina Contulmo	1996 (Figura 98)	Mixta pie a pie 2 x 2 m	Nogal común, castaño, cerezo, raulí	
VIII	El Huertón Los Angeles	1997	Mixta pie a pie 3 x 3 m	Nogal común	Olivo de bohemia
VIII	El Huaqui Los Angeles	1998	Mixta pie a pie 3 x 3 y 4 x 4 m	Nogal común	Olivo de bohemia
VIII	Curanilahue Cabrero	2001	Mixta pie a pie 3,5 x 3,5 m (Diseño, Figura 101)	Nogal común, cerezo	Aliso negro, quillay
IX	San Antonio Loncoche	1994	Mixta en grupos 2 x 2 y 3 x 3 m	Castaño, cerezo, raulí	

Región	Ubicación	Año de plantación	Tipo de plantación	Especies Principales	Especies Secundarias
IX	San Miguel Renaico	1998 (Figura 99)	Mixta pie a pie 3 x 3 m	Nogal negro, fresno mayor, castaño, liquidambar	
X	Saval Valdivia	2001	Mixta pie a pie 3,5 x 3,5 m	Nogal común, cerezo	Aliso negro, olivo de bohemia
X	Ainilebu Los Lagos	2001	Mixta pie a pie 5 x 4 m (Diseño, Figura 102)	Cerezo, roble rojo americano, castaño, farnia	Aliso negro, avellano chileno, notro, piche

Fuente: Elaboración propia

Los diseños pie a pie empleados varían según la región, el sitio y los intereses del propietario. En las Figuras 100, 101 y 102 se presentan las tesis probadas en algunos de ellos.

Cabe notar que en la temporada 2005 la empresa Compañía Agrícola y Forestal El Álamo estableció una plantación experimental de 0,6 ha de álamo, nogal común y aliso italiano, siguiendo los resultados positivos obtenidos en asociaciones de ambas especies principales en Italia, y ante el peligro de la llegada de *Tremex* a la región. Su evaluación futura dará información interesante para la incorporación de modelos mixtos en el país.

6. ANÁLISIS ECONÓMICO DE CASOS DE PLANTACIONES MIXTAS

Con el objetivo de cuantificar el impacto del manejo mixto en el volumen, calidad de la madera, y resultados económicos, a continuación se presentan evaluaciones de dos estudios de caso. El primero corresponde a nogal común, plantado en forma pura y mixta, con un sistema de manejo intensivo, considerando las técnicas de manejo de la arboricultura; y el segundo a pino oregón en forma pura y mixta, bajo dos enfoques de manejo: silvicultura tradicional y silvicultura con apego a la naturaleza. Ambos casos corresponden a sistemas productivos reales aplicados en Chile.

6.1 PLANTACIÓN DE NOGAL COMÚN

El análisis económico efectuado considera plantaciones puras y mixtas, y cada una de estas opciones se modeló con la aplicación de tecnología media (corresponde a cuidados culturales intensivos durante los primeros años y riego por surco) y alta (corresponde a cuidados culturales intensivos durante los primeros años y riego tecnificado).

También se considera la forma en que se aplica el manejo, lo que se traduce en buenas o malas prácticas, que corresponden al grado de cumplimiento de las indicaciones de manejo; dentro de éstas últimas se identificaron dos tipos de malas prácticas:

- Malas prácticas que alteran tanto el crecimiento potencial, reduciéndolo, como la calidad de la madera. Consideran variaciones en el incremento diametral (crecimiento irregular en diámetro), cuellos enterrados, riegos irregulares, daños mecánicos y otros, generando un modelo con una distribución porcentual de los productos a obtener menos favorable que la obtenida con la aplicación de buenas prácticas en la plantación; este tipo de malas prácticas se han denominado como tipo 1.
- Malas prácticas que no generan variaciones en el incremento diametral de los árboles ni en el volumen, pero sí alteran su calidad; principalmente corresponden a podas inadecuadas o efectuadas en momentos inoportunos. Esto origina una distribución porcentual de los productos a obtener menos favorable que la obtenida con la aplicación de buenas prácticas; este tipo de malas prácticas se ha denominado como tipo 2. En síntesis, se considera que no se cometen errores técnicos que reduzcan el crecimiento, como el de enterrar los cuellos de las plantas, pero sí otros que afectan su calidad.

Un resumen de los esquemas de manejo resultantes de estas combinaciones se presenta en los Cuadros 12 y 13.

Cuadro 12. Esquemas de manejo para plantaciones puras con distintas tecnologías y prácticas

Tecnología media, buenas prácticas	Tecnología media, malas prácticas (1)	Tecnología media, malas prácticas (2)	Actividad	Tecnología alta, buenas prácticas	Tecnología alta, malas prácticas (1)	Tecnología alta, malas prácticas (2)	Actividad
Año	Año	Año		Año	Año	Año	
1	1	1	Establecimiento control de malezas pre-plantación, trabajo al suelo, aradura, fertilización, plantación 1.100 arb/ha	1	1	1	Establecimiento control de malezas pre-plantación, trabajo al suelo, aradura, fertilización, plantación 1.100 arb/ha
2-3	2-3	2-3	Silvicultura y manejo fertilización	2-3	2-3	2-3	Silvicultura y manejo fertilización
2-5	2-5	2-5	control de malezas	2-5	2-5	2-5	control de malezas
2-29	2-39	2-29	riego (2 veces/mes por 5 meses)	2-25	2-29	2-22	riego (1 vez/mes por 5 meses, revisión goteros)
2-8	2-8	2-8	poda de formación y desyeme	2-5	2-5	2-5	poda de formación y desyeme
6-10	6-10	6-10	poda de levante y desyeme	4-9	4-9	4-9	poda de levante y desyeme
7	8	7	raleo 1	5	6	5	raleo 1
12	14	12	raleo 2	9	11	9	raleo 2
17	20	17	raleo 3	13	15	13	raleo 3
30	35	30	cosecha	23	27	23	cosecha
1,5	1,3	1,5	Incremento anual diamétrico en cm.	2	1,7	2	Incremento anual diamétrico en cm.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 13. Esquemas de manejo para plantaciones mixtas con distintas tecnologías y prácticas

Tecnología media, Buenas Prácticas	Tecnología media, Malas Prácticas (1)	Tecnología media, Malas Prácticas (2)	Actividad	Tecnología alta, Buenas Prácticas	Tecnología alta, Malas Prácticas (1)	Tecnología alta, Malas Prácticas (2)	Actividad
Año	Año	Año		Año	Año	Año	
1	1	1	Establecimiento control de malezas pre-plantación, trabajo al suelo, aradura, fertilización, plantación 1.100 arb/ha	1	1	1	Establecimiento control de malezas pre-plantación, trabajo al suelo, aradura, fertilización, plantación 1.100 arb/ha
			Silvicultura y manejo				Silvicultura y manejo
2	2	2	fertilización	2	2	2	fertilización
2-5	2-5	2-5	control de malezas	2-5	2-5	2-5	control de malezas
2-22	2-29	2-22	riego (2 veces/mes por 5 meses)	2-17	2-22	2-22	riego (1 vez/mes por 5 meses, revisión goteros)
2-4	2-4	2-4	poda de formación y desyeme	2-4	2-4	2-4	poda de formación y desyeme
3-7	3-7	3-7	poda de levante y desyeme	3-7	3-7	3-7	poda de levante y desyeme
5	7	5	raleo 1	4	5	4	raleo 1
9	12	9	raleo 2	7	9	7	raleo 2
13	17	13	raleo 3	10	13	10	raleo 3
23	30	23	cosecha	18	23	18	cosecha
2	1,5	2	Incremento anual diamétrico en cm.	2,5	2	2,5	Incremento anual diamétrico en cm.

Fuente: Elaboración propia

La plantación mixta, muy simple, asocia nogal común y olivo de bohemia, con un 50% de participación de cada una, en un diseño a tres bolillos.

No se consideran los ingresos que se podría obtener por la venta de leña de olivo de bohemia, de buena calidad, ni de la venta de nueces.

En los Cuadros 14 y 15 se presenta la distribución porcentual de los productos generados durante la rotación, tanto en una plantación pura como mixta, de acuerdo al tipo de tecnología aplicada y en función del tipo de práctica realizada (buena, mala I o mala 2). Se consideraron cifras conservadoras respecto a criterios de expertos europeos en la materia (Berti, 2004, com. personal; Buresti, 2003, com. personal).

Cuadro 14. Distribución porcentual de productos en plantaciones puras con distintas tecnologías y prácticas

Categorías de Productos	Tecnología media, buenas prácticas	Tecnología media, malas prácticas (1)	Tecnología media, malas prácticas (2)	Tecnología alta, buenas prácticas	Tecnología alta, malas prácticas (1)	Tecnología alta, malas prácticas (2)
Trozas foliables	40	0	0	55	0	0
Trozas aserrables I	25	30	30	20	40	40
Trozas aserrables II	20	30	30	10	30	30
Trozas aserrables III	15	40	40	15	30	30
Total (%)	100	100	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia con base en expertos calificados

Cuadro 15. Distribución porcentual de productos en plantaciones mixtas con distintas tecnologías y prácticas

Categorías de productos	Tecnología media, buenas prácticas	Tecnología media, malas prácticas (1)	Tecnología media, malas prácticas (2)	Tecnología alta, buenas prácticas	Tecnología alta, malas prácticas (1)	Tecnología alta, malas prácticas (2)
Trozas foliables	55	20	20	75	20	20
Trozas aserrables I	20	20	20	10	30	30
Trozas aserrables II	10	30	30	10	20	20
Trozas aserrables III	15	30	30	5	30	30
Total (%)	100	100	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia con base en expertos calificados

Los costos de las diferentes faenas para plantaciones puras y mixtas con tecnología media y con buenas prácticas se presentan en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Costos de manejo para plantaciones puras y mixtas de nogal para una tecnología media y buenas prácticas

Actividad	PPTM Bien Costo (\$/ha)	PMTM Bien Costo (\$/ha)
Control de malezas pre-plantación		
Mano de obra	7.500	7.500
producto (roundup+simazina)	35.000	35.000
Subsolado con tractor agrícola	40.000	40.000
Plantación		
Mano de obra	28.500	28.500

Plantas nogales	660.000	330.000
Plantas olivos		55.000
Fertilización		
Mano de obra	8.250	4.125
Fertilizantes (NPK)	82.500	41.250
Control de malezas		
Mano de obra	15.000	15.000
Materiales (roundup)	35.000	35.000
Riego	3.750	3.750
Poda de formación años 1 a 3	16.500	5.500
Poda de formación años 4 en adelante	33.000	11.000
Desyeme	4.125	6.875
Poda levante	36.667	18.333
Raleo 1	49.500	49.500
Raleo 2	30.938	30.938
Raleo 3	27.500	27.500
Cosecha	933.055	974.985
Transporte y envío (exp.)	2.539.403	2.653.519
Administración	20.000	20.000

Fuente: Modificado de Loewe (2003), Anexo 2

Los precios de venta de la madera considerados en las evaluaciones corresponden a: Trozas foliadas \$ 744.000²⁶/m³, Trozas aserrables I \$ 446.400/m³, Trozas aserrables II \$ 334.800/m³ y Trozas aserrables III \$ 223.200/m³, precios conservadores acordes a las tendencias históricas del mercado europeo.

26. Corresponde a Euro 1.000/m³

En el Cuadro 17 se presentan los resultados de las evaluaciones económicas realizadas (TIR y Van al 10%) para diferentes tecnologías aplicadas, con la consiguiente variación en el crecimiento y calidad de la madera (malas prácticas 1) y variación sólo en la calidad de la madera (malas prácticas 2).

Cuadro 17. Indicadores de rentabilidad según tecnología y tipo de práctica

Tipo de Tecnología	Tipo de prácticas	Plantación pura		Plantación mixta	
		Van (\$/ha)	TIR (%)	Van (\$/ha)	TIR (%)
Media	Buenas	1.642.690	13,0	6.355.665	21,4
Alta	Malas (1)	-419.828	9,0	1.463.660	13,6
	Malas (2)	349.074	10,8	4.171.689	19,4
	Buenas	4.930.862	15,9	11.190.692	23,8
	Malas (1)	513.922	10,8	3.425.549	15,4
	Malas (2)	1.943.614	13,1	6.352.494	20,4

Fuente: Elaboración propia

Se observa que realizando una inversión inicial de \$ 861.750 ó de \$ 541.375 (caso de tecnología media), y de \$ 2.011.750 ó de \$ 1.691.375 (caso de tecnología alta) para plantaciones puras y mixtas respectivamente, los indicadores económicos obtenidos presentan diferencias significativas para los factores analizados, incluyendo nivel tecnológico y tipo de práctica. En el caso de plantaciones mixtas se obtiene siempre un resultado económico atractivo.

Todas las situaciones evaluadas de la plantación mixta resultan significativamente superiores a las correspondientes a plantaciones puras. En particular, las pérdidas son más que proporcionales cuando se aplican malas prácticas (se hacen podas incorrectas y/o en momentos no apropiados, se entierran cuellos, ocurren daños mecánicos en los árboles, etc.), lo que es perfectamente atendible, ya que las plantaciones mixtas tienen la virtud de delegar parte del manejo en las especies acompañantes.

Cuando se realizan buenas prácticas, tanto la plantación pura como la plantación mixta constituyen una opción atractiva en términos financieros, aunque aparece muy superior la alternativa mixta.

Asimismo queda en evidencia el enorme impacto económico que tienen las prácticas de manejo aplicadas. De hecho, las cifras muestran que no ejecutar o ejecutar mal una faena o técnica tiene un

costo final mayor al que un propietario pudiera imaginar desde su perspectiva individual y situada en el tiempo presente, no tomando en consideración el impacto futuro del error u omisión.

6.2 PLANTACIÓN DE PINO OREGÓN

6.2.1 Plantación pura

Para efectos de la evaluación económica, el esquema de manejo propuesto para una plantación pura de pino oregón establecida con una densidad de 1.600 arb/ha se presenta en el Cuadro 18; los costos del establecimiento y manejo, elaborados a partir de información de una empresa con gran experiencia en la producción de madera de pino oregón de la IX región (a excepción del precio de la madera clear, que las autoras estiman en US\$ 100/m³ para madera de rápido crecimiento) se presentan en el Cuadro 19. También se incluyen los precios de los productos de cada raleo y de la corta final en el Cuadro 20, y los indicadores de rentabilidad económica del modelo puro, que refleja un tipo de manejo efectuado en la IX y X región (Cuadro 21).

La rotación se fijó en 45 años, ya que según la empresa difícilmente puede ser inferior.

Las autoras están concientes que otros autores proponen rotaciones significativamente inferiores (35 años), pero también que el mercado internacional asigna precios menores a la madera de esta especie que presenta anillos de crecimientos anchos. En particular, el mercado europeo considera y paga la madera de esta especie como de alto valor si al menos posee entre tres y ocho anillos por pulgada.

Cuadro 18. Esquema de manejo para plantación pura de Pino oregón

Año	Actividad
	<i>Establecimiento:</i>
I	ripper, taseo, herbicidas, plantación
	<i>Silvicultura y manejo:</i>
I-5	Limpías
8	poda baja 2,5 m de 1.000 arb/ha
11	poda media a 5 m de 500 arb/ha
14	poda alta a 7,5 m de 300 arb/ha
10	raleo a desecho
18	raleo 60 m ³ /ha + 38 mruma/ha
26	raleo 113 m ³ /ha + 22 mruma/ha
34	raleo 100 m ³ /ha + 16 mruma/ha
45	Cosecha final 600 m ³ /ha + 12 mruma/ha

Fuente: Elaboración propia con base en expertos calificados

Cuadro 19. Costos para plantación pura de pino oregón

Actividad	Costo (\$/ha)
Establecimiento	80.000
Costo plantas	176.000
Limpia inicial	30.000
Limpias año 2-5	25.000
Poda baja	60.000
Poda media	50.000
Poda alta	42.000
Raleo 1 a desecho	60.000
Raleo 2 (extracción m ³)	255.000
Raleo 2 (extracción mruma)	152.000
Raleo 3 (extracción m ³)	372.900
Raleo 3 (extracción mruma)	44.000
Raleo 4 (extracción m ³)	250.000
Raleo 4 (extracción mruma)	32.000
Cosecha final (extracción m ³)	720.000
Cosecha final (extracción mruma)	24.000
Administración	10.000

Fuente: Elaboración propia con base en expertos calificados

Cuadro 20. Precios por producto de pino oregón de plantación pura

Tipo de troza	Precio (\$/m ³)
Metro ruma	8.000
Madera aserrada raleo 2-3	15.400
Madera aserrada raleo 4 y cosecha	23.100
Madera clear	53.500

Nota: Precios puestos a orilla de camino

Fuente: Elaboración propia con base en expertos calificados

Cuadro 21. Indicadores de rentabilidad para plantación pura de pino oregón

Van (10%) (\$/ha)	TIR (%)	Rotación (años)
91.294	10,6	45

Fuente: Elaboración propia

6.2.2 Plantación mixta

A continuación se presenta el esquema de manejo propuesto para una plantación mixta de pino oregón y aramo australiano establecida con una densidad inicial de 1.600 arb/ha (Cuadros 22 y 23), así como los costos de las faenas de su manejo y establecimiento (Cuadro 24), correspondiente a un manejo con apego a la naturaleza, descrito con detalle en el punto 3.7.3, de acuerdo a información proporcionada por Siebert (2005, com. personal). Además, se incluyen ingresos (Cuadro 25) y los indicadores de rentabilidad (Cuadro 26) del modelo mixto evaluado en ciclos de 64 y 100 años, que reflejan un manejo efectuado exitosamente en la IX y X regiones.

En este modelo no se realiza una corta final, ya que a partir del año 54 se maneja y cosecha como cubierta permanente, con una estructura irregular y manejo de la regeneración natural.

Sin embargo, para efectos de comparación con el modelo puro se consideran dos situaciones: se hacen cortes del análisis a 64 y a 100 años, aunque el manejo es permanente, con cosechas periódicas

cada 5 años, por lo que en ningún caso se considera una cosecha final con extracción del total de volumen existente, pero sí se estima un volumen residual estimado.

Cuadro 22. Esquema de manejo para plantación mixta de pino oregón con ciclo de 64 años

Año	Actividad
	<i>Establecimiento:</i>
1	ripper, taseo, herbicidas, plantación
	<i>Silvicultura y manejo:</i>
1-3	Limpías
8	poda baja 1,5 m de 400 arb/ha
12	poda media a 4,5 m de 250 arb/ha
16	raleo de aromos bifurcados
	Producción 125 m ³ ruma leña
	poda alta a 6,5 m de 250 ar/ha
22	poda muy alta a 13 m de 50 arb/ha
24	raleo, producción 50 m ³ /ha
29	raleo, producción 50 m ³ /ha
34	raleo, producción 75 m ³ /ha
39	raleo, producción 75 m ³ /ha
44	raleo, producción 80 m ³ /ha
49	raleo, producción 80 m ³ /ha
54	raleo, producción 100 m ³ /ha
59	raleo, producción 100 m ³ /ha
64	raleo, producción 100 m ³ /ha

Fuente: Siebert (2004). Com. Personal

Cuadro 23. Esquema de manejo para plantación mixta de pino oregón con ciclo de 100 años

Año	Actividad
	<i>Establecimiento:</i>
1	ripper, taseo, herbicidas, plantación
	<i>Silvicultura y manejo:</i>
1-3	Limpias
8	poda baja a 1,5 m de 400 arb/ha
12	poda media a 4,5 m de 250 arb/ha
16	raleo de aromos bifurcados Producción 125 m ³ ruma leña poda alta a 6,5 m de 250 ar/ha
22	poda muy alta a 13 m de 50 arb/ha
24	raleo, producción 50 m ³ /ha
29	raleo, producción 50 m ³ /ha
34	raleo, producción 75 m ³ /ha
39	raleo, producción 75 m ³ /ha
44	raleo, producción 80 m ³ /ha
49	raleo, producción 80 m ³ /ha
54	raleo, producción 100 m ³ /ha
59	raleo, producción 100 m ³ /ha
64	raleo, producción 100 m ³ /ha
69	raleo, producción 100 m ³ /ha
74	raleo, producción 100 m ³ /ha
79	raleo, producción 100 m ³ /ha
84	raleo, producción 100 m ³ /ha
89	raleo, producción 100 m ³ /ha
94	raleo, producción 100 m ³ /ha
100	raleo, producción 100 m ³ /ha

Fuente: Siebert (2004). Com. Personal

Cuadro 24. Costos de plantación mixta de pino oregón

Actividad	Costo (\$/ha)
Establecimiento	70.000
Costo plantas pino oregón	88.000
Costo plantas blackwood	32.000
Poda baja	16.000
Poda media	26.000
Poda alta	20.000
Poda muy alta	40.000
Limpias	25.000
Raleo 1	225.000
Raleo 2	300.000
Raleo 3	300.000
Raleo 4	300.000
Raleo 5	300.000
Raleo 6	240.000
Raleo 7	240.000
Raleo 8	200.000
Raleo 9	200.000
Raleo 10	200.000
Administración	10.000

Fuente: Siebert (2004). Com. Personal

Cuadro 25. Ingresos obtenidos por raleo para plantación mixta de pino oregón

Producto	Volumen (m ³ ssc/ha)	Ingreso (\$/ha)
Raleo 1 (mruma/ha)	125	250.000
Raleo 2	50	1.000.000
Raleo 3	50	1.000.000
Raleo 4	75	2.250.000
Raleo 5	75	3.000.000
Raleo 6	80	4.000.000
Raleo 7	80	4.800.000
Raleo 8	100	9.590.000
Raleo 9	100	9.590.000
Raleos 10 – 17	100	9.590.000
Valor residual del bosque	400	38.360.000

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 26. Indicadores de rentabilidad para plantación mixta de pino oregón

Van (10%) (\$/ha)	TIR (%)	Ciclo (años)
198.038	11,3	64
147.762	11,0	100

Fuente: Elaboración propia

A partir del año 49 se genera madera de calidad de aroma australiano, la que se incluye en los ingresos generados por el modelo mixto. Éstos consideran un aumento de 117 y 62% por sobre los ingresos generados en el modelo puro, respectivamente, debido a la calidad de la madera obtenida en plantaciones mixtas, tanto de aroma australiano como de pino oregón, la que corresponde a madera de anillos angostos, sana y con pocos nudos pequeños.

Se debe tener en consideración que en el ejercicio anterior no se incluyó la bonificación forestal, la que incrementaría en alrededor de un 2% la TIR y en unos US\$ 400 el VAN al 10% en ambos casos.

6.3 CONSIDERACIONES SOBRE LOS ANÁLISIS ECONÓMICOS

Los estudios de caso considerados corresponden a dos enfoques diferentes en cuanto a las técnicas aplicadas (arboricultura intensiva, y silvicultura tradicional y con apego a la naturaleza), a su continuidad en el tiempo (corta total y manejo de cubierta permanente), pero que corresponden a dos situaciones de manejo que se aplican en diferentes zonas de Chile.

Los resultados obtenidos para los indicadores de rentabilidad, en ambos casos, muestran valores superiores y significativos para las plantaciones mixtas.

En el caso del nogal las diferencias entre los modelos puros y mixtos son impactantes, considerando solamente aspectos productivos, mientras que en caso del pino oregón estas diferencias son menores, pero no por ello menos relevantes. Si se cuantificaran parte, o todos, los otros beneficios de los sistemas mixtos, comentados en detalle en el punto 3.3, estas diferencias serían aun mayores, tanto desde el punto de vista de una evaluación privada, social y ambiental.

En los Cuadros 27 y 28 se presenta un resumen con los indicadores de rentabilidad para la situación pura y mixta de una plantación de nogal.

Cuadro 27. Indicadores de rentabilidad para plantación pura de nogal

Modelo	Van (10%) \$/ha	TIR (%)	Rotación (años)	Incremento diamétrico anual (cm.)	Manejo	Producto final
PP Nogal Tecnología media, buenas prácticas	1.642.690	13,0	30	1,5	con riego años 2-29, fertilización años 2-3	Trozas foliables (40%); trozas aserrables I (25%), II (20%), III (15%)
PP Nogal Tecnología media, malas prácticas (I)	-419.828	9,0	35	1,3	con riego años 2-34, fertilización años 2-3	Trozas foliables (0%); trozas aserrables I (30%), II (30%), III (40%)

Modelo	Van (10%) \$/ha	TIR (%)	Rotación (años)	Incremento diamétrico anual (cm.)	Manejo	Producto final
PP Nogal Tecnología media, malas prácticas (2)	349.074	10,8	30	1,5	con riego años 2-29, fertilización años 2-3	Troz as foliables (0%); trozas aserrables I (30%), II (30%), III (40%)
PP Nogal Tecnología alta, buenas prácticas	4.930.862	15,9	23	2	con riego años 2-22, fertilización años 2-3	Troz as foliables (55%); trozas aserrables I (20%), II (10%), III (15%)
PP Nogal Tecnología alta, malas prácticas (1)	513.922	10,8	27	1,7	con riego años 2-26, fertilización años 2-3	Troz as foliables (0%); trozas aserrables I (40%), II (30%), III (30%)
PP Nogal Tecnología alta, malas prácticas (2)	1.943.614	13,1	23	2	con riego años 2-22, fertilización años 2-3	Troz as foliables (0%); trozas aserrables I (40%), II (30%), III (30%)

Fuente: Elaboración propia

En el caso de plantaciones puras de nogal efectuadas con buenas prácticas, la opción tecnológica media presenta un VAN al 10% de \$ 1.642.690/ha y una TIR de 13,0% con una rotación de 30 años; mientras que la opción tecnológica alta presenta un VAN al 10% de \$ 4.930.862/ha y una TIR de 15,9% con una rotación de 23 años. Tanto la TIR como las rotaciones y los VAN son significativamente diferentes (este último 3 veces superior en el caso de la tecnología alta).

En el caso de plantaciones puras de nogal efectuadas con malas prácticas I, la opción tecnológica media presenta un VAN al 10% de \$ -419.828/ha y una TIR de 9,0% con una rotación de 35 años; mientras que la opción tecnológica alta presenta un VAN al 10% de \$ 513.922/ha y una TIR de 10,8% con una rotación de 27 años. Queda en evidencia que el esquema de tecnología media si se aplican malas prácticas de tipo I genera pérdidas económicas.

En el caso de plantaciones puras de nogal efectuadas con malas prácticas 2, la opción tecnológica media presenta un VAN al 10% de \$ 349.074/ha y una TIR de 10,8% con una rotación de 30 años; mientras que la opción tecnológica alta presenta un VAN al 10% de \$ 1.943.614/ha y una TIR de 13,1% con una rotación de 23 años, lo que representa un ingreso 5,5 veces mayor. Tanto la TIR como las rotaciones y los VAN son significativamente diferentes.

Cuadro 28. Indicadores de rentabilidad para una plantación mixta de nogal

Modelo	Van (10%) \$/ha	TIR (%)	Rotación (años)	Incremento diamétrico anual (cm.)	Manejo	Producto final
PM Nogal Tecnología media, buenas prácticas	6.355.665	21,4	23	2	con riego años 2-22, fertilización año 2	Trozas foliables (55%); trozas aserrables I (20%), II (10%), III (15%)
PM Nogal Tecnología media, malas prácticas (1)	1.463.660	13,6	30	1,5	con riego años 2-29, fertilización año 2	Trozas foliables (20%); trozas aserrables I (20%), II (30%), III (30%)
PM Nogal Tecnología media, malas prácticas (2)	4.171.689	19,4	23	2	con riego años 2-22, fertilización año 2	Trozas foliables (20%); trozas aserrables I (20%), II (30%), III (30%)
PM Nogal Tecnología alta, buenas prácticas	11.190.692	23,8	18	2,5	con riego años 2-17, fertilización año 2	Trozas foliables (75%); trozas aserrables I (10%), II (10%), III (5%)
PM Nogal Tecnología alta, malas prácticas (1)	3.425.549	15,4	23	2	con riego años 2-21, fertilización año 3	Trozas foliables (20%); trozas aserrables I (30%), II (20%), III (30%)
PM Nogal Tecnología alta, malas prácticas (2)	6.352.494	20,4	18	2,5	con riego años 2-17, fertilización año 2	Trozas foliables (20%); trozas aserrables I (30%), II (20%), III (30%)

Fuente: Elaboración propia

En el caso de plantaciones mixtas de nogal efectuadas con buenas prácticas, la opción tecnológica media presenta un VAN al 10% de \$ 6.355.665/ha y una TIR de 21,4% con una rotación de 23 años; mientras que la opción tecnológica alta presenta un VAN al 10% de \$ 11.190.692/ha y una TIR de 23,8% con una rotación de 18 años. Si bien la TIR en ambos casos es cercana, las rotaciones y los VAN son significativamente diferentes (1,7 veces superior en el caso de la tecnología alta).

En el caso de plantaciones mixtas de nogal efectuadas con malas prácticas 1, la opción tecnológica media presenta un VAN al 10% de \$ 1.463.660/ha y una TIR de 13,6% con una rotación de 30 años; mientras que la opción tecnológica alta presenta un VAN al 10% de \$ 3.425.549/ha y una TIR de 15,4% con una rotación de 23 años, 2,3 veces superior.

En el caso de plantaciones mixtas de nogal efectuadas con malas prácticas 2, la opción tecnológica media presenta un VAN al 10% de \$ 4.171.689/ha y una TIR de 19,4% con una rotación de 23 años; mientras que la opción tecnológica alta presenta un VAN al 10% de \$ 6.352.494/ha y una TIR de 20,4% con una rotación de 18 años, 1,5 veces superior. Si bien la TIR en ambos casos es cercana, las rotaciones y los VAN son significativamente diferentes.

Finalmente, la superioridad económica del modelo mixto queda representado en las importantes diferencias registradas a igualdad de condiciones: para el caso de plantación pura con tecnología media y buenas prácticas se obtiene un VAN de \$ 1.642.690/ha respecto a \$ 6.355.665/ha en el equivalente mixto, 3,8 veces superior. Paralelamente, para el caso de plantación pura con tecnología alta y buenas prácticas se obtiene un VAN de \$ 4.930.862/ha respecto a \$ 11.190.692/ha en el equivalente mixto, 2,2 veces superior.

En el Cuadro 29 se presenta un resumen con los indicadores de rentabilidad para la situación pura y mixta de una plantación de pino oregón.

Cuadro 29. Indicadores de rentabilidad para plantación pura y mixta de pino oregón

Modelo	Van (10%) \$/ha	TIR (%)	Ciclo (años)	Manejo	Producto final
Puro	91.294	10,6	45	Limpia años 1-5; podas años 8, 11 y 14; 4 raleos	Metro ruma, madera aserrada calidad I, II y clear
Mixto	198.038	11,3	64	Limpia años 1-3; podas años 8, 12, 16 y 22; raleos (extracciones) cada 5 años	Metro ruma, madera aserrada calidad I, II, III, IV, V y clear
Mixto	147.762	11,0	100	Limpia años 1-3; podas años 8, 12, 16 y 22; raleos (extracciones) cada 5 años	Metro ruma, madera aserrada calidad I, II, III, IV, V y clear

Fuente: Elaboración propia

En el caso del cultivo del pino oregón, se obtiene para la situación pura una VAN al 10% de \$ 91.294/ha y una TIR de 10,6% considerando un ciclo de corta de 45 años; mientras que para la situación mixta se obtiene un VAN al 10% de \$ 198.038/ha y una TIR de 11,3% considerando un ciclo de 64 años (2,1 veces superior) y un VAN al 10% de \$ 147.762/ha y una TIR de 11,0% para un ciclo de 100 años (1,6 veces superior), lo que demuestra la superioridad del modelo mixto .

7. CONCLUSIONES

La información proporcionada en este texto permite concluir que la realización de plantaciones mixtas es factible técnica, económica, social y culturalmente, con amplias e importantes ventajas respecto a las plantaciones puras tradicionales.

A continuación se presenta algunas conclusiones más específicas respecto a los temas tratados:

Plantaciones Mixtas

- La presencia de varias especies en los ecosistemas forestales es común en la naturaleza. Estos modelos naturales pueden ser reproducidos con éxito en plantaciones artificiales para la producción de madera de calidad, en los que tanto la calidad como la cantidad puede ser incrementada por medio de asociaciones con diferentes especies.
- Los principales efectos de las plantaciones mixtas, si son bien diseñadas y realizadas, pueden resumirse así:
 - Incremento de la fertilidad del suelo, especialmente en mezclas que incluyen especies fijadoras de nitrógeno.
 - Baja competencia entre árboles, particularmente en asociaciones bien diseñadas entre especies con diferente morfología del sistema radicular, forma de copa y necesidades nutricionales.
 - Diversificación de la producción, debido a que las especies secundarias pueden entregar productos diferentes a los de las especies principales.
 - Mejor calidad del fuste de las especies principales.
 - Mayor resistencia a enfermedades.
 - Simplificación de las técnicas de cultivo en los primeros años después de la plantación.
- La asociación de coníferas y latifoliadas proporciona flexibilidad económica, incrementa la diversidad biológica y los beneficios estéticos, en comparación con las plantaciones tradicionales puras.
- Los bosques abundantes en especies son menos vulnerables a ataques de plagas y enfermedades y, generalmente, son necesarias menos intervenciones, o intervenciones más simples, que en las plantaciones puras. Por los riesgos que significan, no se aconseja establecer plantaciones puras o monoclonales en superficies superiores a 2-3 hectáreas.

- Se confirma la fragilidad de las plantaciones puras, al mismo tiempo que se presenta la oportunidad de usar estructuras mixtas en plantaciones con objetivo principalmente productivo.
- Casos de plantaciones mixtas exitosas incluyen situaciones que generan múltiples beneficios; situaciones en que la apariencia artificial de las plantaciones puras no es aceptable o poco deseable; en que el objetivo es reconstituir ecosistemas naturales originales; en que el uso de una asociación es requerido para que las especies acompañantes proporcionen sombra y protejan las especies de mayor valor del ataque de plagas y enfermedades; o cuando se requiere una garantía contra la muerte o desarrollo pobre de una (s) especie(s), o de la caída del precio o demanda de ciertas especies.
- En plantaciones forestales de latifoliadas nobles, su combinación con especies arbóreas, arbustivas y herbáceas puede representar un sistema de uso del suelo favorable en muchas situaciones ambientales y socioeconómicas.
- En condiciones de sitio óptimas para la(s) especie(s) seleccionada(s), resulta apropiado establecer la(s) especie(s) secundaria(s) con un año de anticipación, para manejar apropiadamente el vigor vegetativo de la(s) especie(s) objetivo.

Arboricultura

- La técnica de la arboricultura para la producción de madera de alta calidad está orientada a:
 - Obtener productos comercializables en mercados especializados;
 - Reducir los tiempos de producción;
 - Reducir la inversión inicial y los costos de manejo;
 - Obtener una rentabilidad mayor a la obtenida por medio de técnicas silvícolas tradicionales.
- La arboricultura puede ser aplicada por medio de plantaciones puras o mixtas, y se aplica normalmente con especies nobles o de alto valor.
- La producción de madera de calidad en plantaciones mixtas bajo la técnica de la arboricultura requiere de lo siguiente:
 - Prestar atención a la selección del sitio;
 - Prestar atención a la selección de la especie;
 - Prestar atención a la calidad y selección del material de vivero;
 - Mejorar las condiciones del sitio, considerando la estructura del suelo, la disponibilidad de agua y su contenido mineral;

- Elaborar un diseño que facilite la ejecución de las técnicas de cultivo;
 - Maximizar el crecimiento en forma compatible con la calidad del producto deseado;
 - Minimizar la duración del ciclo productivo;
 - Reducir el número de raleos para evitar anchos irregulares de los anillos de crecimiento;
 - Obtener un producto final lo más homogéneo posible.
- El impacto de las asociaciones sobre el crecimiento es positivo y de una magnitud interesante, con aumentos significativos del diámetro y altura con respecto a la situación pura, aunque el impacto varía según la asociación específica utilizada.
 - La presencia de especies secundarias rústicas de rápido crecimiento dentro de diseños pie a pie, en hileras o en grupos, mejora el crecimiento de las especies en 40-50% respecto a la situación pura.
 - Los productos procedentes de plantaciones mixtas orientadas a la producción de madera de alto valor que alcanzan mayores precios corresponden a madera foliable y aserrable, idealmente sin defectos, con anillos de crecimientos de anchos uniformes y color homogéneo.
 - No existe una definición de calidad “*per se*”, sino que ésta se define específicamente para un objetivo dado (por ejemplo madera estructural, para chapas, etc.).
 - Las exigencias (normativas formales y otras empleadas por el sector privado en la comercialización) del mercado europeo y norteamericano son considerables y tienen una significativa incidencia en la definición del precio de transacción.
 - Existen procesos tecnológicos específicos que deben realizarse para comercializar madera de alto valor a buen precio, entre los cuales destacan la vaporización dentro de proceso de secado.

Sistemas agroforestales

- Las ventajas de los sistemas agroforestales, en comparación con las plantaciones puras, recaen dentro del ámbito económico y ecológico; los cultivos permanentes incrementan la fertilidad del suelo y contribuyen a reducir su erosión. Una excepción es la asociación de especies principales con alfalfa, ya que presenta un efecto alelopático negativo importante para su desarrollo.
- El principal problema de los sistemas conocidos como “silvocultivos” en áreas mediterráneas corresponde a la competencia por agua entre los árboles y los cultivos, lo que reduce el crecimiento

de los árboles jóvenes. Por esto el agua debe ser considerada como el factor limitante y al que mayor atención se debe prestar en estos ecosistemas.

Rentabilidad

- En términos de rentabilidad, las evaluaciones económicas presentadas en este documento y otras estudiadas permiten concluir que las plantaciones mixtas, si se diseñan y manejan en forma adecuada, permiten obtener mejores indicadores que, en muchos casos, son significativamente superiores a los obtenidos en plantaciones puras de la misma especie principal.
- En el caso del nogal las diferencias entre los modelos puros y mixtos son impactantes, considerando solamente aspectos productivos (2,2 a 3,8 veces superiores en el sistema mixto), mientras que en caso del pino oregón estas diferencias son menores, aunque no por ello menos relevantes (0,6 y 1,1 veces superior en el sistema mixto). Si se cuantificaran parte de los otros beneficios de los sistemas mixtos, estas diferencias serían aun mayores, tanto desde el punto de vista de una evaluación privada como social y ambiental.

ANEXO I. ESPECIES CONSIDERADAS EN EL DOCUMENTO

Abedul	<i>Betula</i> spp.
Abedul amarillo	<i>Betula alleghaniensis</i>
Abedul del papel	<i>Betula papyrifera</i>
Abeto chino	<i>Cunninghamia lanceolata</i>
Abeto rojo	<i>Picea abies</i>
Acacio	<i>Robinia pseudoacacia</i>
Acacia	<i>Acacia</i> spp., <i>A. cyanophylla</i> , <i>A. auriculiformis</i>
Álamo	<i>Populus</i> spp.
Álamo blanco	<i>Populus alba</i>
Álamo blanco chino	<i>Populus tomentosa</i>
Álamo cipresino	<i>Populus</i> spp.
Álamo híbrido	<i>Populus x euroamericana</i>
Álamo negro	<i>Populus nigra</i>
Albizia	<i>Albizia lebbek</i>
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>
Algarrobo chileno	<i>Prosopis chilensis</i>
Aliso	<i>Alnus</i> spp., <i>A. crispa</i>
Aliso negro	<i>Alnus glutinosa</i>
Aliso italiano	<i>Alnus cordata</i>
Aliso rojo	<i>Alnus rubra</i>
Amomum	<i>Amomum longiligulare</i> , <i>A. villosum</i>
Antiaris	<i>Antiaris</i> spp.
Arce	<i>Acer</i> spp.
Arce americano	<i>Acer negundo</i>
Arce campestre	<i>Acer campestre</i>
Arce de montaña	<i>Acer pseudoplatanus</i>
Arce de azúcar	<i>Acer saccharum</i>
Aromo, acacia del país	<i>Acacia dealbata</i>
Aromo australiano	<i>Acacia melanoxylon</i>
Avellano	<i>Gevuina avellana</i>
Avellano europeo	<i>Corylus avellana</i>
Bagolaro	<i>Celtis australis</i>

Bambú	<i>Phyllostachis</i> spp.
Blackwood	<i>Acacia melanoxylon</i>
Boldo	<i>Peumus boldus</i>
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>
Carpino blanco	<i>Carpinus betulus</i>
Castaño	<i>Castanea sativa</i>
Caucho	<i>Hevea brasiliensis</i>
Cerezo, cerezo común	<i>Prunus avium</i>
Cerezo americano	<i>Prunus serotina</i>
Cerro	<i>Quercus cerris</i>
Ciavardello	<i>Sorbus torminalis</i>
Ciprés	<i>Cupressus</i> sp.
Ciprés lusitanica	<i>Cupressus lusitanica</i>
Coigüe, coihue	<i>Nothofagus dombeyi</i>
Dalbergia	<i>Dalbergia sisoo</i>
Eritrina, ceibo	<i>Erythrina</i> spp.
Encino	<i>Quercus</i> spp.
Espino	<i>Acacia caven</i>
Espino cerval	<i>Hippophae rhamnoides</i>
Eucalipto	<i>Eucalyptus</i> spp., <i>E. globulus</i> , <i>E. plenissima</i> , <i>E. exserta</i> , <i>E. nitens</i> , <i>E. deglupta</i>
Eumonimo	<i>Eumonymus europeus</i>
Farnia	<i>Quercus robur</i>
Fresno	<i>Fraxinus</i> spp.
Fresno austral	<i>Fraxinus ornus</i>
Fresno blanco	<i>Fraxinus americana</i>
Fresno de hoja estrecha	<i>Fraxinus angustifolia</i>
Fresno mayor	<i>Fraxinus excelsior</i>
Fresno oxifilo	<i>Fraxinus oxyphylla</i>
Gelso	<i>Morus alba</i>
Gleditsia	<i>Gleditsia triacanthos</i>
Gliricidia	<i>Gliricidia sepium</i>
Grevillea	<i>Grevillea robusta</i>
Haya	<i>Fagus sylvatica</i>
Hemlock	<i>Tsuga heterophylla</i>
Larix, alerce europeo	<i>Larix decidua</i> , <i>Larix kaempferi</i>
Laurel, laurel chileno	<i>Laurelia sempervirens</i>

Laurel	<i>Cordia alliodora</i>
Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i>
Lingue	<i>Persea lingue</i>
Liquidambar	<i>Liquidambar styraciflua</i>
Litre	<i>Lithraea caustica</i>
Mangium	<i>Acacia mangium</i>
Manzano	<i>Malus comunnis</i>
Maño de hojas largas	<i>Podocarpus saligna</i>
Maqui	<i>Aristotelia chilensis</i>
Melaleuca	<i>Melaleuca spicata</i>
Melia, árbol del paraíso, paraíso	<i>Melia azedarach</i>
Metasequoia	<i>Metasequoia spp.</i>
Mirabolano	<i>Prunus cerasifera</i>
Nogal, nogal común	<i>Juglans regia</i>
Nogal híbrido	<i>Juglans regia</i> x <i>J. nigra</i>
Nogal negro	<i>Juglans nigra</i>
Notro	<i>Embothrium coccineum</i>
Olivillo	<i>Aextoxicon punctatum</i>
Olivo de Bohemia	<i>Elaeagnus angustifolia</i>
Olivo decorativo u ornamental	<i>Elaeagnus umbellata</i>
Olmo	<i>Ulmus spp.</i>
Paulonia	<i>Paulownia spp.</i>
Peral	<i>Pyrus spp.</i>
Picea, abeto	<i>Picea spp.</i>
Piche, pichi	<i>Fabiana imbricata</i>
Pino	<i>Pinus spp.</i> , <i>P. taeda</i> , <i>P. banksiana</i>
Pino contorta	<i>Pinus contorta</i>
Pino estrobo	<i>Pinus strobus</i>
Pino oregón, oregón	<i>Pseudotsuga menziesii</i>
Pino pinaster	<i>Pinus pinaster</i>
Pino piñonero	<i>Pinus pinea</i>
Pino ponderosa	<i>Pinus ponderosa</i>
Pino radiata	<i>Pinus radiata</i>
Pino silvestre	<i>Pinus sylvestris</i>
Plátano occidental, Plátano	<i>Platanus occidentalis</i>
Prosopis	<i>Prosopis spp.</i>

Quillay	<i>Quillaja saponaria</i>
Radal	<i>Lomatia hirsuta</i>
Raulí	<i>Nothofagus alpina</i>
Red cedar	<i>Juniperus virginiana</i>
Robinia	<i>Robinia pseudoacacia</i>
Rovere	<i>Quercus petraea</i>
Roble	<i>Nothofagus obliqua</i>
Roble rojo americano	<i>Quercus rubra</i> , <i>Q. falcata</i>
Sándalo	<i>Santalum album</i>
Sambuco	<i>Sambucus nigra</i>
Sauces	<i>Salix</i> spp.
Sequoia, secoya	<i>Sequoia sempervirens</i>
Sorbo, ciavardello	<i>Sorbus</i> spp., <i>S. torminalis</i> , <i>S. domestica</i>
Teca	<i>Tectona grandis</i>
Tepa	<i>Laureliopsis philippiana</i>
Terminalia	<i>Terminalia</i> spp.
Tilo	<i>Tilia grandifolia</i> , <i>T. cordata</i> , <i>T. tomentosa</i>
Thuja, red cedar	<i>Thuja plicata</i>
Tineo	<i>Weinmannia trichosperma</i>
Toona, Cedro australiano	<i>Toona ciliata</i>
Tsuga	<i>Tsuga</i> spp.
Tulipero	<i>Liriodendron tulipifera</i>
Ulmo	<i>Eucryphia cordifolia</i>

ICONOGRAFIA ESPECIES

	Alamo		Notro
	Aliso italiano		Olivo de bohemia
	Aliso negro		Olivo ornamental
	Arce		Olmo
	Aromo		Paulonia
	Avellano chileno		Peral
	Avellano europeo		Pichi
	Castaño		Pino piñonero
	Cerezo común		Plátano
	Ciavardello (<i>Sorbus torminalis</i>)		Quillay
	Cipres		Robinia
	Farnia		Roble rojo americano
	Fresno		Sambuco negro
	Manzano		Sauce
	Nogal común		Sorbo (<i>Sorbus sp.</i>)

ANEXO 2. EXPERIENCIAS DE ASOCIACIONES DE ESPECIES DE INTERÉS A NIVEL MUNDIAL

A continuación se describe algunas experiencias realizadas a nivel mundial, escogidas en base a su validez estadística (diseño experimental), variedad de especies empleadas y situaciones geográficas representadas, orientadas a la producción de madera de alto valor de nogal.

