

PLANTACIONES MIXTAS

Una técnica de innovación
productiva apropiada para la
producción de maderas valiosas



0004124



VERONICA LOEWE M. MARTA GONZALEZ O.



INFOR



GOBIERNO DE CHILE
FUNDACION PARA LA
INNOVACION AGRARIA



INFOR



PLANTACIONES MIXTAS: UNA TECNICA DE INNOVACIÓN PRODUCTIVA APROPIADA PARA LA PRODUCCION DE MADERAS VALIOSAS

Verónica Loewe M.¹; Marta González O².

1. Ing. Forestal (U. Chile, Chile); Especialización en Producción de Maderas Nobles (U. Bolonia, Italia); MPA (U. Harvard, EEUU). Profesora Pontificia Universidad Católica de Chile.
2. Ing. Forestal (U. Chile).

I.S.B.N: 956-7727-82-1

Registro propiedad: 123.552

Diseño y Diagramación: Rodrigo Verdugo

Impresión: Salesianos S.A., Diciembre 2001

La información que entrega el presente documento es el resultado del proyecto "Plantaciones Mixtas: productividad, diversidad y sustentabilidad para el desarrollo forestal"; en ejecución entre 2000 y 2004: Dicho proyecto así como la publicación de este documento, cuentan con el financiamiento de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA).

1. GENERALIDADES

La diversificación de especies puede ser realizada mediante plantación puras o mixtas. Esta última modalidad debe ser planificada considerando la respuesta de cada especie a condiciones mixtas, dándose preferencia a diseños que pueden ser más productivos que los sistemas puros (Montagnini *et al.*, 1995).

La cosecha procedente de plantaciones mixtas es más rica en diversidad de productos forestales que la de rodales puros, además de ayudar a disminuir los riesgos de pérdidas ante mercados inestables. La diversificación de especies en las plantaciones también puede ser deseable producto de las incertidumbres acerca del comportamiento de la especie, del origen de la semilla y de eventuales daños causados por insectos (*Op.cit.*).

Asimismo, tienen la ventaja de mejorar la calidad de la madera (ramas delgadas, mejor forma del tallo, regularidad de crecimiento anual en anillos) y disminuir los riesgos biológicos y económicos que pueden llegar a hacer fracasar una plantación.

Ultimamente se ha estado renovando y creciendo el interés por la instalación de rodales mixtos (Luis y Monteiro 1998). Este interés se basa en el conocimiento sobre asociaciones, ya que estas, en general, son biológicamente

más estables, menos susceptibles a riesgos naturales (Kenk, 1992 citado por Luis y Monteiro, 1998), hacen un mejor uso de los diferentes horizontes del suelo, producen una alta calidad de madera (Brown, 1992 citado por Luis y Monteiro, 1998), aumentan la regeneración natural del rodal y aseguran muchos beneficios indirectos (Matthews, 1989 citado por Luis y Monteiro, 1998). Kelty (1992 cit. por Luis y Monteiro 1998), afirma que hay un incremento potencial en productividad con rodales y plantaciones mixtas, comparado con rodales puros.

Las plantaciones mixtas pueden estar compuestas por especies de rápido crecimiento de relativamente alta producción y por especies de crecimiento lento que aumentan el valor económico, proporcionando una fuente de ingresos diversa.

2. CONCEPTOS

La **arboricultura** se define como una ciencia aplicada que se dedica al cultivo durante un periodo de tiempo de árboles individuales o de un conjunto de árboles, con el objetivo de producir madera con determinadas características. Dicha disciplina se caracteriza por técnicas culturales repentinas, racionales, fundadas sobre bases económicas, ecológicas, agronómicas y/o silviculturales. Por ello, la arboricultura no puede ser clasificada completamente en el ámbito

agrario ni tampoco en el forestal, sino que se ubica en una posición intermedia entre los dos, con un carácter propio y único.

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

La **arboricultura de cantidad** tiene por objetivo producir grandes cantidades de madera de determinadas dimensiones, en periodos relativamente breves, sin prestar mayor atención a la calidad estética o tecnológica de la madera producida. En este caso el elemento base de referencia es el conjunto de árboles, y la duración del ciclo productivo está condicionada por alcanzar, en el menor tiempo posible, determinadas dimensiones prefijadas. Se aplica con álamo, eucaliptos y pinos, entre otras.

La **arboricultura de calidad** tiene por objetivo producir, en periodos relativamente breves, madera con determinadas dimensiones y características estéticas y tecnológicas que permitan su colocación en segmentos altos del mercado. En este caso el elemento base de referencia es cada árbol individual de la(s) especie(s) principal(es) debido a que la mayor parte del ingreso depende directamente de la idoneidad y de la calidad de cada individuo en particu-

lar con relación a un objetivo específico, en general asociado a productos lo más rentable posible. En este caso la duración del ciclo productivo está condicionada por alcanzar, en el menor plazo posible, características dimensionales, estéticas y tecnológicas en cada árbol de la(s) especie(s) principal(es).

La silvicultura y la arboricultura tienen diferentes objetivos. La primera tiene por sujeto al ecosistema forestal íntegro y cada intervención se realiza considerando su evolución; en la segunda, el sujeto es cada árbol de la plantación, a los que se da mucha importancia pues cada uno debe generar un ingreso al final de la rotación.

Principios Generales de la Arboricultura: Existen seis principios generales que caracterizan la arboricultura, y que pueden ser sintetizados de la siguiente forma:

1. **Temporalidad y reversibilidad del cultivo:** La temporalidad es una de las peculiaridades distintivas de la arboricultura; las plantaciones se caracterizan por destinar a dicho objetivo el terreno exclusivamente durante la duración del ciclo productivo (Mercurio, 1988). En este sentido el cultivo de árboles forestales se puede asimilar a un cultivo agrícola (Buresti y Frattegiani, 1995a).
2. **Objetivo productivo:** Las planta-

ciones de arboricultura, aún cuando generan beneficios adicionales relacionados a la presencia de una plantación o de determinadas especies, se realizan con el objetivo principal de producir madera. Ninguna actividad realizada para maximizar un beneficio secundario debe obstaculizar el logro del objetivo productivo.

3. Duración del ciclo productivo:

La duración del ciclo productivo no puede ser definida a priori. De hecho, ésta depende de numerosas variables, algunas de las cuales actualmente no se pueden individualizar y/o cuantificar con la precisión requerida (por ejemplo, adaptación de la especie al sitio, magnitud de su reacción frente a los cuidados culturales realizados, variaciones de las características de los productos demandados con relación a nueva maquinaria para la transformación de la madera, fluctuaciones de precios de los mercados, entre otras variables).

4. Diversificación: Las plantaciones deben ser lo más diversificadas posible para limitar y repartir los riesgos bióticos, abióticos y económicos, permitiendo tener siempre un cierto margen de acción. Las plantaciones monoclonales son poco aconsejables sobre la base de experiencias, entre las cuales el cultivo del álamo en Italia es un claro ejemplo.

5. Complementareidad de funcio-

nes: Aunque se trata de plantaciones con objetivo principalmente productivo, también desarrollan una serie de funciones complementarias, tanto en términos privados como sociales, las que se deben exaltar. En muchos casos las ventajas derivadas de las funciones complementarias son muy importantes porque generan un ingreso en tiempos menores respecto a la producción principal, lo que ayuda en forma importante a reducir los costos de operación.

