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

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

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

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

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

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

INFOR

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

3.8 RECOMENDACIONES PARA LA DEFINICIÓN DE UN MODELO DE PLANTACIÓN MIXTA

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

1. El sitio: el sitio debe evaluarse cuidadosamente, incluyendo aspectos climáticos, edáficos (suelos), topográficos, y de cultivos, entre los que destacan los últimos cultivos realizados.

2. Las especies: es necesario evaluar varias especies "candidatas", económicamente interesantes, y verificar su aptitud al sitio. Al respecto, se recomienda realizar un análisis del micrositio para reducir la probabilidad de fracaso.

3. El capital disponible: este factor define básicamente dos aspectos, la inversión inicial posible de realizar y el tipo de manejo que se podrá ejecutar durante la rotación. En este sentido, si el capital disponible es bajo, será necesario implementar un diseño que permita minimizar las intervenciones durante la rotación, reduciendo las podas, limpias y fertilizaciones, y que generalmente implicará una rotación de mayor duración; por el contrario, si se dispone de un capital elevado, podrán incorporarse en el diseño elementos que intensifiquen el manejo, reduciendo la rotación.

4. La economía nacional e internacional: cada plantación debe diseñarse en función a un producto final deseado porque se prevé tendrá una demanda interesante a futuro. Al respecto se recomienda identificar muy bien cuál(es) es (son) el(los) producto(s) objetivo de la plantación, y los estándares de calidad que exige el mercado respectivo, para, en función a ello, definir un diseño que permita su obtención.

5. La economía local: las características de la economía local pueden ser importantes en la definición de las especies secundarias a incluir en el diseño. Por ejemplo, si se trata de una zona turística, podrían privilegiarse especies melíferas (por la venta de miel), o que produzcan un fruto atractivo para las aves (por la observación), o que permitan alimentar animales de caza, entre otras muchas posibilidades.

INFOR

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

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

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

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

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

INFOR

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

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

- Los bosques con varias especies son menos vulnerables a ataques de plagas y enfermedades y, generalmente, se necesitan menos intervenciones que en las plantaciones puras. Por ello se considera poco aconsejable la ejecución de plantaciones puras y monoclonales en grandes superficies (más de 2-3 hectáreas).

- La presencia de varias especies arbóreas en los ecosistemas forestales es común en la naturaleza. Estos modelos naturales pueden ser reproducidos con éxito en plantaciones artificiales para la producción de madera de calidad, incrementando la calidad y cantidad por medio de la asociación de especies.

- Se ha confirmado la fragilidad de las plantaciones puras, verificándose la oportunidad de usar plantaciones mixtas con objetivo productivo.

- La asociación de coníferas y latifoliadas proporciona mayor flexibilidad económica, diversidad biológica y beneficios estéticos, en comparación con las plantaciones tradicionales de una sola especie.

- La combinación de especies latifoliadas nobles con otras especies arbóreas, arbustivas y/o herbáceas representa un sistema de uso del suelo favorable en muchas situaciones.

INFOR

- La incorporación de especies rústicas de rápido crecimiento en plantaciones mixtas con diseño pie a pie, en hileras o en grupos, mejora el crecimiento de las especies principales en un 40-50% con respecto a la situación pura de la especie principal.

- El impacto de las asociaciones sobre el crecimiento es positivo y de una magnitud interesante, con aumentos significativos del diámetro y altura respecto a la situación pura, aunque dicho impacto varía según la asociación específica utilizada.

- Es importante considerar las características del sistema radicular de las especies que se asociarán.

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

Caso 1: Plantación mixta con especies secundarias y paracaídas

Factores determinantes:

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

INFOR

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

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

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

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

Disposición de la plantación: rectangular (Figura 78).

Distanciamiento: 5 x 2,5 m.

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

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

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

Caso 2: Plantación mixta con especies secundarias y paracaídas

Factores determinantes:

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

INFOR

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

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

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

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

Disposición de la plantación: rectangular (Figura 79).

Distanciamiento: 5 x 1,75 m.

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

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

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

Caso 3: Plantación pura con especies secundarias

Factores determinantes:

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

INFOR

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

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

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

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

Tipo de plantación: plantación pura con especies secundarias.