1) Experiencias con especies productoras de maderas nobles

En Italia, región Emilia Romagna, se ha desarrollado una serie de plantaciones con el objetivo de comparar características de clones y procedencias en diversos ambientes de colina y montaña; y de comparar los resultados de determinadas técnicas culturales en ambientes distintos (colina, montaña, llanura). Se trata de plantaciones puras y mixtas, con varias hectáreas de superficie cada una (CBRP, 1995). Algunas se muestran en las Figuras 1 a 5.

La Emilia Romagna está situada entre el mar Adriático, el río Po y los Apeninos, confina al norte con el Veneto y la Lombardia, y al este con el mar Adriático, al sur con las Marcas, Toscana, S. Marino y parte de Liguria. Al oeste limita con Liguria, Lombardia y parte del Piemonte. Su clima se caracteriza por veranos calurosos y húmedos e inviernos severos con abundantes precipitaciones y numerosos días de neblina y heladas. A lo largo del litoral Adriático el clima es más temperado; en la montaña caen abundantes lluvias y nevazones, mientras que en el llano nieva pero se derrite inmediatamente.

Respecto a su topografía, en la parte sur de la región están los Apeninos, no muy altos, formados por rocas friables y fácilmente erosionables por el agua, con frecuentes desprendimientos; la llanura del río Po posee terrenos muy fértiles.

El paisaje se divide claramente en dos zonas: la primera, en el sur, es montañosa colinar; la segunda, en el norte, plana. La montaña se caracteriza por abandono y soledad, contrastando con la otra zona, poblada, rica de cultivos, con calles llenas de tráfico y con ríos y canales que riegan los campos. Los frutales se cultivan en vastas zonas que junto a cientos de industrias embellecen paisajes llenos de color.

La agricultura de la región está entre las más avanzadas de Italia y Europa. Se encuentra una gran variedad de productos, algunos particularmente abundantes. Esto se debe a la posición geográfica y climática favorable y, también, porque se usan técnicas modernas de cultivo y de organización de la comercialización. Es próspera en cultivos de grano y remolacha, así como de arroz, vino y fruta, de las cuales se producen duraznos, ciruelas, cerezas, damascos y peras. En el sector del vino, hay

varios reconocidos como el Lambrusco, el San Giovese y el Albana. Entre las hortalizas resaltan la cebolla, arveja y tomate. También se cultivan la caña y el lino. La crianza más practicada es la de bovinos y porcinos. Produce un quinto de la producción nacional de carne, y un sexto de la de leche.

Una experiencia establecida en la localidad de Grizzana Morandi (450 msnm, 20% de pendiente, 4,5 ha) con cerezo, nogal, fresno y arce muestra a los tres años un comportamiento satisfactorio (Figura 1), a pesar de la altitud, elevada para las condiciones locales.

También se ha establecido ensayos en valles para reconstituir ambientes de funciones múltiples (paisajísticas, de refugio y alimentación de la fauna, protección de la agricultura del entorno, y otras), en el marco de estudios sobre nuevas perspectivas para la agricultura en planicies y, en general, para satisfacer la nueva exigencia de incorporar un mayor grado de naturalidad en los ambientes agrícolas artificializados.

Las áreas combinan varias especies, distribuidas con diferentes criterios en la superficie: en grupos, en hileras o pie a pie.

La experiencia realizada en Sala Bolognese (22 msnm, 4 ha) en planicie con grupos de arce, cerezo, fresno, bagolaro, fresno austral y álamo blanco, con cuidados intensivos y pocas podas al tercer año presenta una situación satisfactoria, graficada en la Figura 2.

Otra experiencia realizada en Crevalcore (15 msnm, 7 ha) con fresno mayor y austral, cerezo, arce, arce de azúcar, álamo blanco, tilo, nogal y gelso, con cuidados intensivos y mínimas podas, al quinto año muestra el estado representado en la Figura 3.

Una experiencia realizada en Zola Predosa (75-120 msnm, 7 ha) con fresno mayor, olmo, cerezo, arce, arce de montaña, álamo blanco, gelso y bagolaro, al cuarto año muestra el desarrollo indicado en la Figura 4.

Otra experiencia, también inserta en el programa de valorización ambiental del área de Zola Predosa, realizada en 2 ha con fresno mayor, fresno austral, cerezo, arce, farnia, gelso y nogal al tercer año la tiene la evolución indicada en la Figura 5.

Del análisis de esta información se concluye que (Negrini, 1994; CBRP, 1995):

- En el caso del cerezo, los factores limitantes identificados corresponden a altitud (sobre 500 msnm), pendiente (sobre 30%), la monoespecificidad y la excesiva compactación del terreno que provoca asfixia. La especie se vio favorecida en las situaciones mixtas y en terrenos bien drenados y removidos en profundidad.
- El nogal es una especie menos plástica que cerezo, y más exigente. Limitantes resultan la altitud, el viento y los suelos arcillosos con anegamientos temporales. También en este caso los mejores resultados se obtuvieron en situaciones mixtas.
- La presencia de especies rústicas de rápido crecimiento, a nivel de árbol individual, en hileras o en grupos, mejora el crecimiento de las especies en 40-50% respecto a la situación pura.
- Resulta determinante en los resultados positivos obtenidos la ejecución regular de los cuidados culturales por al menos 3-4 años.
- La introducción de una faja de pasto entre las hileras en el segundo año, bloqueó el desarrollo ese año y determinó incrementos muy inferiores en los 2-3 años sucesivos.
- El uso de mulch plástico ha dado resultados negativos.
- El riego ha resultado útil y necesario sólo en el primer año.
- Las podas de formación, efectuadas a partir del segundo año, deben realizarse con cuidado y con técnicas distintas según la especie y el objetivo productivo. Se confirma la validez de hacer intervenciones graduales, y también en verano.
- Se confirma la fragilidad de las plantaciones puras, y que las plantaciones mixtas pueden aplicarse efectivamente con un objetivo principalmente productivo.

Minotta (1994a) considera que los resultados obtenidos por el Consorcio son comparables con los resultados obtenidos por otras empresas/entes, confirmándose que las especies deben cultivarse sólo en sitios aptos.

Con relación a los criterios para seleccionar el modelo de plantación, se tienen los siguientes:

- Cerezo, fresno austral y nogal: establecer grupos de 3-6 plantas/especie.
- Arce y carpino blanco: establecer grupos de 8-10 plantas/especie.
- Álamo cipresino y olmo: sirven como especies cortaviento.
- Farnia y gelso: usadas históricamente en hileras, son idóneas para marcar los límites del predio o plantación.
- Bagolaro, mirabolano, otras: usar en pequeños grupos de 3-5 individuos por la importancia de sus frutos.

El CBRP (1995) señala que los bosques mixtos son menos vulnerables a ataques de plagas y enfermedades, y que necesitan menos intervenciones culturales que las plantaciones puras. Por

ello. Minotta (1994b) encuentra poco aconsejable la ejecución de plantaciones puras monoclonales en superficies mayores a 2-3 hectáreas.

Hay poca evidencia que en plantaciones de rotaciones cortas y policlonales se reduzcan los riesgos respecto a las plantaciones monoclonales; las plantaciones policlonales mixtas deben contener un número mínimo de clones para reducir la susceptibilidad a daños de agentes bióticos y abióticos; el uso de 7-25 clones se considera una buena estrategia. Por otra parte, el establecimiento de plantaciones clonales puede mejorar y facilitar la cosecha mecanizada, debido a la uniformidad en el tamaño de los árboles; teóricamente, plantaciones que contienen dos o más especies o clones son más productivas que las plantaciones puras de la misma especie o clon (De Bell y Harrington, 1993).

Lo anterior cobra relevancia si se considera que el nogal ha sufrido una grave erosión genética, ya que por siglos se ha seleccionado por su aptitud frutal, eliminándose una serie de caracteres genéticos de interés forestal, lo que la hace una especie con baja variabilidad genética. Por eso su uso en plantaciones mixtas, asociada con especies arbóreas o arbustivas, da mayor garantía en términos de la sostenibilidad y éxito del cultivo (Paris et al., 1993).

Para producir madera de calidad de cerezo no debe plantarse a menos de 7 m de distancia para la misma especie, para evitar una disminución del crecimiento diamétrico por una elevada competencia. Señala que, dependiendo del sitio, puede ser asociado a varias especies principales, entre ellas *Fraxinus angustifolia*, *F. excelsior*, *Juglans regia*, *J. nigra*, *Populus alba*, *Quercus petraea*, *Q. robur*, *Q. rubra*, y otras (Frattegiani, 1997).

Su asociación con álamo híbrido resulta interesante dada la alta productividad que origina. Para la asociación con otras especies principales, se aconseja adoptar distancias de plantación de 6-8 m. Como especies secundarias, arbóreas o arbustivas, pueden utilizarse arce campestre, aliso italiano, aliso negro, carpino blanco, avellano europeo, olivo de bohemia, olivo decorativo, robinia, sambuco y otras.

La distancia de plantación entre la especie secundaria y el cerezo no debe impedir a la especie acompañante cumplir su función. Frattegiani (1997) aconseja distancias de 3 m si se asocia a aliso italiano, aliso negro y olivo de bohemia, y de 1,5 – 2 m si se asocia con arce campestre, carpino blanco, avellano europeo, olivo de bohemia y sambuco. En cambio se aconsejan al menos 4-5 m con robinia, debido a su vigor y dominancia.

En plantaciones puras, el manejo del cerezo es más complicado que en plantación mixta, especialmente su poda, ya que la especie secundaria limita el crecimiento en diámetro de las ramas (*op. cit.*) y la concentración de las ramas en los verticilos. Esto es importante, ya que en especies que presentan verticilos, Siebert (2000, Com. Personal) señala que las plantaciones mixtas reducen su ocurrencia, con el consiguiente mejoramiento de la calidad de la madera.

En general, la mayoría de las latifoliadas (nogal, cerezo, encino, fresno y arce, entre otras) pueden asociarse utilizando diversos diseños (distancia de plantación más disposición), por árbol individual, por grupos y por hileras, acompañadas generalmente por especies arbóreas fijadoras de nitrógeno. Sin embargo, otras como el cerro generalmente se plantan puras, pero si se encuentran en sitios más fértiles pueden asociarse a grupos de arces, fresnos, cerezos y otros encinos (Buresti *et al.*, s.f.).

Por tradición, es habitual que las plantaciones de álamo sean puras, o se asocien a cultivos agrícolas en terrenos fértiles y frescos, con distanciamientos de 7 x 4 u 8 x 4 m, para permitir un mayor espacio entre hileras para el cultivo de maíz, poroto, tomate y papa, excluyéndose el cultivo de forrajeras, como la alfalfa. Plantaciones de álamo en hileras puras y/o mixtas se pueden realizar con álamo blanco y otras, especialmente las micorrizadas con trufa, como especies del género *Quercus*, *Tilia*, *Salix*, *Carpinus*, *Corylus avellana* y otras.

- En 1995 se realizó una plantación mixta de nogal común y cerezo común en la zona colinar de Umbria, Italia. La disposición utilizada es cuadrada con un distanciamiento de 4,5 m, con un 50% de cerezo y un 50% de nogal (Frattegiani y Mori, 1996).

Utilizando este distanciamiento se reducen los años en que será necesario controlar malezas, debido a que las copas se cerrarán antes que si se usan distanciamientos mayores (6 x 6 m). Sin embargo, por un lado se economiza pero por otro es más caro, principalmente porque se debe efectuar un raleo a desecho. Si el propietario quisiera esperar unos años a que el cerezo alcance los 25 cm de diámetro para ser aserrable, esto conllevaría un efecto negativo en el nogal porque provocaría irregularidades en los anillos de crecimiento y, por ende, perjudicaría la calidad de su madera. Respecto a las podas, una densidad mayor de plantación disminuye la intensidad y la frecuencia de las podas (*op. cit.*).

Considerando este esquema, el propietario tiene flexibilidad para determinar con qué especie finalizará la rotación, pudiendo ralear los individuos de las especies que presenten un menor desarrollo, o que generen menos ingresos (Figura 6).

Algunos esquemas de asociación de nogal en plantación mixta se indican en las Figuras 7 y 8 (Provincia, 1994).

- En 1995, también en Italia, se realizó una plantación de arboricultura con el objetivo de incorporar la componente forestal en un predio tradicionalmente destinado a la producción agrícola (Ciardi, 1997).

Como especie principal se utilizó nogal común distanciados a 8–9 m entre nogales con disposición cuadrada, y como especie secundaria se seleccionó una fijadora de nitrógeno, el aliso; en la zona de colina se utilizó el aliso italiano y en la zona de planicie el aliso negro. También se incorporaron especies accesorias para garantizar el logro de la plantación, la farnia y el fresno oxifilo, especies nativas de la zona. Finalmente, la configuración definitiva de la plantación consideró una disposición cuadrada de 4 x 4 m (625 arb/ha) en la zona de colina y de 4,5 x 4,5 m (494 arb/ha) en la zona de planicie (Módulos 1 y 2, Figura 9).

En el mismo predio, en 1996, se estableció una plantación con un diseño más complejo, con una disposición de rombo a 7 plantas, distanciada a 5 m, plantándose en las curvas de nivel (Módulo 3, Figura 9).

- El Instituto Experimental para la Silvicultura de Arezzo (ISSA) ha estudiado en las últimas décadas el efecto de la asociación con especies arbóreas secundarias fijadoras de nitrógeno, tales como alisos, olivo de bohemia, etc. Estas especies son muy interesantes no sólo porque pueden proporcionar un cierto ingreso con la venta de leña o de otros productos secundarios en un período más breve respecto a las especies principales, sino porque tienen una influencia positiva sobre éstas. Generalmente las especies principales no sólo crecen más en altura y diámetro, sino que tienen una mejor forma, lo que facilita la poda (Buresti, 1993b; Buresti *et al.*, 1993b).

Los efectos positivos pueden ser distintos según las especies asociadas. Por ejemplo, si el cerezo se asocia con aliso u olivo de bohemia aumenta su altura y el diámetro del tronco y de las ramas; pero si, en cambio, se asocia con robinia aumenta sólo en altura, mientras que el diámetro del fuste permanece constante y el de las ramas disminuye (Cuadro 1). Estas experiencias proporcionan antecedentes útiles para seleccionar la asociación más idónea a emplear (*op. cit.*).

Cuadro 1. Altura total, Dap y diámetro de ramas en plantaciones pura y mixta de cerezo común

Especies	Altura total (cm)	DAP (cm)	Diámetro de 4 ramas más gruesas (cm)
<i>Prunus avium</i>	531	9,89	3,44
<i>Prunus + Robinia</i>	652	9,80	3,05
<i>Prunus + Alnus</i>	602	11,55	4,27
<i>Prunus + Elaeagnus</i>	568	10,78	3,48

Fuente: Buresti (1993b)

En el caso de farnia asociada a aliso se obtienen mayores alturas y diámetro, así como menor diámetro de las ramas respecto a la situación pura. Similar situación se ha observado con fresno y nogal negro (Cuadro 2).

Cuadro 2. Altura Total, Dap y diámetro de ramas en plantaciones pura y mixta de *Q. robur*

Especies	Altura total (cm)	Dap (cm)	Diámetro de 4 ramas más gruesas (cm)
<i>Quercus robur</i> puro (9 años)	597	9,04	2,9
<i>Quercus robur</i> con <i>Alnus</i> (8 años)	700	8,70	2,1
<i>Alnus cordata</i> con <i>Quercus</i> (8 años)	909	11,34	-

Fuente: Buresti (1993b)

Con respecto a los ataques de plagas y enfermedades, se ha observado menor daño en nogales asociados a aliso y olivo de bohemia que en el caso puro. Las plantas afectadas disminuyen de 58% en el puro a 19% en el mixto.

Por otra parte, nogal negro presenta alturas mayores en plantaciones mixtas que en puras, especialmente en asociación con aliso italiano, además de un ritmo de incremento constante (Buresti, 1993b).

El fresno resulta más alto con olivo de bohemia, mientras que la robinia estimula su crecimiento en los primeros años, efecto que tiende a anularse después que ésta se ha cortado a ras del suelo (*op. cit.*).

En estas experiencias se ha observado que los mayores diámetros en la farnia, fresno, nogal y cerezo se registran cuando se asocian con aliso italiano. En el caso de la farnia, las plantaciones con aliso son las únicas que presentan incrementos diamétricos mayores respecto a las plantaciones puras. Fresno presenta el máximo crecimiento asociado con olivo de bohemia, confirmando la validez de esta mezcla, mientras que cuando se asocia con aliso el diámetro es ligeramente superior respecto a las plantaciones puras (*op. cit.*).

Este especialista recomienda efectuar plantaciones mixtas debido a que la simplificación de los ecosistemas en el caso de las plantaciones puras las hace menos resistentes a ataques y adversidades.

- Otra experiencia es reportada por Buresti y Frattegiani (1994a), quienes encontraron que asociando farnia (especie principal) con aliso italiano se obtenían incrementos significativamente superiores en altura y diámetro respecto a la situación pura; también se determinó que el aliso fija 50 kg/ha/año de nitrógeno, los que están a disposición de la farnia. La mayor altura del aliso estimula el crecimiento de la farnia, competencia que no pone en peligro la plantación debido a la conformación de las copas (de tipo piramidal en aliso) y a que el rápido crecimiento inicial del aliso disminuye notablemente en los años sucesivos. Finalmente, se presenta una diferencia importante en la calidad de la madera de farnia obtenida de las dos situaciones (Figuras 10 y 11). En la plantación mixta se obtienen fustes con menos ramas más finas, sin ramas muertas, mientras que esta especie en plantación pura presenta fustes más achaparrados y ramas más gruesas y secas, lo que es de mucha importancia en arboricultura, porque la presencia de ramas muertas no sólo disminuye la copa viva sino que aumenta la probabilidad de emisión de ramas epicórmicas al momento del raleo, con una disminución del valor tecnológico y económico de la madera.

En el Cuadro 3 se presentan los valores dasométricos de las situaciones pura y mixta de *Quercus robur*, establecidos en 1983 y 1984, respectivamente.

Cuadro 3. Crecimiento de una plantación pura y mixta de *Quercus robur* para el período 1989 – 1992

Variables/años	Plantación Pura				Plantación Mixta			
	1989	1990	1991	1992	1989	1990	1991	1992
Altura media (m)	5,11	5,64	6,24	7,20	5,56	6,36	7,09	8,32
Incremento medio anual altura (m/año)	0,73	0,71	0,69	0,72	0,93	0,91	0,89	0,92
Incremento corriente anual altura (m/año)	0,53	0,60	0,96		0,80	0,73	1,23	
Diámetro medio (cm)	7,1	8,6	9,8	11,1	6,6	7,9	9,1	10,3
Incremento medio anual diámetro (cm/año)	1,02	1,07	1,09	1,11	1,09	1,12	1,14	1,14
Incremento corriente anual diámetro (cm/año)	1,41	1,25	1,31		1,31	1,26	1,17	

Fuente: Buresti y Frattegiani (1994a)

Analizando los datos se observa una diferencia en la distribución diamétrica del encino, observándose que en la plantación mixta existe una mayor dispersión en las clases diamétricas más bajas (lado izquierdo de la ordenada) respecto de la plantación pura.

Respecto a la especie acompañante (aliso italiano), se observa que está finalizando su fase juvenil de rápido crecimiento, entrando en la madurez, con notable precocidad respecto al encino. Estos antecedentes se validaron con los datos dendrométricos obtenidos, observándose que el incremento corriente del aliso siempre es sensiblemente menor que el incremento medio.

- Plantación experimental en Vicensimo (Valdarno, Italia) establecida en 1983, en que se probó la plantación pura de farnia a 3 x 3 m y, posteriormente, en 1984 la plantación mixta con aliso italiano (50% de cada especie), con el mismo distanciamiento (Cutini *et al.*, 1997).

Los resultados muestran que la plantación mixta, no obstante presentar una edad menor que la pura, tiene un crecimiento superior. Es importante señalar el rápido crecimiento del aliso italiano, de mayor desarrollo en altura y en diámetro respecto a la farnia; no obstante lo cual

los incrementos en diámetro y altura del aliso italiano presentan un desarrollo decreciente, con valores del incremento corriente inferiores a los del incremento medio.

A pesar de que la plantación mixta de farnia es de edad inferior, presenta valores de diámetros análogos a la pura y muy superiores en altura y volumen (Figura 12). Los valores de incremento medio de diámetro, altura y volumen son siempre superiores en la plantación mixta que en la pura, mientras que el incremento corriente en la pura se caracteriza por un decrecimiento más rápido y marcado.

La diferencia de crecimiento entre la farnia establecida en forma pura y mixta es significativa para todos los parámetros considerados, excepto el diámetro (aunque es siempre superior en el mixto) y por el incremento corriente de la altura (Cuadro 4).

Cuadro 4. Parámetros dasométricos en plantación pura y mixta de farnia

Variables	Año 1995	
	Plantación pura	Plantación mixta
Altura media (m)	8,58	9,87
Incremento medio anual altura (m/año)	0,78	0,99
Incremento corriente anual altura (m/año)	0,73	0,63
Diámetro medio (cm)	12,8	13,0
Incremento medio anual diámetro (cm/año)	1,1	1,2
Incremento corriente anual diámetro (cm/año)	0,9	1,0
Volumen medio (dm ³)	55,5	65,6
Incremento medio anual volumen (dm ³ /año)	4,3	5,5
Incremento corriente anual volumen (dm ³ /año)	9,1	11,0

Fuente: Cutini *et al.* (1997)

En farnia la distribución de frecuencias diamétricas presenta diferencias sustanciales; en la plantación mixta se observa una distribución asimétrica a causa de la mayor importancia de la clase diamétrica grande (Figura 13), situación que no ocurre en una plantación pura.

Destaca que la farnia en plantación mixta tiene fustes más regulares, menor número de ramas, mayor desarrollo en altura, y una copa formada por ramas delgadas, mejor distribuidas y horizontales.

Los resultados atribuyen un rol positivo a su asociación con aliso italiano. Esto también se relaciona con la pobreza inicial del sustrato, observándose un mejoramiento del suelo gracias a la fijación de nitrógeno del aliso, que se integra a través de la descomposición de la hojarasca y de las raíces, de los exudados radiculares y de los nódulos radiculares (Cutini et al., 1997).

- Plantación experimental establecida en Valdarno, Italia, en 1988, en un terreno de relave de la central termoeléctrica ENEL, donde se efectuaron cuatro tratamientos (Buresti y De Meo, 1998a):
 1. Nogal puro plantado a 7 m de distancia con diseño cuadrado;
 2. Plantación mixta de 50% de nogal y 50% de cerezo distanciados a 7 m;
 3. Igual que en el módulo 1, pero con dos especies de acompañamiento fijadoras de nitrógeno (aliso italiano y olivo de bohemia), a 3,5 m de la especie principal;
 4. Igual que en el módulo 2, pero con dos especies de acompañamiento fijadoras de nitrógeno (aliso italiano y olivo de bohemia), a 3,5 m de la especie principal (Figura 14).

Su objetivo fue comparar la respuesta del nogal puro respecto a nogal asociado a cerezo (especie principal caracterizada por una arquitectura de las raíces y un ritmo de crecimiento distinto al nogal), así como analizar los efectos inducidos en la especie principal por especies acompañantes fijadoras de nitrógeno.

En 1991 algunos nogales fueron atacados por *Stisctocephala bisonia*, una chicharra de origen norteamericano, cuya hembra deposita los huevos en la corteza de las ramas jóvenes. La evaluación del daño concluyó que el nogal puro sufrió la mayor mortalidad (58%), mientras que el ataque se vio fuertemente reducido en los tratamientos que incluían las especies fijadoras de nitrógeno (19% de mortalidad).

Durante 1996 y 1998 el cerezo fue intensamente afectado por un ataque de roedores que anillaban la zona del cuello, secando las plantas en pie. Se evaluó que el daño causado por los roedores fue

menor en el tratamiento que consideraba la asociación de nogal, cerezo y especies fijadoras de nitrógeno respecto a la asociación de nogal y cerezo.

Debido al grave daño causado en los cerezos, posteriormente sólo se evaluó el crecimiento del nogal. En el Cuadro 5 se observa el efecto positivo de las especies fijadoras de nitrógeno en el crecimiento de nogal.

Cuadro 5. Altura y Diámetro en plantaciones pura y mixta de nogal

Variables	Altura (cm)						Dap (cm)					
Año	1994		1996		1998		1994		1996		1998	
Bloques	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Nogal puro	216,6	236,6	262,3	355,3	286,6	423,4	2,18	2,16	2,84	4,00	3,47	5,99
Nogal mixto	307,7	410,6	413,6	628,5	464,6	720,7	3,14	4,50	4,15	7,33	5,52	9,72

Fuente: Buresti y De Meo (1998a)

Las diferentes densidades en los tratamientos mixtos no permiten establecer en qué medida el mayor crecimiento del nogal mixto es atribuible a la mayor densidad de plantación, a la presencia de especies fijadoras de nitrógeno o a la acción de ambos factores. El hecho que el mejor resultado de los tratamientos mixtos se observó tanto en altura como en diámetro, hace suponer que parte del efecto incremental es atribuible a la asociación con especies fijadoras de nitrógeno. Al contrario, si el efecto fuese debido a la mayor densidad, éste se manifestaría estimulando su desarrollo en altura.

- En 1988 se realizó una plantación mixta con tres especies de nogal (*Juglans regia*, *J. nigra* y *J. regia* x *nigra*) asociadas a cerezo, aliso italiano y olivo de bohemia, en un terreno de relave de minerales de la empresa eléctrica ENEL en Valdarno, Italia (Buresti et al., 1997).

El diseño experimental consistió en dos bloques (Bloque A en zona casi plana y B con exposición noreste y noroeste) y tres tratamientos (plantación mixta con nogal común, nogal negro y nogal híbrido). La Figura 15 presenta el diseño utilizado.

La comparación de tres especies de nogal en plantación mixta se debe a la experiencia, para aprovechar el efecto positivo de la asociación en el nogal y de potenciar la evolución de la plantación. La distancia entre nogales permite llegar al final de la rotación con diámetros superiores a 30 cm, antes que la competencia altere su crecimiento diamétrico. Análogamente, la distancia de 7 m entre nogal y cerezo permite ralea el cerezo cuando alcanza las dimensiones requeridas por el mercado (25 cm de diámetro) sin afectar el crecimiento del nogal (Buresti et al., 1997).

Los Cuadros 6 y 7 entregan antecedentes de crecimiento de este ensayo.

Cuadro 6. Crecimiento de tres tipos de nogal en plantación mixta a los 6 años

Especies/año	Bloque A				Bloque B			
	H ²⁷ (m)	Im ²⁸ H (m/año)	D ²⁹ (cm)	Im D (cm/año)	H (m)	Im H (m/año)	D (cm)	Im D (cm/año)
<i>Juglans regia</i>	3,63	0,61	4,2	0,69	3,49	0,58	4,0	0,66
<i>Juglans nigra</i>	2,83	0,47	2,6	0,44	3,07	0,51	3,0	0,51
<i>Juglans nigra x regia</i>	3,34	0,56	3,7	0,61	5,54	0,76	6,0	1,01
<i>P. avium con J. regia</i>	5,92	0,99	9,3	1,55	5,79	0,97	9,7	1,62
<i>P. avium con J. nigra</i>	5,92	0,99	8,8	1,47	6,02	1,00	10,2	1,70
<i>P. avium con J. nigra x regia</i>	5,18	0,86	7,4	1,23	6,08	1,01	9,6	1,60

Fuente: Buresti et al. (1997)

Cuadro 7. Crecimiento de tres tipos de nogal en plantación mixta a los 8 años

Especies/año	Bloque A				Bloque B			
	H (m)	Im H (m/año)	D (cm)	Im D (cm/año)	H (m)	Im H (m/año)	D (cm)	Im D (cm/año)
<i>Juglans regia</i>	5,12	0,64	5,9	0,73	5,49	0,69	6,1	0,77
<i>Juglans nigra</i>	3,77	0,47	4,0	0,49	4,61	0,58	5,1	0,63

27. H= Altura

28. Im= Incremento medio

29. D= Diámetro

<i>Juglans nigra x regia</i>	4,27	0,53	5,1	0,64	6,50	0,81	9,2	1,15
<i>P. avium con J. regia</i>	7,15	0,89	12,8	1,60	6,96	0,87	13,6	1,70
<i>P. avium con J. nigra</i>	6,80	0,85	12,5	1,56	7,12	0,89	14,7	1,84
<i>P. avium con J. nigra x regia</i>	6,26	0,78	10,8	1,35	7,40	0,93	14,1	1,76

Fuente: Buresti et al. (1997)

Tanto la altura como el diámetro resultan mayores en el bloque B, sobretodo en el tratamiento con nogal negro e híbrido, lo que se debe a que las condiciones son favorables a ambas especies (mayor disponibilidad de agua).

Distinto es el comportamiento del cerezo, con una variabilidad entre bloques menos acentuada, especialmente en el crecimiento en altura, fenómeno que se debe a que es menos sensible que nogal a la variación de sitio.

Las diferentes especies de nogal no condicionan significativamente el desarrollo del cerezo ni en altura ni en diámetro; es interesante notar que el incremento en altura del cerezo sufre en los últimos dos años una reducción notable, fenómeno que confirma que el cerezo es una especie de rápido crecimiento juvenil, con una culminación del incremento medio en altura muy precoz, que en este tipo de plantaciones puede comenzar antes de los 10 años (Buresti et al., 1997).

Del análisis de los datos de diámetro y altura para las tres especies se formulan las siguientes observaciones:

- Tanto en el sexto como en el octavo año el nogal negro presenta valores significativamente menores respecto a los otros nogales.
- A los seis años el nogal híbrido presenta mejores resultados, con altura y diámetro medio significativamente superiores al nogal común.
- A los ocho años la altura del nogal híbrido es prácticamente igual a la del nogal común; sin embargo, respecto al diámetro persisten diferencias entre ambos.
- El incremento en altura de nogal común es muy superior al de los demás; entre nogal negro y el híbrido no se observan diferencias significativas.

Interesante es el comportamiento del nogal y cerezo en plantación mixta; el cerezo en los primeros años muestra crecimientos en altura muy superiores respecto al nogal, el que disminuye precozmente, con valores inferiores en los últimos dos años. Este comportamiento puede utilizarse en asociaciones en que el cerezo efectúe inicialmente una eficaz acción de acompañamiento lateral para el nogal, eficacia que se confirma con los resultados obtenidos de plantaciones puras de nogal (Buresti et al., 1997).

- Cerezo es una de las especies que raramente se encuentra en forma natural en rodales puros; el “objetivo ideal” es producir un árbol con 6-7 m de fuste recto, cilíndrico y sin defectos (Crave, 1993). Considerando los resultados obtenidos en varias plantaciones comparativas de la especie, no parece recomendable usar clones a gran escala; una solución sería asociar la especie a otras o mezclar clones, asociándolos en hileras alternadas con material procedente de semilla.
- Según Spiecker (1994), el crecimiento de individuos jóvenes de cerezo común es muy rápido pero decrece progresivamente; la altura final alcanzada es similar a la de farnia. Cerezo retiene las ramas muertas, por lo que debe podarse para producir madera de alto valor. Reacciona fuertemente con la variación de agua suministrada, y la disponibilidad de espacio para su crecimiento tiene un efecto decisivo en el diámetro. Se regenera fácilmente por semilla y puede plantarse asociado con un distanciamiento no muy bajo, ya que los rodales puros no se aconsejan, debido a la elevada intolerancia con sus propios residuos bioquímicos, lo que ha causado que a una cierta edad (alrededor de 20 años) muchas plantaciones puras mueran repentinamente, sin signos exteriores de daños por plagas o enfermedades.
- El cultivo de nogal negro asociado con especies arbóreas fijadoras de nitrógeno podría entregar a los propietarios retornos iguales o mayores que con otras alternativas de manejo más intensivas, y también lograr una buena adaptación a tierras agrícolas marginales (Campbell y Dawson, 1989).
- Según Graeschke y Gurth (1993) en los mejores sitios, nogal común crece igual o más que fresno mayor, farnia y haya. Su forma es similar a la de las otras latifoliadas y puede crecer en forma mixta con otras latifoliadas nativas, recomendándose densidades de hasta 1.000-2.000 arb/ha.
- En un rodal de *Quercus petraea* mixto el crecimiento en diámetro y en altura a los 20 años es significativamente mayor que la plantación pura. La calidad del *Quercus* en gran parte no se vio afectada por la composición del rodal. Su rápido crecimiento se atribuye a diferencias en los regímenes de nutrientes y agua y a la competencia con las especies del rodal mixto (Bartsch et al., 1996).
- En rodales mixtos de farnia y haya, el largo de las raíces finas (diámetro <1 mm) es superior que las de otras clases (diámetros de 1-2 y 2-5 mm) en suelo mineral de más de 60 cm (Van de Valle et al., 1998).

- Una experiencia realizada en Italia con las especies principales cerezo común, *Fraxinus angustifolia*, nogal negro, farnia; y las especies secundarias aliso italiano, olivo de bohemia y robinia, con diseño en hileras, en 200 ha, establecida en 1985 (Buresti y Frattegiani, 1995a) muestra los datos presentados en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Comparación de plantación pura y mixta con 3 especies secundarias fijadoras de nitrógeno

Especie	Año Medición	Puro		Mixto con <i>Alnus</i>		Mixto con <i>Elaeagnus</i>		Mixto con <i>Robinia</i>	
		H (cm)	Diam (cm)	H (cm)	Diam (cm)	H (cm)	Diam (cm)	H (cm)	Diam (cm)
Cerezo (<i>Prunus avium</i>)	1987	305	-	322	-	295	-	320	-
	1988	450	7,6	480	8,0	427	7,4	490	6,9
	1989	550	10,2	592	11,4	529	10,3	641	9,7
Fresno (<i>Fraxinus angustifolia</i>)	1992	780	15,2	827	17,7	766	16,8	820	16,7
	1987	210	-	209	-	241	-	212	-
	1988	380	6,7	388	7,1	421	6,8	420	6,4
	1989	500	8,4	494	9,5	573	9,1	585	8,4
Nogal negro (<i>Juglans nigra</i>)	1992	785	16,3	767	18,3	910	19,1	842	18,2
	1987	100	-	116	-	139	-	153	-
	1988	170	2,6	228	3,2	228	3,4	287	2,8
	1989	210	3,5	313	5,3	288	4,8	340	3,8
Farnia (<i>Quercus robur</i>)	1992	370	6,5	589	9,3	556	9,3	544	7,4
	1987	120	-	160	-	139	-	143	-
	1988	165	-	213	-	194	-	214	-
	1989	-	-	-	-	-	-	-	-
	1992	430	8,0	472	9,1	476	8,1	464	7,1

Fuente: Buresti y Frattegiani (1995a)

El efecto de las especies secundarias sobre el crecimiento de las especies principales se debe a que las primeras fijan nitrógeno, estimulando tanto el crecimiento en diámetro como en altura, además de los aspectos derivados de la competencia. Cada especie secundaria afecta la fijación de nitrógeno y la competencia en forma diferente, dependiendo de la asociación y de las condiciones del sitio (Buresti y Frattegiani, 1995a).

- En Europa existen asociaciones naturales de arce con fresno que constituyen biocenosis desde el punto de vista fitosociológico y ecológico (Loewe et al., 1999).
- En Chile, plantaciones mixtas que ha realizado INFOR en la comuna de Retiro, VII región, con nogal común y olivo de bohemia presentan resultados comparables a los obtenidos en Europa en situaciones análogas. Además de un incremento significativo en la calidad de la madera, los costos de manejo en los primeros seis años son entre un 300 y 600% superiores en las plantaciones puras de la misma especie bajo condiciones homólogas (Loewe et al., 2004a).

2) Especies secundarias fijadoras de nitrógeno (*Alnus sp.*, *Robinia sp.*, *Elaeagnus sp.*, otras)

El tipo y dosis de fertilización en las plantaciones varían según los requerimientos nutricionales de la especie y los niveles de fertilidad del suelo. La fertilización con nitrógeno juega un papel muy importante en la estimulación del crecimiento inicial, desarrollo de las plantas y producción de biomasa (Boyer y South, 1985; Adams y Allen, 1985 cit. por Masoodi et al., 1996), por lo que la asociación con especies que tienen la habilidad de fijar nitrógeno atmosférico resulta tan interesante y presenta un potencial atractivo. A continuación se presentan algunas experiencias de esta categoría.

- En el sur y centro de Italia, aliso italiano es muy interesante para usar en plantaciones mixtas con latifoliadas para madera de alta calidad, siendo una especie típica del ambiente mediterráneo. Puede alcanzar 20-25 m de altura, y un DAP máximo de 50-60 cm; es tolerante a la sombra; puede encontrarse tanto en suelos arcillosos como arenosos, y vivir en sitios secos y pobres. Es una especie de rápido crecimiento, que produce numerosos y vigorosos rebrotes después de la corta (Buresti et al., 1993a).

Mediante simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno del género *Frankia*, aliso italiano fija nitrógeno que mineraliza fácilmente. En una plantación mixta de seis años de edad de aliso italiano y farnia, Buresti et al. (1990) cit. por Buresti et al. (1993a) estimaron la fijación de 50 Kg./ha/año de nitrógeno, del cual un 80% es fijado biológicamente. A los diez años la plantación se observó con mayor crecimiento tanto en diámetro como en altura para farnia en asociación, concluyéndose

que su plantación con aliso italiano promueve un rápido crecimiento y una mejor calidad fustal, incrementándose el valor comercial de su madera (Buresti et al., 1993b).