6. Compatibilidad ecológica: Todas las intervenciones deben ser realizadas tratando de minimizar el impacto ambiental y las repercusiones ecológicas negativas (Buresti, 1994), buscando soluciones técnicas que permitan maximizar el nivel de autosuficiencia de la plantación, disminuyendo los aportes energéticos externos (Buresti y Frateggiani, 1995a).

Plantaciones de arboricultura factibles:

Las plantaciones de arboricultura factibles de realizar consideran cuatro alternativas principales, a saber:

1. Plantaciones puras: Se trata de plantaciones monoespecíficas constituidas por la especie principal seleccionada.

2. Plantaciones mixtas: Se trata de plantaciones con dos o más especies, que pueden estar constituidas tanto por varias especies

principales como por una o más especie(s) principal(es) asociadas a una o más especie(s) secundaria(s), sean éstas arbóreas o arbustivas.

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

Fases de desarrollo de un árbol, técnicas de manejo y productos a obtener

Un concepto de gran importancia es el de las etapas de desarrollo de un árbol, que se representa en la Figura 1.

Existe una primera etapa, que puede abarcar de 1-3 años después de la plantación, y que consiste en el establecimiento de un sistema radicular frondoso, equilibrado y armónico con relación al tamaño y forma del individuo en particular. En esta etapa no es importante que la planta crezca, sino que es más bien deseable que concentre sus energías en este primer proceso.

Luego existe una segunda etapa, graficada en la Figura 1, en que la planta se forma en estructura; en este periodo se debe formar el eje central que constituirá el fuste de alto valor. Por ello se deben efectuar podas de formación y de levante que permitan, al momento de su finalización, contar con un eje (fuste) sin ramas, defectos ni deformaciones. Esta etapa cobra gran importancia a nivel de manejo, ya que es cuando se definen las bases para la calidad del producto final.

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

Esta condición puede ser lograda con gran "input" energético, a través de un mayor número de intervenciones; o con uno menor, a través del acondicionamiento de la especie principal por medio de la introducción de una(s) especie(s) acompañante(s) (Buresti y

Mori, 1998). Para ello se deben seleccionar plantas que puedan modificar la estructura o la arquitectura de la especie principal, el microclima y/o el terreno.

En este caso, puede ser necesario controlar la competencia entre especie principal y secundaria por medio de raleos, como en el caso del uso de especies secundarias de mayor velocidad de crecimiento, lo que en determinadas ocasiones es útil para estimular el desarrollo longitudinal y una arquitectura correcta (*Op. cit.*).

Finalmente, la duración de la rotación es variable en función de los siguientes aspectos:

- (a) Tiempo en que la o las especie(s) alcanzarán dimensiones o características remunerativas;
- (b) Tipo de productos que demandará el mercado en los próximos 20, 30, 40 ó 50 años;
- (c) Reacción que tendrán los árboles a los cuidados culturales programados durante su cultivo;
- (d) Tiempo, en el caso de las plantaciones mixtas, en que se obtendrán las dimensiones comercializables para las diferentes especies empleadas (difícilmente alcanzarán la maduración en forma contemporánea);
- (e) Tipo de continuidad que tendrá la plantación. Esto porque plantaciones gestionadas en forma intensiva durante toda la rotación llegarán a dimensiones comerciales antes que aquellas gestionadas en forma extensiva; pero si el terreno es vendido o por otra razón cambia su tipo de gestión, resulta imposible establecer con anticipación cuándo podrá ser comercializable;
- (f) Efectos de la aparición de maquinaria que permitirá procesar en forma óptima material de menores dimensiones a aquella definida como producto objetivo inicialmente; o si el mercado pagará precios elevados por productos diferentes a los programados.



Figura 1: Fases de desarrollo de un árbol y su impacto en la calidad de su madera³.

3. Fuente: Buresti, 2000. Com. Personal.

3. CALIDAD DE LA MADERA

En el caso de la arboricultura, la primera consideración de carácter general apunta a la selección de la especie; respecto a ésta, las características de la madera serán mejores cuando las condiciones de crecimiento de la planta sean mejores; la elección de la especie no puede ser efectuada sólo sobre la base de una necesidad del mercado, sino que también se debe recurrir a conocimientos técnicos acerca de las exigencias de cada una dentro del ambiente en el cual se insertan (Berti, 1995).

La variabilidad que induce un determinado sitio sobre las características tecnológicas de cada especie es extremadamente importante. Respecto a la variabilidad entre árboles individuales; esto, en gran medida, es controlado genéticamente y, por lo tanto, puede ser reducido mediante la técnica de mejoramiento genético; por ello se debe poner especial cuidado al seleccionar el tipo de material a utilizar en una plantación. Sin embargo, resulta muy difícil disminuir la variabilidad al interior de una misma planta, ya que ésta se ve influenciada por múltiples factores.

La mayoría de los árboles presentan madera con características diferentes en la base y en la punta del fuste, así como entre la porción central vecina

a la médula y aquella externa próxima a la corteza, y en el interior de los anillos anuales. Estas diferencias, prácticamente inevitables, se acenúan con crecimientos no correctos de la planta, sean éstos imputables al hombre o a fenómenos atmosféricos (viento, nieve, etc.) o al sitio (exposición, características del terreno, etc.). Por ejemplo, cada vez que el fuste crece de forma no rectilínea o no vertical, o cuando su peso no está bien centrado respecto a la base de la planta, como ocurre en el caso de copas asimétricas, se tiene la formación de un particular tipo de madera (denominado madera de reacción), con características muy particulares. Tal anomalía del tejido leñoso constituye un grave defecto en cuanto a la influencia negativa, no sólo en el comportamiento físico-mecánico, sino también en la trabajabilidad de la madera.

Por ello la importancia de las prácticas silviculturales, que juegan un rol de primera importancia en el control de las características tecnológicas de la madera producida a partir de plantaciones arbóreas. Este control puede ser obtenido de dos maneras: directamente, produciendo cambios fisiológicos al interior de la planta (ejemplo, mediante fertilización, raleos, etc.) o indirectamente, produciendo cambios en el fuste (por ejemplo mediante distancias de plantación particulares, raleos, podas), que a veces modifican los procesos fisiológicos (Figura 2).



Figura 2: Principales parámetros que influyen las características tecnológicas de la madera.

Fuente: Berti, 1995

Por lo tanto, los principales factores que influyen el buen desarrollo de una plantación y que regulan la variabilidad de las características tecnológicas de la madera de una determinada especie, pueden ser resumidos así:

- Especie idónea;
- Sitio apropiado;
- Material genético seleccionado;
- Plantación y cuidados culturales efectuados para producir madera con la menor cantidad de anomalías posible.

En arboricultura, la homogeneidad de la madera es sinónimo de calidad. La madera procedente de plantas que crecieron rápidamente y, por lo tanto, con anillos muy anchos, pueden ser considerados de calidad, siempre y cuando

esta característica se mantenga durante toda la rotación.

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

La noción de calidad se relaciona solamente con la producción de madera. En esta óptica, cuando se habla de calidad no se piensa ni en la estética, ni en ningún otro aspecto cualitativo, sino que sola y exclusivamente en la calidad de la madera de alto valor existente o potencial, ubicada en la parte inferior del tronco, por debajo de la inserción de la copa (IDF, 1981).

Los factores que determinan la calidad corresponden a (*Op.cit.*):

- a) Regularidad de crecimiento: la calidad de la madera está determinada por la regularidad de los anillos de crecimiento.
- b) Forma: Considerando los usos que se da a la madera, las trozas más apreciadas son rectas y cilíndricas. Curvaturas, fuertes disminuciones del crecimiento y excentricidades, corresponden a los defectos de forma más comunes. Cuando se trata de árboles jóvenes, no hay que ser demasiado exigentes, ya que curvaturas o irregularidades leves disminuyen o tienden a desaparecer con la edad.