Disposición de la plantación: cuadrada (Figura 80).

Distanciamiento: 4,5 m.

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

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

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

INFOR

Caso 4: Plantación pura con especies secundarias

Factores determinantes:

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

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

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

Tipo de plantación: plantación pura con especies secundarias.

Disposición de la plantación: cuadrada (Figura 81).

Distanciamiento: 3 m.

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

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

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

INFOR

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

Caso 5: Plantación pura con especie secundaria

Factores determinantes:

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

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

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

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

Disposición de la plantación: cuadrada (Figura 82).

Distanciamiento: 3,5 m.

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

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

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

INFOR

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

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

Caso 6: Plantación pura con especie secundaria

Factores determinantes:

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

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

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

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

Disposición de la plantación: cuadrada (Figura 83).

Distanciamiento: 3,5 m.

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

INFOR

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

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

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

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

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

Caso 7: Plantación pura con especie secundaria

Factores determinantes:

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

INFOR

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

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

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

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

Disposición de la plantación: cuadrada (Figura 84).

Distanciamiento: 3,5 m.

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

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

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

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

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

INFOR

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

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

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

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

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

Caso 8: Plantación mixta con especie secundaria y paracaída

Factores determinantes:

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

INFOR

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

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

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

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

Disposición de la plantación: cuadrada.

Distanciamiento: 4 m.

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

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

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

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

INFOR

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

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

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

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

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

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

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

INFOR

Caso 9: Plantación pura con especie secundaria

Factores determinantes:

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

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

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

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

Disposición de la plantación: cuadrada (Figura 91).

Distanciamiento: 3,5 m.

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

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

INFOR

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

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

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

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

INFOR

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

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

Cuadro 6. Resumen de asociaciones de interés

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

INFOR

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

INFOR

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

INFOR

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

INFOR

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

INFOR

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

INFOR

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

INFOR

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

INFOR

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

INFOR

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

INFOR

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

INFOR

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

INFOR

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

Fuente: Elaboración propia

INFOR

5. MODELOS DE PLANTACIONES MIXTAS EMPLEADOS EN CHILE

5.1 DISTRIBUCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PLANTACIONES MIXTAS A NIVEL NACIONAL

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

Cuadro 7. Distribución regional de Plantaciones Mixtas en Chile

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

Fuente: Elaboración propia

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

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

INFOR

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

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

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

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

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

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

INFOR

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

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

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

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

Cuadro 8. Antecedentes de Rodales de Plantaciones Mixtas en Chile

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

INFOR

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

INFOR

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

INFOR

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

INFOR

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

INFOR

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

INFOR

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

INFOR

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

INFOR

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

Fuente: Elaboración propia

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

5.2 CARACTERIZACIÓN DE AGENTES ECONÓMICOS CON PLANTACIONES MIXTAS

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

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

INFOR

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

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

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

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

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

INFOR

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

Fuente: Elaboración propia

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

Cuadro 10. Antecedentes sobre tipo de propietarios con rodales mixtos

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

INFOR

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

INFOR

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

INFOR

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

Fuente: Elaboración propia

5.3 PLANTACIONES MIXTAS REALIZADAS POR INFOR

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

INFOR

En el Cuadro 11 se describe el tipo de plantación realizada, las especies utilizadas y otros antecedentes de los ensayos establecidos por INFOR.

Cuadro 11. Descripción de plantaciones mixtas experimentales con especies de alto valor

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

INFOR

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

Fuente: Elaboración propia

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

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

INFOR

6. ANÁLISIS ECONÓMICO DE CASOS DE PLANTACIONES MIXTAS

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

6.1 PLANTACIÓN DE NOGAL COMÚN

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

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

- Malas prácticas que alteran tanto el crecimiento potencial, reduciéndolo, como la calidad de la madera. Consideran variaciones en el incremento diametral (crecimiento irregular en diámetro), cuellos enterrados, riegos irregulares, daños mecánicos y otros, generando un modelo con una distribución porcentual de los productos a obtener menos favorable que la obtenida con la aplicación de buenas prácticas en la plantación; este tipo de malas prácticas se han denominado como tipo 1.