- El ingreso de *Alnus crispa* en plantaciones puras de *Picea sp.* significó importantes incrementos en diámetro y altura de la *Picea*, que comenzaron 3-6 años después de la entrada de *Alnus*. La contribución anual estimada de nitrógeno fue de aproximadamente 50 Kg. /ha (Hudson, 1993), concordando con los valores estimados por otros autores.
- Según Kurdali et al. (1990) la asociación entre aliso negro y álamo negro derivó en una mayor fijación de nitrógeno comparado con una plantación pura de *Alnus*.
- Aliso negro a menudo se asocia al nogal negro, especie comercialmente valorada, debido al incremento de la fertilidad del suelo, aunque en ciertos suelos su crecimiento puede reducirse por la alelopatía del nogal (Neave y Dawson, 1989).
- Miller et al. (1993) determinaron una influencia positiva al plantar en forma mixta pino oregón; de hecho el volumen de un rodal de pino oregón aumentó en un 130% respecto a la situación pura, debido a la influencia ejercida por aliso rojo mediante la fijación de nitrógeno.
- En un estudio comparativo realizado en Bulgaria entre una plantación pura de robinia de 24 años y otras mixtas con *Gleditsia triacanthos*, *Tilia tomentosa*, *Corylus avellana* o *Acer campestre*, se observó que robinia creció mejor en forma mixta que pura, aumentando 5-26% en diámetro y 22-28% en altura. La biomasa en plantaciones mixtas fue 14-42% mayor que en plantaciones puras. La mejor combinación fue entre robinia y *Acer campestre* con una biomasa aérea de 142,9 ton/ha (Kostov et al., 1992). Robinia es una de las pocas leguminosas fijadoras de nitrógeno adaptada a áreas propensas a heladas.
- Robinia según Panagopoulos y Hatzistathis (1995) es una especie deseable como acompañante debido a su rápido crecimiento inicial, capacidad de retoñar y de fijar nitrógeno. Según Aleksandrova et al. (1994) la fijación de nitrógeno de la especie en forma pura es alta en suelos arenosos, mientras que si se asocia con *Alnus glutinosa* y *Hippophae rhamnoides* la fijación es alta en suelos aluviales de praderas. Además, se adapta mejor a determinados suelos que otras especies y es una de las más eficientes respecto a la fijación de nitrógeno.
- Aleksandrova et al. (1993) señalan que *Populus euroamericana* aumenta su productividad cuando crece junto a *Hippophae rhamnoides* en suelos aluviales, mientras que en suelos calcáreos “chernozem” su productividad aumenta cuando crece con *Robinia pseudoacacia*.

- *Leucaena leucocephala* es una especie tropical con muchos usos (madera, forraje, combustible, madera pulpa, etc.) debido a su rápido crecimiento y adaptabilidad. Su importancia radica en su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y dejarlo disponible como nutriente, mejorando la fertilidad del suelo; esta fijación ocurre en las raíces, en nódulos infectados con bacterias, en este caso del género *Rhizobium* (Van Den Beldt y Brewbaker, 1985). Awonaike et al. (1996) señalan que la materia seca, el contenido de nitrógeno y la cantidad total de nitrógeno fijado por *Leucaena leucocephala* decrece significativamente cuando decrece su sistema radicular.
- Debido a que las plantaciones de álamo poseen rotaciones cortas requieren gran cantidad de nitrógeno para su rápido crecimiento. Investigaciones realizadas en países que han evaluado plantaciones mixtas con especies del género *Alnus* sp., caracterizadas por ser fijadoras de nitrógeno atmosférico mediante simbiosis con *Frankia* (De Bell y Harrington, 1993), muestran que en la mayoría de los casos, el crecimiento de *Populus* ha aumentado (Van der Meiden 1961; Hansen y Dawson, 1979 cit. por De Bell y Harrington, 1993), pero rara vez el volumen de cosecha total ha aumentado (De Bell and Radwan, 1979 cit. por De Bell y Harrington, 1993).
- Clatterbuck et al. (1987) indican una asociación de encino rojo (*Quercus falcata*), una especie de madera apreciada para aserreado, con plátano (*Platanus occidentalis*). Plátano presenta un crecimiento inicial en altura más rápido que el encino. En estos rodales la incorporación de liquidambar (*Liquidambar styraciflua*) como especie “entrenadora” hace que naturalmente se diferencie, ocupando un estrato de copa inferior que el del encino, por lo que puede dejarse, a diferencia del plátano, que por competir vigorosamente con la especie principal debe removerse. El estudio concluye que el efecto de la asociación varía significativamente con el sitio.
- Casos exitosos de plantaciones mixtas en Australia con las especies *Eucalyptus plenissima* y *Melaleuca spicata*, ambas para la producción de aceites esenciales, junto a acacias, sándalo y arbustos y herbáceas para la producción de especias, se han realizado en superficies mayores a 170 ha (Hincks, 2004).
- La dificultad en el establecimiento de la vegetación ante condiciones adversas, cuando el potencial micorrízico es pobre o deficiente (Danielson, 1985 cit. por Lumini et al., 1994), se puede superar usando plantas que forman asociaciones microbianas radiculares (Wheeler et al. 1991 cit. por Lumini et al., 1994). *Pisolithus tinctorius* es una especie que ha llamado la atención debido a su habilidad para formar ectomicorrizas con ciertas especies en condiciones adversas, por lo que se usa en programas de forestación y reforestación (Raman y Rajendran, 1994). Además, Bosco et al. (1991) concluyeron que las especies que tienen la habilidad de fijar nitrógeno debido a

la simbiosis de su raíz con la actinomicete *Frankia*, permiten una rápida repoblación en suelos pobres. Dentro de éstas se encuentra aliso italiano y olivo de bohemia, las cuales mejoran considerablemente el crecimiento de nogal negro, cerezo común, farnia y fresno oxifilo cuando se plantan en mezcla. Por otra parte, Gavaland y Gauvin (1997), concluyeron que plantando cerezo común en asociación con aliso rojo se producen efectos positivos en los incrementos tanto en altura como en diámetro, además de un mejoramiento en la calidad del fuste y de la copa.

3) Coníferas

- Ouanouki y Igoud (1993) determinaron que la especie *Acacia cyanophylla* no mejoró el crecimiento de *Pinus pinaster* en plantación mixta.
- Después de tres temporadas de crecimiento la mezcla de pinos, especies latifoliadas y vegetación herbácea afecta significativamente el crecimiento y la cosecha en un rodal mixto (Fredericksen et al., 1993). Aunque la vegetación herbácea afecta significativamente todas las especies, reduce aun más la productividad de especies latifoliadas que la de *Pinus taeda*.
- En rodales mixtos, abedul favorece el crecimiento en diámetro de *Pinus banksiana*, debido principalmente a la reducción de la competencia por luz entre los individuos de esta conífera (Longpre et al., 1994).
- En una plantación mixta de *Pinus sylvestris* y *Quercus robur* el crecimiento del sistema radicular de las dos especies es similar y consecuentemente la composición del rodal es considerada más estable (Korotaev, 1991; 1992), aunque otros autores consideran esta situación como de mayor competencia potencial.
- Con relación a los efectos positivos encontrados en una plantación mixta, Phillips y Abercrombie (1987) concluyeron que entre los beneficios obtenidos de plantar pino junto a latifoliadas está la reducción de la intensidad en la preparación del sitio, los costos de reforestación se reducen en aproximadamente un 50%, se obtiene mayor sobrevivencia, un mayor crecimiento inicial del pino en altura. Aunque el crecimiento de las latifoliadas fue generalmente menor que el de los pinos, muchas especies de latifoliadas deseables tuvieron un buen crecimiento, como por ejemplo *Quercus sp.* y *Liriodendron tulipifera*. Aunque no se evaluó la forma del fuste, se observó que las latifoliadas presentaban una excelente forma. Los productos finales obtenidos fueron

madera aserrada y pulpable tanto de los pinos como de las latifoliadas. Aparte de los beneficios económicos obtenidos por esta asociación de especies, la diversidad del rodal se vio incrementada, provocando mayores beneficios para la vida silvestre; la eliminación de la necesidad de realizar una preparación del sitio intensiva minimiza la susceptibilidad del suelo a ser erosionado.

- Los bosques originales del noroeste de Pennsylvania estaban compuestos principalmente por asociaciones de *Tsuga sp.* con haya y haya con arce, además de pequeñas cantidades de pino con roble (Hough y Forbes, 1943 cit. por Marquis, 1981). Estos bosques no fueron cortados sino hasta el año 1800, cuando comenzaron algunas explotaciones madereras de *Pinus strobus*. Desde 1850 a 1890, *Pinus strobus*, *Tsuga sp.* y otras latifoliadas finas aserrables fueron cosechadas en toda la región, pero en forma parcial debido a las limitaciones del mercado y al elevado costo del transporte de madera desde la montaña. Más tarde, cuando el transporte se realizó vía férrea, se hizo común su cosecha para obtener múltiples productos; estas cortas generalmente extraían todos los individuos aserrables. Los rodales que ya habían sido explotados fueron nuevamente cortados para pulpa (Marquis, 1981).

Estos rodales coetáneos son altamente estratificados por especie, donde las tolerantes de lento crecimiento son relegadas al estrato inferior con diámetros pequeños. Por lo tanto la realización de un manejo utilizando las técnicas de silvicultura tradicional para rodales coetáneos se dificulta, debido a que, entre otras cosas, se debe considerar que en un rodal coetáneo de especie mixtas éstas no maduran al mismo tiempo; por ejemplo el cerezo madura a los 80 a 90 años, mientras que el arce de azúcar a los 150-180 años, y se usa como madera pulpable mientras que el cerezo se destina a madera aserrada. El rodal entero es cortado cuando el cerezo madura y el arce es sacrificado si su valor es bajo. Sin embargo, los arces pueden dejarse por un tiempo adicional de aproximadamente 30-80 años, pero en este caso la fuente de semillas de cerezo se elimina y la regeneración de las especies intolerantes se dificulta al término de la rotación del arce. En resumen, la estructura de un rodal mixto de latifoliadas es compleja en cuanto a edades y composición; mejoramientos en silvicultura y eficiencia en el manejo futuro dependen del uso y del desarrollo de técnicas de corta específicas para cada condición de bosques mixtos (*op. cit.*).

- Estudios realizados por Rasip et al. (1994) determinaron que el pino puede ser utilizado como protección para favorecer el crecimiento de *Shorea macrophylla*.
- West (1991) en plantación mixta con *Pseudotsuga menziesii*, *Larix kaempferi* y *Larix decidua* concluyó que, si bien *Larix kaempferi* demostró un crecimiento inicial superior, mediciones realizadas

desde los 19 a los 32 años indican que *Pseudotsuga menziesii* es probable que sea la especie más productiva y la que entregue mayores retornos económicos al final de la rotación.

- Reinike (1996), señala que en una plantación conformada por *Eucalyptus globulus*, *Acacia melanoxylon* y *Pseudotsuga menziesii* se observó una dominancia del eucalipto por sobre las copas del aramo. La exposición afecta los rodales mixtos especialmente en el crecimiento y la calidad, tanto de fustes como de ramas. La primera especie en madurar corresponde al eucalipto, que presenta fustes largos y limpios por poda natural y madera de buena calidad.
- En Estados Unidos se han recomendado plantaciones mixtas de coníferas, especialmente de pino oregón y aliso rojo, ya que el incremento volumétrico del pino es de un 10%. Al plantar álamo con aliso rojo se ha observado que la plantación se hace más resistente a plagas y enfermedades (Miller et al., 1993).
- En la provincia de Misiones, Argentina, se han establecido plantaciones mixtas de grevillea y melia, además de plantaciones de teca, caoba y toona bajo dosel protector de pino, que presentan buen desarrollo.
- Miller y Murray (1978) describen los efectos de largo plazo de la introducción de aliso rojo en una plantación de 4 años de pino oregón; en un sitio deficiente en nitrógeno el aliso rojo incrementó la altura y el diámetro del pino oregón, y el volumen en 6,5% respecto a la plantación pura de pino oregón, al que debe sumársele el volumen del aliso rojo (2.500 pies³), obteniéndose un volumen total en la plantación mixta correspondiente al doble del obtenido en la plantación pura de pino oregón. El aliso y otras especies fijadoras de nitrógeno pueden mejorar la productividad del sitio y el crecimiento de especies coníferas asociadas por medio de la incorporación de nitrógeno y materia orgánica al suelo. El aliso rojo es apropiado en plantaciones de corta rotación debido a su rápido crecimiento juvenil y a su habilidad de fijar nitrógeno a temprana edad. El diámetro, la altura y el volumen son significativamente superiores en las plantaciones mixtas de ambas especies, efecto que se mantiene en el tiempo y que ha sido registrado por más de 50 años. Los autores recomiendan distribuir uniformemente entre 50 y 100 alisos rojos por hectárea y mantenerlos en una posición dominante para mejorar el nivel de nitrógeno y materia orgánica del rodal.

4) Especies tropicales o subtropicales

- El potencial de fijación de nitrógeno de las especies fijadoras varía con el genotipo; este potencial puede ser alto para especies que fijan anualmente 30-50 kg./ha de nitrógeno, entre ellas las leguminosas *Albizia lebbeck*, *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala* (Dommergues y Ahmad, 1995).
- *Gliricidia* es una especie tropical versátil, de rápido crecimiento y fijadora de nitrógeno, que se adapta a gran variedad de climas y tipos de suelos. Entre sus productos se cuentan leña, postes, forraje, medicinas, miel, y además puede usarse para la estabilización de dunas. Mediante su poda se entrega al suelo una elevada cantidad de nutrientes, transformando terrenos pobres en fértiles. Su madera es difícil de trabajar por lo que rara vez se usa para muebles o construcción. Los árboles de *Gliricidia* en tierras de pastoreo pueden aumentar la producción de ganado, ya que les proporciona alimento y sombra, principalmente en climas cálidos (Glover, 1989).
- La adición de hojas de *Dalbergia sissoo* y de otras especies de leguminosas al suelo provoca un incremento en el contenido de nitrógeno mineral. Sin embargo, se observó que la aplicación de hojas de *Dalbergia sissoo* fue menos efectiva para promover el crecimiento de *Sorghum* que la aplicación de urea o de hojas de otras especies (Hussain et al., 1994).
- Entre los objetivos de un cultivo mixto está el promover la adopción entre las especies, ya sea como abrigo o como refugio. Una de las técnicas utilizadas es la asociación de especies de rápido crecimiento con especies tolerantes de madera de alta calidad. Por lo tanto, con una adecuada combinación de especies se podría reducir al mínimo la competencia por luz y nutrientes. Además, una combinación con especies fijadoras de nitrógeno podría ser muy beneficiosa (Rasip et al., 1994). Por ejemplo, *Dalbergia sissoo* es una especie fijadora de nitrógeno de crecimiento rápido, que sería apropiada para la forestación de terrenos degradados y como especie acompañante en sitios marginales. Esta especie también es usada como forraje y leña, que se obtiene aproximadamente a los cinco años a partir de las ramas, además de entregar madera de valor comercial (Karki y Karki, 1994). Por otra parte, *Dalbergia sissoo* es ampliamente valorada para calefaccionar y cocinar, y como una importante fuente de materia prima para la industria del mueble y la construcción (Jha y Trivedi, 1994).

5) Sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales pueden ser biológicamente 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 (*Antiaris* sp., *Terminalia* sp.), han dado buenos resultados por períodos prolongados. Para los frutales se han obtenido rendimientos 5-10% mayores que los obtenidos a la sombra o a la intemperie. 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 bien conocidos de sistemas agrosilviculturales permanentes, que son una alternativa para el pequeño o mediano propietario interesado en reforestar, pero que necesita que sus terrenos le generen ingresos a corto plazo y de manera permanente (Beer et al., 1994). Sistemas combinados de cultivos agrícolas con árboles madereros fueron desarrollados en forma independiente en Europa, China y Myanmar.

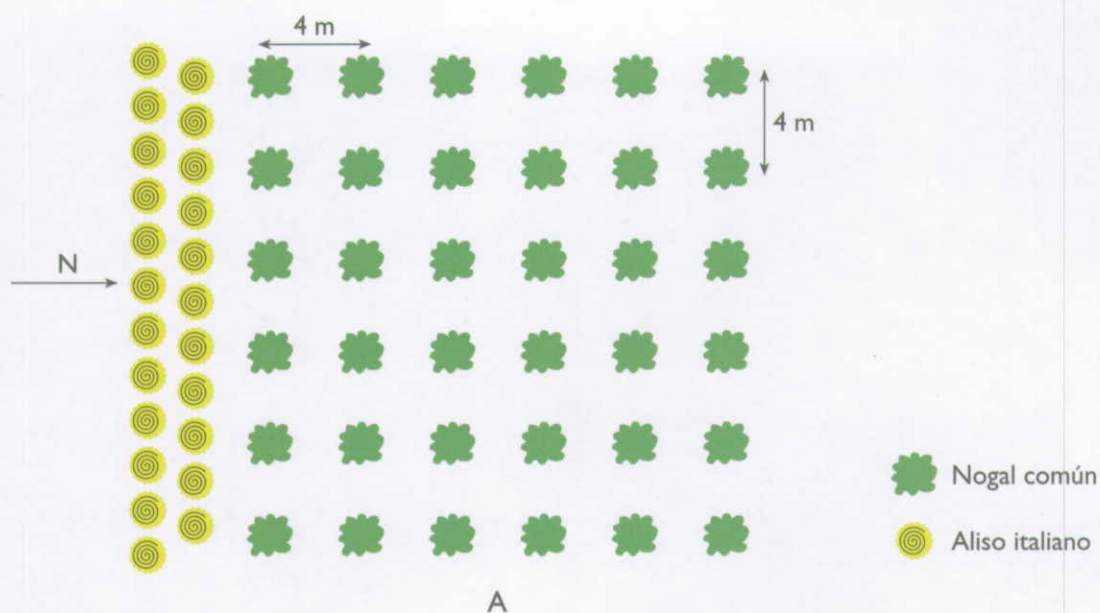
Los autores reportan su experiencia en dos casos (Beer et al., 1994):

- a.- Plantaciones de laurel (*Cordia alliodora*) o eucalipto (*Eucalyptus deglupta*) con maíz o yuca.
- b.- Plantaciones de laurel o mangium (*Acacia mangium*) asociada con tres ciclos de maíz, uno de jengibre y un arbusto frutal.

La comparación de plantaciones puras con y sin fertilización de *Populus tomentosa* con plantaciones asociadas a cultivos agrícolas (sistema agroforestal) mostró que el incremento en diámetro del rodal mixto fue 16% mayor que el de la plantación pura fertilizada y 37% superior que el de la plantación pura sin fertilización. En este sistema agroforestal las condiciones de crecimiento de los árboles mejoran por el manejo intensivo de los cultivos agrícolas, especialmente en sitios pobres (Zhanxue et al., 1991).

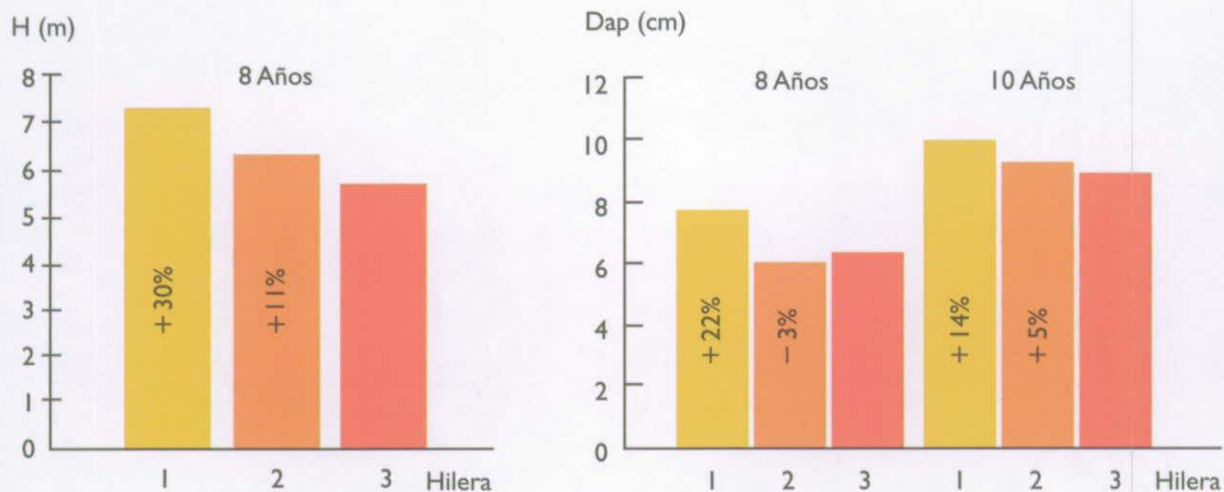
Cuando se asocia un árbol forestal con un arbusto de interés económico hay que considerar cuidadosamente sus requerimientos lumínicos. En general, las especies arbóreas de sombra deben tener un fuste alto, una copa estrecha y pocas ramas dispersas (Shanqing et al., 1991).

8. FIGURAS



Fuente: Buresti (2000)

Figura 1. Diseño de plantación de nogal con cerco adyacente de aliso



Fuente: Buresti (2000)

Figura 2. Impacto del cerco de aliso en las hileras adyacentes de la plantación de nogal, a los 8 y 10 años de edad

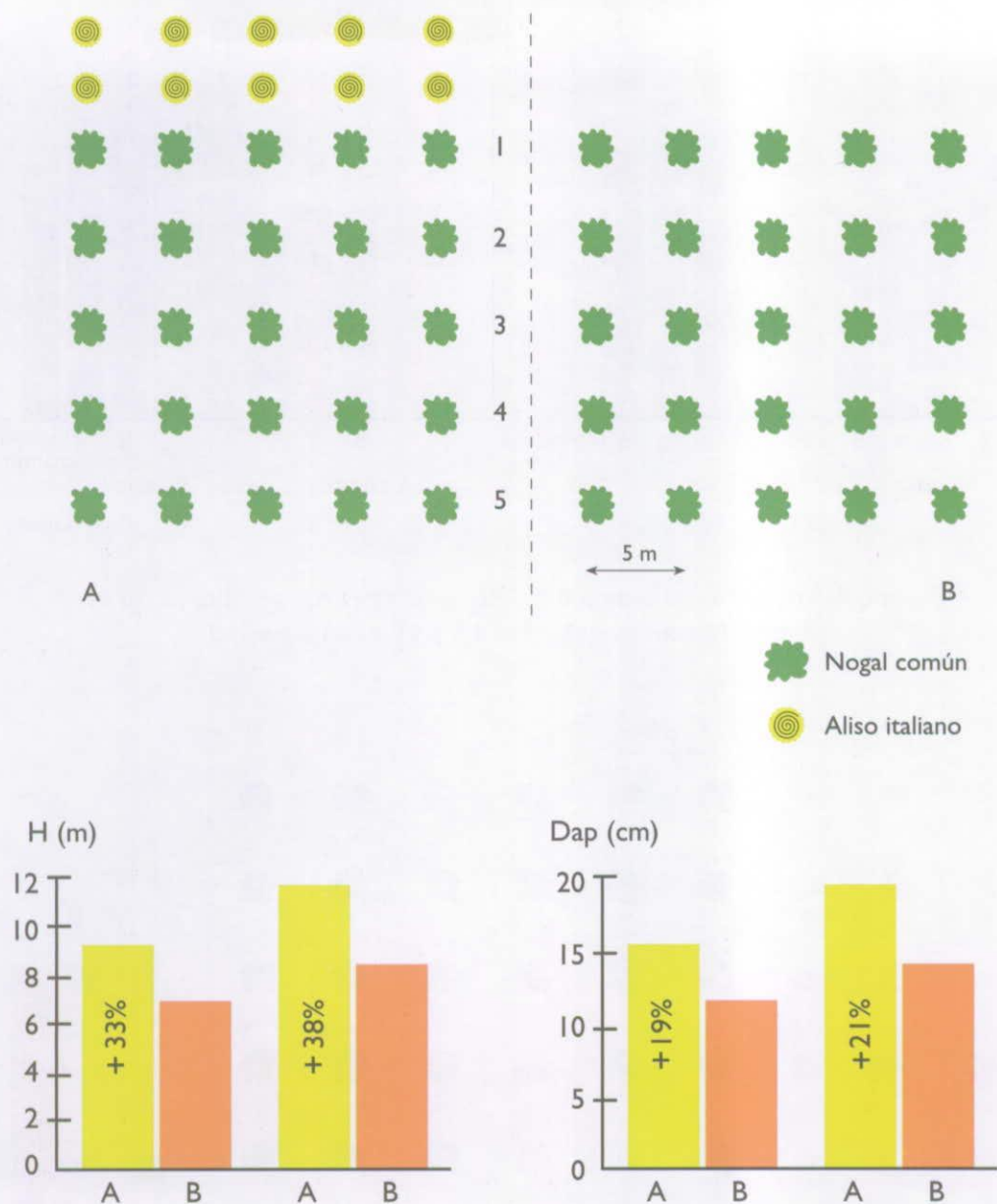
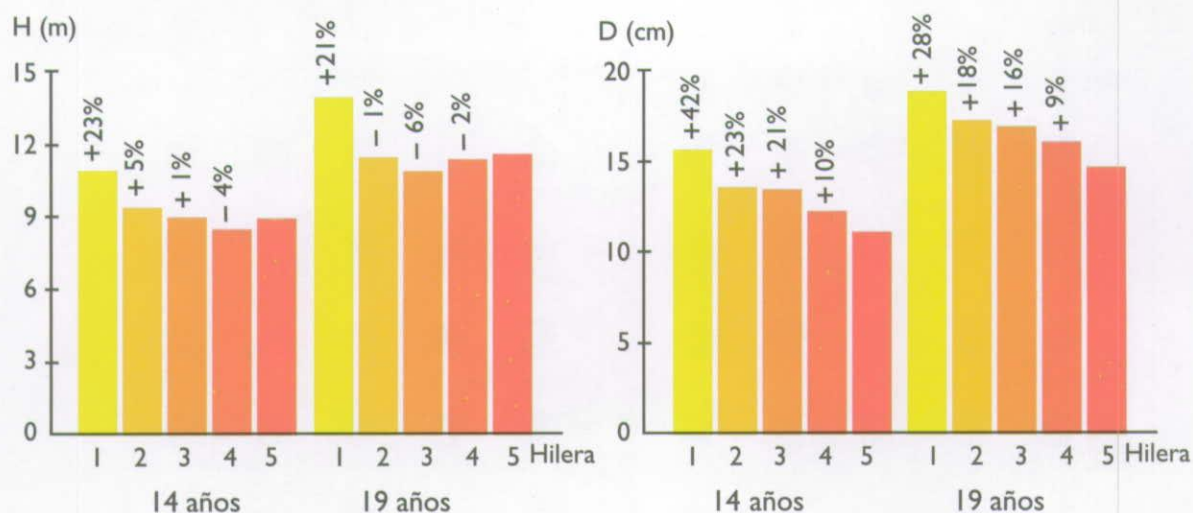


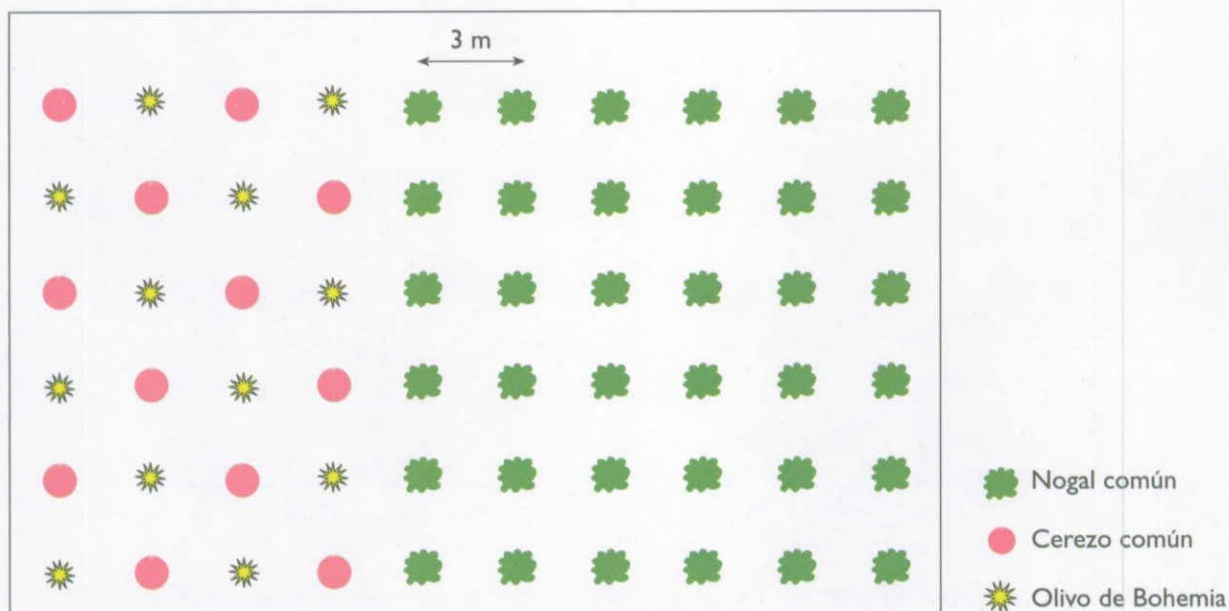
Figura 3. Diseño de plantación de nogal con cerco adyacente de aliso (A), en comparación con plantación de nogal sin cerco de aliso (B)

Fuente: Buresti (2000)



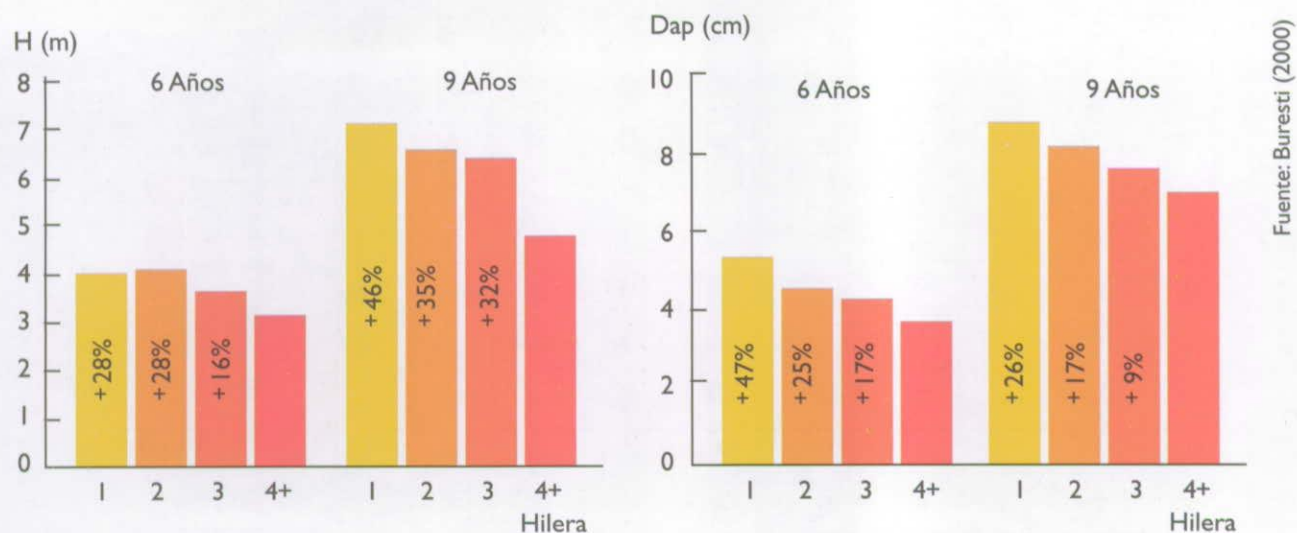
Fuente: Buresti (2000)

Figura 4. Impacto del cerco de aliso en las primeras hileras de la plantación de nogal, a los 14 y 19 años de edad



Fuente: Buresti (2000)

Figura 5. Diseño de plantación mixta de cerezo y olivo de bohemia adyacente a plantación pura de nogal





Fuente: Buresti (2000)

Figura 7. Ejemplo de plantación experimental empleada en Europa para comprender diferentes aspectos de las asociaciones con fines productivos



Fuente: Berti (1995)

Figura 8. Parámetros que determinan las características tecnológicas de la madera



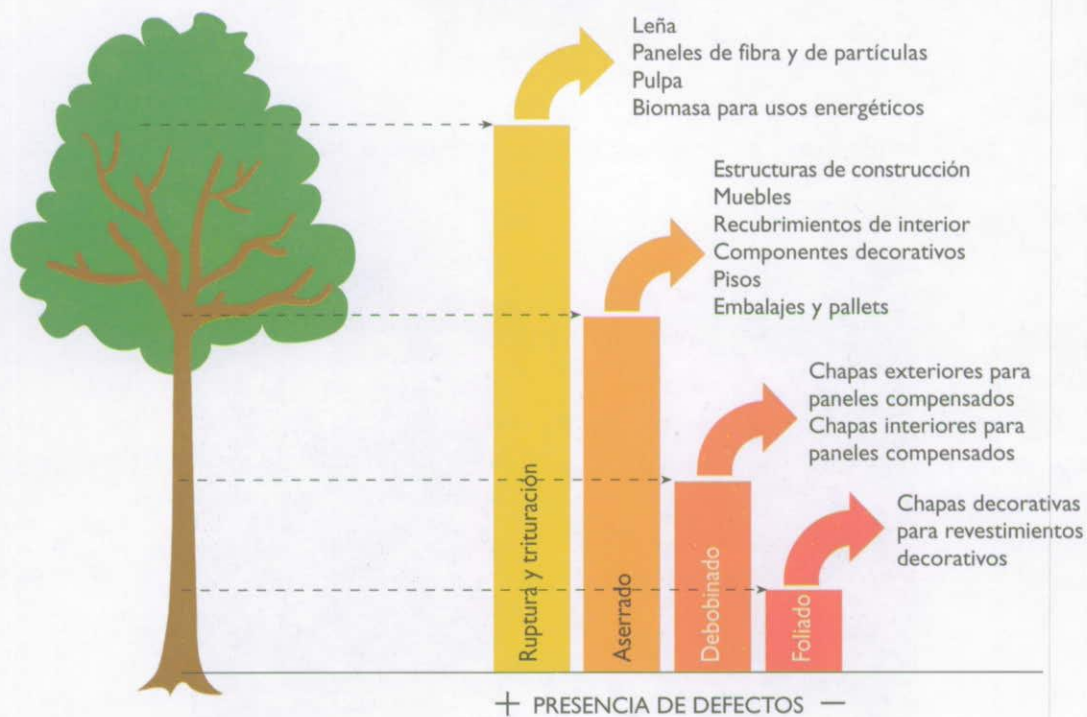
Fuente: Buresti (2000)

Figura 9. Trozas de calidad y raíces de nogal producidas en California, Estados Unidos



Fuente: Buresti (2000)

Figura 10. Trozas de nogal con bifurcaciones o “plumas”



Fuente: Berti et. al (2003)

Figura 11. Principales sistemas de procesamiento de la madera

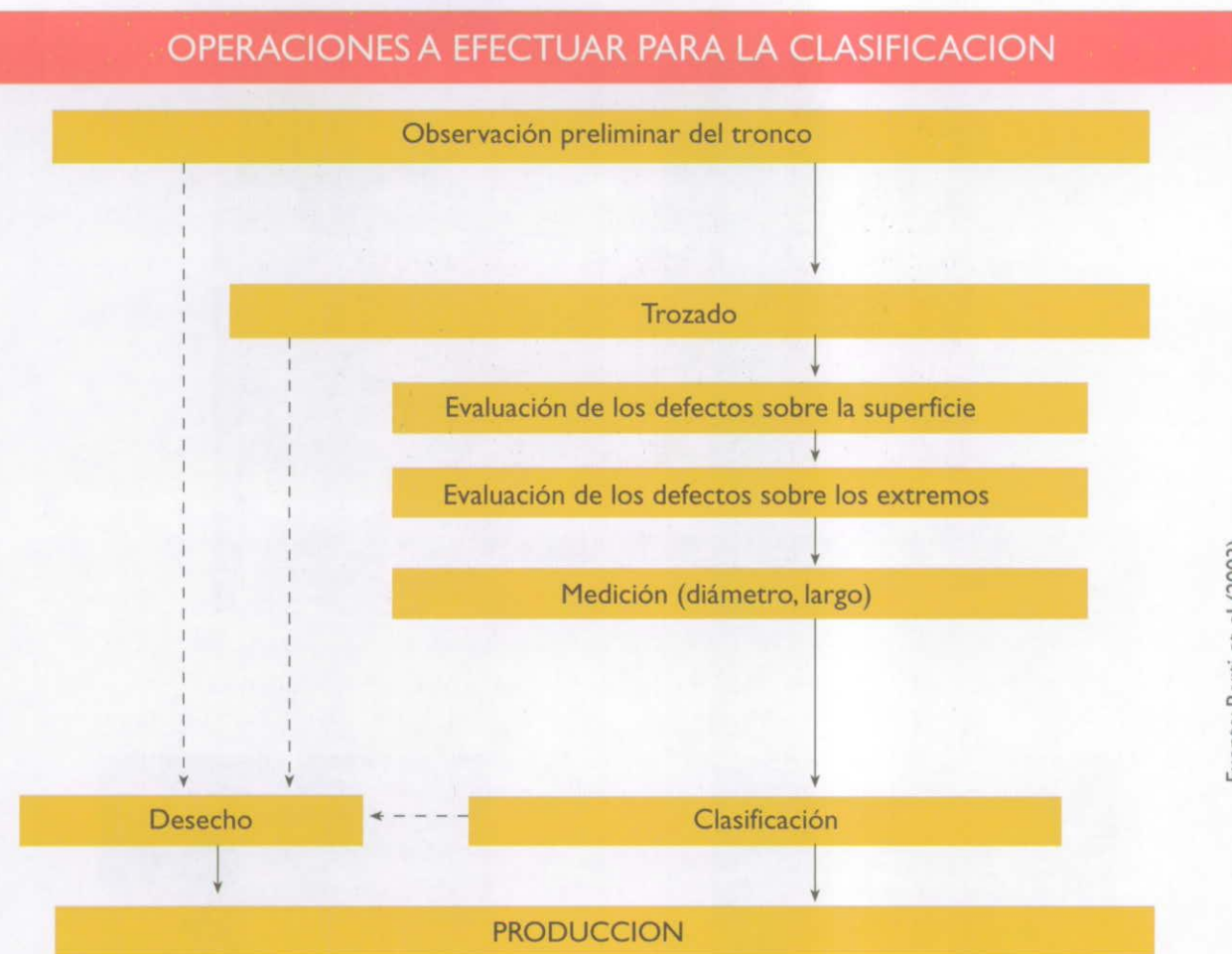


Figura 12. Diagrama de flujo del proceso de clasificación de madera según calidad



Fuente: Brunetti y Macchioni (2002)

Figura 13. Clasificación de madera aserrada de nogal común



Fuente: Propia

Figura 14. Tabla de cerezo sin vaporización



Fuente: Propia

**Figura 15. Tabla de cerezo vaporizada.
Nótese la homogeneidad del
color lograda por el proceso**



Fuente: Propia

Figura 16. Foliado de madera de haya



Fuente: Propia

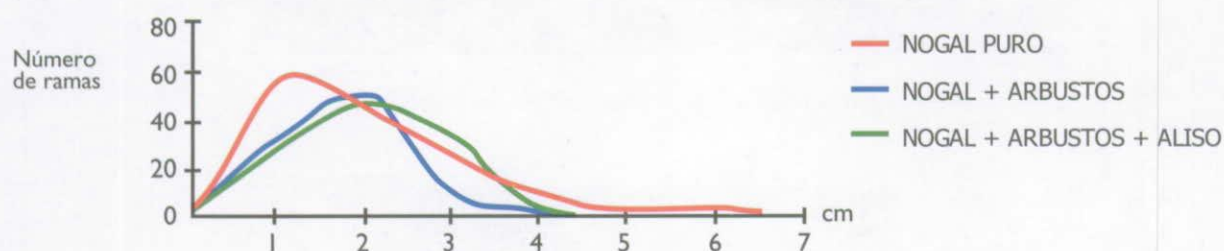
Figura 17. Secado de chapas decorativas (“veneers”)

Análisis de ramas hasta 3 metros de altura

Asociación	Número total de ramas	Diámetro ramas < 3 cm	Diámetro ramas > 3 cm	Diámetro medio de ramas (cm)
NOGAL PURO	144	128	16	1.6 (b)
NOGAL + ARBUSTOS	97	94	3	1.4 (a)
NOGAL + ARBUSTOS + ALISO	112	107	5	1.7 (b)

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Frecuencia de distribución de las ramas por clase diamétrica



Porcentaje de ramas sobre y bajo 3 cm. de diámetro



Figura 18. Efecto de asociaciones en el diámetro de ramas de nogal común. Porano (TR), Italia

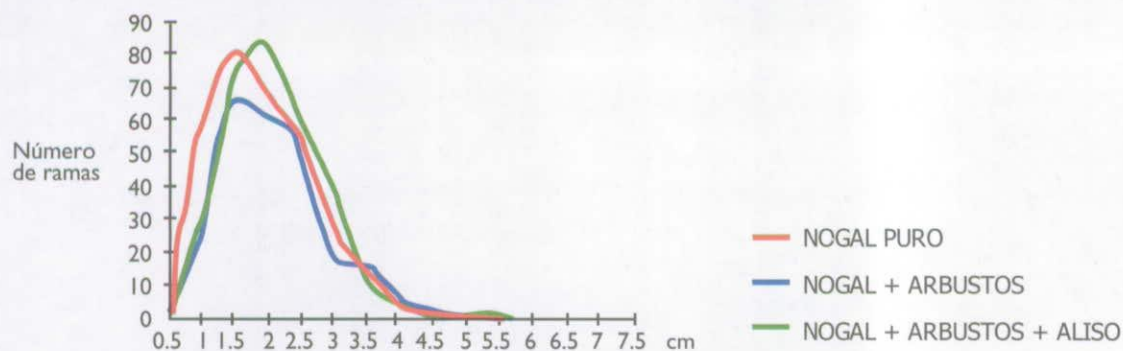
Fuente: Buresti (2000)

Análisis de ramas hasta 3 metros de altura

Asociación	Número total de ramas	Diámetro ramas < 3 cm	Diámetro ramas > 3 cm	Diámetro ramas de ramas (cm)
NOGAL PURO	257	230	27	2.0 (a)
NOGAL + ARBUSTOS	295	276	19	1.7 (b)
NOGAL + ARBUSTOS ALISO	291	277	14	1.9 (c)

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Frecuencia de distribución de las ramas por clase diamétrica



Fuente: Buresti (2000)

Porcentaje de ramas sobre y bajo 3 cm. de diámetro



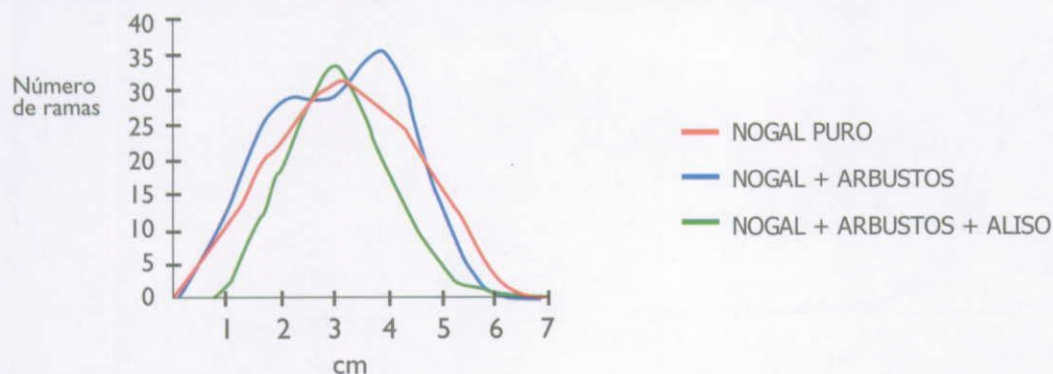
Figura 19. Efecto de asociaciones en el diámetro de ramas de nogal común. Italia.