- c) Ausencia de defectos: Desgraciadamente, los defectos de la madera son numerosos, pero en general fácilmente detectables desde el exterior. Los más importantes y frecuentes son los nudos, siempre presentes, pero más o menos gruesos y más o menos localizados o distribuidos. Los nudos son la marca de la existencia de una rama, y se controlan a través de podas, tanto naturales como artificiales. Un árbol puede ser considerado como satisfactorio cuando, en el transcurso de su crecimiento, las ramas han muerto y caído, o han sido eliminadas, mientras el tronco tenía un diámetro inferior a los 10-15 cm. Por ello un árbol de 20-25 cm de diámetro podado hasta los 6-8 m de altura puede ser considerado como perfectamente podado, ya que presenta nudos, pero concentrados en la sección central del tronco. Los nudos muertos son los defectos más importantes, ya que constituyen una entrada para las pudriciones del tronco, así como asilo para nidos de aves.
- d) Heridas: pueden ser originadas por el choque de maquinaria, por la caída de árboles cercanos, daños de animales, etc. Todas las heridas dejan una marca en la madera y constituyen siempre una puerta de entrada para patógenos.
- e) Presencia de cuerpos extraños: tales como clavos, alambre de púas, balas y otros también deprecian la madera.
- f) Dimensión: La madera de calidad se vende por m^3 , y su valor depende del diámetro del árbol. Mientras más grueso es el árbol, más aumenta el valor por m^3 . Determinados usos, como el debobinado o foliado, los más remunerativos, se realizan con las trozas más gruesas. También el largo de la troza influye; cuando se habla de largo de troza se refiere a la parte de ella que presenta un aspecto homogéneo, por ejemplo el largo sin ramas y sin defectos, y no el largo total que se pone a la venta. Una troza debe ser de al menos 3 m de largo, así como grandes largos homogéneos proporcionan un valor agregado, el que sin embargo resulta inferior al valor agregado que deriva de mayores diámetros. Es por ello que resulta altamente rentable producir en un mismo periodo trozas gruesas y cortas más que trozas delgadas pero de mayores largos. Por ello cuando se hacen selecciones en individuos jóvenes, se da prioridad a aquellos que son más gruesos a paridad de edad, siempre que presenten características interesantes de calidad, ya que los que han manifestado un mayor ritmo de crecimiento tienen mayores probabili-

dades de mantenerlo durante su ciclo.

- g) Heladas: producen grietas verticales en la madera, las que afectan desde la periferia hacia el corazón del fuste. Deprecian casi totalmente los árboles que presentan este defecto, el que se verifica en mayor proporción cuando se planta una especie en un sitio no adecuado.
- h) Fibra torcida: se aprecia desde el exterior por las fisuras oblicuas de la corteza; se da a veces en encinos y hayas.

Los nudos, heladas, heridas y cuerpos extraños son reconocibles desde el exterior por las anomalías que generan en la corteza. Todos los defectos conllevan una pérdida de madera, o una pérdida de valor de la misma, con una disminución del valor/m³.

4. PLANTACIONES MIXTAS, UN MODELO PRODUCTIVO INNOVATIVO

Las plantaciones mixtas corresponden a modelos que asocian especies principales que generan productos de alto valor al final de la rotación (aserrable y foliable), posibles de ser comercializados en el mercado internacional, y especies secundarias o acompañantes con productos como postes, polines, frutos u otros, a obtener en el transcurso de la rotación.

Estas especies secundarias favorecen el crecimiento de la especie principal, mejorando además su forma, lo que conduce a una mejor calidad de los productos.

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

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

Las dos categorías mencionadas no deben considerarse como rígidas; de

hecho una especie principal puede comportarse al mismo tiempo como especie de acompañamiento con respecto a la otra especie. Es este el caso de dos especies con diversa arquitectura del aparato radicular y aéreo, con diversas exigencias en elementos nutritivos y con diversos ritmos de crecimiento. Al contrario, también puede ocurrir que una especie secundaria pueda convertirse en la principal fuente de ingreso de la plantación cuando, por ejemplo, la especie principal no cumple con los objetivos prefijados.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas

Sobre la base de las indicaciones señaladas en la literatura, los efectos positivos que genera la presencia de varias especies adecuadamente asociadas, al interior de una plantación, pueden ser resumidas así (Buresti y Morandini, 1992; Buresti, 1993; Buresti *et al.*, 1993b; Buresti y Frattegiani, 1994b; Buresti y Frattegiani, 1995b; Buresti y De Meo, 1998a):

- Mejor calidad del fuste de la especie principal que se presenta más largo, más recto y con nudos más pequeños;
- Regularidad de los anillos de crecimiento anual, característica fundamental para valorizar la calidad de la madera;
- Aumento de la potencialidad productiva de la plantación, con la creación de mejores condiciones

para el crecimiento de la especie principal. Esto es posible con la utilización de especies fijadoras de nitrógeno que aumentan la fertilidad del terreno, o con especies capaces de modificar positivamente las condiciones ecológicas del sitio, ampliando el rango de cultivo de la especie principal;

- Reducción y simplificación de algunas operaciones culturales. Con la utilización de especies secundarias adecuadas, es posible condicionar el crecimiento de la especie principal, logrando un árbol más balanceado y con ramas más finas; el efecto de estas asociaciones, entonces, es facilitar y hacer menos drásticas las intervenciones de poda, lo que reduce las posibilidades de efectuar podas erróneas, con la consiguiente pérdida de capital (Figura 3). En el caso de asociaciones con especies arbustivas que tienden a cubrir rápidamente el terreno, en los años sucesivos a la plantación se tendrá un menor desarrollo de malezas y, por ende, una menor necesidad de efectuar limpieas.



Figura 3: Una poda mal efectuada puede llevar a la pérdida de la inversión realizada.

Cuando las asociaciones son escogidas en forma juiciosa y manejadas con criterios razonables, pueden satisfacer las características ecológicas locales y proporcionar una plantación más cercana a una situación natural (Guhathakurta, 1995).

- Reducción de riesgos bióticos y abióticos. Una asociación apropiada puede atenuar el daño debido a perturbaciones externas, por ejemplo de heladas primaverales. También la asociación entre especies puede disminuir el riesgo fitosanitario, limitando la difusión de eventuales agentes patógenos.
- Mejor utilización de la luz, de los recursos hídricos y de los elementos nutritivos en el caso que las especies asociadas tengan aparatos radiculares diferentes, diversas conformaciones de copa y diversas exigencias en nutrientes.
- Diversificación de la producción, dado que una plantación mixta produce varios tipos de productos madereros (madera aserrada, foliada, leña, etc.) y no madereros (frutos, miel, etc.).
- Mejor estética del paisaje en razón de la diversificación y de la mayor riqueza florística que frecuentemente se encuentra a nivel del sotobosque.
- Mayor estabilidad del sistema, debido a la riqueza de las especies vegetales y animales presentes, que confieren a la plantación una

mayor complejidad y capacidad de sostener perturbaciones externas.

- El sistema mixto se puede convertir en refugio para insectos predadores útiles a los cultivos agrarios vecinos.
- Mayor compatibilidad ambiental debido a la reducción de los aportes energéticos externos.