- Malas prácticas que no generan variaciones en el incremento diametral de los árboles ni en el volumen, pero sí alteran su calidad; principalmente corresponden a podas inadecuadas o efectuadas en momentos inoportunos. Esto origina una distribución porcentual de los productos a obtener menos favorable que la obtenida con la aplicación de buenas prácticas; este tipo de malas prácticas se ha denominado como tipo 2. En síntesis, se considera que no se cometen errores técnicos que reduzcan el crecimiento, como el de enterrar los cuellos de las plantas, pero sí otros que afectan su calidad.

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

INFOR

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

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

Fuente: Elaboración propia

INFOR

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

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

Fuente: Elaboración propia

INFOR

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

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

En los Cuadros 14 y 15 se presenta la distribución porcentual de los productos generados durante la rotación, tanto en una plantación pura como mixta, de acuerdo al tipo de tecnología aplicada y en función del tipo de práctica realizada (buena, mala 1 o mala 2). Se consideraron cifras conservadoras respecto a criterios de expertos europeos en la materia (Berti, 2004, com. personal; Buresti, 2003, com. personal).

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

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

Fuente: Elaboración propia con base en expertos calificados

INFOR

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

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

Fuente: Elaboración propia con base en expertos calificados

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

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

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

INFOR

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

Fuente: Modificado de Loewe (2003), Anexo 2

Los precios de venta de la madera considerados en las evaluaciones corresponden a: Trozas foliables $ 744.000[26]/m^3, Trozas aserrables I $ 446.400/m^3, Trozas aserrables II $ 334.800/m^3 y Trozas aserrables III $ 223.200/m^3, precios conservadores acordes a las tendencias históricas del mercado europeo.

26. Corresponde a Euro 1.000/m^3

INFOR

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

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

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

Fuente: Elaboración propia

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

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

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

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

INFOR

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

6.2 PLANTACIÓN DE PINO OREGÓN

6.2.1 Plantación pura

Para efectos de la evaluación económica, el esquema de manejo propuesto para una plantación pura de pino oregón establecida con una densidad de 1.600 arb/ha se presenta en el Cuadro 18; los costos del establecimiento y manejo, elaborados a partir de información de una empresa con gran experiencia en la producción de madera de pino oregón de la IX región (a excepción del precio de la madera clear, que las autoras estiman en US$ 100/m^3 para madera de rápido crecimiento) se presentan en el Cuadro 19. También se incluyen los precios de los productos de cada raleo y de la corta final en el Cuadro 20, y los indicadores de rentabilidad económica del modelo puro, que refleja un tipo de manejo efectuado en la IX y X región (Cuadro 21).

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

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

INFOR

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

Año	Actividad
	Establecimiento:
1	ripper, taseo, herbicidas, plantación
	Silvicultura y manejo:
1-5	Limpias
8	poda baja 2,5 m de 1.000 arb/ha
11	poda media a 5 m de 500 arb/ha
14	poda alta a 7,5 m de 300 arb/ha
10	raleo a desecho
18	raleo 60 m^3/ha + 38 mruma/ha
26	raleo 113 m^3/ha + 22 mruma/ha
34	raleo 100 m^3/ha + 16 mruma/ha
45	Cosecha final 600 m^3/ha + 12 mruma/ha

Fuente: Elaboración propia con base en expertos calificados

INFOR

Cuadro 19. Costos para plantación pura de pino oregón

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

Fuente: Elaboración propia con base en expertos calificados

INFOR

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

Tipo de troza	Precio ($/m³)
Metro ruma	8.000
Madera aserrada raleo 2-3	15.400
Madera aserrada raleo 4 y cosecha	23.100
Madera clear	53.500

Nota: Precios puestos a orilla de camino
Fuente: Elaboración propia con base en expertos calificados