Análisis de ramas hasta 3 metros de altura

Asociación	Número total de ramas	Diámetro ramas < 3 cm	Diámetro ramas > 3 cm	Diámetro medio de ramas (cm)
NOGAL PURO	112	63	49	2.8 (a)
NOGAL + ARBUSTOS	119	66	53	2.6 (a)
NOGAL + ARBUSTOS + ALISO	78	50	28	2.6 (a)

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Frecuencia de distribución de las ramas por clase diamétrica



Fuente: Buresti (2000)

Porcentaje de ramas sobre y bajo 3 cm. de diámetro

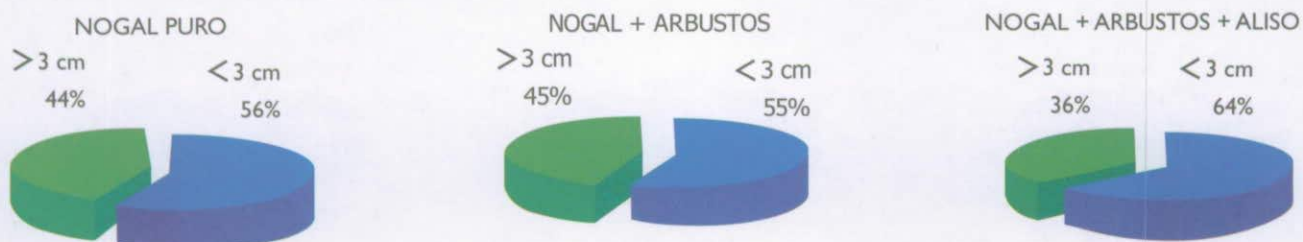


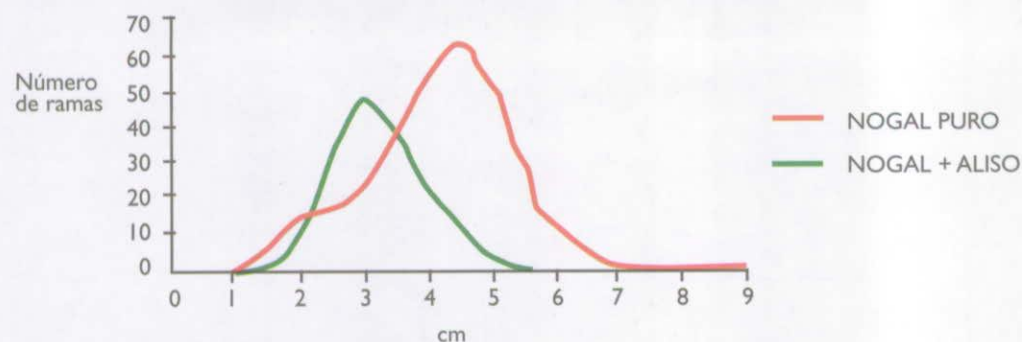
Figura 20. Efecto de asociaciones en el diámetro de ramas de nogal común. Casalmaggiore (CR), Italia

Análisis de ramas hasta 3 metros de altura

Asociación	Número total de ramas	Diámetro ramas < 3 cm	Diámetro ramas > 3 cm	Diámetro ramas
NOGAL PURO	141	33	108	3.6 (a)
NOGAL + ALISO	87	54	33	2.8 (b)

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Frecuencia de distribución de las ramas por clase diamétrica



Fuente: Buresti (2000)

Porcentaje de ramas sobre y bajo 3 cm. de diamétrica

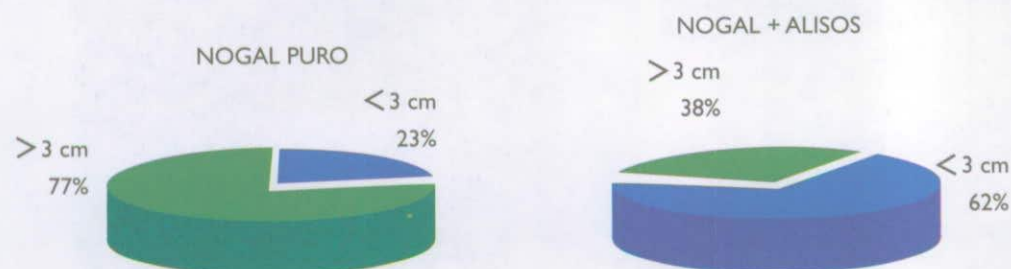
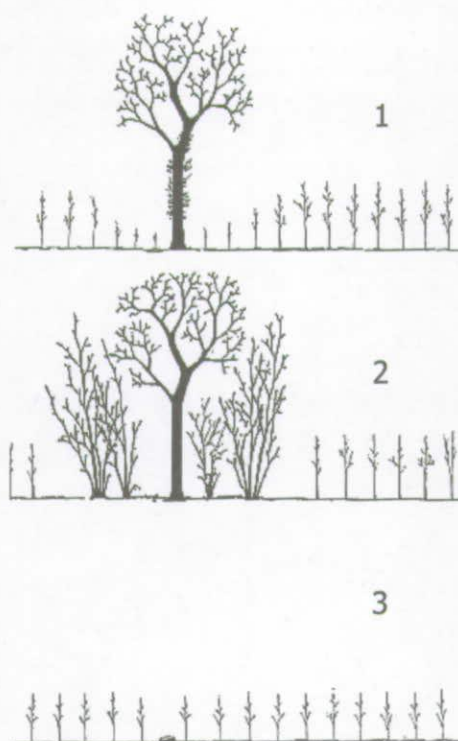


Figura 21. Efecto de una asociación en el diámetro de ramas de nogal común. Valdarno (FI), Italia



Fuente: IDF (1981)

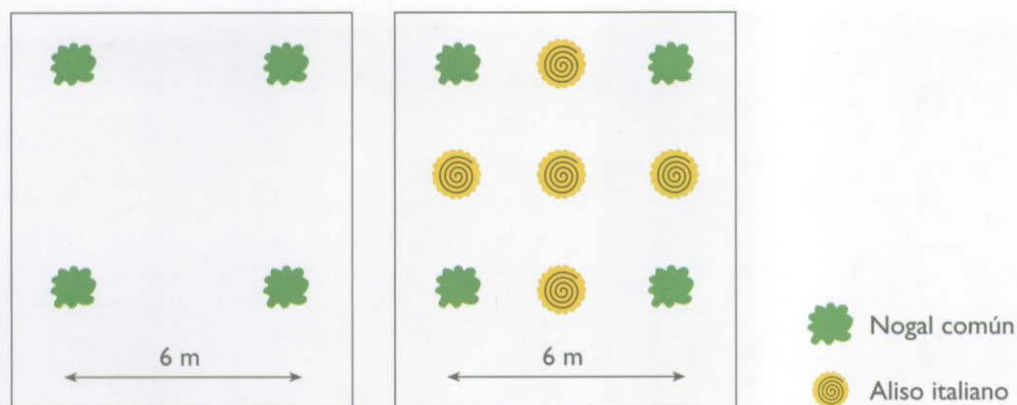
Figura 22. Raleos intensos (1) originan brotes epicórmicos que deterioran la calidad de la madera. Las especies secundarias reducen este efecto (2)



Fuente: Buresti (2000)

Figura 23. Una poda mal efectuada puede originar defectos que llevan a la pérdida de la inversión realizada

Esquema de plantación



Datos de crecimiento

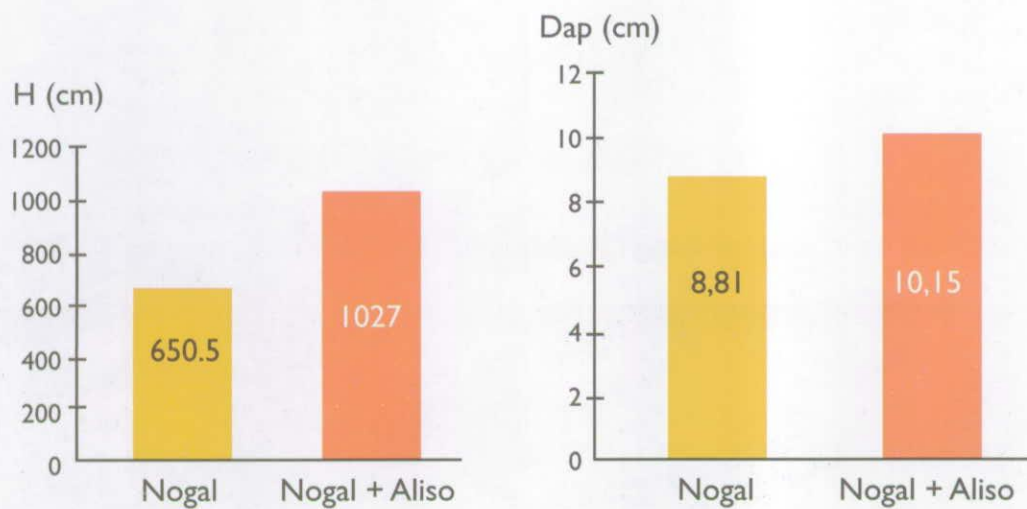
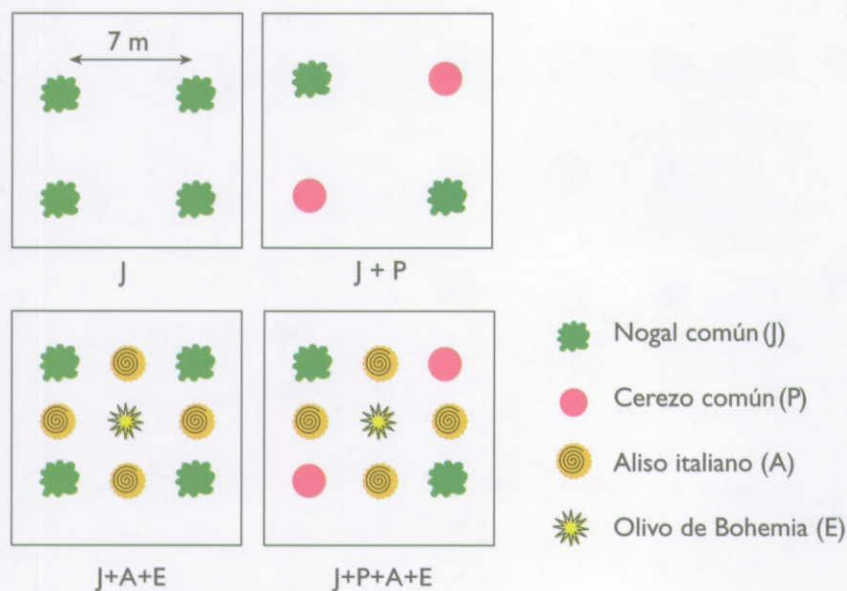


Figura 24. Efecto de asociación de nogal común y aliso. Valdarno (Florencia), Italia

Fuente: Buresti (2000)

Esquema de plantación



Fuente: Buresti (2000)

Datos de crecimiento

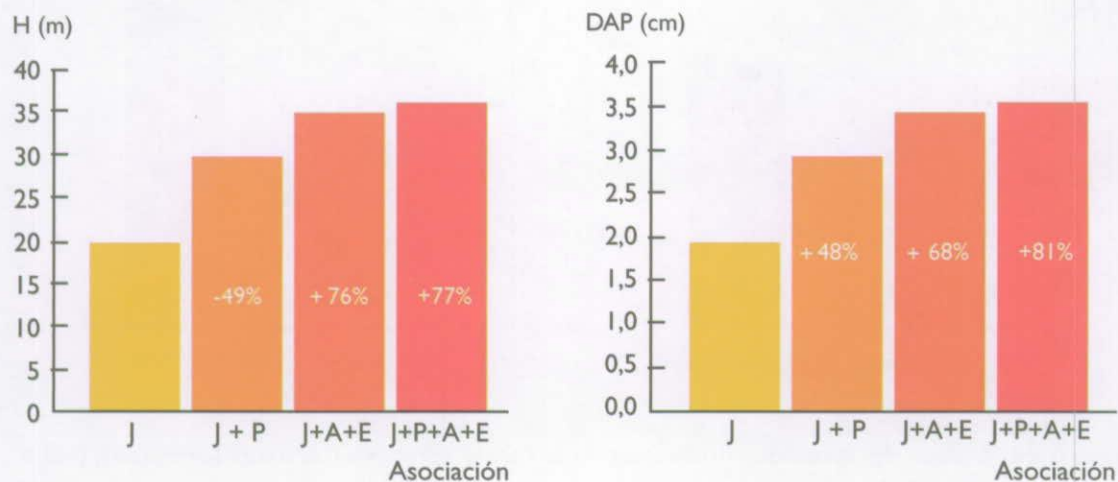
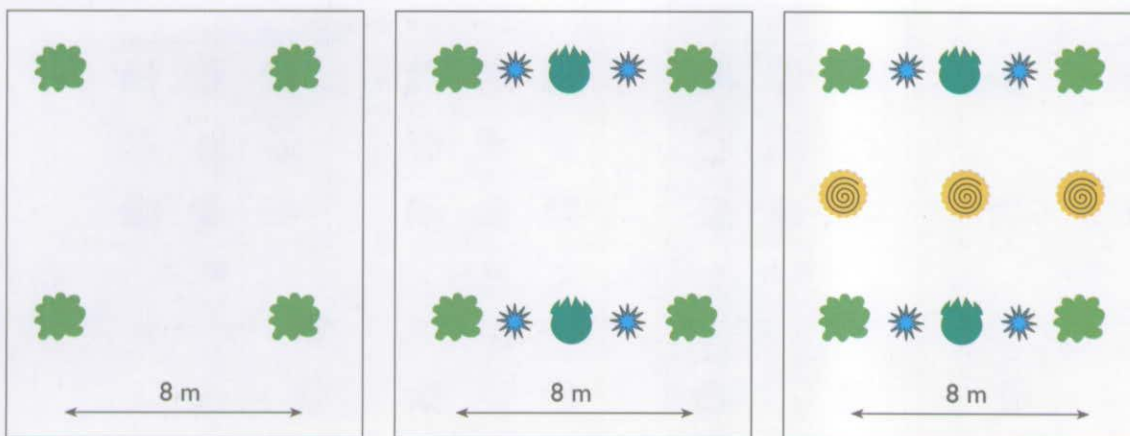


Figura 25. Efecto de asociaciones de nogal común, cerezo común, aliso italiano y olivo de bohemia a los 6 años. Italia

Esquema de plantación



- Nogal común
- Avellano europeo
- Aliso italiano
- Olivo ornamental

Fuente: Buresti (2000)

Datos de crecimiento

Letras distintas indican diferencias significativas

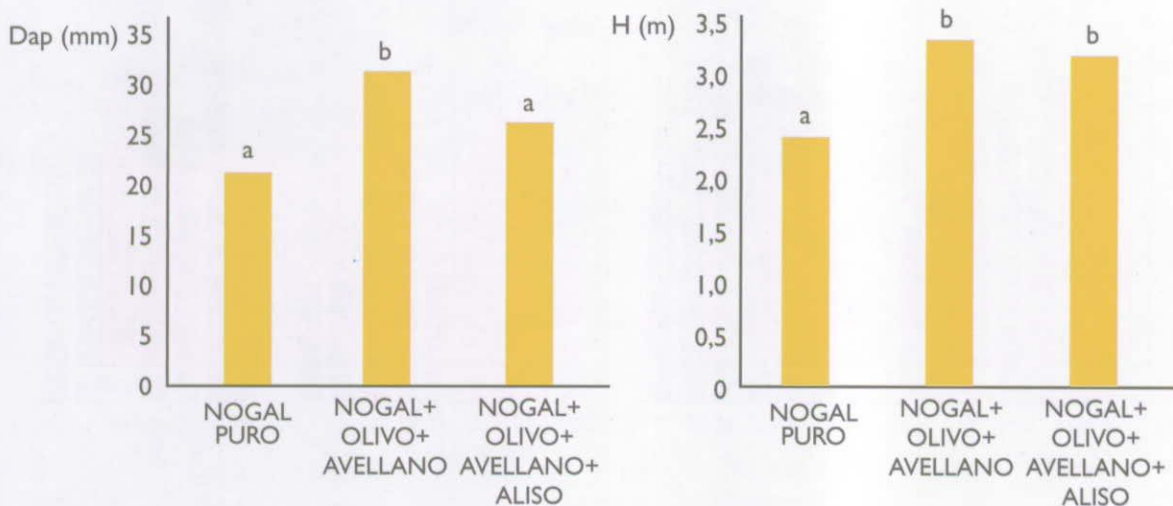
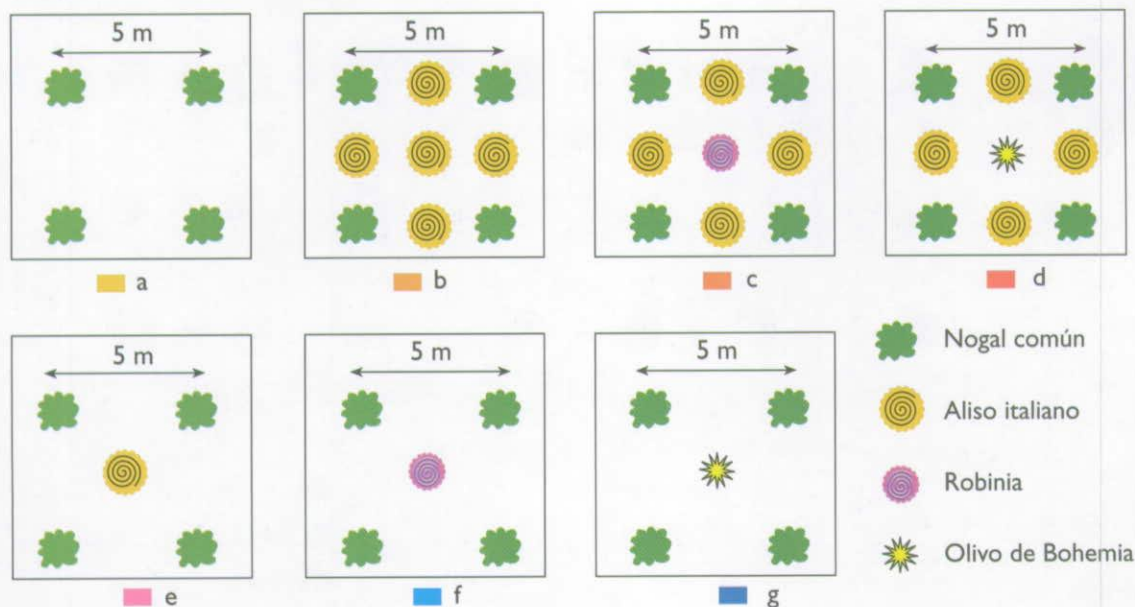


Figura 26. Efecto de asociaciones de nogal común, aliso italiano, robinia y olivo de bohemia, a los 7 y 8 años. Valdarno (Florence), Italia

Esquema de plantación



Fuente: Buresti (2000)

Datos de crecimiento

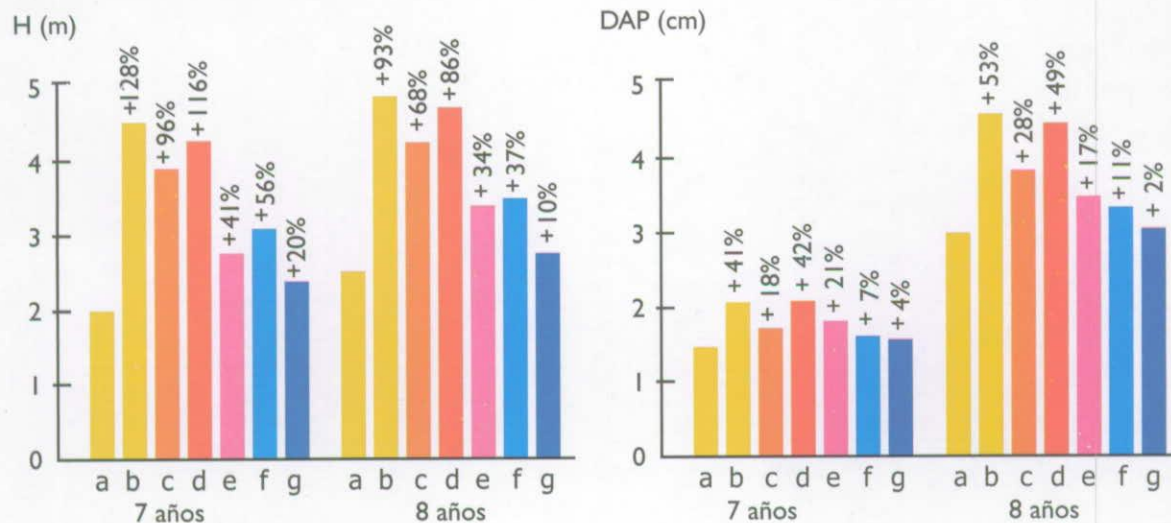
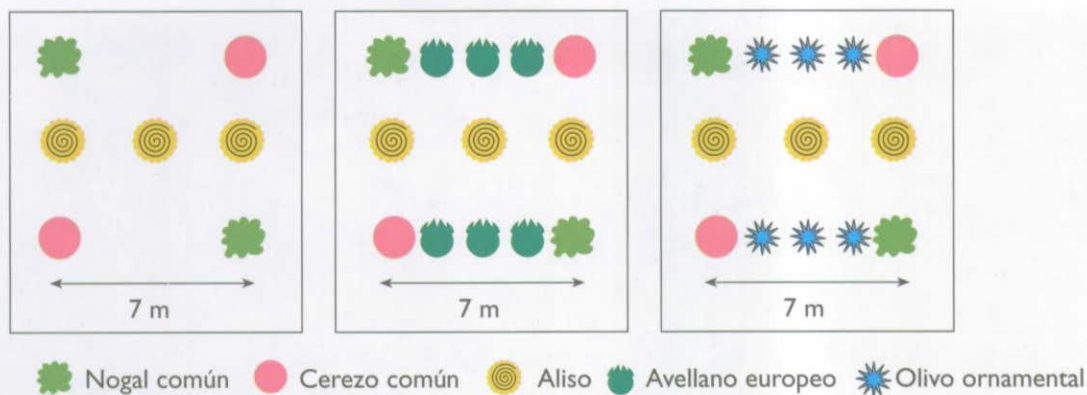


Figura 27. Efecto de asociaciones de nogal común, aliso italiano, robinia y olivo de bohemia, a los 7 y 8 años. Italia

Esquema de plantación



Datos de crecimiento

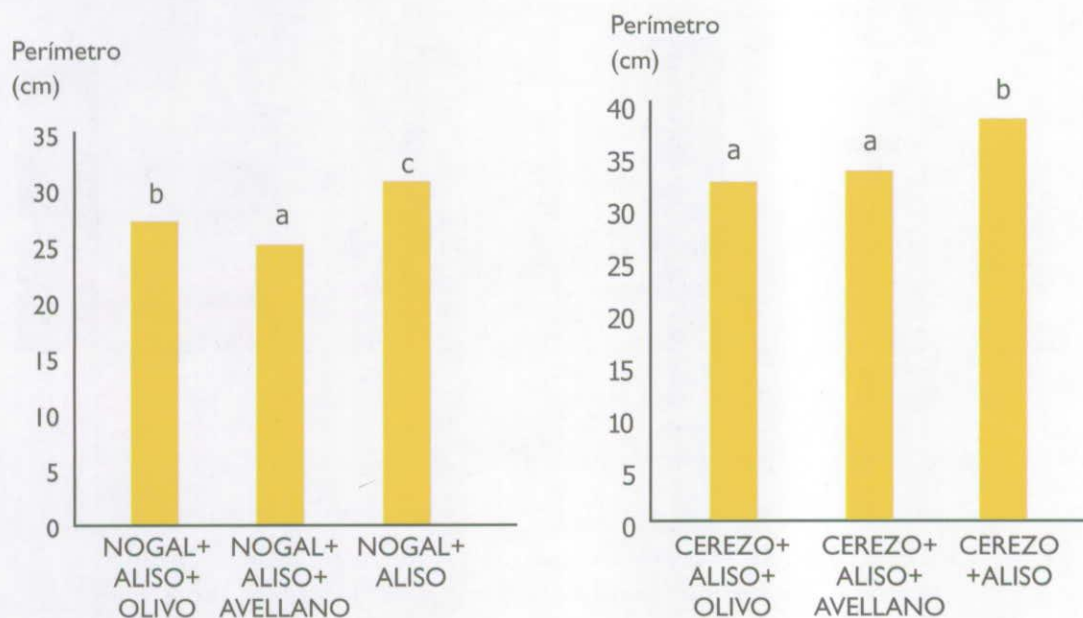
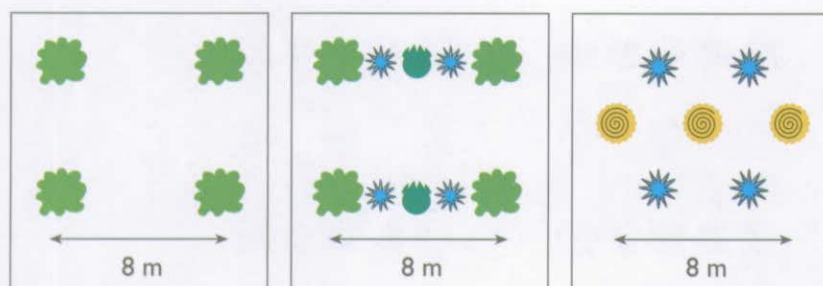


Figura 28. Efecto de asociaciones de nogal común, cerezo común, aliso italiano, avellano europeo y olivo ornamental a los 6 años. Montecchio Precalcino (VI), Italia

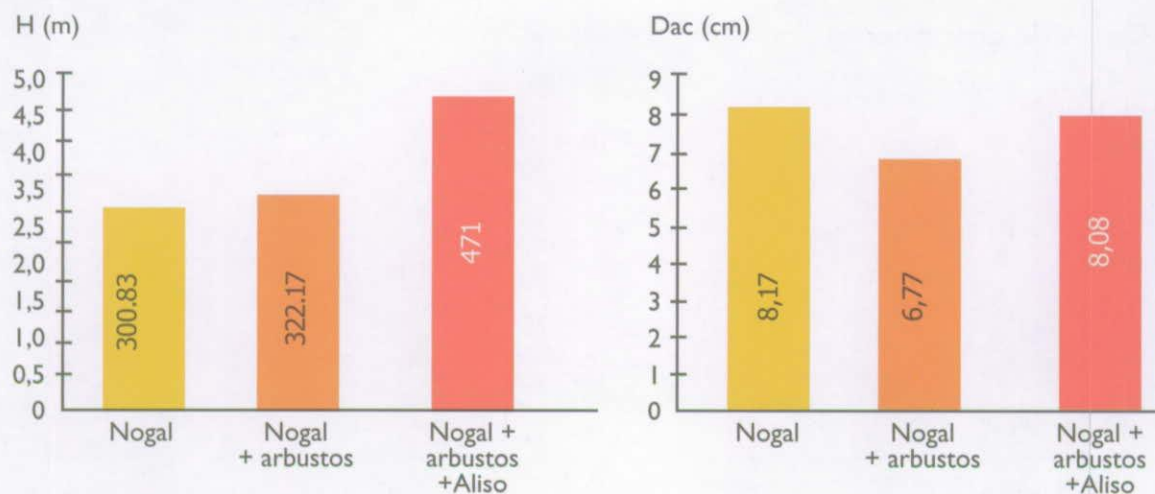
Fuente: Buresti (2000)

Esquema de plantación



Nogal
 Olivo ornamental
 Avellano europeo
 Aliso italiano

Datos de crecimiento

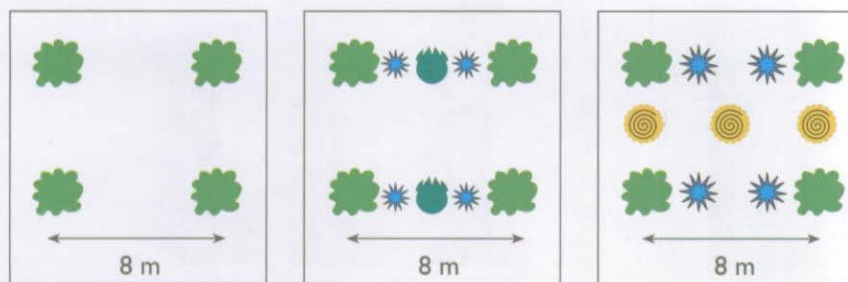


Esta plantación se realizó en el marco del proyecto "Walnut Brains", y fue ejecutada por el C.N.R. de PORANO (Terni)

Figura 29. Efecto de asociaciones de nogal común, aliso italiano, avellano europeo y olivo ornamental a los 6 años. Porano (TR), Italia

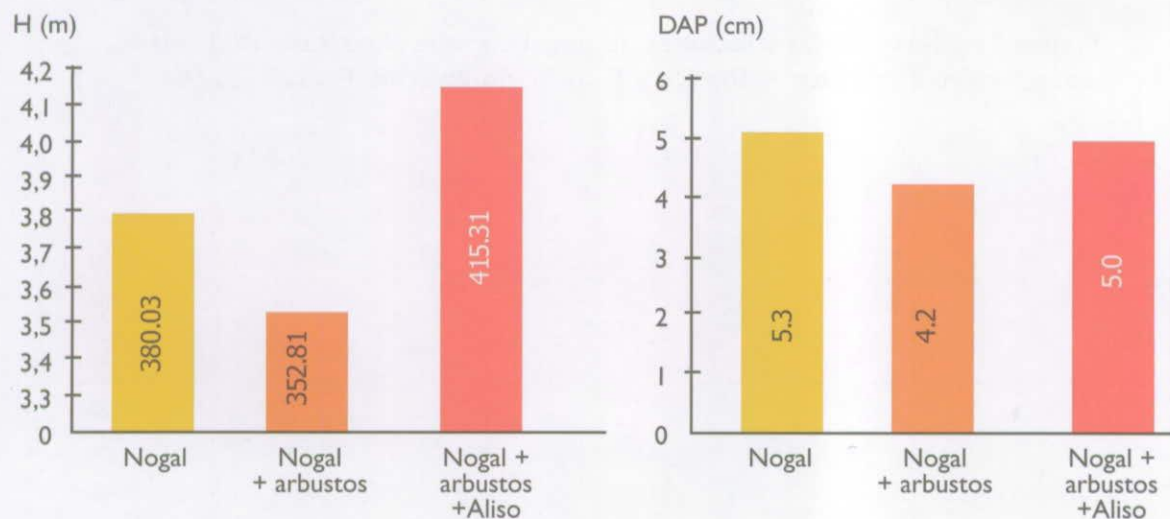
Fuente: Buresti (2000)

Esquema de plantación



 Nogal
  Olivo ornamental
  Avellano europeo
  Aliso italiano

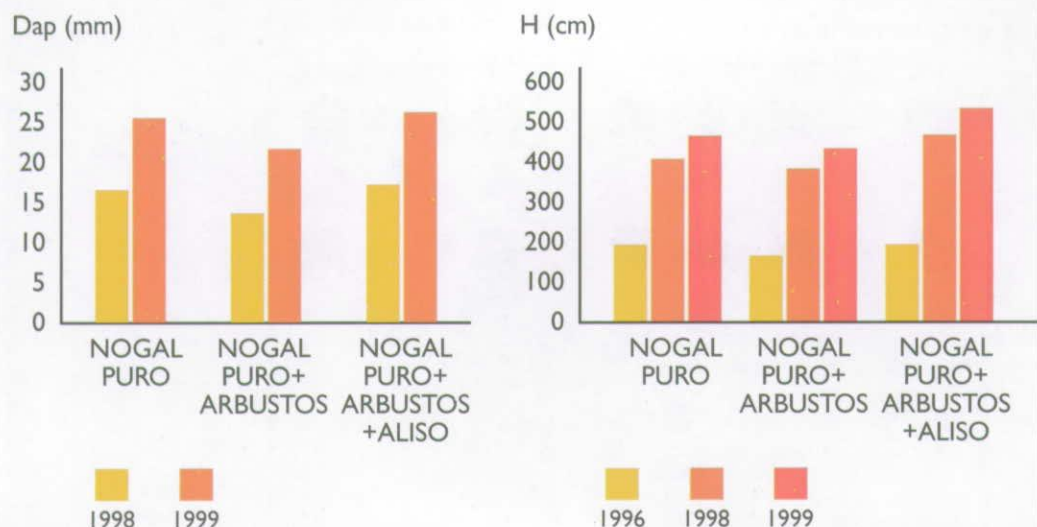
Datos de crecimiento



Esta plantación se realizó en el marco del proyecto "Walnut Brains", y fue ejecutada por el ISSA (Arezzo)

Figura 30. Efecto de asociaciones de nogal común, aliso italiano, avellano europeo y olivo decorativo. Montecchio Precalcino (VI), Italia

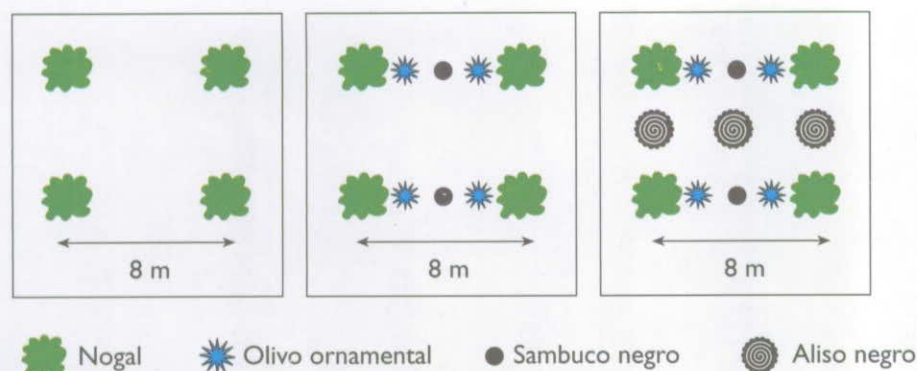
Fuente: Buresti (2000)



Fuente: Buresti (2000)

Figura 31. Efecto de asociaciones de nogal común, aliso italiano, avellano europeo y olivo decorativo a los 2, 4 y 5 años. Montecchio Precalcino (VI), Italia

Esquema de plantación:



Datos de crecimiento:

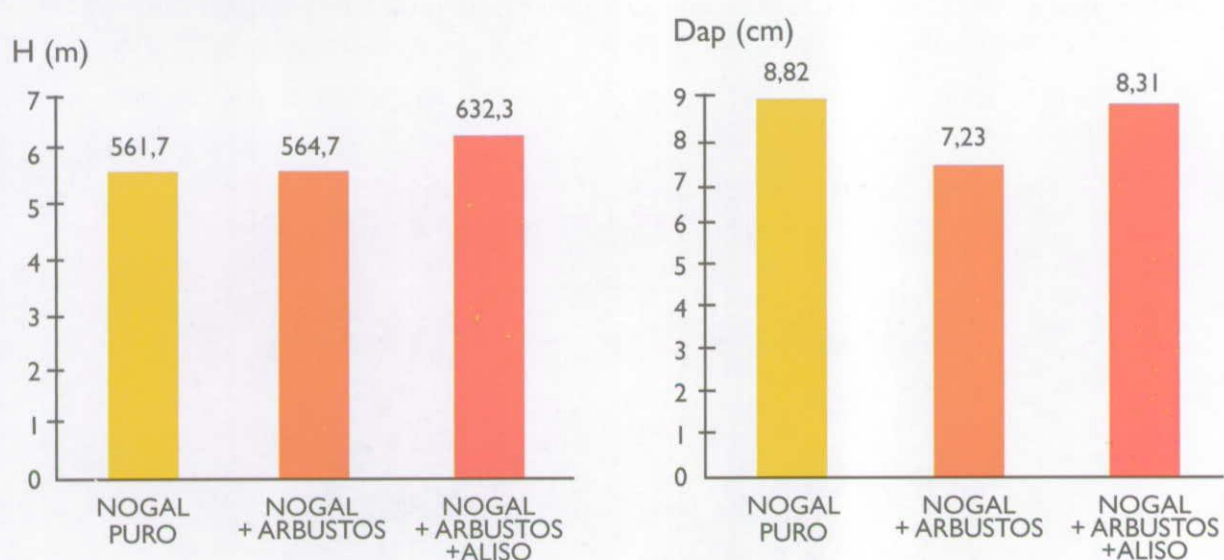


Figura 32. Efecto de asociaciones de nogal común, aliso negro, olivo ornamental y sambuco. Casalmaggiore (CR), Italia

Fuente: Buresti (2000)

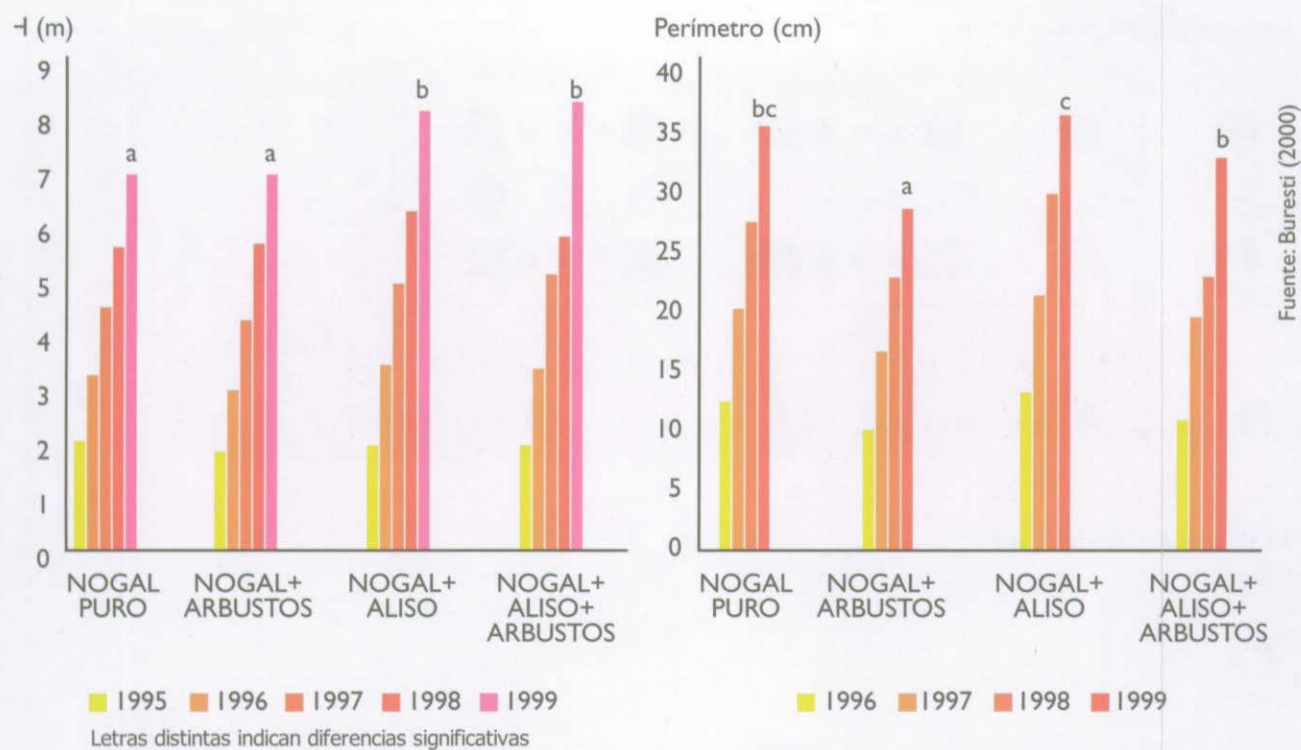


Figura 34. Plantación pura de nogal común de 9 años

Fuente: Propia



Fuente: Propia

Figura 35. Plantación mixta de nogal común con aliso italiano (izq.) y con aliso italiano y olivo de bohemia (der.) a los 9 años

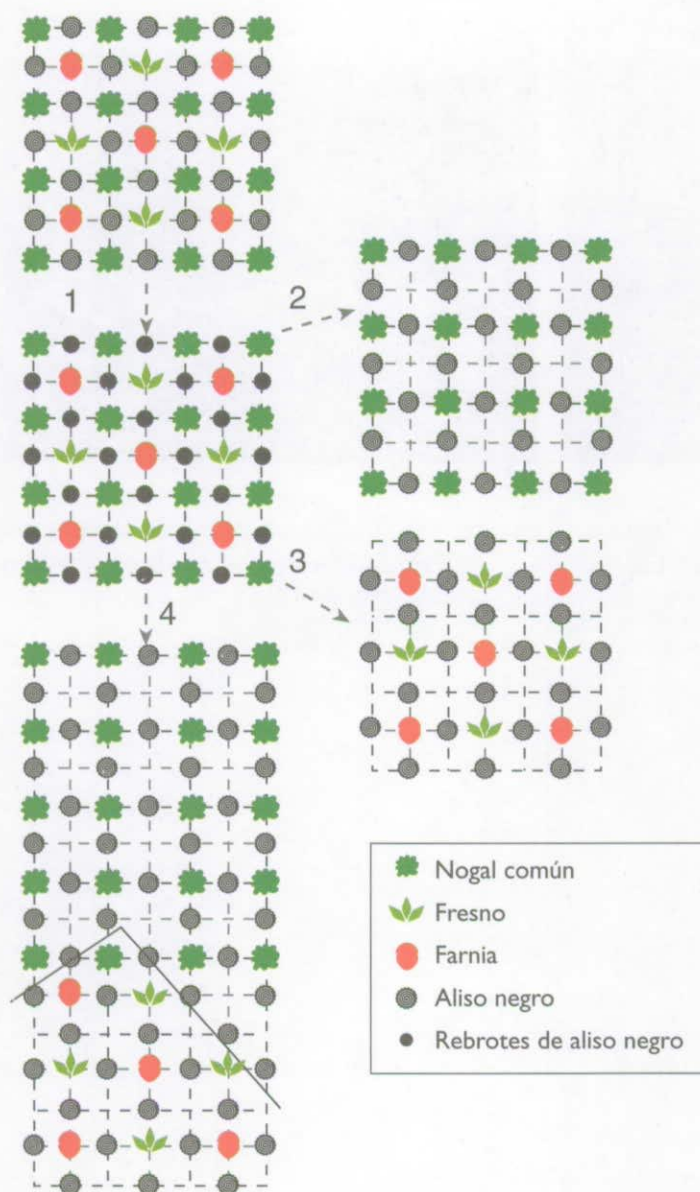
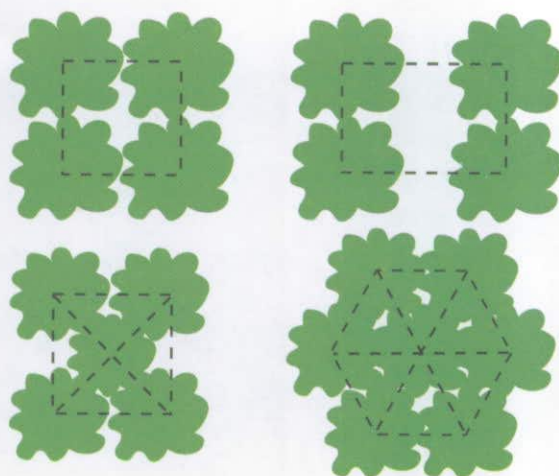