Buresti y Frattegiani (1995a), resumen de la siguiente forma las ventajas de las plantaciones mixtas:

- Incremento en la fertilidad del suelo, especialmente en mezclas que incluyen árboles fijadores de nitrógeno. El tipo y la cantidad de fertilizantes a utilizar varían de acuerdo a la especie, a los requerimientos nutricionales y a los niveles de fertilidad del suelo. La fertilización con nitrógeno, en general, juega un papel muy importante en la estimulación del crecimiento inicial y en el desarrollo de las plantas e incrementos en producción de biomasa (Boyer y South, 1985; Adams y Allen, 1985 citado por Masoodi *et al.*, 1996).
- Reducción de la competencia entre árboles, particularmente entre especies asociadas que tienen diferentes sistemas morfológicos radiculares, formas de copa y necesidades nutricionales.
- Diversificación de la producción, ya que las especies secundarias pueden entregar productos adicionales.

- Mejoramiento de la calidad del fuste de la(s) especie(s) principal(es).
- Aumento de la resistencia a enfermedades.
- Aumento del vigor de las especies, también en el caso de las de crecimiento lento.
- Facilitación de las operaciones culturales en los primeros años después de la plantación.

En resumen, las principales ventajas de las plantaciones mixtas son (Wormald, 1992; Loewe, 1999):

- Diversificación de la producción: es posible tener madera de varias especies en similares o diferentes rotaciones. También es posible considerar especies con cosechas de productos secundarios tales como madera para combustible, miel, frutos, etc.
- Riesgos bajos: La asociación es ventajosa ya que hay menores riesgos asociados por la incertidumbre económica, a variaciones de los mercados y a la duración de los ciclos de cultivo. También parece ser que la presencia de varias especies en una plantación limita la propagación e intensidad de ataque de insectos y enfermedades. Daños por heladas, viento o sequía, pueden afectar a algunas especies pero a otras no.
- Aumento de la producción: a través de asociaciones con efectos particulares en ciertas especies, o a través del uso de especies que

ayudan a mejorar el sitio (como las especies fijadoras de nitrógeno).

- Mejoramiento de la calidad de la madera: con asociaciones apropiadas es posible producir troncos de grandes dimensiones y con ramas delgadas, lo que representa un aumento en la calidad de la madera.
- Simplificación de algunas técnicas de cultivo: usando mezclas apropiadas (con árboles o arbustos) puede reducirse la cantidad de podas. Otro caso es el uso de arbustos o plantas que cubren el suelo, eliminando o reduciendo la necesidad de limpiar las malezas.
- Mejoramiento estético: Una población mixta es mucho más hermosa y puede aumentar la cantidad de fauna.

Desventajas

Buresti y Frattegiani (1995b) señalan algunas desventajas de las asociaciones de dos o más especies:

- Las decisiones de selección y distribución (diseño) de las especies deseadas es más compleja; es necesario equilibrar armónicamente la disposición y distribución de las diferentes especies, considerando los requerimientos y características de crecimiento de cada una.
- Los costos de plantación son más altos que en plantaciones monoespecíficas: esto se debe a la mayor densidad de plantas y a la mayor complejidad en la distribución de plantas.

- Experimentación en sus inicios: no hay explicaciones acerca de todos los mecanismos que regulan la interacción entre especies.
- Necesidad de mayor atención a la evolución de esta clase de plantaciones.

IMPACTOS DE LAS PLANTACIONES MIXTAS

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

A. Impacto en el crecimiento

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

Una plantación mixta le proporcionará a las especies valiosas protección y acompañamiento lateral; esta "libertad vigilada", cuidando de mantener un equilibrio estable,

le permite crecer en forma interesante a la sombra relativa de vegetación acompañante, que se controla en anualmente, para llegar más tarde a una libertad total, que se traducirá en productos finales deseados.

Una gran cantidad de ensayos repartidos en varios países europeos han sido establecidos para evaluar el efecto de las plantaciones mixtas, usando como patrón la plantación pura de la especie principal. El análisis de los datos disponibles muestra un efecto positivo sobre la especie principal, aunque su magnitud depende de la asociación y diseño específicos empleados.

Buresti (2000, com. Personal) señala que el impacto sobre el crecimiento de una asociación de especies depende de cuatro elementos principales: las especies principales seleccionadas, las especies secundarias seleccionadas, el sitio y las labores culturales.

B. Impacto en el estado fitosanitario

Las condiciones de crecimiento de rodales mixtos o puros pueden tener efectos diferentes en la manifestación de plagas y enfermedades dependiendo del agente causal. Por ejemplo, las enfermedades fungosas se extienden rápidamente en plantaciones puras, alcanzando altos niveles de plaga.

Aunque la intensidad del daño de insectos depende tanto de las especies como del tipo y especie del insecto, los diseños que mezclan especies pueden ser ventajosos para reducir los daños provocados por insectos o enfermedades (Montagnini *et al.*, 1995).

La severidad del daño ocasionado por insectos se espera que sea menor en plantaciones mixtas que en plantaciones puras, ya que los rodales monoespecíficos favorecen la extensión y acumulación de insectos individuales (Montagnini *et al.*, 1995).

Las plantaciones puras conllevan un riesgo fitosanitario, el que es aún más marcado si se emplean clones (Hubert, 1993). En este sentido se puede tratar de disminuir el riesgo a través del establecimiento de plantaciones multiclonales, pero en este caso se pierde la homogeneidad de la producción buscada inicialmente. Algunos investigadores han sugerido que rotaciones cortas en plantaciones tropicales puede no ser sustentable sin fertilización (Stanley y Montagnini, 1998). Esto se debe a que las plantaciones de rápido crecimiento, a menudo causan una baja en la fertilidad del suelo, que puede limitar la cosecha en pocas rotaciones, por lo que la oportunidad de manejar la nutrición del sitio a través de plantaciones mixtas merece consideración (Folster y Khanna, 1997 citado por Stanley y Montagnini,

1998). Las especies que forman una plantación mixta pueden ser complementarias con respecto a la conservación y/o reposición de algunos nutrientes del suelo (Montagnini *et al.*, 1995 citado por Stanley y Montagnini, 1998).

La formación de rodales mixtos también puede mejorar la sobrevivencia y crecimiento de las especies, además del contenido de nutrientes en suelos pobres, siempre y cuando se seleccione una mezcla conveniente de especies (Montagnini *et al.*, 1995). Por lo tanto se considera que el establecimiento de Plantaciones Mixtas es una fuente de dinero, economía y seguridad para los agricultores y propietarios (Montagnini y Porras, 1998). Se ha observado que la compactación del suelo causada por el sistema radicular de *Picea* en rodales puros puede causar un impacto negativo en el suelo, en la cama de semillas y en el establecimiento de árboles semilleros así como en el crecimiento de los árboles. Este tema es importante para la restauración forestal, especialmente cuando rodales puros secundarios de *Picea* pueden ser convertidos en rodales mixtos (Berger y Hager, 2000).

C. Impacto ambiental en sentido amplio

Es conocido que los bosques pueden jugar un rol crítico en la captura y almacenaje de grandes can-

tidades de carbono atmosférico, y de este modo contribuir a reducir la acumulación de dióxido de carbono (Montagnini y Porras, 1998). La superficie de plantaciones en el trópico corresponde a menos del 10% del área simultáneamente deforestada, por lo que la plantación de árboles compensa cerca del 0,3% del carbono liberado por deforestación (Bruenig, 1996 citado por Montagnini y Porras, 1998). Ello indica que la pérdida del carbono captado por los árboles asociado a la deforestación ocurre a mayor velocidad que el carbono que pueden captar las superficies reforestadas en esas condiciones (Brown y Adger, 1994 según Montagnini y Porras 1998).