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

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

Fuente: Elaboración propia

6.2.2 Plantación mixta

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

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

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

INFOR

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

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

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

Fuente: Siebert (2004). Com. Personal

INFOR

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

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

Fuente: Siebert (2004). Com. Personal

INFOR

Cuadro 24. Costos de plantación mixta de pino oregón

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

Fuente: Siebert (2004). Com. Personal

INFOR

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

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

Fuente: Elaboración propia

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

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

Fuente: Elaboración propia

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

INFOR

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

6.3 CONSIDERACIONES SOBRE LOS ANÁLISIS ECONÓMICOS

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

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

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

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

Cuadro 27. Indicadores de rentabilidad para plantación pura de nogal

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

INFOR

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

Fuente: Elaboración propia

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

En el caso de plantaciones puras de nogal efectuadas con malas prácticas 1, la opción tecnológica media presenta un VAN al 10% de $ -419.828/ha y una TIR de 9,0% con una rotación de 35 años; mientras que la opción tecnológica alta presenta un VAN al 10% de $ 513.922/ha y una TIR de 10,8% con una rotación de 27 años. Queda en evidencia que el esquema de tecnología media si se aplican malas prácticas de tipo 1 genera pérdidas económicas.

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

INFOR

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

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

Fuente: Elaboración propia

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

INFOR

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

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

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

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

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

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

Fuente: Elaboración propia

INFOR

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

INFOR

7. CONCLUSIONES

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

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

Plantaciones Mixtas

- La presencia de varias especies en los ecosistemas forestales es común en la naturaleza. Estos modelos naturales pueden ser reproducidos con éxito en plantaciones artificiales para la producción de madera de calidad, en los que tanto la calidad como la cantidad puede ser incrementada por medio de asociaciones con diferentes especies.

- Los principales efectos de las plantaciones mixtas, si son bien diseñadas y realizadas, pueden resumirse así:
  - Incremento de la fertilidad del suelo, especialmente en mezclas que incluyen especies fijadoras de nitrógeno.
  - Baja competencia entre árboles, particularmente en asociaciones bien diseñadas entre especies con diferente morfología del sistema radicular, forma de copa y necesidades nutricionales.
  - Diversificación de la producción, debido a que las especies secundarias pueden entregar productos diferentes a los de las especies principales.
  - Mejor calidad del fuste de las especies principales.
  - Mayor resistencia a enfermedades.
  - Simplificación de las técnicas de cultivo en los primeros años después de la plantación.

- La asociación de coníferas y latifoliadas proporciona flexibilidad económica, incrementa la diversidad biológica y los beneficios estéticos, en comparación con las plantaciones tradicionales puras.

- Los bosques abundantes en especies son menos vulnerables a ataques de plagas y enfermedades y, generalmente, son necesarias menos intervenciones, o intervenciones más simples, que en las plantaciones puras. Por los riesgos que significan, no se aconseja establecer plantaciones puras o monoclonales en superficies superiores a 2-3 hectáreas.

INFOR

- Se confirma la fragilidad de las plantaciones puras, al mismo tiempo que se presenta la oportunidad de usar estructuras mixtas en plantaciones con objetivo principalmente productivo.

- Casos de plantaciones mixtas exitosas incluyen situaciones que generan múltiples beneficios; situaciones en que la apariencia artificial de las plantaciones puras no es aceptable o poco deseable; en que el objetivo es reconstituir ecosistemas naturales originales; en que el uso de una asociación es requerido para que las especies acompañantes proporcionen sombra y protejan las especies de mayor valor del ataque de plagas y enfermedades; o cuando se requiere una garantía contra la muerte o desarrollo pobre de una (s) especie(s), o de la caída del precio o demanda de ciertas especies.

- En plantaciones forestales de latifoliadas nobles, su combinación con especies arbóreas, arbustivas y herbáceas puede representar un sistema de uso del suelo favorable en muchas situaciones ambientales y socioeconómicas.

- En condiciones de sitio óptimas para la(s) especie(s) seleccionada(s), resulta apropiado establecer la(s) especie(s) secundaria(s) con un año de anticipación, para manejar apropiadamente el vigor vegetativo de la(s) especie(s) objetivo.

Arboricultura

- La técnica de la arboricultura para la producción de madera de alta calidad está orientada a:
  - Obtener productos comercializables en mercados especializados;
  - Reducir los tiempos de producción;
  - Reducir la inversión inicial y los costos de manejo;
  - Obtener una rentabilidad mayor a la obtenida por medio de técnicas silvícolas tradicionales.