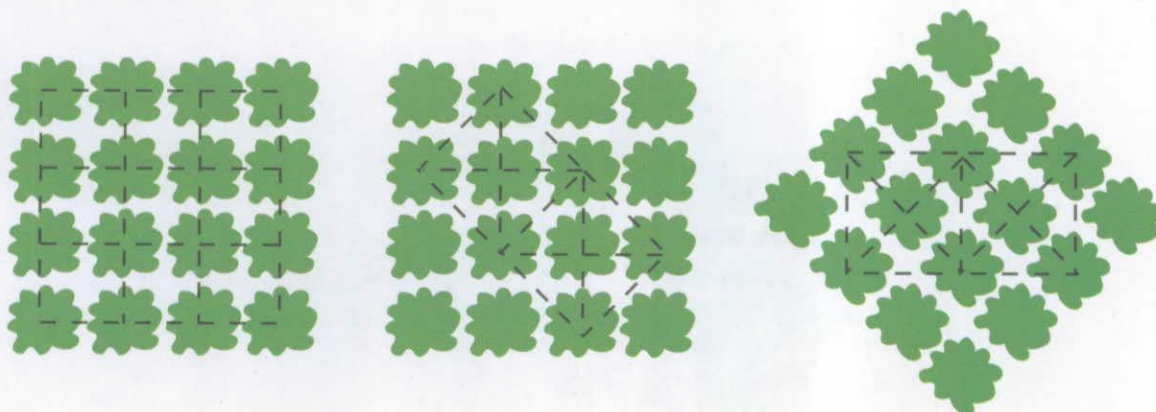
Figura 36. Representación de la versatilidad de una plantación mixta, con tres alternativas: prevalece nogal; prevalecen fresno y farnia; o prevalecen ambas situaciones en diferentes condiciones de suelo, los que suelen cambiar en forma repentina, por lo que el modelo de Plantación Mixta permite una adaptación a esta realidad con gran flexibilidad

Fuente: Buresti y Mori (1995)



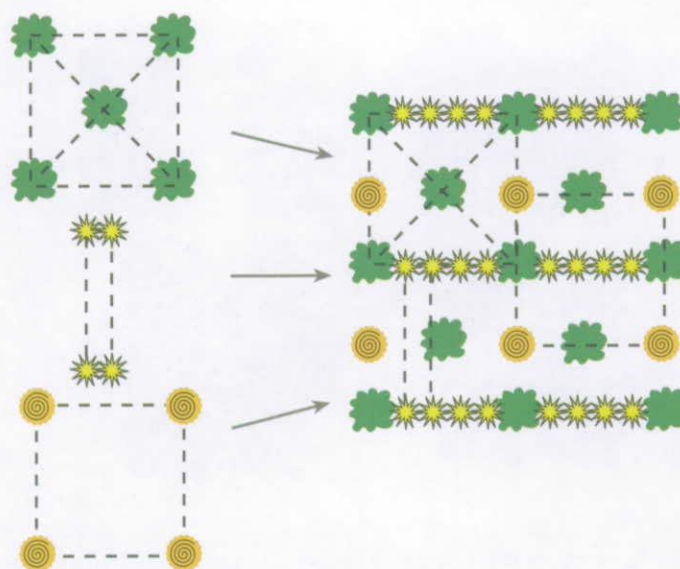
Fuente: Buresti y Mori (1995)

Figura 37. Cuando las copas de los árboles se juntan, es posible apreciar cómo las diferentes disposiciones conducen a una diferente utilización del espacio



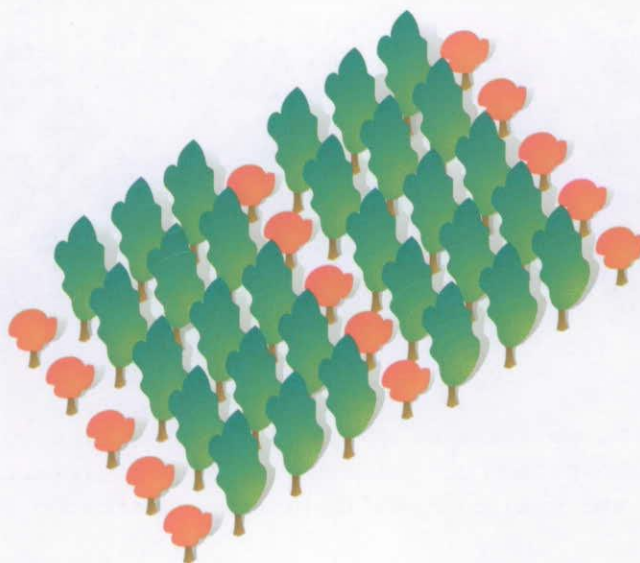
Fuente: Buresti y Mori (1995)

Figura 38. Se aprecia que la disposición puede ser considerada cuadrada o a tres bolillos en función de la ubicación de los ejes de referencia, considerando la última una rotación de 45° de los ejes respecto a la primera



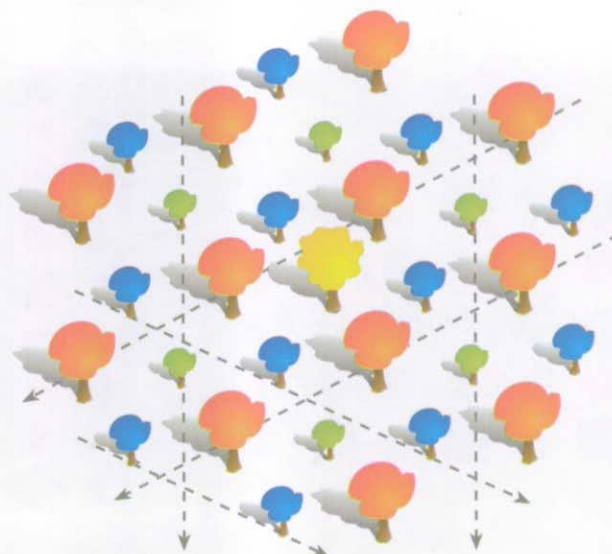
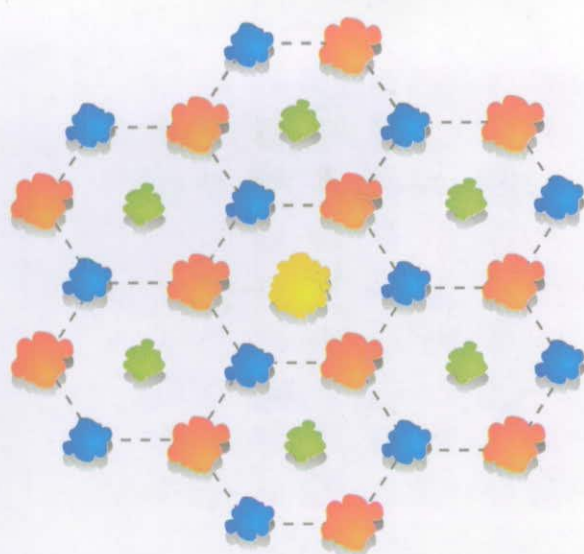
Fuente: Buresti y Mori (1995)

Figura 39. Ejemplo de disposición compuesta apta para producir madera de calidad, que incluye una disposición cuadrada, una rectangular y una a tres bolillos



Fuente: Buresti y Frattegiani (1995b)

Figura 40. Ejemplo de plantación mixta en hilera



Fuente: Buresti y Fratregiani (1995b)

Figura 41. Esquema de asociación pie a pie, que considera las vías de extracción de la madera, y que representa una unidad repetible sobre toda la superficie

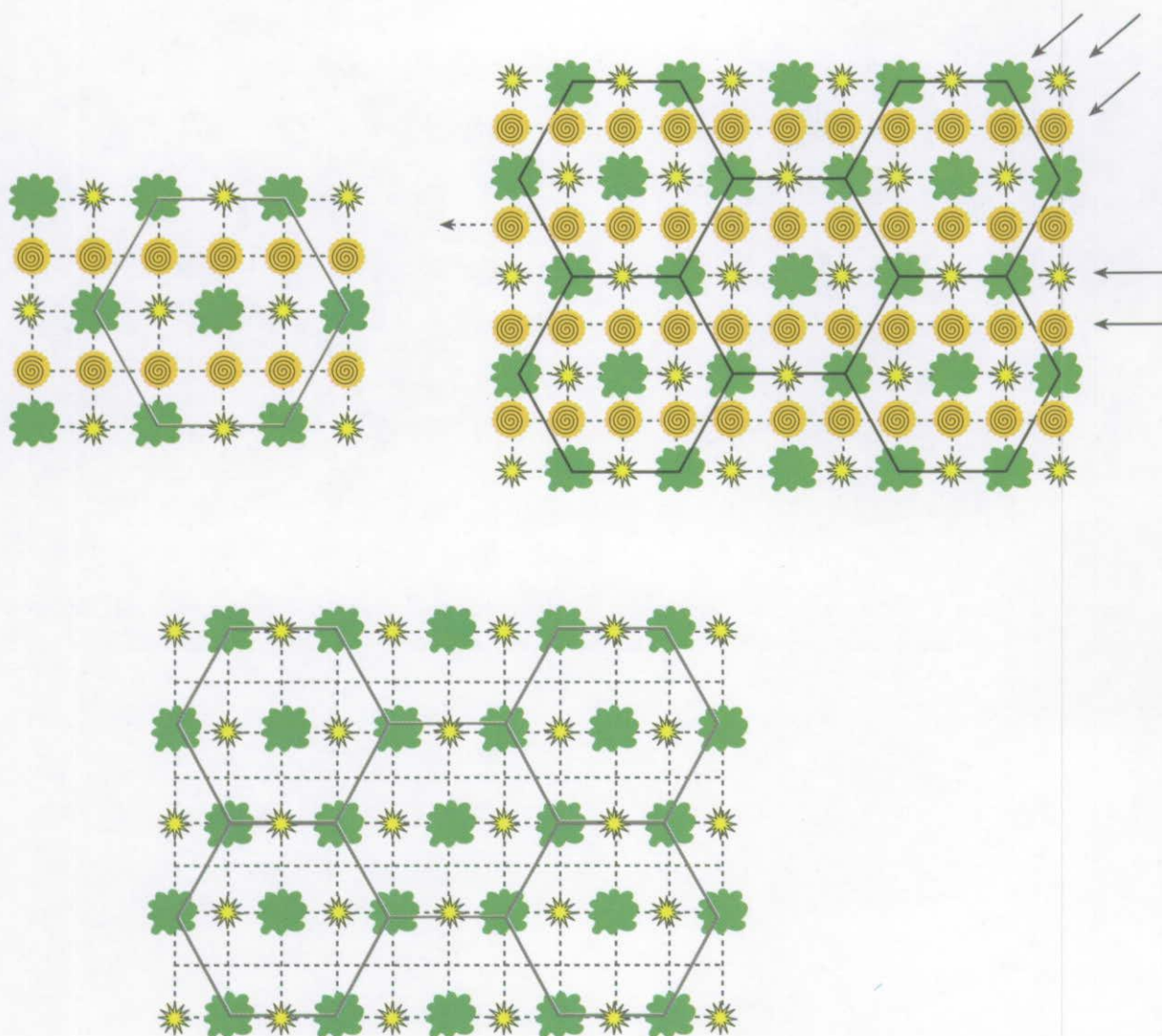


Figura 42. Esquema de asociación pie a pie en que las especies principal y arbustiva se disponen en un rombo-7, y la arbórea secundaria en disposición rectangular

Fuente: Buresti y Mori (1998)

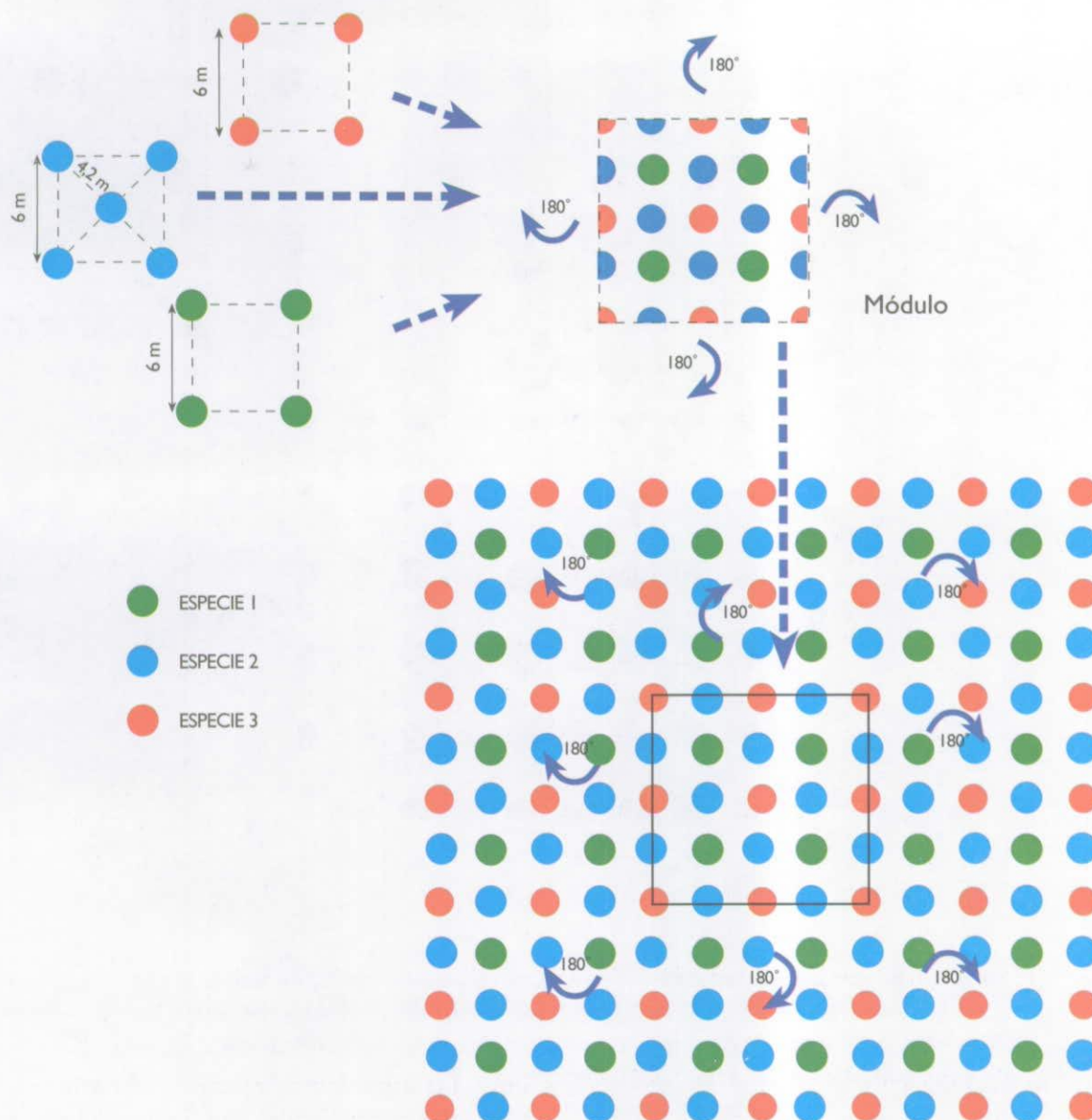
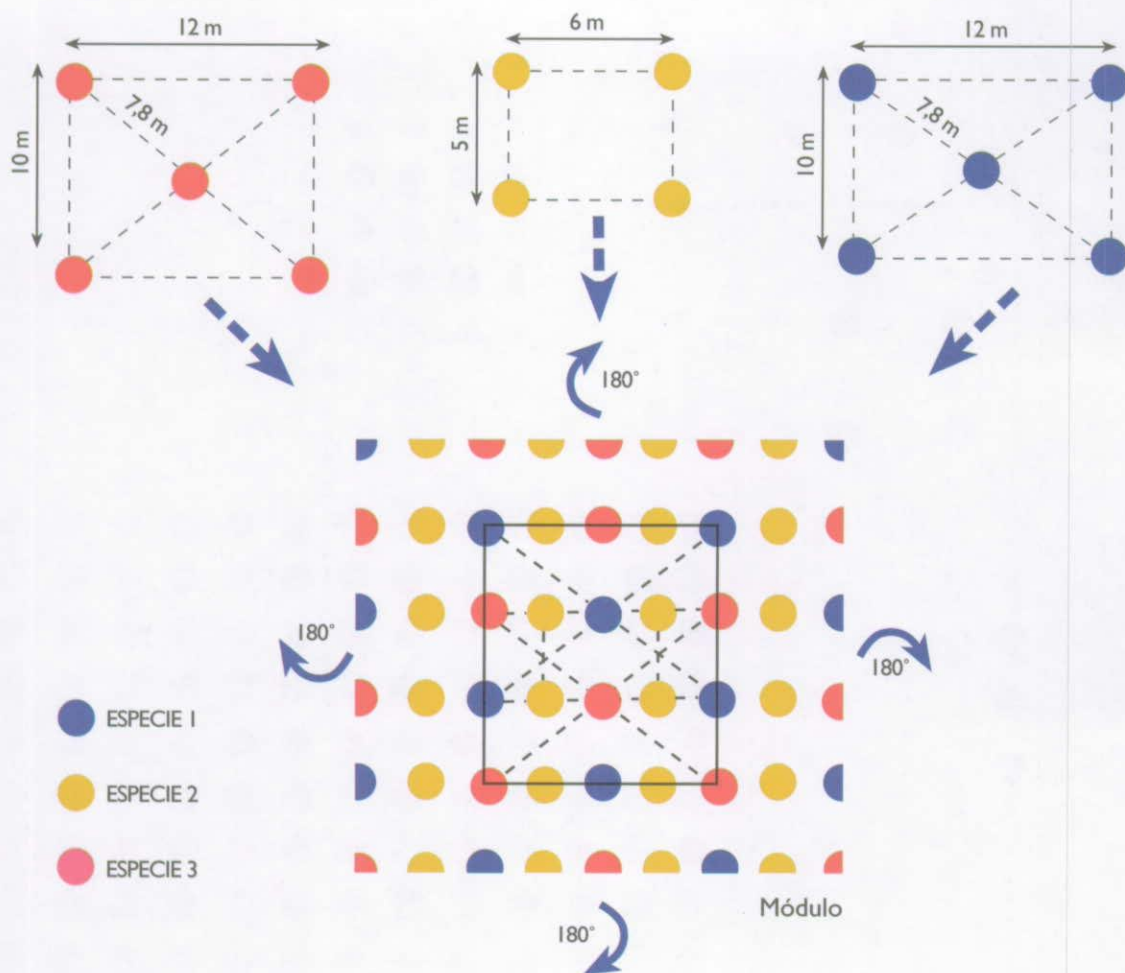
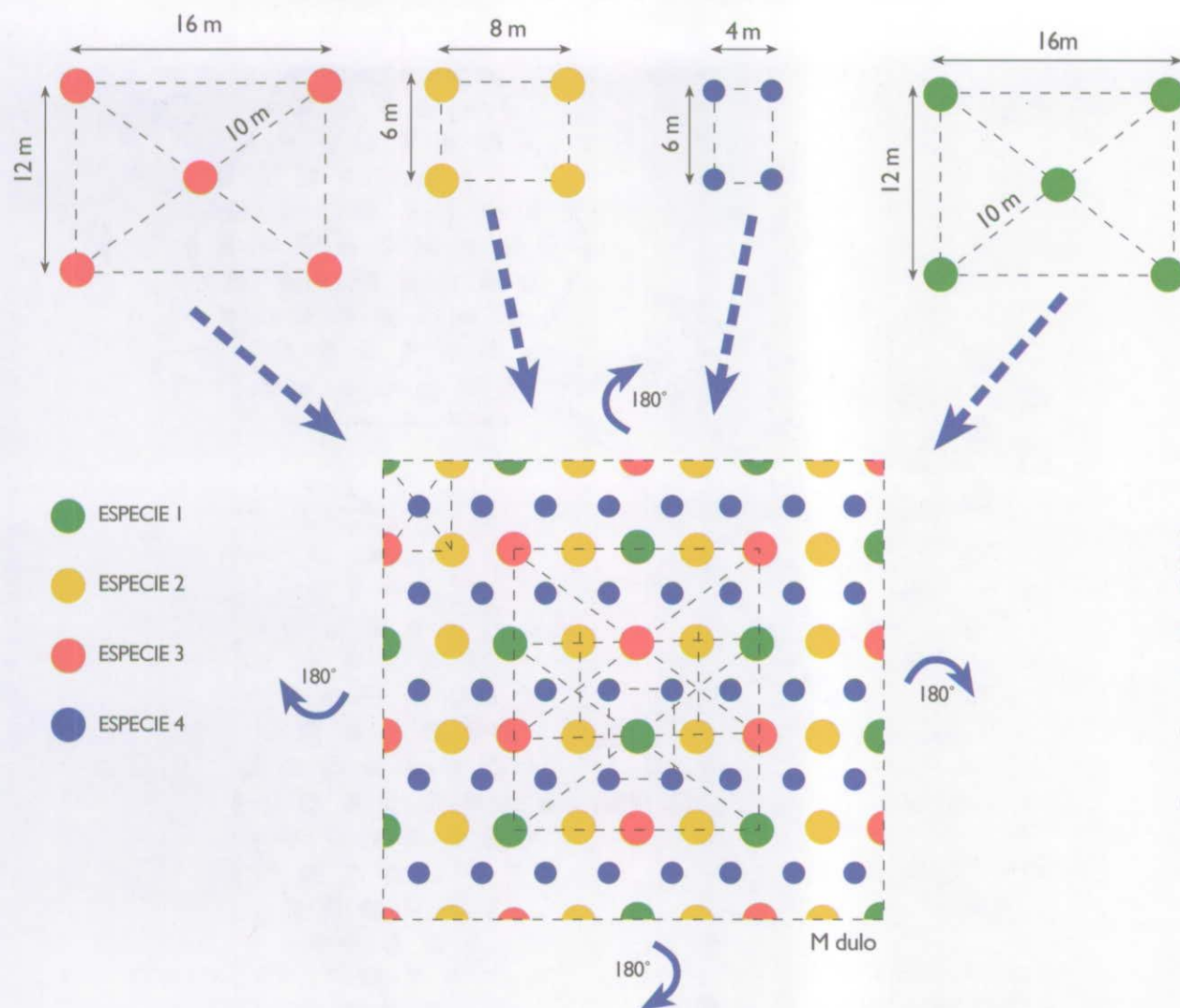


Figura 43. Esquema que ejemplifica la contribución de cada árbol y especie en la constitución de un módulo mixto con disposición cuadrada. La especie 1 aporta en el módulo 4 árboles enteros; la especie 2 con 8 árboles (4 enteros más 8 medios); y la especie 3 con 4 árboles (1 entero, 4 medios y 4 cuartos).



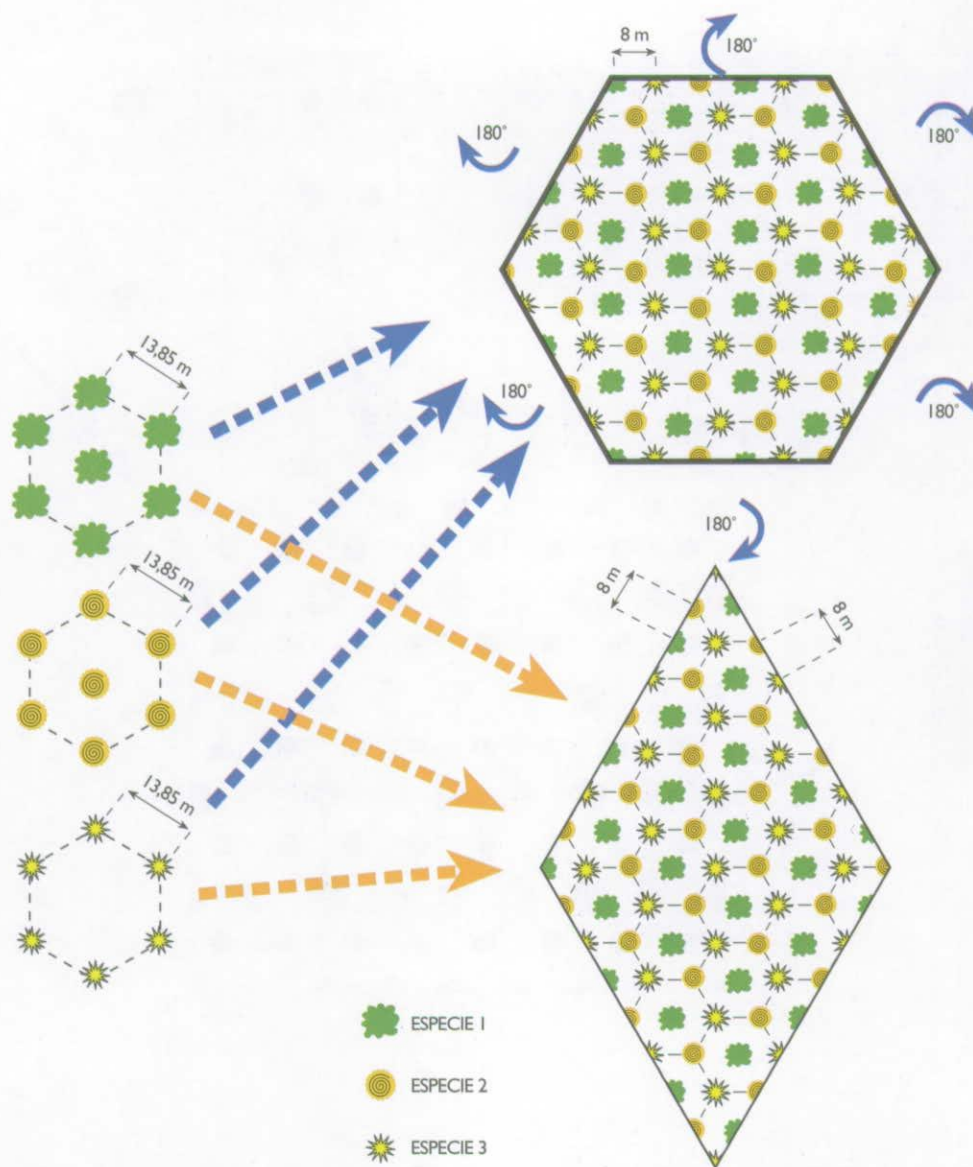
Fuente: Buresti y Mori (2001b)

Figura 44. Esquema que ejemplifica la contribución de cada árbol y especie en la constitución de un módulo mixto con disposición rectangular. La especie 1 aporta al módulo 10 árboles (6 enteros, 7 medios y 2 cuartos); la especie 2 con 20 árboles (16 enteros y 8 medios), la especie 3 con 10 árboles (6 enteros, 7 medios y 2 cuartos).



Fuente: Buresti y Mori (2001c)

Figura 45. Esquema que ejemplifica la contribución de cada árbol y especie en la constitución de un módulo mixto con disposición a tres bolillos.
 La especie 1 aporta al módulo 10 árboles (6 enteros, 7 medios y 2 cuartos); la especie 2 con 20 árboles (16 enteros y 8 medios); la especie 3 con 10 árboles (6 enteros, 7 medios y 2 cuartos), y la especie 4 con 40 árboles.



Fuente: Buresti y Mori (2001d)

Figura 46. Esquema que ejemplifica la contribución de cada árbol. En el primer caso la especie 1 contribuye al módulo con 25 árboles (21 enteros, 6 medios, 3 tercios); la especie 2 con 25 árboles (21 enteros, 6 medios, 3 tercios); y la especie 3 con 2 árboles (19 enteros, 12 medios). En el segundo caso la especie 1 contribuye al módulo con 21,3 árboles (16 enteros, 10 medios y 1 tercio); la especie 2 con 21,3 árboles (16 enteros, 10 medios y 1 tercio); la especie 3 con 21,3 árboles (17 enteros, 8 medios y 2 sextos).



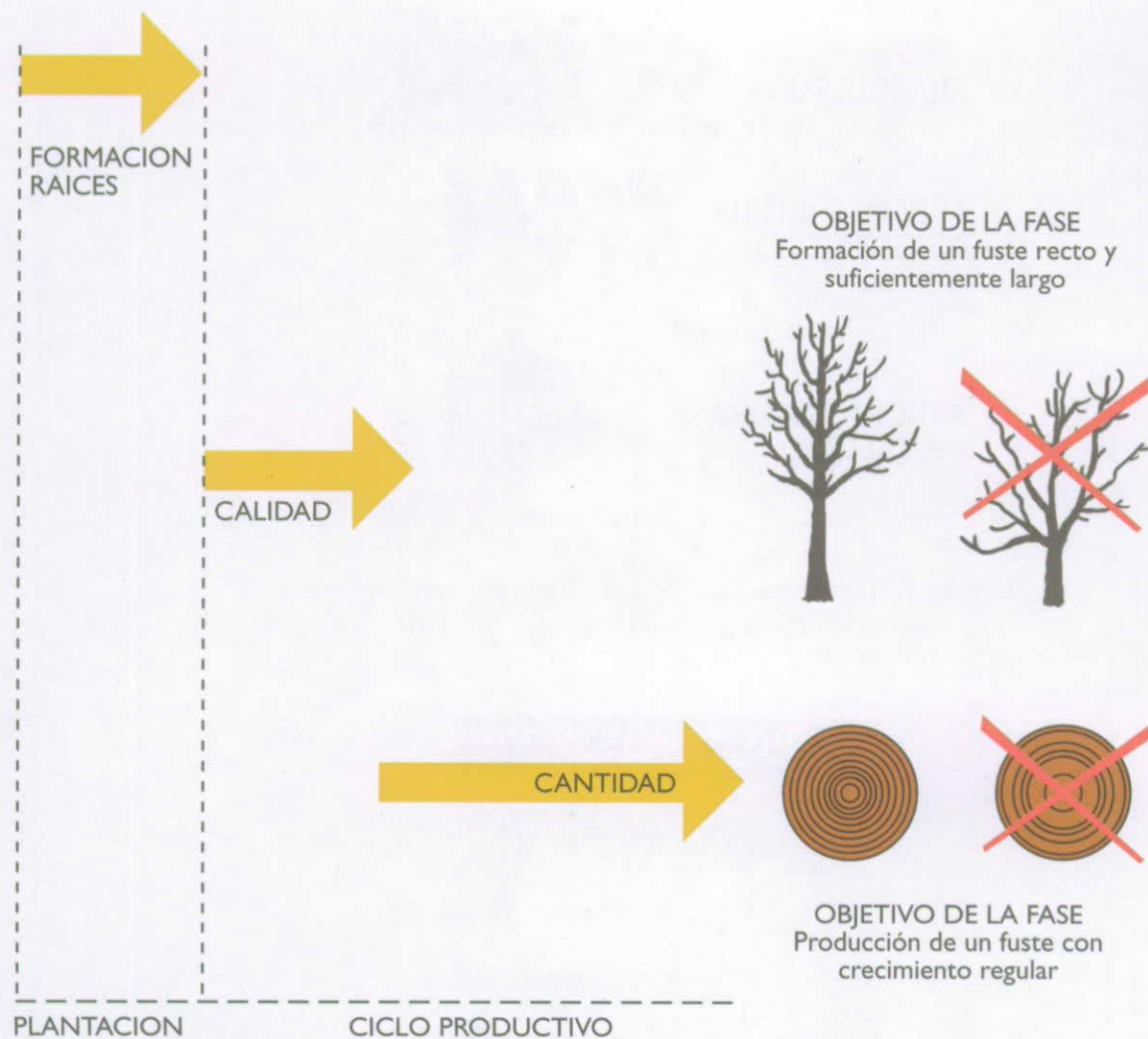
Fuente: Buresti y Fratregiani (1995a)

Figura 47. Representación de la silvicultura, arboricultura de cantidad y arboricultura de calidad



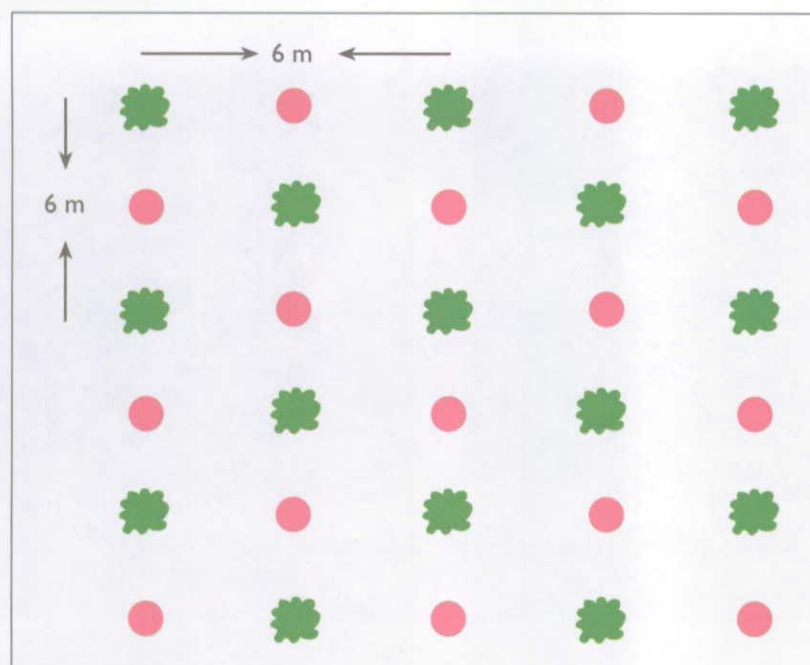
Fuente: Buresti y Mori (1998)

Figura 48. Fases de desarrollo de un árbol y su impacto en la calidad de la madera



Fuente: Buresti y Mori (1998)

Figura 49. Etapas de desarrollo de un árbol; en la primera se busca establecer el sistema radicular, en la segunda formar el fuste, y en la tercera obtener crecimientos diamétricos regulares



	Cerezos/ha:	555
	Nogales/ha:	555
	Total de plantas/ha:	1.110

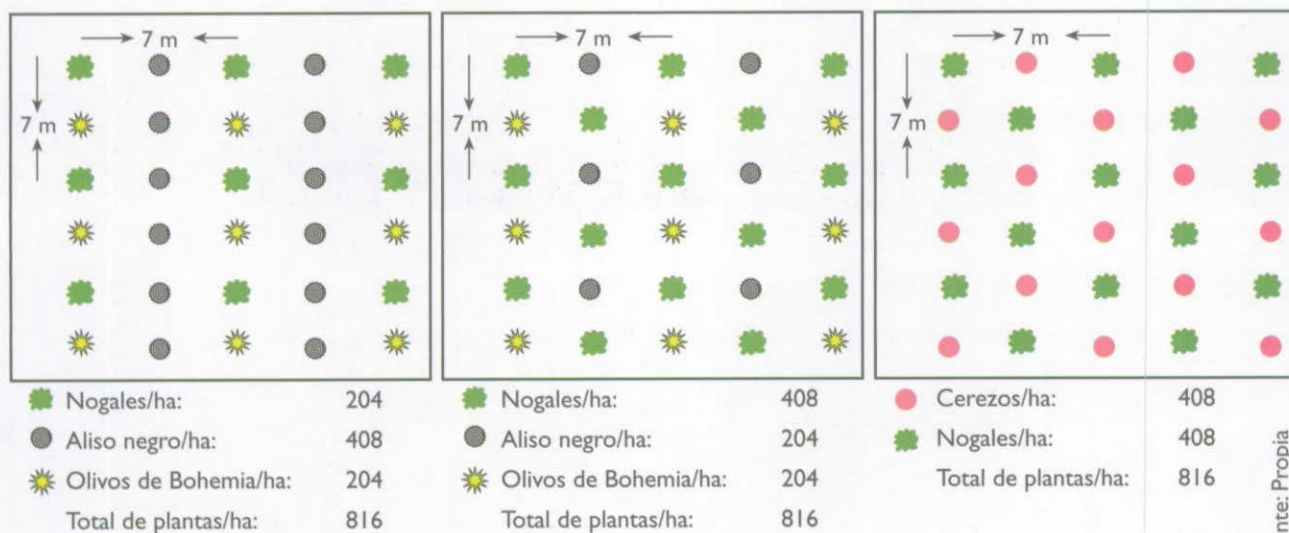
Fuente: Propia

**Figura 50. Diseño de plantación mixta de nogal y cerezo.
Sector Cerro, Molina, VII Región**



Fuente: Propia

**Figura 51. Plantación mixta de nogal y cerezo de 4 años.
Sector Cerro, Molina, VII Región**



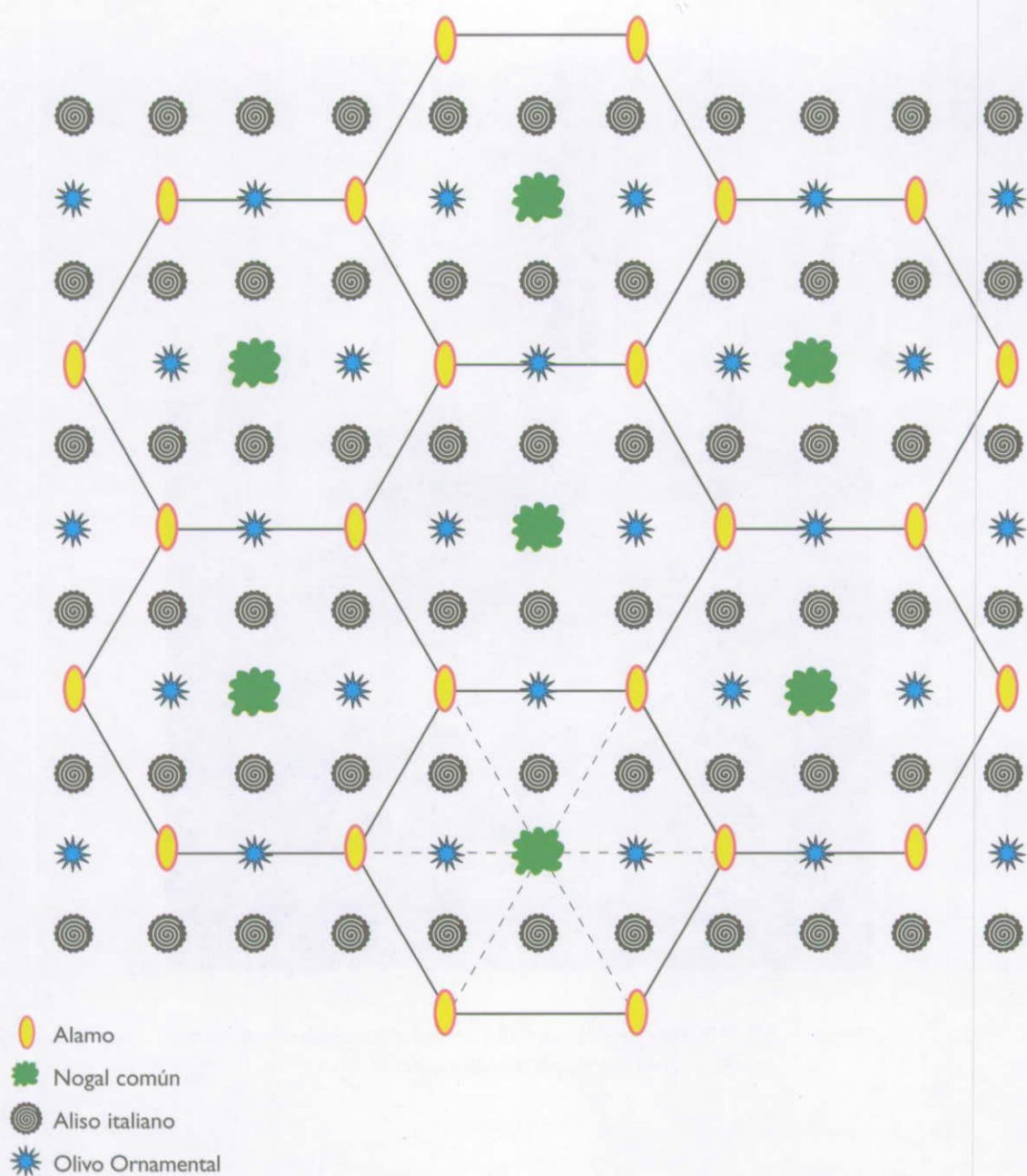
Fuente: Propia

Figura 52. Diseño de plantación mixta. Sector Marengo, Molina, VII Región



Fuente: Propia

**Figura 53. Plantación mixta de nogal y cerezo de 4 años.
Sector Marengo, Molina, VII Región**



Fuente: Buresti et al. (2001)

Figura 54. Diseño de asociación de nogal, álamo y especies secundarias (Mantova, Italia).