D. Impacto económico

Las plantaciones puras conllevan un riesgo económico, ya que se concentran en un único producto a poner en el mercado, y toda modificación de la coyuntura económica puede significar consecuencias graves sobre su rentabilidad (Hubert, 1993).

En Suecia, la investigación de plantaciones mixtas de abedul con coníferas ha mostrado que es posible obtener una producción combinada de ambas (abetul y abeto, por ejemplo), sin pérdidas de producción de esta última, lo que se debe a que en su fase juvenil las coníferas no son capaces de

utilizar todo el potencial del sitio, por lo que agregar latifoliadas de crecimiento juvenil rápido permitiría la obtención de una producción complementaria adicional al modelo tradicional puro (Burger-Leenhardt, 1996).

En Francia, en plantaciones lineales también se considera la mezcla de especies (Bourgery y Castaner, 1988), principalmente para repartir en el tiempo los ingresos. En este sentido se usan en asociación especies de muy larga longevidad (como por ejemplo encinos); de rápido crecimiento (como álamo); y especies de longevidad media (como por ejemplo cerezo). Las modalidades de plantación son en grupo, por lo que cada sector se cosecha y replanta en forma aislada del resto. Las unidades consideradas para cada especie fluctúan entre 300 m (para que sea visible) y 2.000 m (para evitar la creación de vacíos demasiado grandes cuando se coseche).

La mezcla de especies de diferente longevidad y rotación permite de esta forma conjugar objetivos paisajísticos y económicos (*Op. cit.*).

E. Impacto social

En algunas especies, como es el caso del abedul en los países escandinavos, se aplica un tipo de manejo más cercano a la naturaleza debido a los requerimientos

del público, que rechaza grandes extensiones de monocultivo (Burger-Leenhardt, 1996).

Debido a ello, en Suecia la investigación sobre las plantaciones mixtas que asocian abedul con coníferas se ha definido como prioritaria.



EFFECTOS DE LAS ESPECIES SECUNDARIAS O ACOMPAÑANTES

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

Ejercen un estímulo en el crecimiento de la especie principal, favoreciendo la mantención de la dominancia apical y la formación de ramas de pequeñas dimensiones, son necesarias especies arbóreas secundarias. Estas deben caracterizarse por un notable desarrollo en altura en los primeros años y por un sucesivo ritmo de crecimiento menor, con el objeto de proporcionar un estímulo inicial al crecimiento de la especie principal y sucesivamente ejercer un menor efecto de competencia por la luz y el espacio (Figuras 4 y 5).

Figura 4: Plantación pura de nogal común de 14 años de edad



Figura 5: Plantación mixta de nogal común con aliso italiano y olivo de bohemia (ya raleado), de 14 años de edad.

Nótese la arquitectura individual y grupal lograda con la asociación.

Reducen al mínimo la competencia por luz, proporcionando también una protección lateral a la especie principal.

Brotación precoz para proteger la especie principal de eventuales heladas tardías, así como obstaculizar el desarrollo de malezas.

Fijación de nitrógeno, característica que puede ser muy importante particularmente en terrenos con carencia de este elemento.

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

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

Por ello, una vez elegida las especies a utilizar, es importante elegir una disposición adecuada de plantación, ya que es fundamental que la plantación esté perfectamente estructurada y balanceada, de modo de garantizar las

mejores condiciones de crecimiento para la especie principal. En otros términos, la plantación de las diversas especies debe resultar de la repetición de un determinado esquema de base que prevea una disposición equilibrada y simétrica de las especies secundarias respecto a la especie principal (Buresti y Frattegiani, 1994b); esto con el objeto de permitir un crecimiento equilibrado de la planta tanto en los primeros años de su desarrollo como después de eventuales raleos (Buresti y Mori, 1995).

El módulo o esquema base tiene como variables la disposición en el terreno y la distancia de plantación, la especie utilizada y su disposición en el esquema. Se puede pasar de modelos muy simples constituidos por una sola especie a otros muy complejos compuestos por especies principales y secundarias arbóreas y arbustivas (*Op. cit.*), que proporcionan mayor flexibilidad a la plantación (Figura 6).

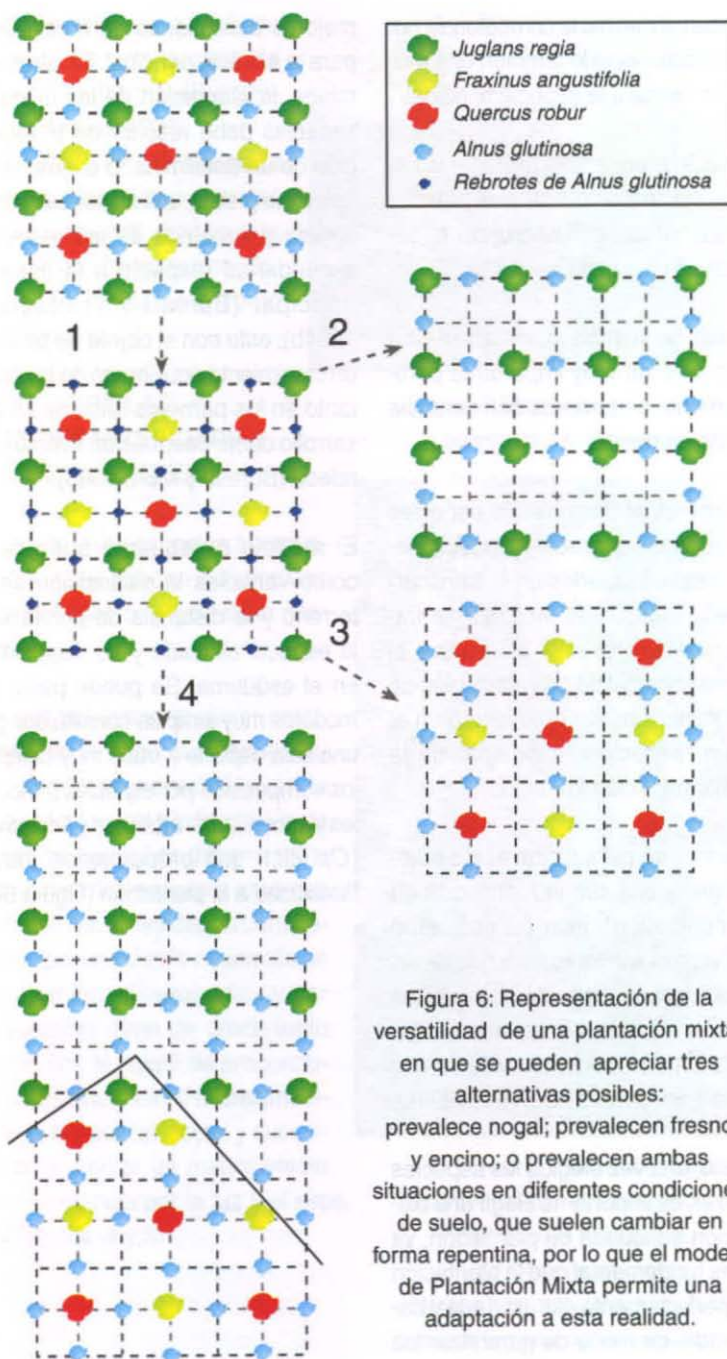


Figura 6: Representación de la versatilidad de una plantación mixta, en que se pueden apreciar tres alternativas posibles: prevalece nogal; prevalecen fresno y encino; o prevalecen ambas situaciones en diferentes condiciones de suelo, que suelen cambiar en forma repentina, por lo que el modelo de Plantación Mixta permite una adaptación a esta realidad.