  La arboricultura puede ser aplicada por medio de plantaciones puras o mixtas, y se aplica normalmente con especies nobles o de alto valor.

- La producción de madera de calidad en plantaciones mixtas bajo la técnica de la arboricultura requiere de lo siguiente:
  - Prestar atención a la selección del sitio;
  - Prestar atención a la selección de la especie;
  - Prestar atención a la calidad y selección del material de vivero;
  - Mejorar las condiciones del sitio, considerando la estructura del suelo, la disponibilidad de agua y su contenido mineral;

INFOR

- Elaborar un diseño que facilite la ejecución de las técnicas de cultivo;
- Maximizar el crecimiento en forma compatible con la calidad del producto deseado;
- Minimizar la duración del ciclo productivo;
- Reducir el número de raleos para evitar anchos irregulares de los anillos de crecimiento;
- Obtener un producto final lo más homogéneo posible.

- El impacto de las asociaciones sobre el crecimiento es positivo y de una magnitud interesante, con aumentos significativos del diámetro y altura con respecto a la situación pura, aunque el impacto varía según la asociación específica utilizada.

- La presencia de especies secundarias rústicas de rápido crecimiento dentro de diseños pie a pie, en hileras o en grupos, mejora el crecimiento de las especies en 40-50% respecto a la situación pura.

- Los productos procedentes de plantaciones mixtas orientadas a la producción de madera de alto valor que alcanzan mayores precios corresponden a madera foliable y aserrable, idealmente sin defectos, con anillos de crecimientos de anchos uniformes y color homogéneo.

- No existe una definición de calidad "*per se*", sino que ésta se define específicamente para un objetivo dado (por ejemplo madera estructural, para chapas, etc.).

- Las exigencias (normativas formales y otras empleadas por el sector privado en la comercialización) del mercado europeo y norteamericano son considerables y tienen una significativa incidencia en la definición del precio de transacción.

- Existen procesos tecnológicos específicos que deben realizarse para comercializar madera de alto valor a buen precio, entre los cuales destacan la vaporización dentro de proceso de secado.

Sistemas agroforestales

- Las ventajas de los sistemas agroforestales, en comparación con las plantaciones puras, recaen dentro del ámbito económico y ecológico; los cultivos permanentes incrementan la fertilidad del suelo y contribuyen a reducir su erosión. Una excepción es la asociación de especies principales con alfalfa, ya que presenta un efecto alelopático negativo importante para su desarrollo.

- El principal problema de los sistemas conocidos como "silvocultivos" en áreas mediterráneas corresponde a la competencia por agua entre los árboles y los cultivos, lo que reduce el crecimiento

INFOR

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

Rentabilidad

- En términos de rentabilidad, las evaluaciones económicas presentadas en este documento y otras estudiadas permiten concluir que las plantaciones mixtas, si se diseñan y manejan en forma adecuada, permiten obtener mejores indicadores que, en muchos casos, son significativamente superiores a los obtenidos en plantaciones puras de la misma especie principal.

- En el caso del nogal las diferencias entre los modelos puros y mixtos son impactantes, considerando solamente aspectos productivos (2,2 a 3,8 veces superiores en el sistema mixto), mientras que en caso del pino oregón estas diferencias son menores, aunque no por ello menos relevantes (0,6 y 1,1 veces superior en el sistema mixto). Si se cuantificaran parte de los otros beneficios de los sistemas mixtos, estas diferencias serían aun mayores, tanto desde el punto de vista de una evaluación privada como social y ambiental.

INFOR

ANEXO 1. ESPECIES CONSIDERADAS EN EL DOCUMENTO

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

INFOR

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

INFOR

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

INFOR

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

INFOR

ICONOGRAFIA ESPECIES



INFOR

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

INFOR

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

I) Experiencias con especies productoras de maderas nobles

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

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

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

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

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

INFOR

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

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

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

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

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

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

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

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

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

INFOR

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

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

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

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

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

INFOR

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

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

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

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

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

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

INFOR

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

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

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

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

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

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

INFOR

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

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

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

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

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

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

INFOR

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

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

Fuente: Buresti (1993b)

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

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

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

Fuente: Buresti (1993b)

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

INFOR

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

El fresno resulta más alto con olivo de bohemia, mientras que la robinia estimula su crecimiento en los primeros años, efecto que tiende a anularse después que ésta se ha cortado a ras del suelo (*op. cit.*).