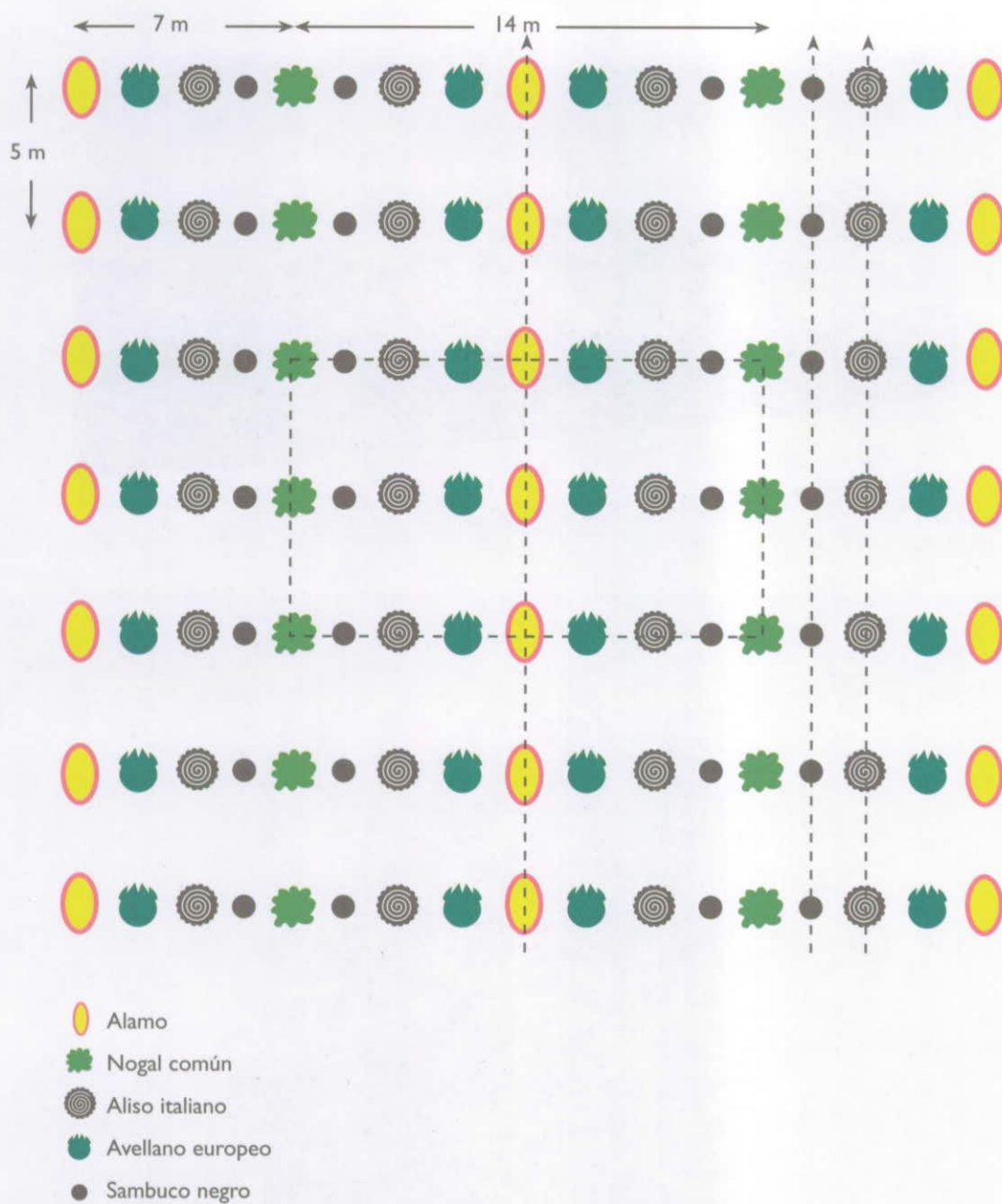


Figura 55. Diseño de asociación de nogal, álamo y especies secundarias

Fuente: Buresti et al. (2001)



Fuente: Siebert (2004)

Figura 56. Paisaje de bosque mixto, región de clima templado lluvioso estacional



Fuente: Siebert (2004)

Figura 57. Masa de roble fustal con estrato intermedio de laurel, lingue y olivillo.



Fuente: Siebert (2004)

Figura 58. Claro en una masa de roble adulta con regeneración de roble de desarrollo brinzal. Fundo Pirihueico, Pirihueico



Fuente: Siebert (2004)

Figura 59. Claro en regeneración de roble, enriquecido 17 años antes con aramo australiano o blackwood y pino oregón. Fundo Miraflores, Lanco



Fuente: Siebert (2004)

Figura 60. Claro en regeneración de roble, enriquecido 18 años antes con *Eucalyptus globulus*. Fundo Miraflores, Lanco



Fuente: Siebert (2004)

Figura 61. Claro en matorral de radial, enriquecido en el año 2000 con pino oregón



Fuente: Siebert (2004)

Figura 62. Macal enriquecido hace 16 años con blackwood. Fundo Dollinco, Mariquina



Fuente: Siebert (2004)

Figura 63. Macal con laurel enriquecido hace 12 años con eucalipto. Fundo Dollinco, Mariquina



Fuente: Siebert (2004)

**Figura 64. Regeneración abundante de laurel y lingue en masa de pino radiata.
Fundo Miraflores, Lanco**



Fuente: Siebert (2004)

**Figura 65. Transformación de masa de pino radiata en masa de pino oregón.
Fundo Miraflores, Lanco**



Fuente: Siebert (2004)

Figura 66. Establecimiento mixto en franjas de Eucalyptus globulus y pino oregón, año 2000. Fundo Miraflores, Lanco



Fuente: Siebert (2004)

Figura 67. Asociación mixta de raulí y oregón de 8 años. Fundo Miraflores, Lanco



Fuente: Siebert (2004)

Figura 68. Masa de oregón y raulí de 30 años. Fundo Paillahuente, Choshuenco



Fuente: Siebert (2004)

**Figura 69. Masa mixta de pino oregón y blackwood de 17 años.
Fundo Miraflores, Lanco**



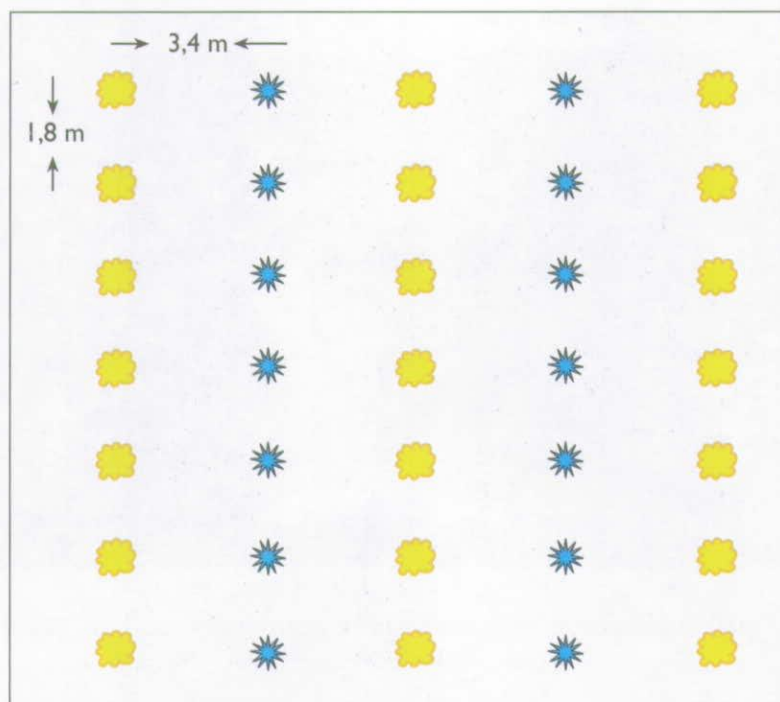
Fuente: Siebert (2004)

**Figura 70. Asociación de pino insigne con blackwood de 20 años.
Fundo Miraflores, Lanco**



Fuente: Siebert (2004)

**Figura 71. Masa mixta de Quercus robur y castaño de 18 años.
Fundo Miraflores, Lanco**



	Aromo u otra especie principal	816
	Especie secundaria/ha	816
	Total de plantas/ha:	1.633

Fuente: Propia

Figura 72. Diseño plantación mixta. Miraflores, Lanco, X Región



Fuente: Propia

**Figura 73. Plantación mixta de aromo australiano y una especie secundaria.
Miraflores, Lanco, X Región**



Fuente: Proyecto SAFE

Figura 74. Sistema agroforestal de álamo con espárragos



Figura 75. Sistema agroforestal de cerezo común con raps

Fuente: Proyecto SAFE



Figura 76. Sistema agroforestal de nogal común con lavanda

Fuente: Proyecto SAFE



Fuente: Proyecto SAFE

Figura 77. Encinos asociados a cereales



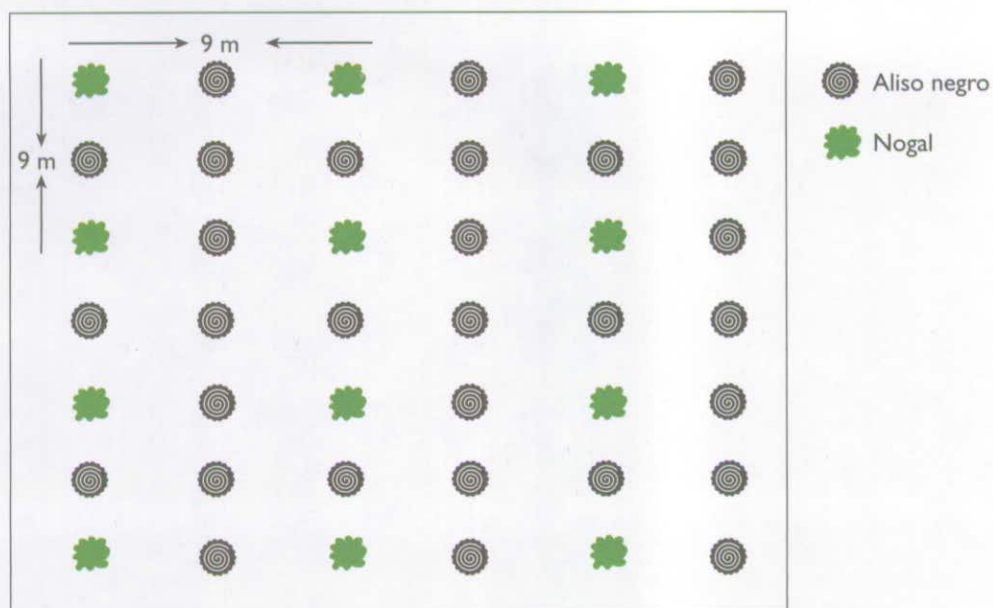
Fuente: Buresti y Mori (2003)

Figura 78. Diseño de plantación mixta con especies secundarias y paracaídas (caso I)



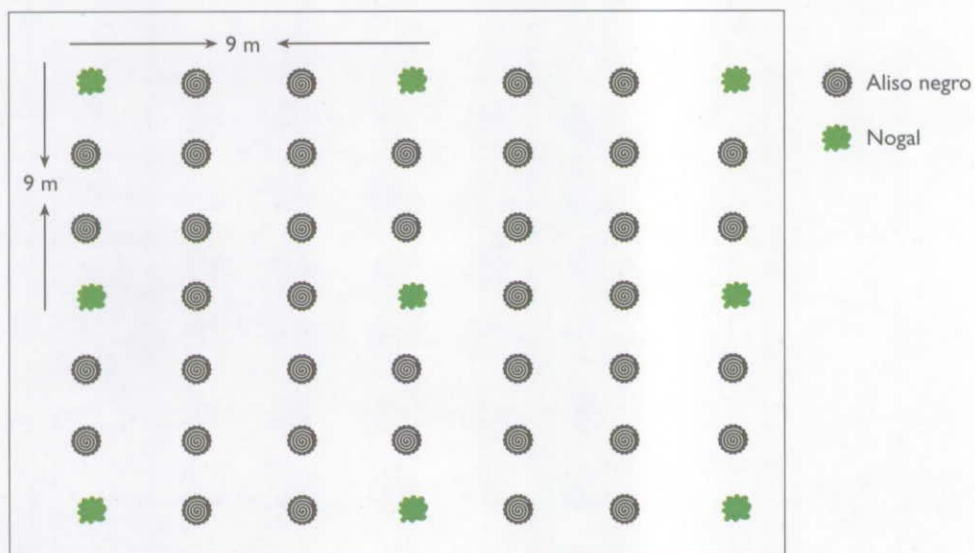
Fuente: Buresti y Mori (2003)

Figura 79. Diseño de plantación mixta con especies secundarias y paracaídas (caso 2)



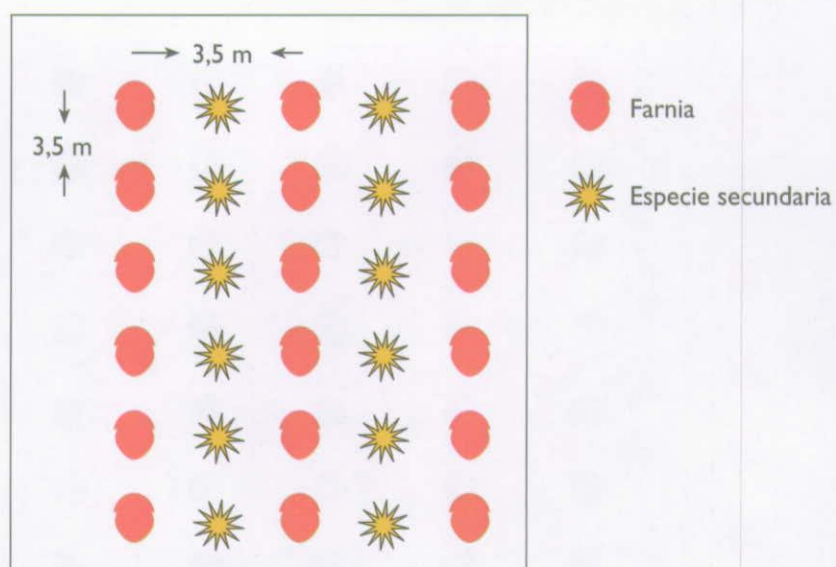
Fuente: Buresti y Mori (2003)

Figura 80. Diseño de plantación pura con especie secundaria (caso 3)



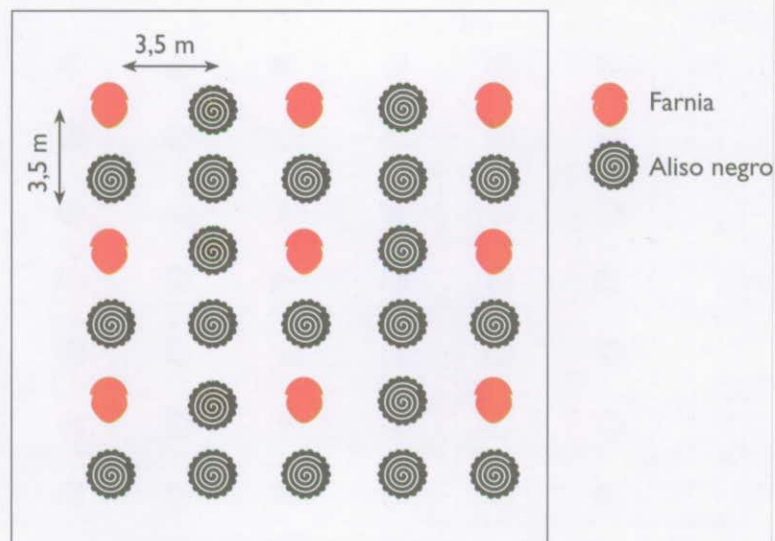
Fuente: Buresti y Mori (2003)

Figura 81. Diseño de plantación pura con especie secundaria (caso 4)



Fuente: Buresti y Mori (1999)

Figura 82. Diseño de plantación pura con especie secundaria (caso 5)



Fuente: Buresti y Mori (1999)

Figura 83. Diseño de plantación pura con especie secundaria (caso 6)

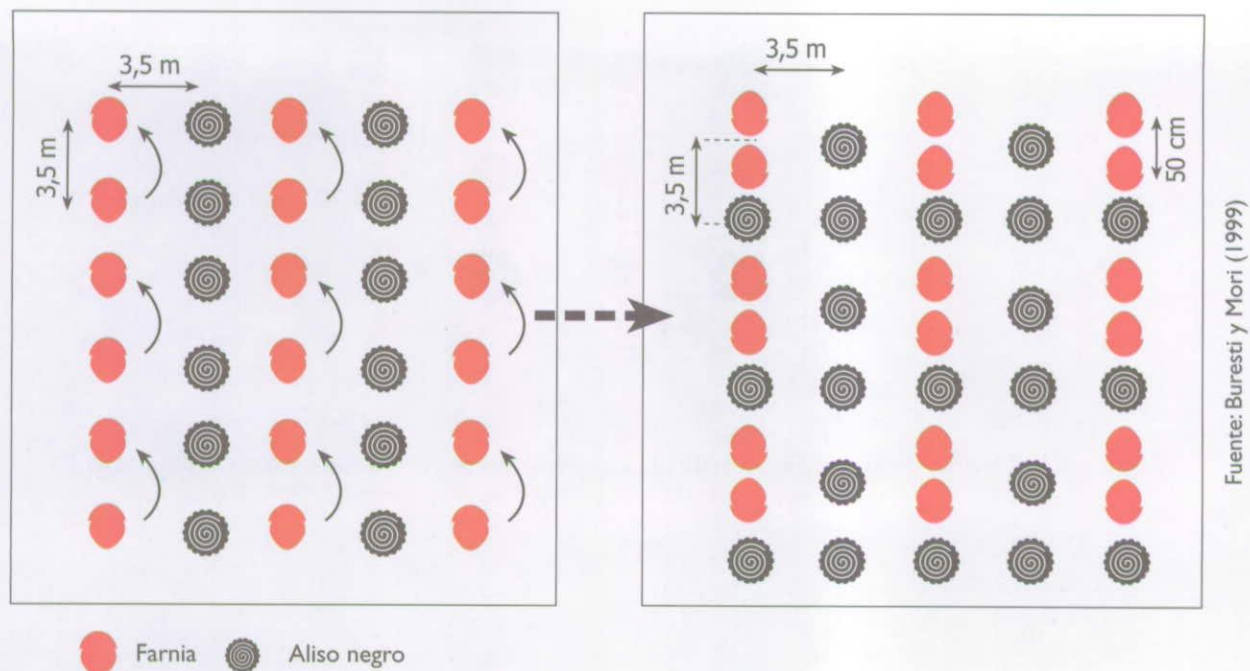


Figura 84. Diseño de plantación pura con especie secundaria (caso 7)

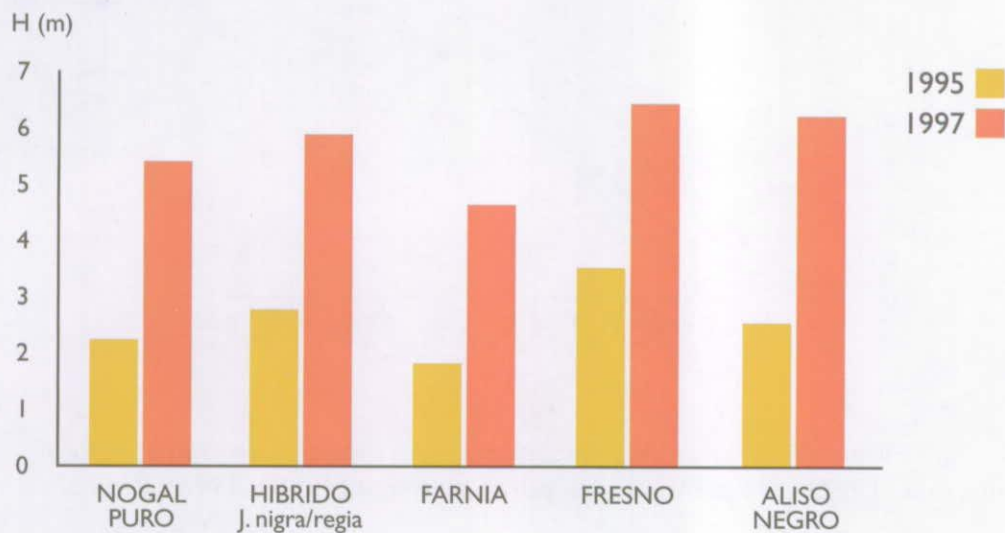
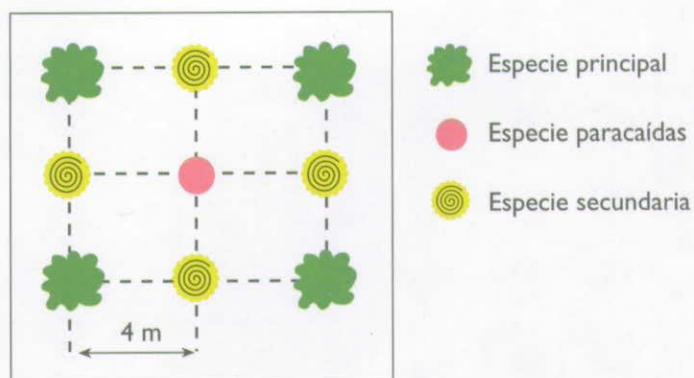


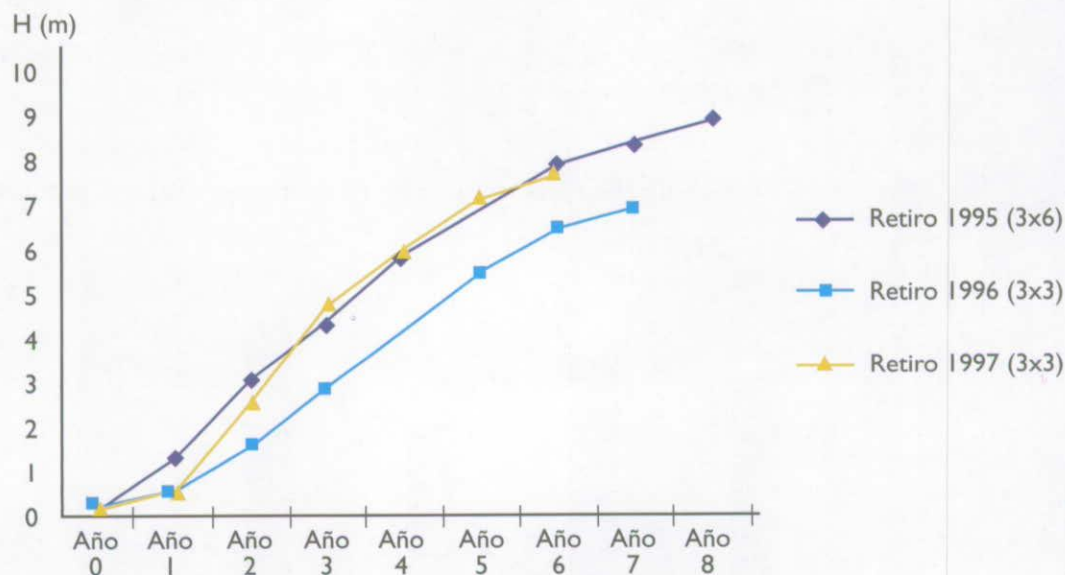
Figura 85. Altura media en 1995 y 1997 (caso 8)

Fuente: Buresti y De Meo (1998b)



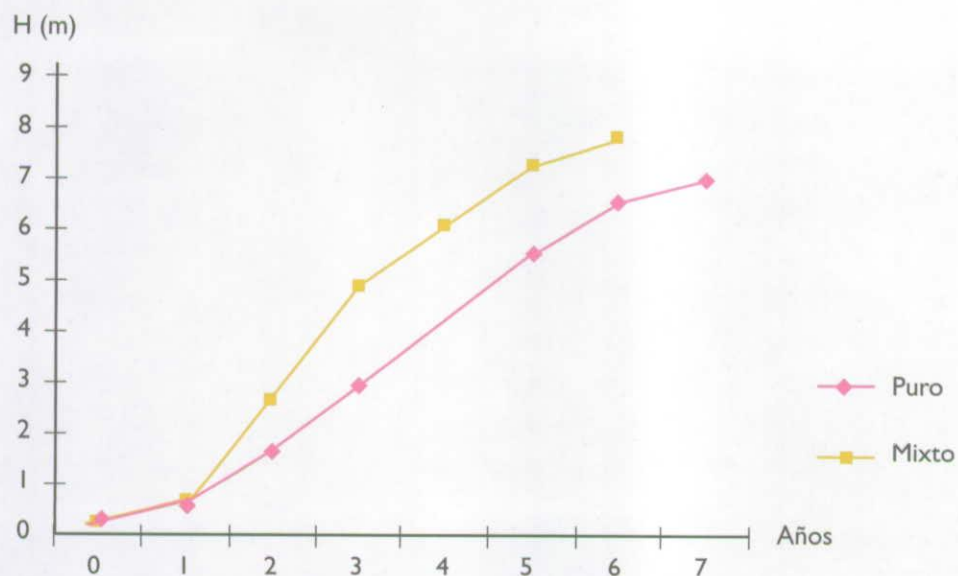
Fuente: Buresti y De Meo (1998b)

Figura 86. Diseño de plantación mixta con especie secundaria y paracaída (caso 8)



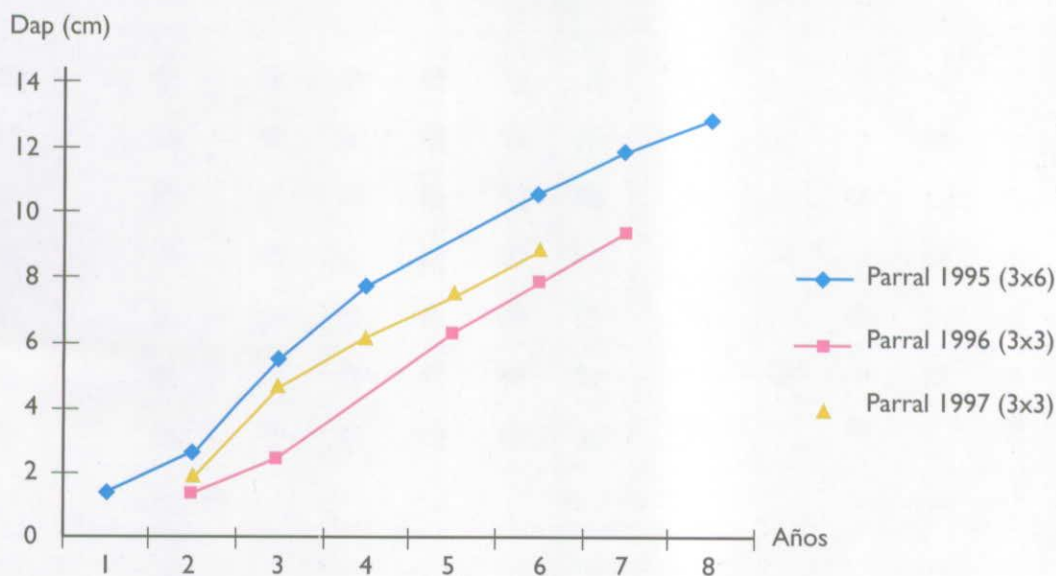
Fuente: Propia

Figura 87. Alturas de plantación mixta de nogal común y olivo de bohemia (1997) y de plantaciones puras de nogal (1995 y 1996). Retiro, VII región.



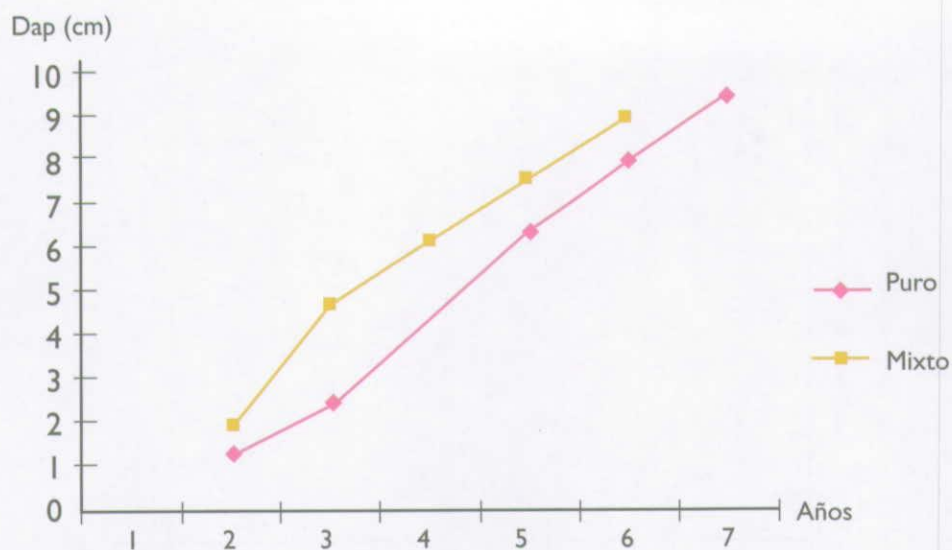
Fuente: Propia

Figura 88.Alturas de plantaciones pura y mixta de nogal común y olivo de bohemia de igual densidad, Retiro,VII región.



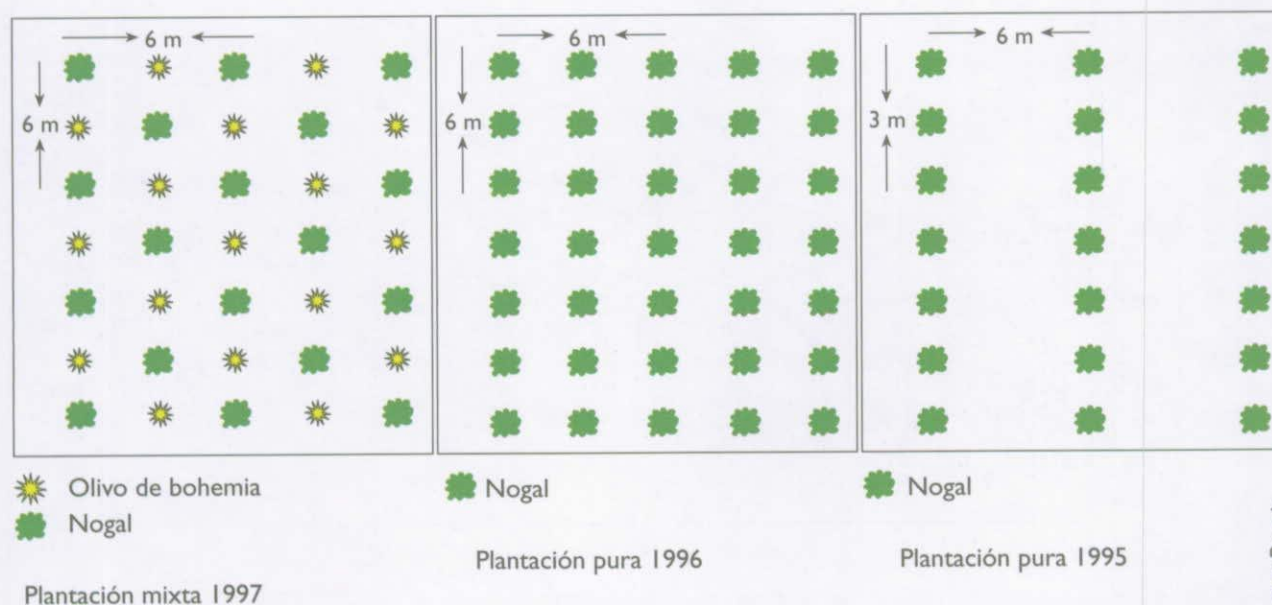
Fuente: Propia

Figura 89.Diámetros de una plantación mixta de nogal común y olivo de bohemia (1997) y de dos puras con diferentes densidades, Retiro,VII región.



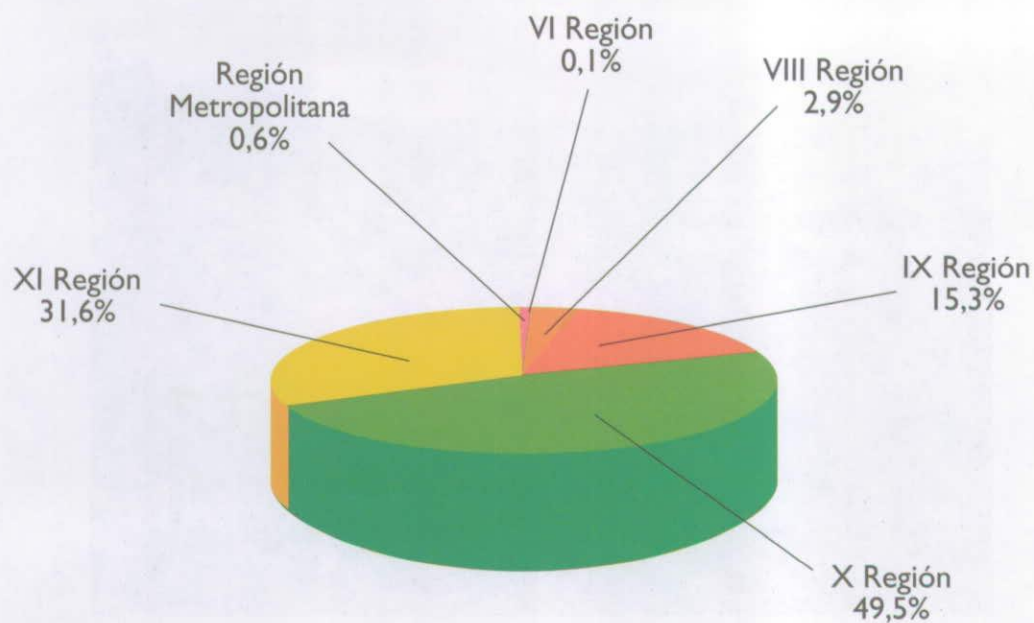
Fuente: Propia

Figura 90. Diámetros de plantación pura y mixta de nogal común y olivo de bohemia, Retiro, VII región.



Fuente: Propia

Figura 91. Diseño de plantación pura con y sin especie secundaria (caso 9)



Fuente: Propia

Figura 92. Distribución regional de las plantaciones mixtas registradas en Chile



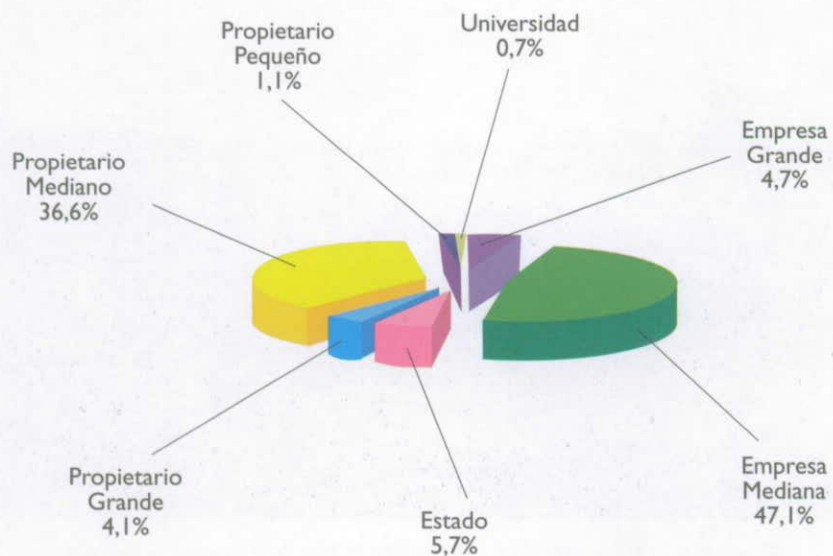
Fuente: Propia

Figura 93. Plantación mixta en hileras con eucalipto y aroma australiano. X región, Chile



Fuente: Propia

Figura 94. Plantación mixta en grupos con pino oregón, castaño y roble. X región, Chile



Fuente: Propia

Figura 95. Distribución de las plantaciones mixtas según agente socioeconómico

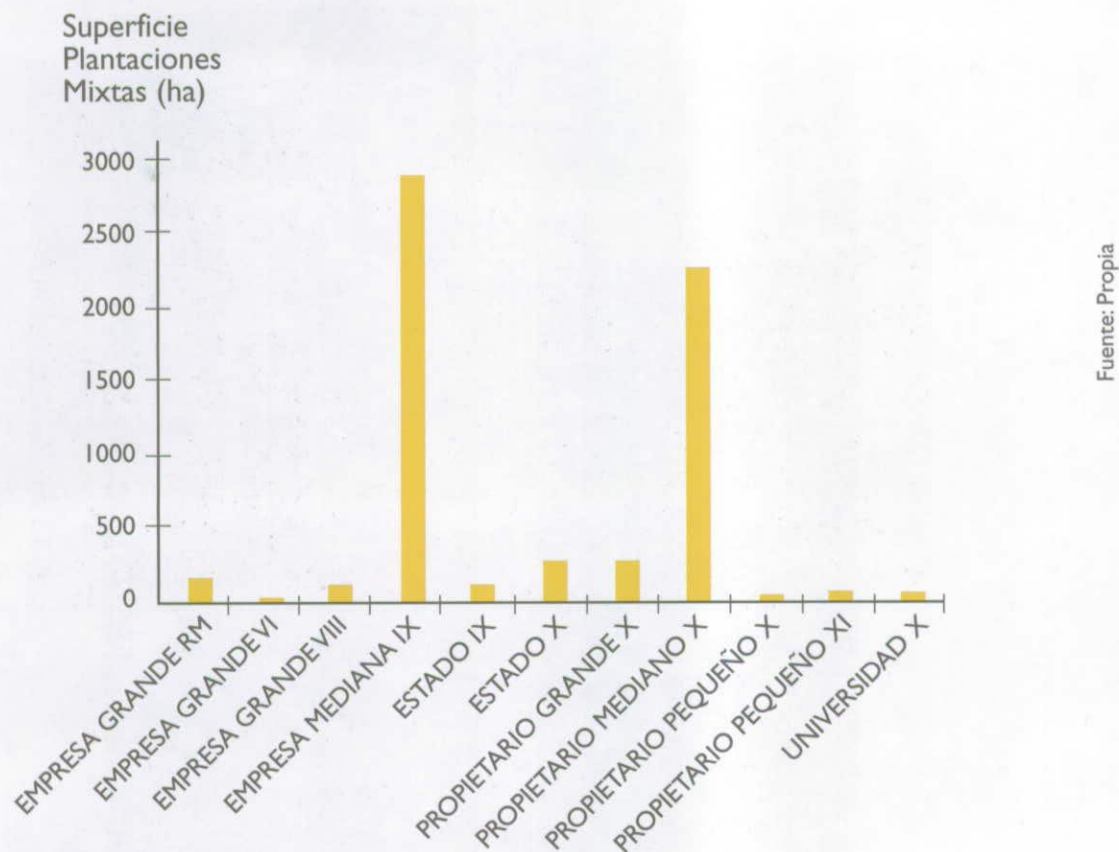
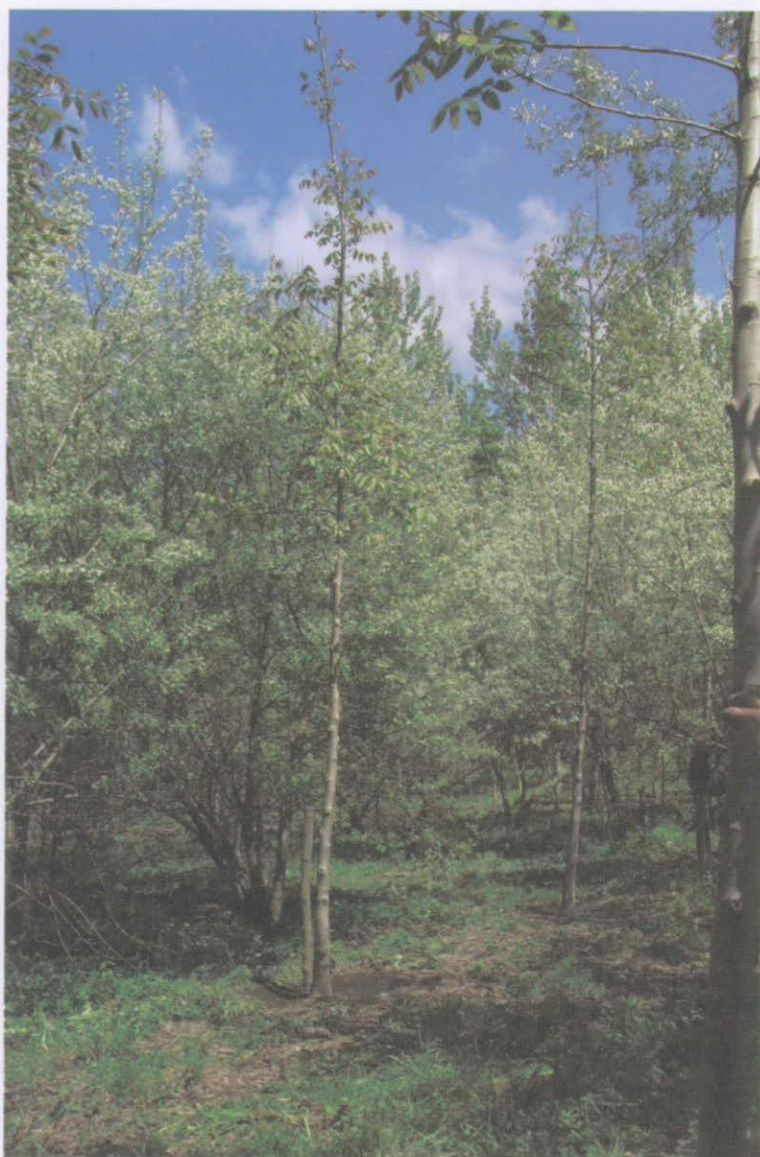


Figura 96. Distribución de las plantaciones mixtas según agente socioeconómico a nivel regional



Fuente: Propia

**Figura 97. Plantación mixta de nogal común asociado a olivo de bohemia a los 5 años.
VII región, Chile**

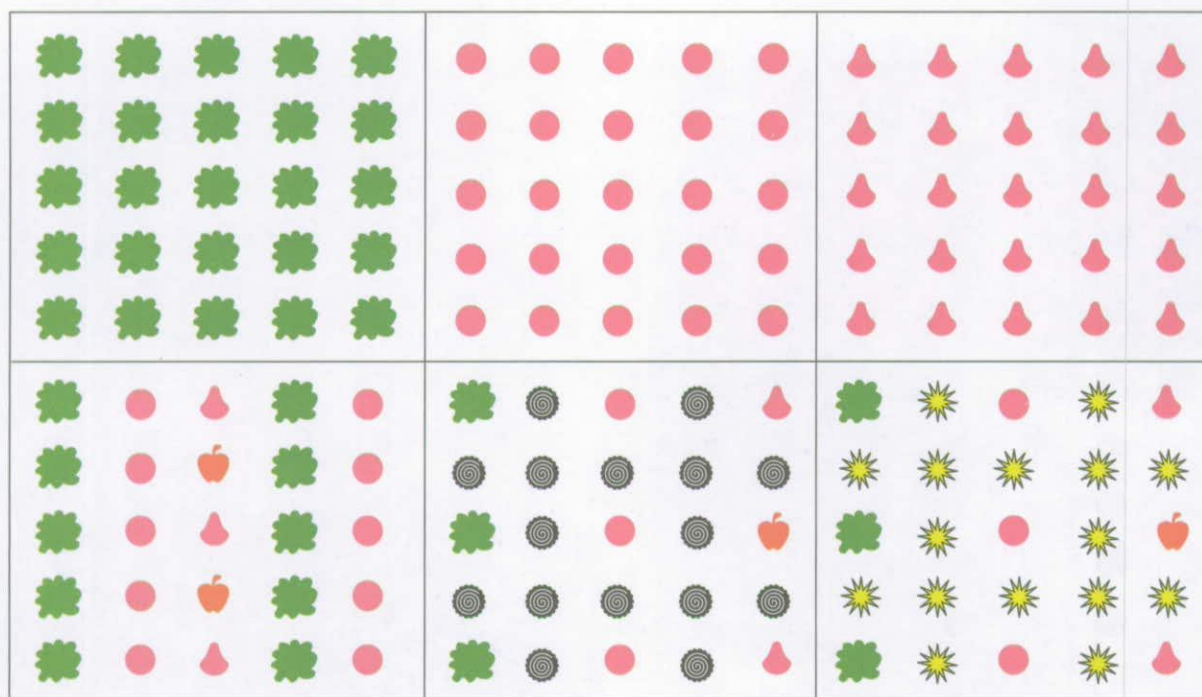


Fuente: Propia

Figura 98. Plantación mixta de nogal común, castaño, raulí y cerezo a los 9 años. VIII región, Chile