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

Disposición de plantación

La disposición de plantación es una referencia geométrica modular que una vez llevado al terreno permite distribuir las plantas y establecer relaciones precisas entre los diferentes componentes. Cuando se organiza una plantación se debe considerar bien, qué tipo de disposición se va a utilizar, pues de ella dependerá la forma de realizar la instalación del riego por goteo o por surco, la instalación de un mulch, etc. De hecho, el costo de tal operación y la economía de su mantención está en función de la disposición espacial de la planta.

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

- La disposición cuadrada facilita la distribución de las plantas, la plantación misma y simplifica la remoción mecánica del suelo. Las

plantas gozan de la misma iluminación, pero quedan significativas superficies inutilizadas.

- La disposición rectangular tiene las mismas características pero se diferencia en que, al disminuir el distanciamiento de plantas sobre la hilera se reduce la cantidad de plástico para el mulch así como de material para las instalaciones de riego. El porcentaje de terreno cubierto por las copas es el menor de todos los casos, la iluminación no es uniforme, lo que puede llevar a copas de forma cuadrada, asimétrica, lo que podría causar irregularidades o curvaturas del tronco.
- La disposición a tres bolillos tiene las mismas características que la cuadrada porque se trata de la misma figura geométrica, pero que ha sufrido una rotación de 45°, lo que la hace más compleja (Figura 8).

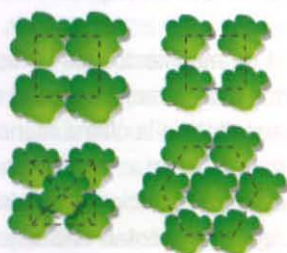


Figura 7: Cuando las copas de los árboles se juntan, es posible ver como las diferentes disposiciones de plantación conducen a una diferente utilización del espacio disponible.

Fuente: Buresti y Mori, 1995



Figura 8: En este ejemplo las plantas se disponen de la misma manera, y es posible apreciar que la disposición puede ser considerada cuadrada o a tres bolillos en función de la ubicación de los ejes de referencia.

Fuente: Buresti y Mori, 1995

- El rombo con 7 plantas tiene la ventaja de establecer una distancia constante entre las plantas y de maximizar la superficie cubierta por las copas. En una misma superficie y distancia entre plantas cabe un 15,5% más de plantas respecto a la disposición cuadrada. Denci *et al.* (1982) la definen como la más recomendable, aunque poco práctica.

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

En arboricultura existe la posibilidad de adoptar varias disposiciones

contemporáneamente, obteniéndose una disposición compuesta (Figura 9), que normalmente se adopta en el caso de las

plantaciones mixtas, que es más compleja de establecer en terreno con costos mayores derivados, pero que se puede adaptar de mejor forma a las exigencias de la empresa/propietario.

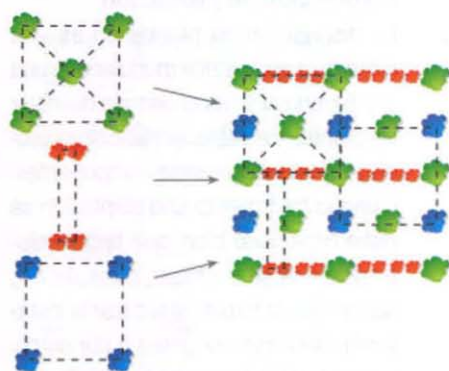


Figura 9. Ejemplo de disposición compuesta que incluye cuadrado, rectángulo y tres bolillos.

Fuente: Buresti y Mori, 1995

Distancia de plantación

Los árboles son beneficiados por una protección lateral y crecen mejor en ambiente "forestal" que aislados, a condición de que esta protección no cree una fuerte competencia y, sobre todo, una cubierta invasora. La compañía mejora la forma de muchas especies, entre ellas de nogal, y facilita la formación de un buen tronco (Buresti y Mori, 1995). Si se realizan

plantaciones densas debe aplicarse una serie de raleos cuando las copas empiecen a toparse. Por ello es importante, en la fase de diseño, evaluar la disponibilidad del propietario de efectuar raleos repentinos, y si hubiese dudas al respecto se aconseja adoptar distancias de plantación mayores aunque requiera de un mayor número de limpiezas u otros cuidados, pero que reducen o eliminan la necesidad de ralear.

Si se desea una plantación de nogal que garantice un ingreso mínimo en el primer raleo, no se debe utilizar una distancia de plantación menor a 7 m entre nogales, ya que distancias menores implican efectuar raleos de material que actualmente no es requerido en el mercado por sus dimensiones. Sin embargo, distancias inferiores (3,5 - 4,0 m) permiten obtener una planta de mejor forma y la posibilidad de seleccionar los individuos que llegarán al final de la rotación (*Op.cit.*).

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

Tipos de plantaciones mixtas factibles

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

Plantaciones en grupo: Constituidas por núcleos monoespecíficos, en los cuales el efecto de la asociación se expresa en forma más marcada en los márgenes de los grupos, y en forma limitada al centro de ellos. Su ventaja es que los esquemas de plantación son más simples y pueden adoptarse distanciamientos menores, en forma de poder garantizar una selección al interior de cada grupo. Además, este tipo se puede emplear en el caso que existan condiciones de sitio diferenciadas en el área.

Plantaciones en hilera: Se caracterizan por presentar hileras monoespecíficas, en que cada hilera puede tener al lado hileras de la misma especie o de especies diversas. Permite tener un mayor efecto lateral, garantizando la posibilidad de seleccionar los mejores individuos al interior de cada fila. En el caso que se usen especies de rotaciones distintas, este esquema favorece las operaciones de cosecha (Figura 10).

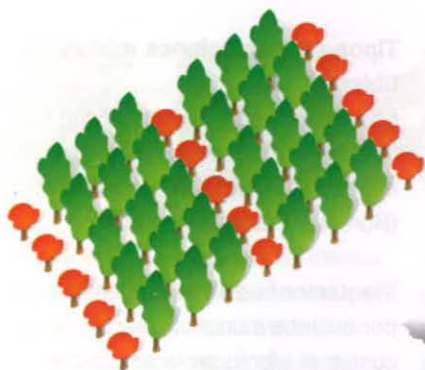


Figura 10: Ejemplo de plantación mixta en hilera.

Fuente: Buresti y Fratategiani, 1995b.

Asociaciones a nivel de árbol individual: Cada planta puede estar rodeada de especies distintas según un esquema simétrico y repetitivo. Esta tipología exalta al máximo el efecto de la asociación. En el caso que las especies tengan rotaciones distintas, es muy importante estudiar detenidamente el esquema de plantación, de modo de facilitar al máximo las operaciones de cosecha y extracción (Figuras 11 y 12).