En estas experiencias se ha observado que los mayores diámetros en la farnia, fresno, nogal y cerezo se registran cuando se asocian con aliso italiano. En el caso de la farnia, las plantaciones con aliso son las únicas que presentan incrementos diamétricos mayores respecto a las plantaciones puras. Fresno presenta el máximo crecimiento asociado con olivo de bohemia, confirmando la validez de esta mezcla, mientras que cuando se asocia con aliso el diámetro es ligeramente superior respecto a las plantaciones puras (*op. cit.*).

Este especialista recomienda efectuar plantaciones mixtas debido a que la simplificación de los ecosistemas en el caso de las plantaciones puras las hace menos resistentes a ataques y adversidades.

- Otra experiencia es reportada por Buresti y Frattegiani (1994a), quienes encontraron que asociando farnia (especie principal) con aliso italiano se obtenían incrementos significativamente superiores en altura y diámetro respecto a la situación pura; también se determinó que el aliso fija 50 kg/ha/año de nitrógeno, los que están a disposición de la farnia. La mayor altura del aliso estimula el crecimiento de la farnia, competencia que no pone en peligro la plantación debido a la conformación de las copas (de tipo piramidal en aliso) y a que el rápido crecimiento inicial del aliso disminuye notablemente en los años sucesivos. Finalmente, se presenta una diferencia importante en la calidad de la madera de farnia obtenida de las dos situaciones (Figuras 10 y 11). En la plantación mixta se obtienen fustes con menos ramas más finas, sin ramas muertas, mientras que esta especie en plantación pura presenta fustes más achaparrados y ramas más gruesas y secas, lo que es de mucha importancia en arboricultura, porque la presencia de ramas muertas no sólo disminuye la copa viva sino que aumenta la probabilidad de emisión de ramas epicórmicas al momento del raleo, con una disminución del valor tecnológico y económico de la madera.

En el Cuadro 3 se presentan los valores dasométricos de las situaciones pura y mixta de *Quercus robur*, establecidos en 1983 y 1984, respectivamente.

INFOR

Cuadro 3. Crecimiento de una plantación pura y mixta de *Quercus robur* para el período 1989 – 1992

Variables/años	Plantación Pura				Plantación Mixta			
	1989	1990	1991	1992	1989	1990	1991	1992
Altura media (m)	5,11	5,64	6,24	7,20	5,56	6,36	7,09	8,32
Incremento medio anual altura (m/año)	0,73	0,71	0,69	0,72	0,93	0,91	0,89	0,92
Incremento corriente anual altura (m/año)	0,53	0,60	0,96		0,80	0,73	1,23	
Diámetro medio (cm)	7,1	8,6	9,8	11,1	6,6	7,9	9,1	10,3
Incremento medio anual diámetro (cm/año)	1,02	1,07	1,09	1,11	1,09	1,12	1,14	1,14
Incremento corriente anual diámetro (cm/año)	1,41	1,25	1,31		1,31	1,26	1,17	

Fuente: Buresti y Frattegiani (1994a)

Analizando los datos se observa una diferencia en la distribución diamétrica del encino, observándose que en la plantación mixta existe una mayor dispersión en las clases diamétricas más bajas (lado izquierdo de la ordenada) respecto de la plantación pura.

Respecto a la especie acompañante (aliso italiano), se observa que está finalizando su fase juvenil de rápido crecimiento, entrando en la madurez, con notable precocidad respecto al encino. Estos antecedentes se validaron con los datos dendrométricos obtenidos, observándose que el incremento corriente del aliso siempre es sensiblemente menor que el incremento medio.

- Plantación experimental en Vicensimo (Valdarno, Italia) establecida en 1983, en que se probó la plantación pura de farnia a 3 x 3 m y, posteriormente, en 1984 la plantación mixta con aliso italiano (50% de cada especie), con el mismo distanciamiento (Cutini *et al.*, 1997).