Figura 99. Plantación mixta de nogal negro, castaño, liquidambar y fresno a los 7 años. IX región, Chile



Especies principales

 Nogal común

 Cerezo común

 Peral

Especie arbórea secundaria

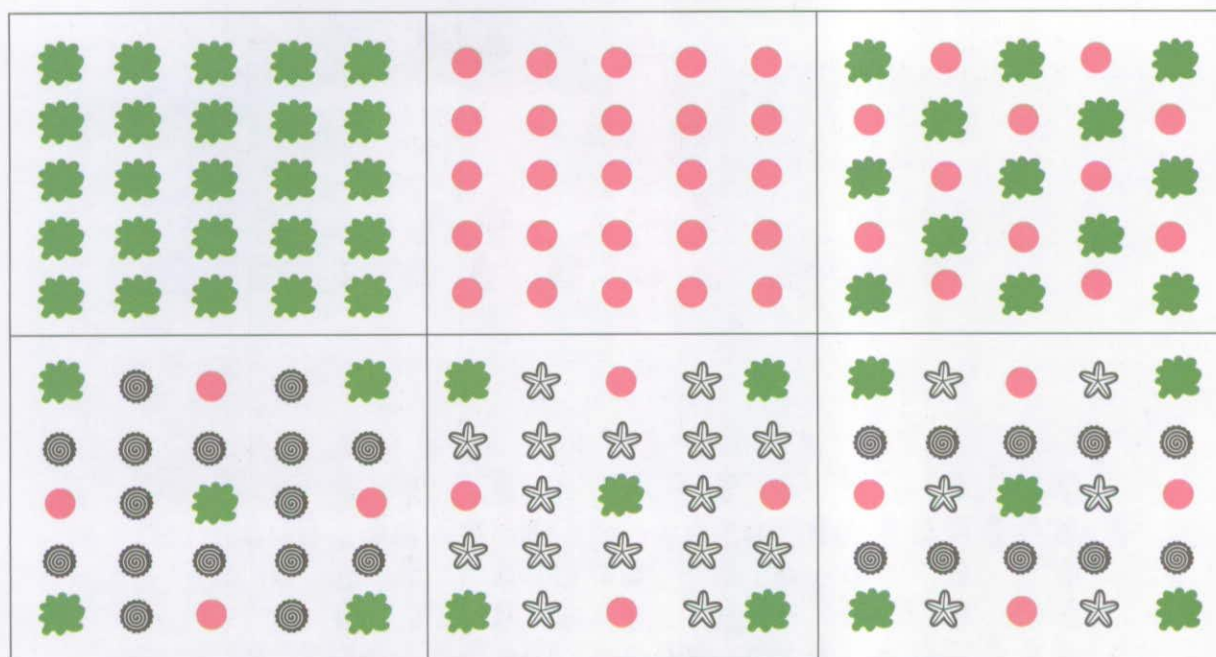
 Aliso negro

Especie arbustiva secundaria

 Olivo de bohemia

Figura 100. Diseño de las tesis probadas en plantación mixta experimental El Yacal, VII región, Chile

Fuente: Propia



Fuente: Propia

Especies principales



Nogal común



Cerezo común

Especie arbórea secundaria



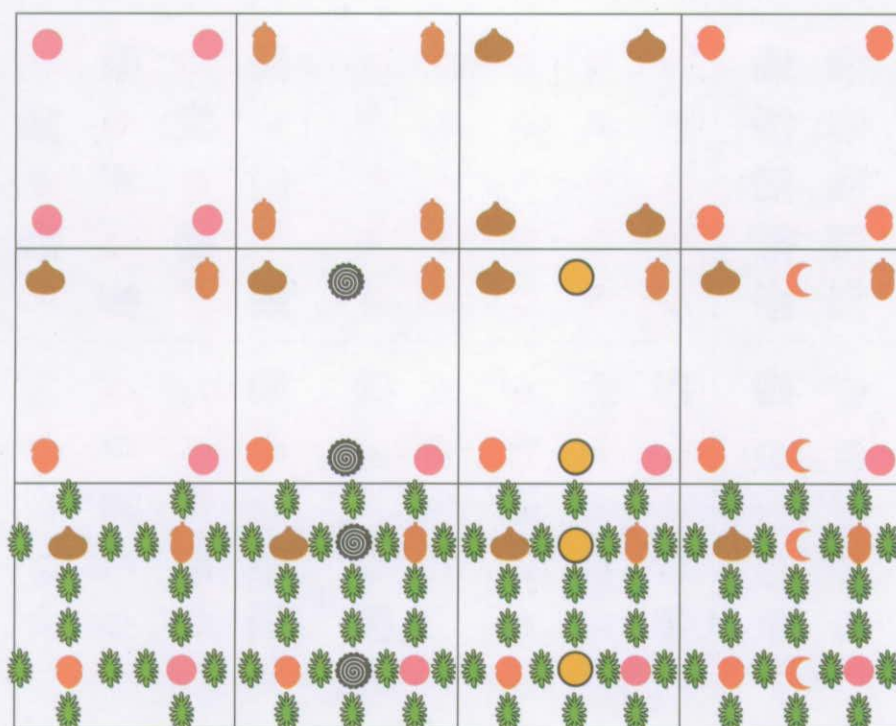
Aliso negro

Especie arbustiva secundaria



Quillay

Figura 101. Diseño de las tesis probadas en plantación mixta experimental Curanilahue, VIII región, Chile



Fuente: Propia

Especies principales

-  Cerezo común
-  Roble rojo americano
-  Castaño
-  Farnia

Especies arbóreas secundarias

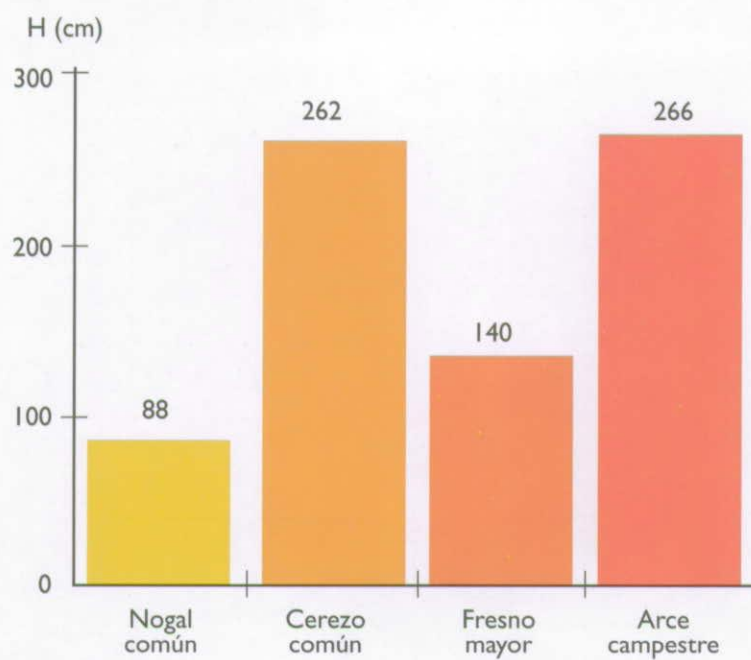
-  Aliso negro
-  Avellano chileno
-  Notro

Especie arbustiva secundaria

-  Pichi

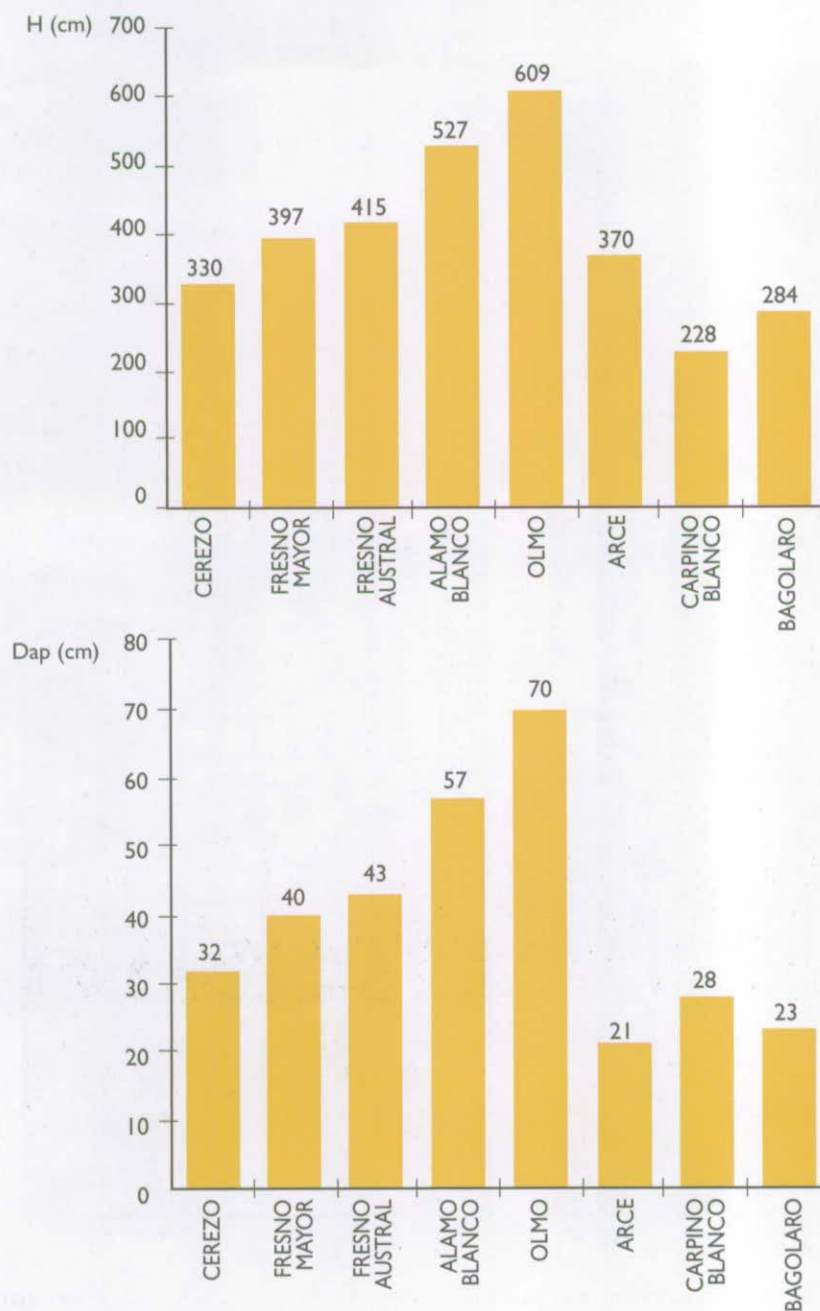
Figura 102. Diseño de las tesis probadas en plantación mixta experimental. Los Lagos, X región, Chile

FIGURAS ANEXO 2



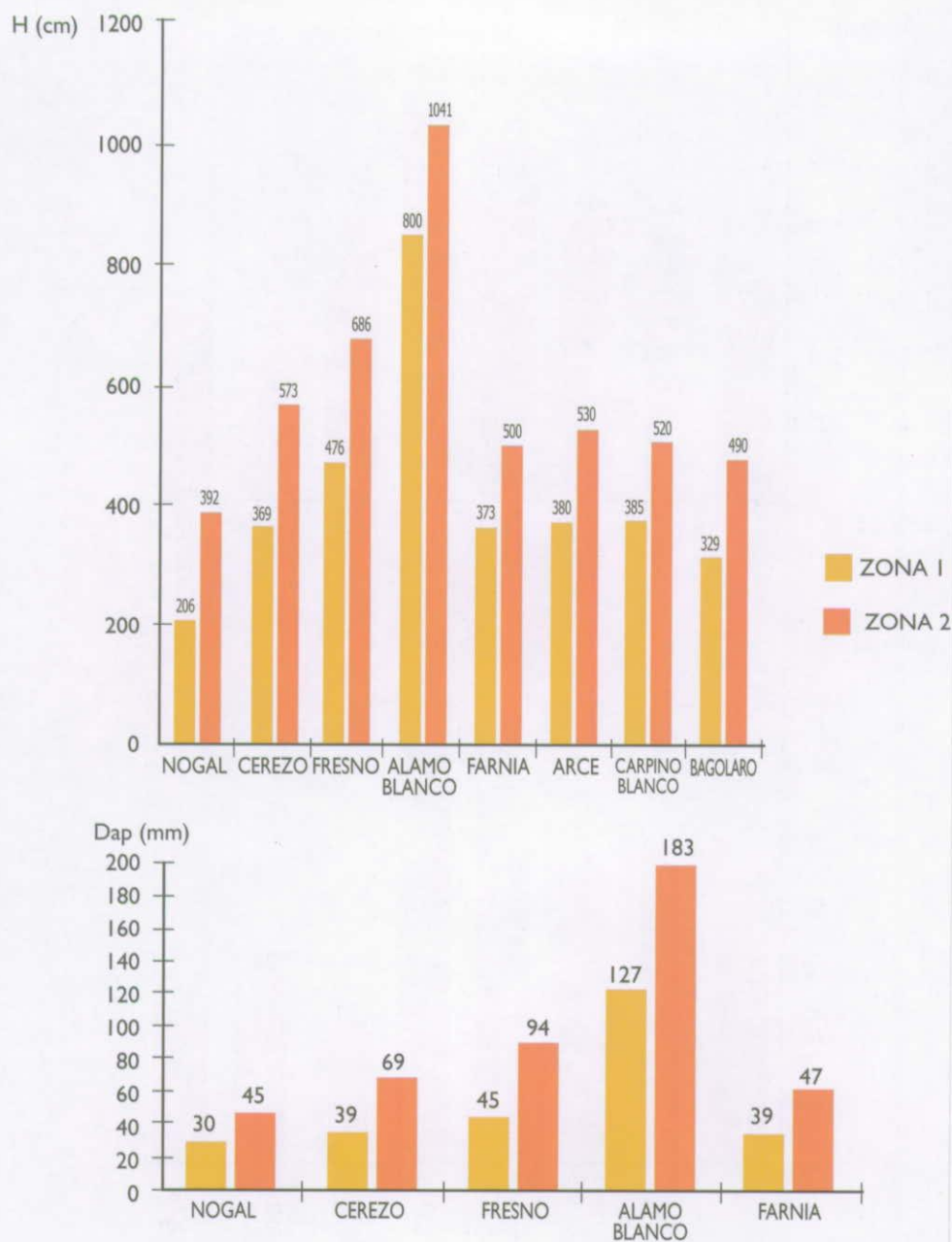
Fuente: CBRP (1995)

Figura 1. Estado de plantación mixta con nogal, cerezo, fresno y arce en zona montañosa a los 3 años (Grizzana Morandi, Italia)



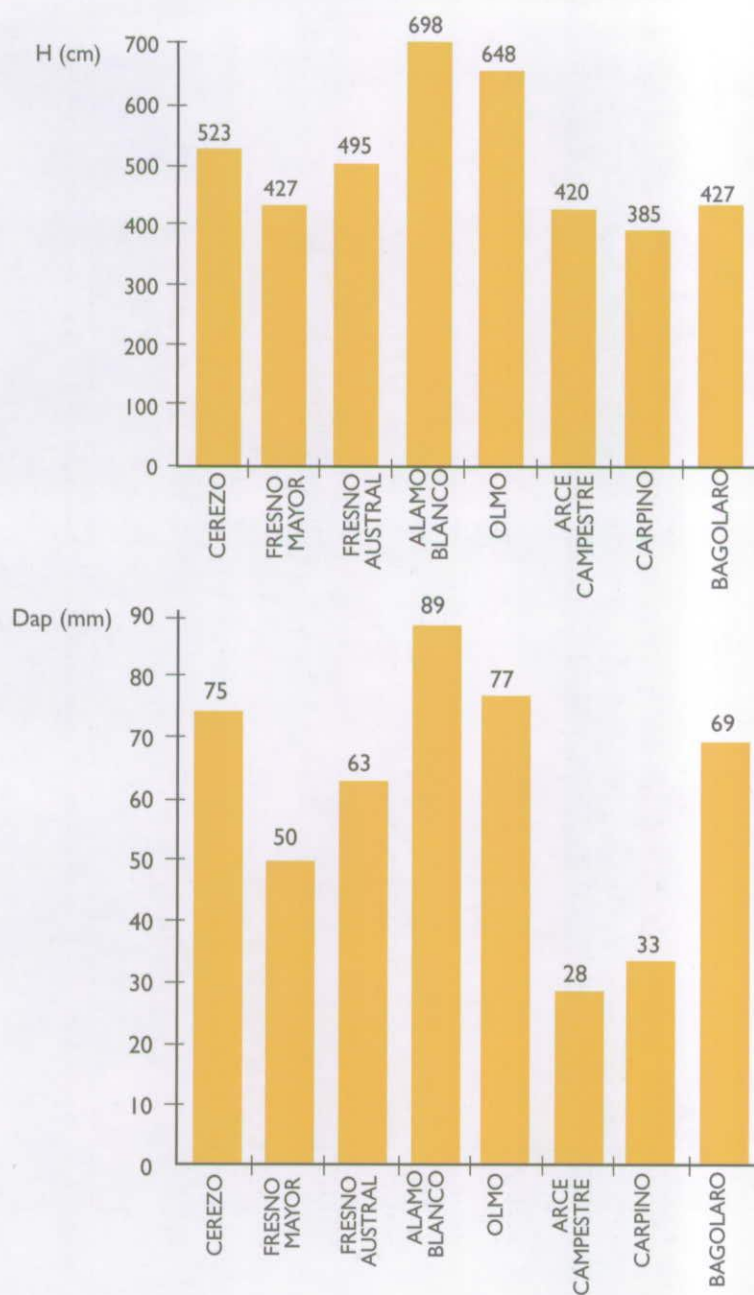
Fuente: CBRP (1995)

Figura 2. Estado de plantación mixta en valle con arce, cerezo, fresno, bagolaro, fresno austral y álamo blanco a los 3 años (Sala Bolognese, Italia)



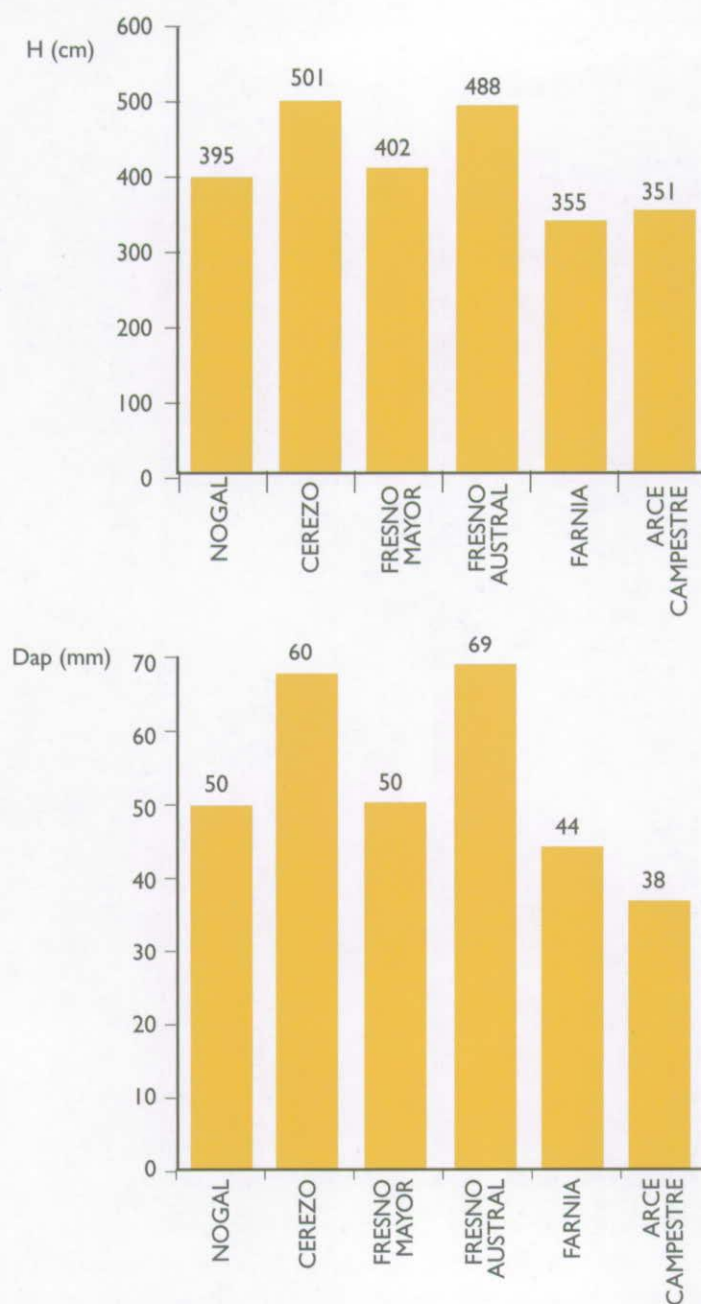
Fuente: CBRP (1995)

Figura 3. Estado de plantación mixta en valle con fresno mayor y austral, cerezo, arce, arce de azúcar, álamo blanco, tilo, nogal y gelso a los 5 años (Crevalcore, Italia)



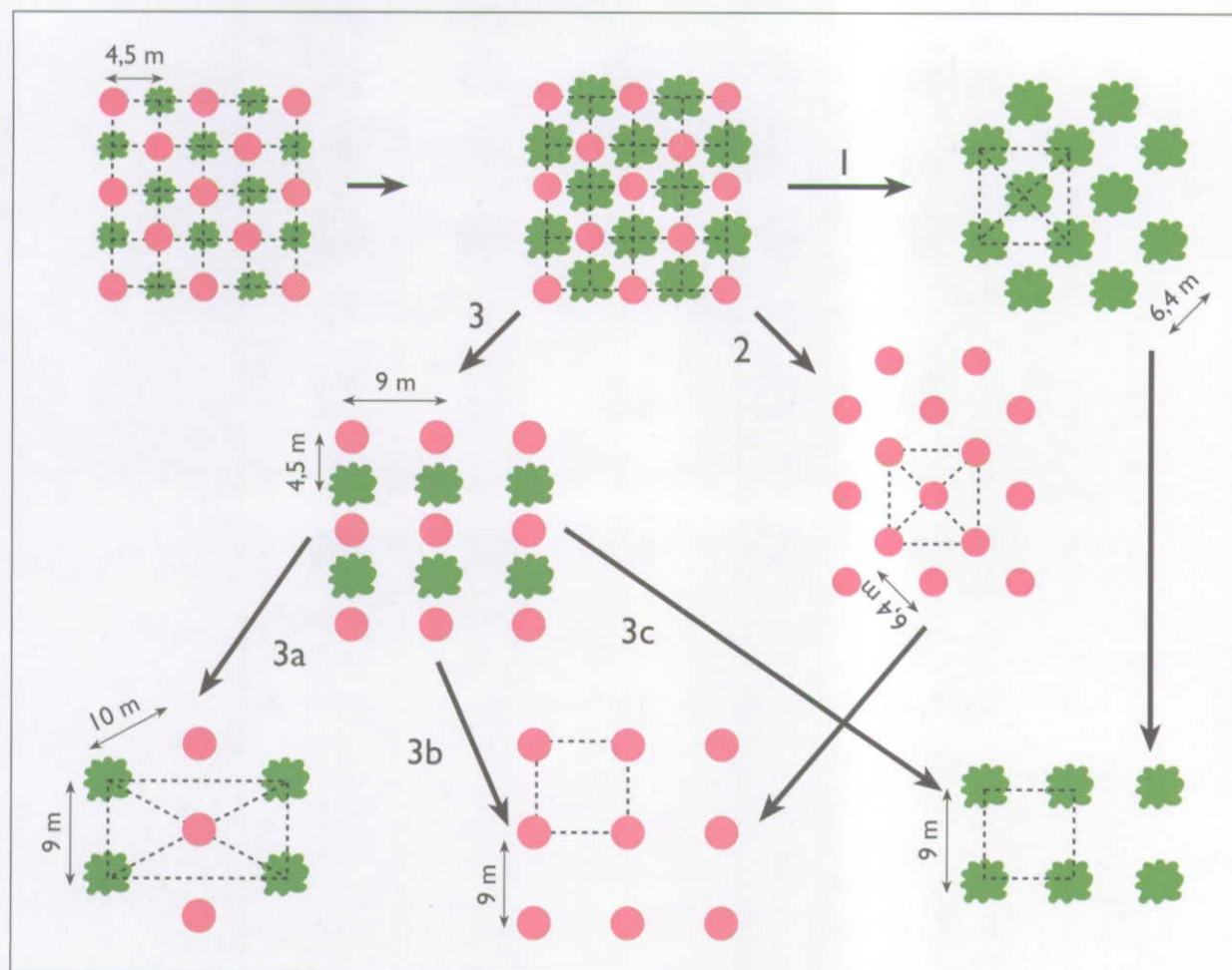
Fuente: CBRP (1995)

Figura 4. Estado de plantación mixta en valle con fresno mayor, olmo, cerezo, arce, arce de montaña, álamo blanco, gelso y bagolaro a los 4 años (Zola Predosa, Italia)



Fuente: CBRP (1995)

Figura 5. Estado de plantación mixta en valle con fresno mayor, fresno austral, cerezo, arce, farnia, gelso y nogal a los 3 años (Zola Predosa, Italia)

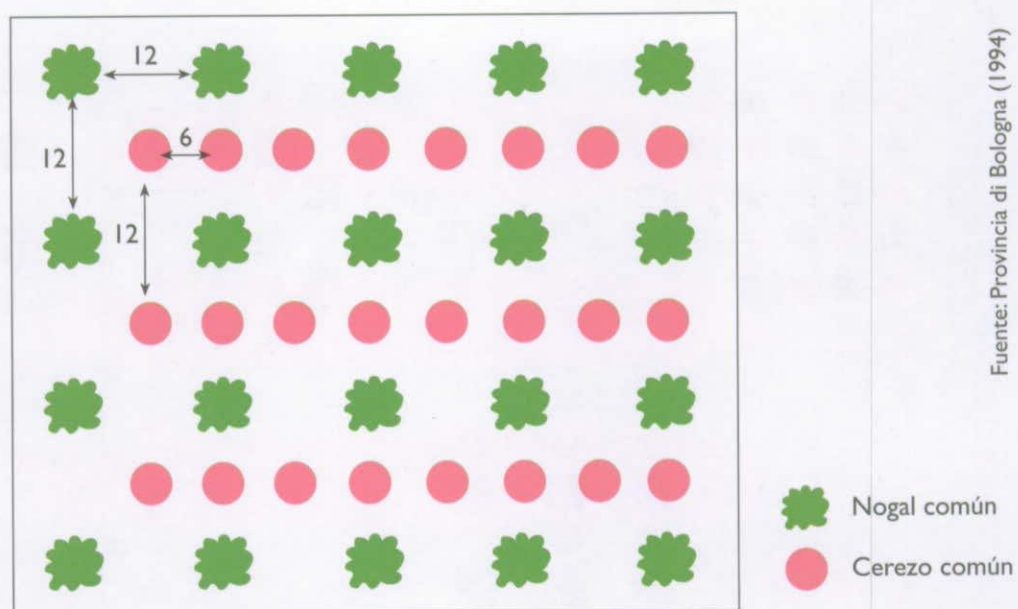


 Nopal común

 Cerezo común

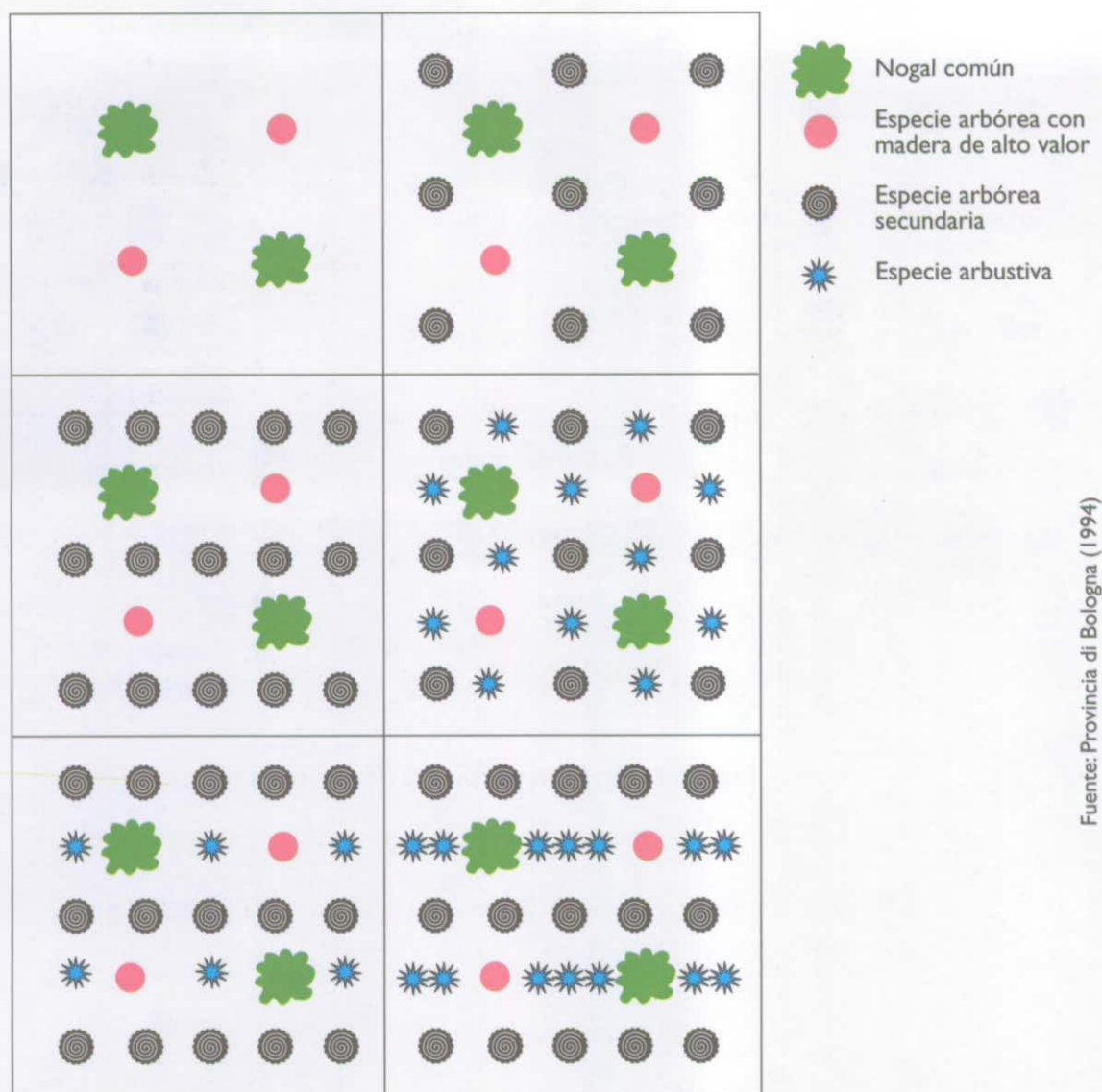
Figura 6. Cuando las copas se tocan es necesario ralear.
Se podrá elegir seguir sólo con nogal (eliminando el cerezo) (1),
o sólo con cerezo (eliminando el nogal) (2), o continuar con ambas (3)

Fuente: Fratregiani y Mori (1996)



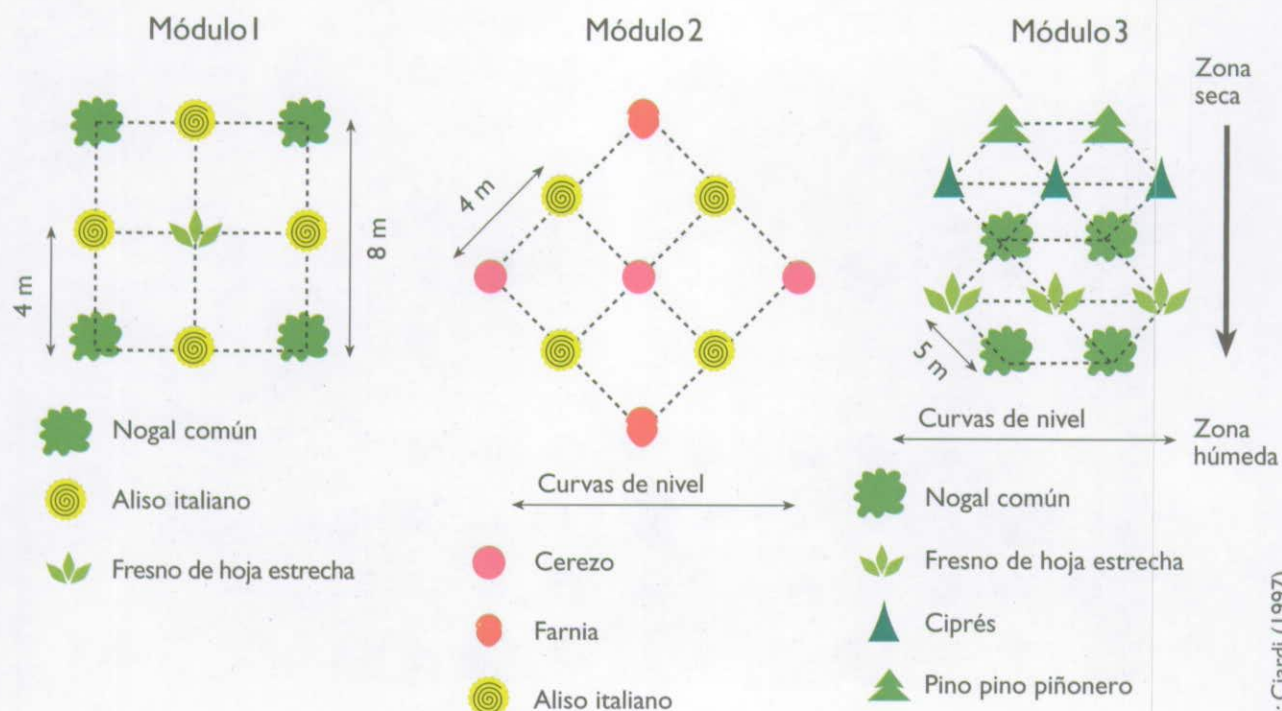
Fuente: Provincia di Bologna (1994)

Figura 7. Esquema factible de plantación mixta de nogal y cerezo



Fuente: Provincia di Bologna (1994)

Figura 8. Esquemas factibles de asociaciones con nogal



Fuente: Ciardi (1997)

Figura 9. Módulos de plantaciones mixtas

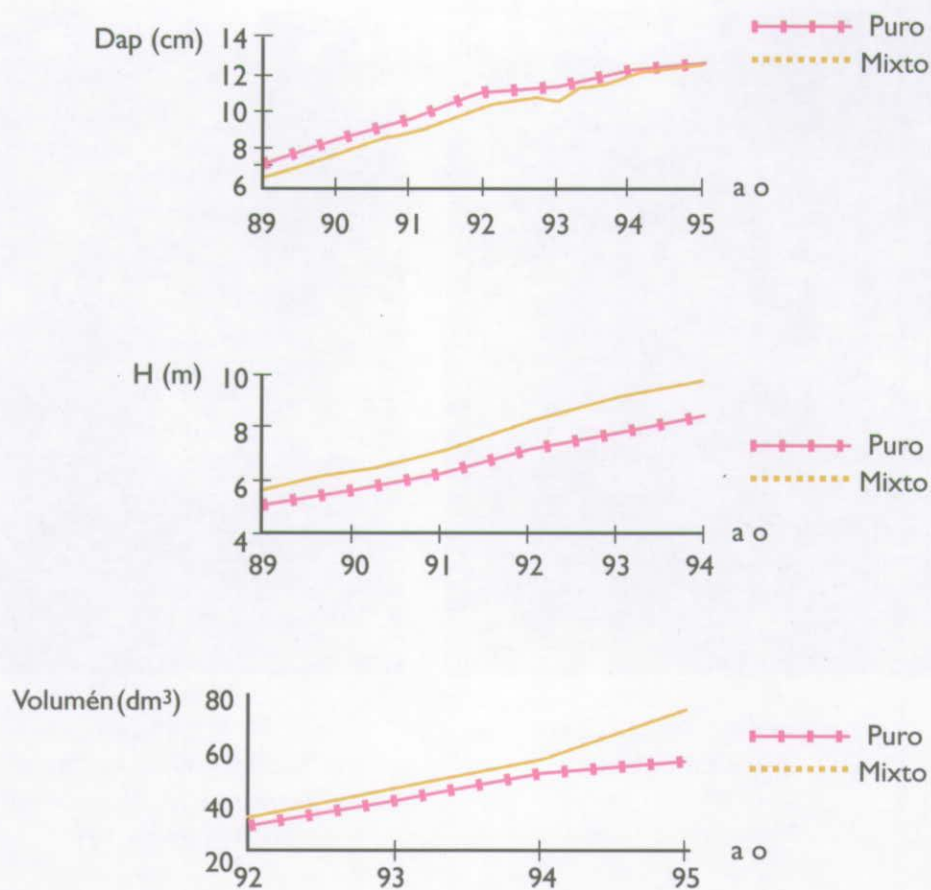


**Figura 10. Plantación
pura de farnia**



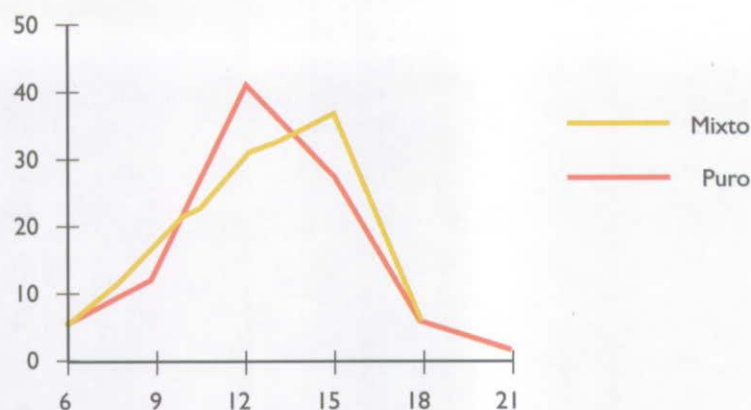
**Figura 11. Plantación mixta
de farnia y aliso italiano,
un año menor que la situación
pura (Figura 10)**

Fuente: Propia



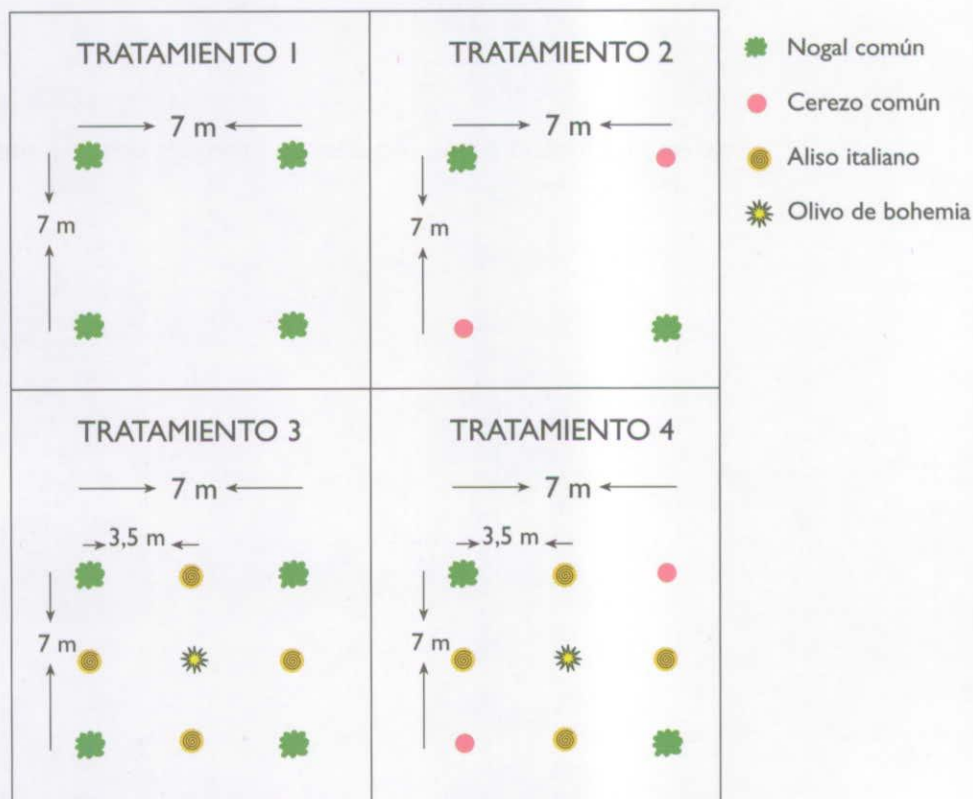
**Figura 12. Evolución de parámetros dasométricos en
plantación pura y mixta de farnia**

Fuente: Buresti y Frattegiani (1994a)



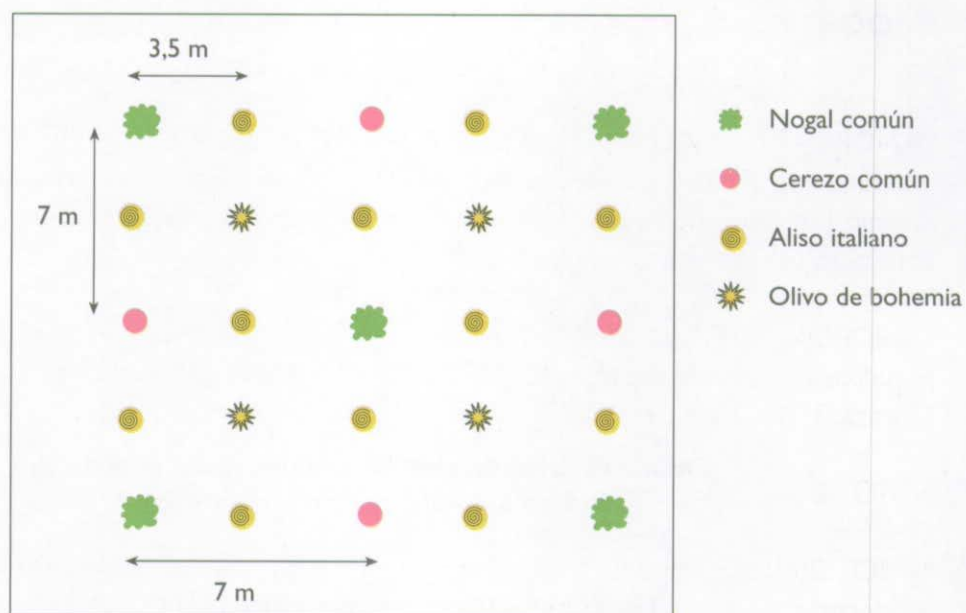
Fuente: Cutini et al. (1997)

Figura 13. Distribución de frecuencias diamétricas de farnia en plantación pura y mixta



Fuente: Buresti y De Meo (1998a)

Figura 14. Módulo de plantación de ensayo experimental



Fuente: Buresti et al. (1997)

Figura 15. Módulo de plantación de ensayo experimental

9. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ALEKSANDROVA E.; KALMUKOV K.; GEORGIV G. I.; TSANOV T. 1993. Nitrogen balance and productivity of *Populus euramericana* cv. I-214, grown together with the nitrogen-fixing species *Robinia pseudoacacia*, *Alnus glutinosa* and *Hippophae rhamnoides* as a function of the soil type. *Nauka za Gorata*. 30(4): 16-26.
- ALEKSANDROVA E.; KALMUKOV K.; GEORGIEV G. I.; TSANOV T. 1994. Nitrogen fixation in *Robinia pseudoacacia*, *Alnus glutinosa* and *Hippophae rhamnoides* in relation to the soil type. *Nauka za Gorata*. 31(1): 22-37.
- ANÓNIMO. 2002. Associer les arbres aux cultures. Chronique.
- ANÓNIMO. 2003a. Des arbres au coeur des champs cultivés: l'apparition d'une agroforesterie moderne en Europe. (Online database). www.montpellier.inra.fr/safe/french/presse/Aout2003/Aout2003.htm. (Citado 25/02/04).
- ANÓNIMO. 2003b. Et au milieu des épis de blé, poussent des arbres. Dernières Nouvelles d'Alsace. 3/08/2003.
- ANÓNIMO. 2003c. Quand les céréaliers deviennent écolos: des arbres au milieu des épis de blé. Marseille. Pp. 34.
- ANÓNIMO. 2003d. Agriculture. Des arbres qui prennent soin des céréales. Brest. Pp. 6.
- ANÓNIMO. 2003e. L'INRA réintroduit les arbres dans la Beauce. Rennes. Pp. 17.
- ANÓNIMO. 2003f. Des arbres au coeur des champs cultivés: l'apparition d'une agroforesterie moderne en Europe. (Online database). www.agrisalon.com/06-actu/print.php?idart=10714 (Citado 26/02/2004).
- ANÓNIMO. 2003g. Du blé à l'ombre des noyers: l'agroforesterie en Europe. Direction des Études Economiques et de l'Evaluation Environnementale. Pp. 2.
- ANÓNIMO. 2004. What is agroforestry? (Online database). www.montpellier.inra.fr/safe/english/objectives.php. (Citado 26/02/2004).