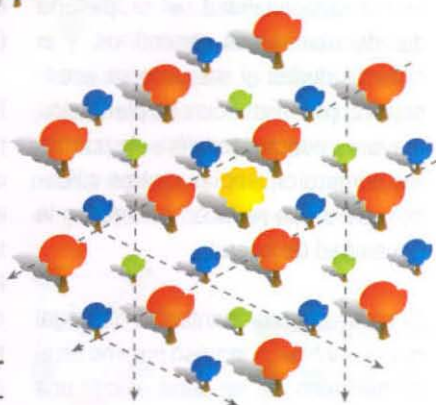
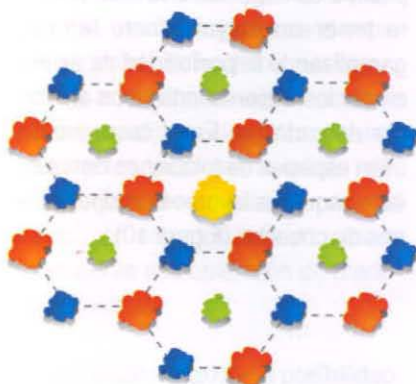


Figura 11: Ejemplo de un complejo esquema de asociación a nivel de árbol individual. Este esquema representa una unidad repetible sobre toda la superficie. Efecto del raleo.

Fuente: Buresti y Fratategiani, 1995b.

Se observa en la Figura 11 que, a pesar de la complejidad del esquema representado en la imagen superior, éste ha sido desarrollado considerando aspectos prácticos de gestión, entre ellos las vías de saca.

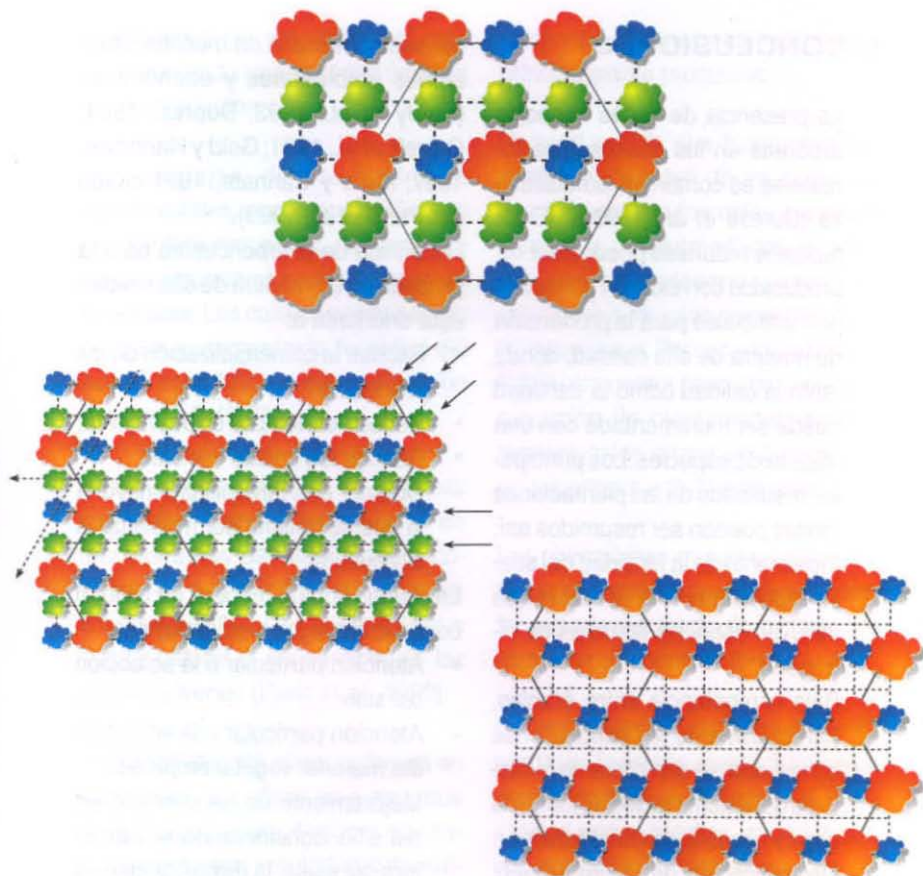


Figura 12: Ejemplo de un complejo esquema de asociación a nivel de árbol individual, en que las especies principal y arbustiva se disponen según un rombo con 7 plantas, y la arbórea secundaria con disposición rectangular.

En la Figura 12, se observa que con el raleo se interrumpe la competencia entre las especies arbóreas principal y secundaria. La especie arbustiva es dejada para mantener un microclima favorable al desarrollo de la especie principal para proteger el fuste de la exposición de la radiación y para impedir que se desarrollen bro-

tes epicórmicos, entre los objetivos de mayor importancia.

El modelo de plantación se debe definir después de efectuar un estudio del predio y área considerando las características del terreno, los objetivos seleccionados, la organización de la empresa y la capacidad de gestión de la misma.

5. CONCLUSIONES

- La presencia de varias especies arbóreas en los ecosistemas forestales es común en la naturaleza (Buresti *et al.*, 1993a). Estos modelos naturales pueden ser reproducidos con éxito en plantaciones artificiales para la producción de madera de alta calidad, donde tanto la calidad como la cantidad puede ser incrementada con una mezcla de especies. Los principales resultados de las plantaciones mixtas pueden ser resumidos así:
- Incremento de la fertilidad del suelo, especialmente en mezclas que incluyen especies fijadoras de nitrógeno.
- Baja competencia entre árboles, particularmente en asociaciones 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.
- Alta resistencia a enfermedades.
- Facilitación de las actividades culturales en los primeros años después de la plantación.

En plantaciones forestales de latifoliadas nobles, su combinación con especies arbóreas y herbáceas podría representar un sistema de uso

del suelo favorable en muchas situaciones ambientales y económicas (Baldy *et al.*, 1993; Dupraz, 1994; Garrett *et al.*, 1991; Gold y Hannover, 1987; Paris y Cannata, 1991 citado por Paris *et al.*, 1999).

La técnica de la arboricultura para la producción de madera de alta calidad está orientada a:

- Facilitar la comercialización de los productos;
- Reducir los tiempos de producción;
- Reducir los costos iniciales;
- Obtener una rentabilidad mayor a la que se obtiene por medio de la silvicultura.

La producción de madera de calidad conlleva las siguientes acciones:

- Atención particular a la selección del sitio;
- Atención particular a la selección del material vegetal empleado;
- Mejoramiento de las condiciones del sitio, considerando la estructura del suelo, la disponibilidad de agua, el contenido mineral;
- Búsqueda de un crecimiento máximo, compatible con la calidad del producto deseado;
- Duración del ciclo productivo lo más reducido posible;
- Disposición de los árboles de modo de facilitar la mecanización de las labores culturales;
- Pocos o nada de raleos para evitar anchos irregulares de los anillos de crecimiento;
- Búsqueda de un producto final lo más homogéneo posible;

- Cosecha por medio de tala rasa obteniendo una cantidad limitada de productos.

Las ventajas de los sistemas agroforestales, en comparación con las plantaciones puras, recaen tanto en las perspectivas económicas como ecológicas. Los cultivos permanentes pueden incrementar la fertilidad del suelo y contribuir a reducir su erosión (Paris *et al.*, 1999)

El principal problema de los sistemas conocidos como "silvocultivos" en muchas áreas del Mediterráneo corresponde a la competencia por agua entre los árboles y los cultivos, lo que puede reducir el crecimiento de los árboles jóvenes (Paris *et al.*, 1999).

El crecimiento del nogal cultivado en asociación con alfalfa es menor que en la situación pura. Mejores resultados se obtienen con trébol subterráneo, utilizado para forraje o como herbácea para proteger el suelo de la erosión, o asociado con otros cultivos agrícolas (maíz, legumbres, otros).

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.

Se confirma la fragilidad de las plantaciones puras, al mismo tiempo que la oportunidad de usar estructuras

mixtas en plantaciones con objetivo principalmente productivo.