Los resultados muestran que la plantación mixta, no obstante presentar una edad menor que la pura, tiene un crecimiento superior. Es importante señalar el rápido crecimiento del aliso italiano, de mayor desarrollo en altura y en diámetro respecto a la farnia; no obstante lo cual

INFOR

los incrementos en diámetro y altura del aliso italiano presentan un desarrollo decreciente, con valores del incremento corriente inferiores a los del incremento medio.

A pesar de que la plantación mixta de farnia es de edad inferior, presenta valores de diámetros análogos a la pura y muy superiores en altura y volumen (Figura 12). Los valores de incremento medio de diámetro, altura y volumen son siempre superiores en la plantación mixta que en la pura, mientras que el incremento corriente en la pura se caracteriza por un decrecimiento más rápido y marcado.

La diferencia de crecimiento entre la farnia establecida en forma pura y mixta es significativa para todos los parámetros considerados, excepto el diámetro (aunque es siempre superior en el mixto) y por el incremento corriente de la altura (Cuadro 4).

Cuadro 4. Parámetros dasométricos en plantación pura y mixta de farnia

Variables	Año 1995	
	Plantación pura	Plantación mixta
Altura media (m)	8,58	9,87
Incremento medio anual altura (m/año)	0,78	0,99
Incremento corriente anual altura (m/año)	0,73	0,63
Diámetro medio (cm)	12,8	13,0
Incremento medio anual diámetro (cm/año)	1,1	1,2
Incremento corriente anual diámetro (cm/año)	0,9	1,0
Volumen medio (dm^3)	55,5	65,6
Incremento medio anual volumen (dm^3/año)	4,3	5,5
Incremento corriente anual volumen (dm^3/año)	9,1	11,0

Fuente: Cutini *et al.* (1997)

INFOR

En farnia la distribución de frecuencias diamétricas presenta diferencias sustanciales; en la plantación mixta se observa una distribución asimétrica a causa de la mayor importancia de la clase diamétrica grande (Figura 13), situación que no ocurre en una plantación pura.

Destaca que la farnia en plantación mixta tiene fustes más regulares, menor número de ramas, mayor desarrollo en altura, y una copa formada por ramas delgadas, mejor distribuidas y horizontales.

Los resultados atribuyen un rol positivo a su asociación con aliso italiano. Esto también se relaciona con la pobreza inicial del sustrato, observándose un mejoramiento del suelo gracias a la fijación de nitrógeno del aliso, que se integra a través de la descomposición de la hojarasca y de las raíces, de los exudados radiculares y de los nódulos radiculares (Cutini *et al.*, 1997).

- Plantación experimental establecida en Valdarno, Italia, en 1988, en un terreno de relave de la central termoeléctrica ENEL, donde se efectuaron cuatro tratamientos (Buresti y De Meo, 1998a):

    1. Nogal puro plantado a 7 m de distancia con diseño cuadrado;
    2. Plantación mixta de 50% de nogal y 50% de cerezo distanciados a 7 m;
    3. Igual que en el módulo 1, pero con dos especies de acompañamiento fijadoras de nitrógeno (aliso italiano y olivo de bohemia), a 3,5 m de la especie principal;
    4. Igual que en el módulo 2, pero con dos especies de acompañamiento fijadoras de nitrógeno (aliso italiano y olivo de bohemia), a 3,5 m de la especie principal (Figura 14).

Su objetivo fue comparar la respuesta del nogal puro respecto a nogal asociado a cerezo (especie principal caracterizada por una arquitectura de las raíces y un ritmo de crecimiento distinto al nogal), así como analizar los efectos inducidos en la especie principal por especies acompañantes fijadoras de nitrógeno.

En 1991 algunos nogales fueron atacados por *Stisctocephala bisonia*, una chicharra de origen norteamericano, cuya hembra deposita los huevos en la corteza de las ramas jóvenes. La evaluación del daño concluyó que el nogal puro sufrió la mayor mortalidad (58%), mientras que el ataque se vio fuertemente reducido en los tratamientos que incluían las especies fijadoras de nitrógeno (19% de mortalidad).

Durante 1996 y 1998 el cerezo fue intensamente afectado por un ataque de roedores que anillaban la zona del cuello, secando las plantas en pie. Se evaluó que el daño causado por los roedores fue

INFOR