- AUBERT M.; BUREAU F.; ALARD D.; BARDAT J. 2004. Effect of tree mixture on the humic epipedon and vegetation diversity in managed beech forests (Normandy, France). *Canadian Journal of Forest Research* 34(1): 23.
- AUGUSTO L.; RANGER J.; BINKLEY D.; ROTHE A. 2002. Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Ann. For. Sci.* 59: 233-253.
- AWONAIKE K. O.; DANSO S. K.; ZAPATA F. 1996. Nitrogen fixation in *Leucaena leucocephala* L. as affected by rooting volume and competition with *Eucalyptus camaldulensis*. *Agroforestry Systems* 33(3): 195-203.
- BAGNARESI U. 2000. Indagini sugli impianti arborei non da frutto (esclusi i pioppeti) effettuati con finanziamenti pubblici nella pianura Emiliano-Romagnola. Documenti studi e ricerche. Bologna, Italia. 179 p.
- BARTSCH N.; PETERCORD R.; LUPKE B. 1996. Growth of sessile oak in mixture with Scots pine. *Forst und Holz*. 51(7): 195-200.
- BECQUEY J. 1993. Alcuni elementi di riflessione sugli impianti di noce da legno a partire dall'esperienza francese. *Linea Ecologica* 24(1): 19-25.
- BEER J.; KAPP G. B.; 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.
- BERGER T.; HAGER H. 2000. Physical top soil properties in pure stands of Norway spruce and mixed species stands in Austria. *Forest Ecology and Management* (136): 159-172.
- BERTI S. 1995. Caratteristiche tecnologiche e qualità del legno. *Sherwood* (3): 39-43.
- BERTI S.; BRUNETTI M.; RESCIC L. 2003. Manuale sulla valutazione della qualità degli assortimenti legnosi ritraibili dalle specie legnose pregiate. Regione Lombardia – CNR IVALSA - ARSAF. 48 p.
- BINKLEY D. 1984. Importance of size – density relationships in mixed stands of Douglas fir and red alder. *Forest Ecology and Management* 9: 81-85.

- BOSCO M.; BURESTI E.; MOIROUD A.; MATERASSI R. 1991. Biomass production, improvement and soil reclamation by nitrogen-fixing actinorhizal plants in two disturbed sites. En: 6th European Conference on Biomass for Energy, Industry and Environment. Astir Complex Nafsika Congress Hall Vouliagmeni Athens Greece. 22- 26 April 1991.
- BOURGIER C.; CASTANER D. 1988. Les Plantations d'alignement. Institut pour le Développement Forestier (IDF). París, Francia. 415 p.
- BRUNETTI M.; MACCHIONI N. 2002. Arboricoltura e qualità del legno. Presentación Seminario "Relación entre el manejo silvícola/arboricoltura y la calidad de la madera obtenida, con especial referencia a la producción de maderas de alto valor". Valdivia, marzo 2002.
- BRÜNIG, E.; MAYER, H. 1980. Waldbauliche Terminologie. Universität für Bodenkultur. Wien.
- BURESTI E. 1993a. Arboricoltura di pregio. *Agricoltura e Ricerca* (147-148): 67-76.
- BURESTI E. 1993b. Gli impianti forestali nell'area delle discariche minerarie di S. Barbara in Valdarno. Note di Informazione sulla Ricerca Forestale, Istituto Sperimentale Selvicoltura – Arezzo. Pp. 1-3.
- BURESTI E. 1993c. Orientamenti tecnici sull'impianto e la coltivazione del noce da legno. *Linea Ecologica* 24(1): 12-18.
- BURESTI E. 1994. Il bosco torna in pianura; le prospettive dopo 15 anni di esperienze. Atti Consorzio della Bonifica Reno Palata. 26 p.
- BURESTI, E. 1995. Walnut trees in mixed stands with shrubs and trees. In: "European development of walnut and fruit production as an alternative and extensive system to agricultural crops". Workshop of E.U.AIR/WALNUT PROJECT. Groups C: Genetics/Breeding. D: Plant Production/ Provenances. March 27-30, 1995. Thessaloniki, Greece.
- BURESTI E. 1996. Modelli colturali per il noce da legno. *Sherwood* (15): 27-32.
- BURESTI E. 2000. Nuevas alternativas de cultivo para el sector forestal, basadas en diversidad, productividad y sustentabilidad. Informe Técnico Programa Consultores Calificados. INFOR-FIA.

- BURESTI E.; DE MEO I. 1998a. 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.
- BURESTI E.; DE MEO I. 1998b. Un impianto di noce in Golena con "specie paracadute" (Scheda 6). Sherwood (35): 27-31.
- BURESTI E.; FRATTEGANI M. 1994a. Impianti misti in arboricoltura da legno. Primi risultati in un impianto di farnia (*Quercus robur* L.) e ontano napoletano (*Alnus cordata* Loisel). Annali Istituto Sperimentale Selvicoltura, Arezzo (23): 183-199.
- BURESTI E.; FRATTEGANI M. 1994b. L'importanza delle consociazioni in arboricoltura da legno con latifoglie a legname pregiato. En: La destinazione forestale di terreni agricoli. Brasimone, 17-18 giugno 1994.
- BURESTI E.; FRATTEGANI M. 1995a. Alcune considerazioni sull'arboricoltura da legno. Sherwood (1): 11-16.
- BURESTI E.; FRATTEGANI M. 1995b. Impianti misti in arboricoltura da legno. Sherwood (3): 11-17.
- BURESTI E.; MORANDINI R. 1992. La coltivazione sperimentale del noce e del ciliegio. Convegno Nazionale. Più verde più legno: dal set-aside ai rimboschimenti. Bologna, 7 febbraio 1992. Associazione Nazionale Dottori in Scienze Forestali.
- BURESTI E.; MORI P. 1995. Sesti e distanze d'impianto per il noce. Sherwood (6): 6-13.
- BURESTI E.; MORI P. 1998. Un modulo per un arboricoltura da legno semi-estensiva. Sherwood (39): 25-29.
- BURESTI E.; MORI P. 1999. La doppia pianta: un'assicurazione sulla farnia come specie principale. Sherwood (47): 7-13.
- BURESTI E.; MORI P. 2001a. Calcoli per il conteggio delle piantine e la stima dello spazio a loro disposizione. Sherwood (63): 21-23.
- BURESTI E.; MORI P. 2001b. Calcoli per il conteggio delle piantine e la stima dello spazio a loro disposizione (scheda 2-sesto rettangolare). Sherwood (64): 15-18.

- BURESTI E.; MORI P. 2001c. Calcoli per il conteggio delle piantine e la stima dello spazio a loro disposizione con un sesto a quinconce. Sherwood (65): 13-16.
- BURESTI E.; MORI P. 2001d. Calcoli per il conteggio delle piantine e la stima dello spazio a loro disposizione con un sesto a settonce. Sherwood (68): 19-23.
- BURESTI E.; MORI P. 2003. Progettazione e realizzazione di impianti di Arboricoltura da legno. ARSIA (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo Forestale). 78 p.
- BURESTI, E., MORI P.; RAVAGNI S. 2001. Piantagioni miste con pioppo e noce comune: vantaggi e svantaggi di una scelta complessa. Sherwood N° 71: 11-17.
- BURESTI E.; FRATTEGANI M.; SESTINI L. 1993a. The use of Italian alder (*Alnus cordata* Loisel) in mixed plantation for high quality wood production. En: Agroforestry Forum. Newsletter of the U.K Agroforestry Research Forum. 4(3): 63-66.
- BURESTI E.; FRATTEGANI M.; SESTINI L. 1993b. Le consociazioni in arboricoltura da legno: primi risultati di impianti sperimentali con latifoglie pregiate. Arboricoltura da legno e politiche comunitarie. Tempio Pausania, 22-23 junio 1993. Pp. 173-180.
- BURESTI E.; DE MEO I.; FALCIONI S.; FRATTEGANI M. 1997. L'utilizzo del noce comune, del noce nero e del noce ibrido in arboricoltura da legno. Primi risultati di una prova comparativa in impianti misti di 8 anni di età. Annali Istituto Sperimentale Selvicoltura Arezzo (25-26): 243-260.
- BURESTI E.; DOMENACH A. M.; BOSCO M.; MOIROUD A. 1990. Comparison between *Quercus robur*/*Alnus cordata* mixed plantations and *Quercus robur* in monoculture. Proceedings of the 5th International Symposium on nitrogen fixation with non-legumes. Florence, September, 1990.
- BURESTI E.; FAINI A.; MERCURIO R.; NOCENTINI S. s.f. L'arboricoltura da legno in Toscana. Seconda parte. Tecniche d'impianto e tecniche colturali. Ente Toscano Sviluppo Agricolo Forestale (ETSAF) e Istituto Sperimentale per la Selvicoltura di Arezzo. 32 p.
- BURESTI E.; RAVAGNI S. 2001. Due esempi di convivenza tra noce e pioppo. Sherwood N° 70: 51-54.
- BURGER-LEENHARDT P. 1996. Le bouleau en Scandinavie: une essence d'avenir. Informations – Forêts N° 4, Fiche 539:1-3.

- BURSCHEL, P.; HUSS, J. 1997. Grundriss des Waldbaus. P. Parey. Berlin.
- BYARD R.; LEWIS K. C.; MONTAGNINI F. 1996. Leaf litter decomposition and mulch performance from mixed and monospecific plantations of native trees in Costa Rica. *Agriculture Ecosystems & Environment* 58(2-3): 145-155.
- CAMPBELL G. E; DAWSON J. O. 1989. Growth, yield, and value projections for Black walnut interplantings with Black alder and autumn olive. *Northern Journal of Applied Forestry* 6(3): 129-132.
- CARBONE F.; VENZI L. 1997. Il rischio tecnologico negli impianti di arboricoltura da legno: il caso del noce comune, il problema tecnico e l'impatto economico. *Legno Cellulosa Carta* (4): 24-34.
- CEMAGREF. Sf. Fiches d'essai.
- CIARDI C. 1997. Scelte tecniche e obiettivi colturali nell'applicazione del Reg. 2080/92: il caso dell'azienda agraria Fratelli Bini S.P.A. *Sherwood* (28): 12-13.
- CLARK F. B.; HUTCHINSON J. G. 1973. Central Hardwood Notes. USDA. Forest Service.
- CLATTERBUCK W. K.; OLIVER C. D.; BURKHARD T. 1987. The silvicultural potential of mixed stands of cherry bark oak and American sycamore: spacing is the key. *SJAF* 11:158-160.
- CONSORZIO DELLA BONIFICA RENO PALATA (CBRP). 1995. Programma di Attività sperimentali concernenti nuovi criteri di arboricoltura da legno su terreni di collina e pianura. Sintesi dei dati raccolti nel comprensorio del Consorzio della Bonifica Reno-Palata, 1980/1994. 94 p.
- COTLER H.; MAASS J. M. 1999. Tree Management in the northwestern Andean Cordillera of Peru. *Mountain Research and Development*. 19(2): 153-160.
- CRAVE M. F. 1993. Merisier: l'avenir se prépare sur tous les fronts. *Foret Entreprise* (88): 20-22.
- CUTINI A.; MARTINI M.; BURESTI E. 1997. Effetti della consociazione con ontano napoletano in impianti di farnia. *Annali Istituto Sperimentale Selvicoltura, Arezzo* (25-26): 261-283.
- DANNECKER, K. 1993. Ausgewählte Schriften. Selbstverlag der Landesforstverwaltung. Stuttgart.

- DE BELL D.S.; HARRINGTON C.A. 1993. Deploying genotypes in short-rotation plantations: Mixtures and pure cultures of clones and species. *The Forestry Chronicle* 69(6): 705-713.
- DE BELL D. S.; WHITESELL C. D.; SCHUBERT T. H. 1985. Mixed plantations of *Eucalyptus* and leguminous trees enhance biomass production. Res. Paper PSW-175. En: Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. 5 p.
- DENCI L.; MERCURIO R.; MORONI M.; TOCCIA A. 1982. Le possibilità di coltivazione del noce da legno. *Agricoltura e Ricerca* (14): 36-41.
- DOMMERGUES Y.R.; AHMAD N. 1995. Nitrogen fixation by trees in relation to soil nitrogen economy. *Nitrogen Economy in Tropical Soils. Fertilizer Research* 42(1-3): 215-230.
- DUFLOT H. 1995. Le frêne en liberté. Institut pour le Développement Forestier (IDF). Paris, Francia. 192 p.
- FRATTEGANI M. 1993. Utilizzo delle consociazioni in arboricoltura da legno. L'esperienza di Santa Barbara. Note di Informazione sulla Ricerca Forestale, Istituto Sperimentale Selvicoltura – Arezzo. Pp. 5-7.
- FRATTEGANI M. 1997. L'impiego delle specie forestali in arboricoltura da legno (Scheda 3). Il ciliegio (*Prunus avium*). *Sherwood* (19): 31-34.
- FRATTEGANI M.; MORI P. 1996. Considerazioni su alcuni impianti di arboricoltura da legno (Seconda parte – Scheda 2). *Sherwood* (8): 24-26.
- FREDERICKSEN T. S.; ZEDAKER S. M.; SMITH D. W.; SEILER J. R.; KREH R. E.; GJERSTAD D. H. (Edit.); GLOVER G. R. (Edit.); MITCHELL R. J. (Edit.); HORSLEY S. B. (Edit.); CAMPBELL R. A. (Edit.). 1993. Interference interactions in experimental pine-hardwood stands. *Canadian Journal of Forest Research* 23(10): 2032-2043.
- GAVALAND A.; GAUVIN J. 1997. Wild cherry plantations mixed with alder: first results of an INRA trial. *Forest Enterprises* (118): 21-26.
- GAYER, K. 1886. *Der gemischte Wald*. P. Parey. Berlin.

- GLOVER N. (Edit) 1989. *Gliricidia* Production and Use. Nitrogen Fixing Tree Association P.O Box 680. Waimanalo, HI 96795 USA.
- GRAESCHKE M.A.; GURTH P. 1993. Growth of walnut (*Juglans regia*) as a forest tree. *Forst und Holz* 48(11): 309-313.
- GRONINGER J. W.; ZEDAKER S. M.; FREDERICKSEN T. S. 1997. Stand characteristics of intercropped loblolly pine and black locust. *Forest Ecology and Management* 91(2-3): 221.
- GUHATHAKURTA P. 1995. Changed silviculture for multi-tier plantation forests with mixtures of woody and non-woody species. IUFRO World Congress. www.info.metla.fi/iufro95abs/d1pap125.htm
- HAMMATT N. 1994. Research for Farm Woodlands. Horticulture Research International.
- HANOVER J.W.; MEBRAHTU T. 1991. *Robinia pseudoacacia*: temperate legume tree with worldwide potencial. NFT Highlights. N° 91-03. 2 p.
- HANSEN J. 2004. Conversion of coniferous forest. *EFI News* 1(12): 3-6.
- HÉBRARD J. P. 2003. Une association gagnant gagnant. *Le Betterave français* 19/09/2003.
- HELMS J.A. 1998. The Dictionary of Forestry. The Society of American Foresters, 210 p.
- HINCKS S. 2004. Kennett sure nature's way is best. *Revista Quandong* 30(3): 3-4.
- HOSTING P.J.; TITUS S.J. 1996. Indirect site productivity models for white spruce in Alberta's Boreal mixed wood forest. *The Forestry Chronicle* 72(1): 73-79.
- HUBERT M. 1993. La ligniculture. *Foret Entreprise* (88): 23-28.
- HUDSON A.J. 1993. The influence of mountain alder on the growth, nutrition, survival of Black spruce and Sitka spruce in an afforested heathland near mobile, Newfoundland. *Canadian Journal of Forest Research* 23(4): 743-748.
- HUSSAIN A.; ARSHAD M.; JAVED M. 1994. Contribution of leaves of *Dalbergia sissoo* and other leguminous trees to soil mineral nitrogen and crop nutrition. En: *Dalbergia*: Proceedings of an

International Workshop. Nitrogen Fixing Tree Research Reports Special Issue 1994. Ed. Westley S.B. y Roshetko J.M.

INFOR. 2002. Bases de datos del Proyecto Actualización de Plantaciones de INFOR.

INFOR-FIA. 2001. Informe Técnico "Gira Tecnológica para conocer la cadena productiva de maderas de alto valor en Italia: desde la Arboricultura hasta la Comercialización". Italia, octubre de 2001.

INSTITUT POUR LE DEVELOPPEMENT FORESTIER (IDF). 1981. Cultiver les arbres feuillus pour récolter du bois de qualité. París, Francia, 277 p.

JHA P. K.; TRIVEDI R. C. 1994. *Dalbergia sissoo*: the views of local people. En: *Dalbergia*: Proceedings of an International Workshop. Nitrogen Fixing Tree Research Reports Special Issue 1994. Ed. Westley S.B. y Roshetko J.M.

JINHE F.; MAOYI F.; MINGYU F. 1995. The main agroforestry models in the eastern subtropics of China. Pp: 41-49. En: Mantang C.; Schaofang H. 1995. Integrated research in farm forestry. China Science and Technology Press. Beijing, China. 278 p.

KARKI J. B. S; KARKI M. 1994. Socio-economic aspects of *Dalbergia sissoo* production in the Terai region of Nepal. En: *Dalbergia*: Proceedings of an International Workshop. Nitrogen Fixing Tree Research Reports Special Issue 1994. Ed. Westley S.B. y Roshetko J.M.

KHANNA P.K. 1997. Comparison of growth and nutrition of young monocultures and mixed stands of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. Forest Ecology and Management 94(1-3): 105-113.

KOROTAEV A.A. 1991. Growth and development of the root system of pine, larch and oak in mixed plantations. Lesovodstvo Lesnye Kul'tury i Pochvovedenie. 1991: 81-89.

KOROTAEV A.A. 1992. Soil compaction and root growth of trees. Forstarchiv 63(3): 116-119.

KOSTOV K. D.; BROSHCHILOVA M.; BROSHCHILOV K. 1992. Aerial phytomass of pure and mixed stands of *Robinia pseudoacacia* in the Byala Slatina region. Nauka za Gorata 29(4): 13-23.

KURDALI F.; DOMENACHA M.; BARDIN R. 1990. Alder-poplar associations: determination of plant nitrogen sources by isotope techniques. Biology and Fertility of Soils 9(4): 321-329.

- MILLER R. E.; MURRAY M. D. 1978. Utilization and management of Alder. USDA, Forest Service. General technical report PNW-70. Pp 283-306.
- MINOTTA G. 1994a. L'attività svolta dal Consorzio di Bonifica Reno Palata nei settori dell'arboricoltura da legno con specie di pregio e del rimboschimento dei terreni agricoli: considerazioni sui primi risultati ottenuti. Consorzio della Bonifica Reno Palata. 15-10-1994. Centro culturale Ca' Ghironda. Pp. 14-15.
- MINOTTA G. 1994b. Ciliegio e noce: ritornano due specie da legno. Terra e Vita (42): 30-32.
- MONTAGNINI F.; GONZÁLEZ E.; PORRAS C.; RHEINGANS R. 1995. Mixed and pure forest plantations in the humid neotropics: a comparison of early growth, pest damage and establishment costs. Commonwealth Forestry Review 74(4).
- MONTAGNINI F.; PORRAS C. 1998. Evaluating the role of plantations as carbon sinks: an example of an integrative approach from the humid tropics. Environmental Management 22(3): 459-470.
- MORI P. 1999. Arboricoltura da legno in Francia: Il "Gruppo noce da legno" dell'IDF ha organizzato una serie di incontri in campo. Sherwood N° 51: 21-26.
- NAHED J.; VILLAFUERTE L.; GRANDE D.; PEREZ-GIL F.; ALEMAN T.; CARMONA J. 1997. Fodder shrub and tree species in the highlands of southern México. Animal Feed Science and Technology 68(3-4): 213-223.
- NEAVE I. A.; DAWSON J. O. 1989. Juglone reduces growth, nitrogenase activity, and root respiration of actinorhizal Black alder seedlings. Journal of Chemical Ecology 15(6): 1823-1836.
- NEGRINI C. 1994. Il bosco torna in pianura. 15 anni di esperienza. Consorzio della Bonifica Reno Palata. 15 ottobre 1994. Centro culturale Ca' Ghironda. Pp. 7-12.
- OUANOUI B.; IGOUD S. 1993. Study of the effects of residual sludges from urban sewage plants used in forest plantations. Revue Forestière Française 45(2): 153-158.
- PANAGOPOULOS T.; HATZISTATHIS A. 1995. Early growth of *Pinus nigra* and *Robinia pseudoacacia* stands: contributions to soil genesis and landscapes improvement on lignite spoils in ptolemaida. Landscape and Urban Planning 32(1): 19-29.

- PARIS P.; MALVOLI M. E.; NATALE F.; CANNATA F. 1993. Ricerche sul noce da legno (*Juglans spp.*). Arboricoltura da legno e politiche comunitarie. Tempio Pausania, 22-23 giugno 1993. Pp. 143-155.
- PARIS P.; OLIMPIERI G.; TODARO L.; CANNATA F. 1998. Growth and soil plant water relations of *Juglans regia* with polyethylene mulching and intercropped with *Medicago sativa* in Central Italy. Agroforestry Systems 00: 1-13.
- PARIS P.; PISANELLI A.; BURESTI E.; CANNATA F. 1999. 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. 1999.
- PATRIARCA E. 2004. L'arbre aux champs. Liberation. Pp. 39-41.
- PHILLIPS D. R.; ABERCROMBIE J. A. 1987. Pine-Hardwood Mixtures, a new concept in regeneration. Southern Journal of Applied Forestry 11(4): 192-197.
- PREVEDELLO B. M. S.; PEREIRA B. F.; SBRISIA A. F.; SCOPEL A. 1996. Alelopatia intra-especifica em alfalfa (*Medicago sativa* L.). Agrarias, Curitiba, 15(2): 229-232.
- PROVINCIA DI BOLOGNA. 1994. Il noce da frutto e da legno. Il Divulgatore, 17(6): 4-54.
- RAMAN N.; RAJENDRAN V. 1994. Association of *Pisolithus tinctorius* with *Eucalyptus tereticornis* in India. Indian Forester 120(1): 62-65.
- RASIP A. B.; GHANI A. B.; LOKMAL N. 1994. Six-year growth and survival rate of *Shorea macrophylla* planted under pine plantations. En: Proceedings International Workshop, BIO-REFOR, Kangar, Malasia. 28 de noviembre al 1 de diciembre de 1994. Ed. Wickneswari R. et al.
- RAVAGNI S.; BURESTI, E. 2003. Piantagioni con pioppo e noce comune. Sherwood N° 94: 19-24.
- REINIKI B. 1996. Comparación del efecto de la exposición en el desarrollo de plantaciones mixtas en la IX región. Tesis Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Pp. 69-71.
- RITTERSHOFER, F. 1994. Waldpflege und Waldbau. Rittershofer Verlag, Freising. 481 p.

- SHANQING Y.; SHUANGSHANG W.; PINGHE W.; ZHAOHUA Z.; XINYU L.; 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. 1997. La Silvicultura Alternativa, en: Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile. Editorial Universitaria. Santiago de Chile.
- SIEBERT, H. 1999. Terminología de Ordenación Forestal. IUFRO World Series Vol.9-es.Viena.
- SIMON, K. H. (ed.) 1995. Lexicon silvestre. Eberswalde, Deutschland: Förderverein "Lexicon silvestre" e.V., 118 p. (l de), 165 p. (l en), 125 p. (l fr).
- SPIECKER M. 1994. Growth and silvicultural treatment of valuable Wild cherry. Mitteilungen der Forschungsanstalt Baden Wurttemberg. N° 181, 92 p.
- STALEY W.; MONTAGNINI F. 1998. Biomass and nutrient accumulation in pure and mixed plantations of indigenous tree species grown on poor soils in the humid tropics of Costa Rica. Forest Ecology and Management (113): 91-103.
- STUBBLEFIELD G.; OLIVER C. D. 1978. Silvicultural implications of the reconstruction of mixed alder-conifer stands. General technical report PNW-70. Pp 307-320.
- TANI A.; MALTONI A.; MARI R.; MARIOTTI B. 2004. Effetti della consociazione con specie azotofissatrice in impianti di *Juglans regia*. Relazioni tra lo sviluppo delle piante e disponibilité di azoto. On line database www.arboricoltura.it
- VAN DE VALLE I.; WILLEMS S.; LEMEURE R. 1998. Root length and distribution in the mineral soil of a mixed deciduous forest (experimental forest Aelmoeseneie). Silva Gandavensis (63): 1-15.
- VAN DE VALLE I.; MUSSCHE S.; SAMSON R.; LUST N.; LEMEURE R. 2001. The above and below ground carbon pools of two mixed deciduous forest stands located in East Flanders (Belgium). Ann. For. Sci. 58: 507-517.
- VAN DEN BELDT R. J. (Edit); BREWBAKER J. L. (Edit.). 1985. Leucaena: Wood Production and Use. Nitrogen Fixing Tree Association. P.O. 680. Waimanalo, Hawaii 96795 U.S.A. 50 p.

- VAN NOORDWIJK M.; PURNOMOSIDHI P. 1995. Root architecture in relation to tree soil crop interactions and shoot pruning in agroforestry. *Agroforestry Systems* (30): 161-173.
- VERLAG P.H. 2003. Evoluzione delle foreste di montagna dopo l'uragano Vivian. *Sherwood* N° 93: 9-16.
- WEST G. G. 1991. Douglas Fir, Japanese Larch, and European Larch in pure and mixed stands. *New Zealand Journal of Forestry Science* 21(1): 3-9.
- WINSTROER M.; SIEBERT H.; MULLER-USING B. 2003. Competencia entre tres especies de *Nothofagus* y *Pseudotsuga menziesii* en plantaciones mixtas jóvenes, establecidas en la Precordillera Andina de Valdivia. *Revista Bosque* 24(3): 17-30.
- WOLYNSKI A. 1999. Selvicoltura ecosostenibile: principi ed esperienze. *Sherwood* N° 44: 5-9.
- WORMALD T. J. 1992. Mixed and pure forest plantations in the tropics and subtropics. *FAO Forestry Paper* 103. 74 p.
- ZAIZHI Z.; HAISHUI Z.; ZENGJIANG Y.; GUANGTIAN Y. 1995. The microclimate characteristics of rubber plantations intercropped with *Amomum longiligulare*. Pp: 28-33. En: Mantang C.; Schaofang H. 1995. Integrated research in farm forestry. China Science and Technology Press. Beijing, China. 278 p.
- ZARNOVIKAN R. 2002. Impact du verglas de 1998 dans une érablière a bouleau jaune en Estrie: situation après trois ans. *The Forestry Chronicle* 78(3): 415-421.
- ZENGJIANG Y.; HAISHUI Z.; QIJIE W.; SHINENG H. 1995a. Microclimate characteristics of mixed plantations of *Eucalyptus exserta* and *Acacia auriculiformis*. Pp. 77-82. In: Integrated research in farm forestry. Ed. Mantang C.; Shaofang H. China Science and Technology Press. 278 p.
- ZENGJIANG Y.; ZHENG H.; GUANGTIAN Y.; ZAIZHI Z. 1995b. Study on soil fertility of rubber plantations intercropped with *Amomum villosum* and *Coffee Arabica*. Pp: 17-27 En: Mantang C.; Schaofang H. 1995. Integrated research in farm forestry. China Science and Technology Press. Beijing, China. 278 p.
- ZHANXUE Z.; SHOUPU L.; XUEZHENG G.; ZHENKU L.; 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.

10. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA NO CITADA

- ADAMI P.; ALLEGRINI C.; BELPERIN J.; DE BONNAFOS P.; BRETON F.; MARION C.
1997. Guide pour le boisement des terres agricoles Haut-Saonoises délaissées. Société Forestière de Franche-Comté (SFFC). 20 p.
- AIAZZI M. T.; ARGUELLO J. A.; ABRIL A. 1996. Nodulated and non-nodulated *Prosopis chilensis* (Mol) seedlings: economy of carbon and nitrogen. *Forest Ecology and Management* 89(1-3): 25-29.
- ARBEZ M.; LACAZE J. F. 1998. Les ressources génétiques forestières en France. Tomo 2: Les feuillus. Ed. INRA. Paris, Francia. 408 p.
- ARBEZ M. 1987. Les ressources génétiques forestières en France. Tomo 1: Les conifères. Bureau des Ressources Génétiques (BRG)- Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). Paris, Francia. 236 p.
- BALL J. B.; WORMALD T. J.; RUSSOL. 1995. Experience with mixed and single species plantations. *Commonwealth Forestry Review* 74(4):301-332.
- BEER J. W.; FASSBENDER H. W.; HEUVELDOP J. 1989. Avances en la investigación agroforestal. CATIE. 451 p.
- BERITOGNOLO I.; BRETON C.; JAY-ALLEMAND C. (Task E subtask E1). 1999. Study of gene expression during heartwood formation in walnut (*Juglans* sp.). En: Walnut: Production of High Quality Timber in Europe. Up-to-date tools for tree adaptation, wood standards and management. Partner I, COO INRA, France. W-BRAINS (Walnut- Basic Research for Agroforestry and Industry: Network and standards). Individual progress reports. 02-1998 to 06-1999. European Commission Directorate General XII, Science, research and development-joint research centre life sciences and technologies.
- BRETHES A.; BRUN J. J.; JABIOL B.; PONGE J.; TOUTAIN F. 1995. Classification of forest humus forms: a French proposal. *Ann Sci For.* (52): 535-546.
- BRUDER S. 1996. Is the risk of root pruning exaggerated? *AFZ Der Wald, Allgemeine Forst Zeitschrift fur Waldwirtschaft und Umweltvorsorge*. 51(13): 733-735.

- BUONGIORNO J.; PEYRON J.L.; HOULLIER F.; BRUCIAMACCHIE M. 1995. Growth and management of mixed-species, uneven-aged forests in the French Jura: Implications for economic returns and tree diversity. *Forest Science* 41(3): 397-429.
- BURESTI E. 1984. Il restauro forestale delle discariche minerarie dell'ENEL, Miniera di Santa Barbara nel Valdarno. *Annali Istituto Sperimentale Selvicoltura, Arezzo* (15): 157-171.
- BURESTI E.; FRATTEGANI M. 1994. First results of a mixed plantation with high quality timber broadleaves and N-Fixing trees. Pp. 219-228. En: *Proceedings from the Symposium of the IUFRO Working Groups, Portugal*.
- CARBONE F.; VENZI L. 1993. Un confronto tra due alternative di arboricoltura con le Juglandacee. Arboricoltura da legno e politiche comunitarie. Tempio Pausania, 22-23 giugno 1993. Pp. 95-108.
- CATIE. 1994. Alternativas de reforestación: Taungya y sistemas agrosilviculturales permanentes versus plantaciones puras. Serie generación y transferencia de tecnología N° 7. 26 p.
- CATIE. 1995. Resúmenes de las tesis de grado sobre silvicultura y agroforestería en CATIE 1982-1995. Serie Bibliotecología y Documentación N° 24. 108 p.
- CATIE. 1995. Jaúl (*Alnus acuminata ssp. arguta*), especie de árbol de uso múltiple en América Central. Informe Técnico N° 248. 40 p.
- CATIE. 1995. Reforestación con maderables. Sistemas agrosilviculturales versus plantaciones puras en Talamanca, Costa Rica. Resultados agrícolas y forestales. Serie Técnica, Informe Técnico N° 243. 65 p.
- LIU C.; WESTMAN C.; ILVESNIEMI H. 2001. Matter and nutrient dynamics of pine (*Pinus tabulaeformis*) and oak (*Quercus variabilis*) litter in North China. *Silva Fennica* 35 (1): 3-13.
- DETTORI S.; DELOGU M.; FALQUIA.; MANCA G.; MAVULI S.; PODDIGHE D. 1993. Comportamento bio-agronomico di noce e ciliegio da legno in Sardegna. Primi risultati. Arboricoltura da legno e politiche comunitarie. Tempio Pausania, 22-23 giugno 1993. Pp. 193-202.

- FRATTEGANI M. 1993. Utilizzo delle consociazioni in arboricoltura da legno. L'esperienza di S. Barbara. Note di Informazione sulla ricerca forestale. Istituto Sperimentale per la selvicoltura, Arezzo. Anno III-N° 2. Pp. 5-7.
- FROSSARD J. S.; LACOINTE A.; AMEGLIO T.; DAUDET F.A. 1999. (Task C). Study of crown influence on wood quality and growth. En: Walnut: Production of High Quality Timber in Europe. Up-to-date tools for tree adaptation, wood standards and management. Partner I, COO INRA, France. W-BRAINS (Walnut- Basic Research for Agroforestry and Industry: Network and standards). Individual progress reports. 02-1998 to 06-1999. European Commission Directorate General XII, Science, research and development-joint research centre life sciences and technologies.
- GONZÁLEZ J. L.; CAMACHO A. 1995. Linderos maderables. CATIE. 27 p.
- GRANINGER J. W.; ZEDAKER S. M.; FREDERICKSEN T. S.; BLACKSBURG V. A. 1997. Stand characteristics of inter-cropped loblolly pine and black locust. *Forest Ecology and Management* 91(2-3): 221.
- GUITTON J. L.; BRETIERE G.; SAAR S. 1990. Culture d'arbres a bois précieux en prairies pâturées en moyenne montagne humide. *Etudes Foret N°4*. CEMAGREF. Riom, Francia. 119 p.
- HERZOG F. 1994. Multipurpose shade trees in coffee and cocoa plantations in Côte d'Ivoire. *Agroforestry Systems* (27): 259-267.
- HOLL K. D. 1998. Effects of above and below ground competition of shrubs and grass on *Calophyllum brasiliense* seedling growth in abandoned tropical pasture. *Forest Ecology and Management* (109): 187-195.
- HORN N.; MONTAGNINI F. 1999. Litterfall, litter decomposition and maize bioassay of mulches from four indigenous tree species in mixed and monospecific plantations in Costa Rica. *International Tree Crops Journal* (10): 37-50.
- INSTITUT POUR LE DEVELOPPEMENT FORESTIER (IDF). 1990. Boiser une terre agricole. Paris, Francia. 64 p.
- JOYCE P.M.; HUSS J.; MCCARTHY R.; PFEIFER A.; HENDRICK E. 1998. Growing Broadleaves. Silvicultural Guidelines for Ash, Sycamore, Wild Cherry, Beech and Oak in Ireland. COFORD 1998.

- JURGENSEN M.F.; HARVEY A. E.; GRAHAM R.T.; PAGE-DUMROESE D.S.; TONN J. R.; LARSEN M.J.; JAIN T. B. 1997. Impacts of timber harvesting on soil organic matter, nitrogen, productivity, and health of inland northwest forests. *Forest Science* 42(2).
- KHARITONOV G.A. 1978. Effect of fertilizers on the ratio of the aerial and underground parts of young woody plants. *Lesnoi Zhurnal* (4): 19-22.
- LOFTIS D.L. 1990. Treatments to encourage natural regeneration. Nota 3.04. En: Clark F.B.; Hutchinson J.G. Editores. 1990. *Central Hardwood Notes*.
- MAJCEN Z. 1995. Résultats après 10 ans d'un essai de coupe de jardinage dans une érablière. Mémoire de recherche forestière N° 122. Gobierno de Québec, Ministerio de Recursos Naturales, Dirección de Investigación Forestal. 32 p.
- MAJCEN Z. 1997. Coupe de jardinage et coupe de succession dans trois secteurs forestiers: accroissement décennal en surface terrière et état de la régénération. Mémoire de recherche forestière N° 129. Gobierno de Québec, Ministerio de Recursos Naturales, Dirección de Investigación Forestal. 48 p.
- MALCHUS B.; BAKER J. R.; ROGERS J.J. 1983. Evaluations of water balance models on a mixed conifer watershed. *Water Resources Research* 19(2): 486-492.
- MC DONALD P.M.; FIDDLER G. O. 1996. Development of a mixed shrub Tanoak Douglas fir community in a treated and untreated condition. United States Department of Agriculture. Forest Service Pacific Southwest Research Station. Agosto 1996.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PECHE. 1994. Agroforesterie en zone tempérée. *Revue Forestière Française*, numero especial. 188 p.
- MORANDINI R. 1994. Proceedings of the workshop "Improvement of Coppice Forest in the Mediterranean Region". *Ann. Ist. Sper. Selv.* (23): 257-333.
- MOSER J.W. 1990. Introduction to forest growth and yield. Nota 5.01. En: Clark F.B.; Hutchinson J. G. Editores. 1990. *Central Hardwood Notes*.
- MUSCHLER R. 2000. Árboles en cafetales. CATIE. Módulo de Enseñanza Agroforestal N° 5. 139 p.

- NOOR H. M. D. 1994. The growth of *Araucaria* species in mixture with *Leucaena leucocephala*. En: Proceedings International Workshop, BIO-REFOR, Kangar, Malasia. 28/11 al 1/12 de 1994. Ed. Wickneswari R. et al.
- OVERTON R; FUNK D. 1990. Genetic Principles. Nota 2.02. En: Clark F. B.; Hutchinson J. G. Editores. 1990. Central Hardwood Notes.
- POPE P. E.; DAWSON J. O. 1990. Short rotation plantations. Nota 5.09. En: Clark F. B.; Hutchinson J. G. Editores. 1990. Central Hardwood Notes.
- SANDER I.; FISCHER B. 1990. Central hardwood forest types. Nota 1.02. En: Clark F. B.; Hutchinson J. G. Editores. 1990. Central Hardwood Notes.
- SCHROEDER P. 1994. Carbon storage benefits of agroforestry system. *Agroforestry Systems* (27): 89-97.
- SHEPHERD K. 1994. A Question of Management. The pros and cons of farmer and researcher managed trials. *Agroforestry Today* 6(4): 3-7.
- SMITH H. C.; SANDER I. L. 1990. Silvicultural system for harvesting mixed hardwood stands. Nota 2.07. En: Clark F.B.; Hutchinson J.G. Editores. 1990. Central Hardwood Notes.
- SULLI F. 1997. Lo squadro degli impianti di arboricoltura e l'uso della stazione totale. *Sherwood* (19): 35-37.
- TREJOS S.; VON PLATEN H. 1995. Sombras maderables para cacaotales, aspectos económicos. CATIE, Serie Técnica, Informe Técnico N° 266. 47 p.
- VAN HEES A. F. M. 1997. Growth and morphology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) and beech (*Fagus sylvatica* L) seedlings in relation to shading and drought. *Annales des Sciences Forestieres* 54(1): 9-18.
- ZAZZI A. 1990. Risultati qualitativi e auxiometrici de una prova di concimazione controllata su di un impianto di *Juglans regia*. *Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura* (21): 197-229.



INFOR
Instituto Forestal



GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA
INNOVACIÓN AGRARIA
MINISTERIO DE AGRICULTURA