Negrini⁴ señala que bosques abundantes en número de especies son mucho menos vulnerables a ataques de plagas y enfermedades, y generalmente son necesario menos intervenciones culturales que en las plantaciones puras. Por ello es que Minotta (1994) encuentra poco aconsejable la ejecución de plantaciones puras y monoclonales en vastas (superficies no superiores a 2-3 hectáreas).

Las plantaciones mixtas permiten entregar alternativas productivas al sector agrícola, por medio de la incorporación de la componente forestal.

Las plantaciones mixtas permiten incorporar terrenos que actualmente presentan baja rentabilidad al ser utilizados como predios ganaderos o con agricultura extensiva.

Las plantaciones mixtas permiten desarrollar sistemas forestales sustentables y de elevada productividad y valor.

Las plantaciones mixtas permiten desarrollar sistemas productivos con importantes beneficios socio ambientales.

⁴ Negrini C. 2001. Director Consorzio della Bonifica Reno Palata. Comunicación personal.

Bibliografía

8. BIBLIOGRAFIA CITADA

Berger T.; Hager H. 2000. Physical top soil properties in pure stands of Norway spruce and mixed species stands in Austria. *Forest Ecology and Management*. Vol. 136: 159-172.

Berti S. 1995. Caratteristiche tecnologiche e qualità del legno. *Sherwood* (3): 39-43.

Bourgery C.; Castaner D. 1988. *Les Plantations d'alignement*. Institut pour le Developpement Forestier (IDF). Paris, Francia. 415 p.

Buresti E. 1993. Arboricoltura di pregio. *Agricoltura e Ricerca* (147-148): 67-76.

Buresti E. 1994. Il bosco torna in pianura; le prospettive dopo 15 anni di esperienze. *Atti Consorzio della Bonifica Reno Palata*. 26 p.

Buresti E.; De Meo I. 1998a. L'impiego delle consociazioni nelle piantagioni di arboricoltura da legno: primi risultati di un impianto di noce comune (*Juglans regia* L.). *Annali Istituto Sperimentale Selvicoltura - Arezzo*. Vol 29: 57-66.

Buresti E.; Frattegiani M. 1994a. Impianti misti in arboricoltura da legno. Primi risultati in un impianto di farnia (*Quercus robur* L.) e ontano

napoletano (*Alnus cordata* Loisel). *Annali Istituto Sperimentale Selvicoltura - Arezzo*. Vol. 23: 183-199.

Buresti E.; Frattegiani M. 1994b. L'importanza delle consociazioni in arboricoltura da legno con latifoglie a legname pregiato. En: *La destinazione forestale di terreni agricoli*. Brasimone, 17-18 giugno 1994.

Buresti E.; Frattegiani M. 1995a. Alcune considerazioni sull'arboricoltura da legno. *Sherwood* (1): 11-16.

Buresti E.; Frattegiani M. 1995b. Impianti misti in arboricoltura da legno. *Sherwood* (3): 11-17.

Buresti E.; Morandini R. 1992. La coltivazione sperimentale del noce e del ciliegio. *Convegno Nazionale. Più verde più legno: dal set-aside ai rimboschimenti*. Bologna, 7 febbraio 1992. *Associazione Nazionale Dottori in Scienze Forestali*.

Buresti E.; Mori P. 1995. Sesti e distanze d'impianto per il noce. *Sherwood* (6): 6-13.

Buresti E.; Mori P. 1998. Un modulo per un arboricoltura da legno semi-estensiva. *Sherwood* (39): 25-29.

Buresti E.; Frattegiani M.; Sestini L. 1993a. The use of Italian alder (*Alnus cordata* Loisel) in mixed plantation for high quality wood production.

Pp. 63-66. En: Agroforestry Forum. Newsletter of the U.K Agroforestry Research Forum. Vol.4, N° 3.

Buresti E.; Frattegiani M.; Sestini L. 1993b. Le consociazioni in arboricoltura da legno: primi risultati di impianti sperimentali con latifoglie pregiate. Arboricoltura da legno e politiche comunitarie. Tempio Pausania, 22-23 giugno 1993. Pp 173-180.

Burger-Leenhardt P. 1996. Le bouleau en Scandinavie: une essence d'avenir. Informations - Forêts N° 4, Fiche 539:1-3.

Denci L.; Mercurio R.; Moroni M.; Tocci A. 1982. Le possibilità di coltivazione del noce da legno. Agricoltura e Ricerca N° 14: 36-41.

Duflot H. 1995. Le frene en liberté. Institut pour le Developpement Forestier (IDF). París, Francia, 192 p.

Guhathakurta P. 1995. Changed silviculture for multi-tier plantation forests with mixtures of woody and non-woody species. IUFRO World Congress. [www. Info.metla.fi/iufro95abs/d1pap125.htm](http://www.info.metla.fi/iufro95abs/d1pap125.htm).

Hubert M. 1993. La ligniculture. Foret Entreprise N° 88: 23-28.

Institut pour le Developpement Forestier (IDF). 1981. Cultiver les

arbres feuillus pour recolter du bois de qualité. Paris, Francia. 277p.

Loewe V. 1999. Diversification and Sustainability: technical and political tools for enhancing sustainability. Case of mixed plantations. Pp. 4-11. En: Proposal to Charles Bullard Fellowship in Forest Research for Advanced Study and Research. University of Harvard. 1999. 23 p.

Luis J. F. S.; Monteiro M. L. 1998. Dynamics of a broadleaved (*Castanea sativa*) conifer (*Pseudotsuga menziesii*) mixed stands in Northern Portugal. Forest Ecology and Management. Vol. 107: 183-190.

Masoodi T. H.; Masoodi N. A.; Qaisar K. N.; Joshi N. K. 1996. Effect of nitrogen and spacing on growth and development of *Acer oblongum* Wall. seedlings. Department of Silviculture and Agroforestry, University of Horticulture and Forestry, Solan (Himachal Pradesh). Indian Forester. Pp. 1028-1032.

Mercurio R. 1988. Il noce da legno nell'Italia centro-settentrionale. Cellulosa e Carta (2): 24-33.

Mercurio R. 1993. L'arboricoltura da legno per il recupero di terreni agricoli. Cellulosa e Carta (2): 59-63.

Minotta G. 1994b. Ciliegio e noce: ritornano due specie da legno. *Terra e Vita* (42): 30-32.

Montagnini F.; González E.; Porras C.; Rheingans R. 1995. Mixed and pure forest plantations in the humid neotropics a comparison of early growth, pest damage and establishment costs. *Commonwealth Forestry Review*. Vol. 74 (4).

Montagnini F.; Porras C. 1998. Evaluating the role of plantations as carbon sinks: an example of an integrative approach from the humid tropics. *Environmental Management*. Vol. 22, N° 3: 459-470.

Paris P.; Pisanelli A.; Buresti E.; Cannata F. 1999. Agroforestry in Italy: Tradition of the practice and research indications on new models. En: *Forestry and Agroforestry for Environmental Protection and Rural Development*. SINO - ITALIAN Workshop. 1999.

Stanley W.; Montagnini F. 1998. Biomass and nutrient accumulation in pure and mixed plantations of indigenous tree species grown on poor soils in the humid tropics of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* Vol. 113: 91-103.

Wormald T.J. 1992. Mixed and pure forest plantations in the tropics and subtropics. *FAO Forestry Paper* 103. 74 p.



INFOR



GOBIERNO DE CHILE
FUNDACION PARA LA
INNOVACION AGRARIA

