



0000028

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



23 OCT 2006

176 (83)
LOEP
C 1

PLANTACIONES MIXTAS

Un modelo productivo con potencial para Chile



Verónica Loewe M.¹
Marta González O.²

Junio 2006

7144

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 radiculares, 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 trasplante;
- 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 plumas⁵ (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.

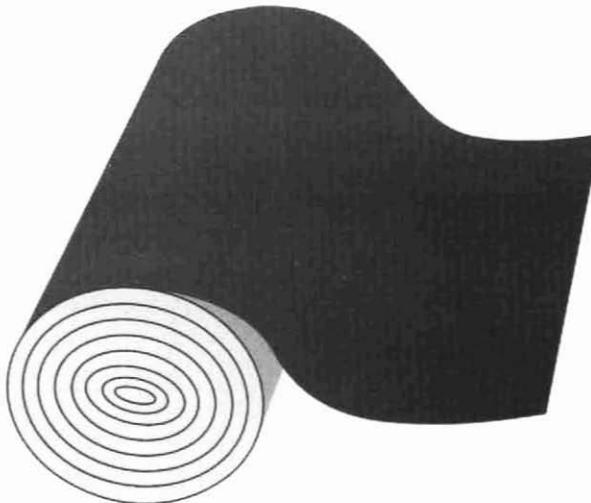
4. Corresponde a una deformación ovoidal de hermoso veteado que se produce en la base del árbol, cuyo precio depende de sus dimensiones y calidad, en particular de la ausencia de involuciones de corteza, caso en que puede alcanzar valores de US\$ 5.000/ unidad

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 scotch.



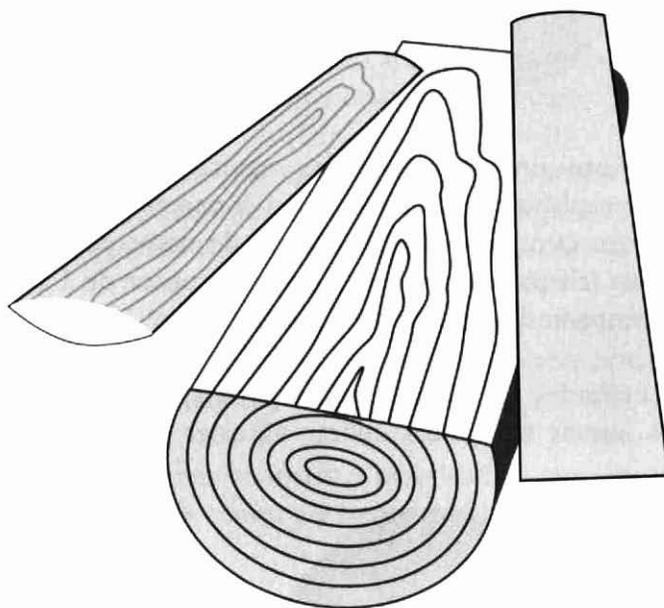
B. *Debobinado:* mediante este procesamiento los troncos se hacen rotar sobre su eje comprimiéndolo contra un cuchillo que, sin producción de aserrín, produce una hoja de un ancho equivalente al largo del trozo, cuya longitud depende del diámetro del tronco. Las delgadas hojas de madera que se obtienen (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 aserreadas, 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 (sobre todo 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 limpieas 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 rodales 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 (Bourger 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 (limpías 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 limpieas 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	<ul style="list-style-type: none"> • Menos remociones del suelo • Mayor posibilidad de elegir las mejores plantas • Mejor forma de las plantas 	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • Menor costo de plantación (respecto al 3,5 o 4 m) • Menor costo para el control de plagas y enfermedades 	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • Menor costo de plantación • Menor costo de protección por planta • Posibles raleos económicamente atractivos 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de mayor atención a la poda • Más remociones del terreno • Baja posibilidad de elegir las mejores plantas
Distancia 10–12 m	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo de plantación • Posibilidad de tener frutos como productos secundarios, que no compiten con la producción de madera 	<ul style="list-style-type: none"> • No se pueden elegir las plantas • Elevada mecanización • Necesidad de mayor atención en la poda
Plantación mixta		
Distancia 7–8 m	<ul style="list-style-type: none"> • 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*

Número 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

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

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

(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: $NSI = \frac{Si \times n \text{ s l}}{Sm}$

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: $d = \frac{\sqrt{10.000}}{N/ha}$

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

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

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

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

- En que:
- $N \text{ S I} =$ número plantas de la especie I
 - $S_i =$ superficie total en m^2
 - $n \text{ s l} =$ número plantas de la especie I presentes en el módulo
 - $S_m =$ superficie del módulo en m^2

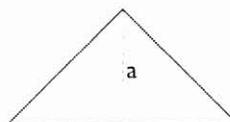
La Figura 45 presenta un esquema que ejemplifica la contribución de cada especie y árbol en la constitución de un módulo mixto con disposición a tres bolillos.

3.6.4 Disposición en rombo con siete plantas

(a) Plantación pura

Con base en la superficie:

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



Número de plantas: $N = \frac{S_i}{S_p}$

- En que:
- $S_i =$ superficie total en m^2
 - $S_p =$ 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

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

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

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

- 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

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 renoual 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 renoual 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 (caminos 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 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 asoleadas, 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 voltea 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, tepe 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, debobinado 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.