

**U N I V E R S I D A D D E C O N C E P C I Ó N**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**Departamento Silvicultura**

**ANÁLISIS GENERAL DEL MONOCULTIVO FORESTAL CON RESPECTO A SU  
DEFINICIÓN Y A SU EFECTO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD  
DEL SUELO EN EL LARGO PLAZO**



**CHRISTIAN EDUARDO CARRASCO ROMERO**

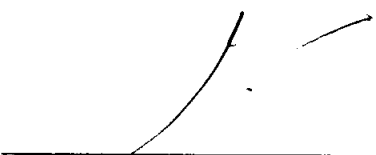
**MEMORIA DE TÍTULO PRESENTADA A  
LA FACULTAD DE CIENCIAS  
FORESTALES DE LA UNIVERSIDAD DE  
CONCEPCIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO  
DE INGENIERO FORESTAL.**

**CONCEPCIÓN - CHILE**

**1995**

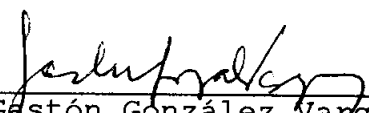
**ANÁLISIS GENERAL DEL MONOCULTIVO FORESTAL CON RESPECTO A SU  
DEFINICIÓN Y A SU EFECTO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD  
DEL SUELO EN EL LARGO PLAZO**


Profesor Asesor

  
Miguel Espinosa Bancalari  
Profesor Asociado.  
Ingeniero Forestal, Ph. D.


Profesor Asesor



  
Gastón González Vargas  
Profesor Titular.  
Ingeniero Agrónomo, M. Sc.

  
Miguel Espinosa Bancalari  
Profesor Asociado.  
Ingeniero Forestal, Ph. D.

Director Departamento  
Silvicultura

  
Dr. Jaime Millán Herrera  
Profesor Titular.  
Ingeniero Forestal.

Decano Facultad de  
Ciencias Forestales

**Dedicada con mucho cariño:**

A mis queridos padres Heriberto y Elena, por todo el amor que siempre me han entregado y por su estímulo y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

A mis hermanos Mónica y Antonio, por su preocupación en mi formación profesional y por ese lazo de amor que nos une como familia.

A mi abuelita Laura, por su ternura, por sus innumerables demostraciones de cariño y por esa alegría de vivir que es un ejemplo para mi.

A Viviana, por estar a mi lado en esta etapa tan importante de mi vida.

A Jorge, a quien más que un amigo considero un hermano, por ayudarme a alcanzar esta anhelada meta.

**Mis agradecimientos:**

De manera muy especial a Don Miguel Espinosa Bancalari por su gran disposición, colaboración, aporte en la revisión del escrito y apoyo en el desarrollo y culminación de esta memoria.

A Don Gastón González Vargas y Don René Escobar Rodríguez por su aportes en la revisión del escrito y por su apoyo en las distintas etapas de este estudio.

A Don Eduardo Peña Fernández y Don Néstor Rojas por su colaboración en la obtención de material bibliográfico relevante sobre el tema investigado.

A Don Luis Valenzuela Hurtado por su invaluable disposición y apoyo en la etapa final de esta memoria.

A mis amigos Jorge Rodríguez Guzmán y Pamela Cortés de la Fuente por su ayuda incondicional durante el desarrollo de este trabajo y en la edición final del escrito.

A todas las personas que de una u otra forma me ayudaron e hicieron posible que este estudio llegara a buen término.

Finalmente, doy gracias a Dios por permitirme compartir con mis padres, hermanos y seres queridos esta hermosa etapa de mi vida.



## ÍNDICE DE MATERIAS

CAPÍTULOS	PÁGINA
I	INTRODUCCIÓN..... 1
II	DEFINICIONES DE MONOCULTIVO..... 5
III	MONOCULTIVO Y DETERIORO DEL SUELO..... 9
	3.1 Evidencias de deterioro del suelo bajo monocultivos..... 9
IV	PRODUCTIVIDAD DEL MONOCULTIVO FORESTAL EN EL LARGO PLAZO..... 25
	4.1 Principales factores que la afectan 25
	4.2 Evidencias de cambios en la productividad entre rotaciones..... 33
	4.2.1 En las regiones tropicales..... 33
	4.2.2 En las regiones templadas..... 37
V	EFECTO DE LAS PLANTACIONES FORESTALES SOBRE EL MEDIO EDÁFICO..... 48
	5.1 Monocultivo en las regiones tropicales y templadas..... 51
	5.2 Cambios físicos y químicos del suelo producidos bajo plantaciones. 56
	5.3 Bosque puro versus bosque mixto.... 66
	5.4 Coníferas versus latifoliadas..... 69
VI	PRÁCTICAS Y ESQUEMAS DE MANEJO ASOCIADOS A UNA DISMINUCIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DEL SITIO..... 78
	6.1 La intensidad de cosecha..... 89

6.1.1	Remoción de nutrimentos en cultivos agrícolas y forestales....	103
6.2	La longitud de rotación.....	107
6.3	El manejo de residuos.....	116
6.4	El uso del fuego.....	122
6.5	La mecanización forestal y la compactación del suelo.....	129
VII	EL SUELO Y LA ATMÓSFERA COMO FUENTES DE NUTRIMENTOS.....	135
VIII	MEJORAMIENTO DEL SUELO Y DE LA PRODUCTIVIDAD	141
8.1	Fertilización.....	142
8.2	El rol de las plantas fijadoras de nitrógeno.....	147
IX	RESUMEN DE LOS ASPECTOS MÁS RELEVANTES RELACIONADOS CON EL MONOCULTIVO Y LA PRODUCTIVIDAD DEL SUELO EN EL LARGO PLAZO...	149
9.1	¿Qué se entiende por monocultivo?..	149
9.2	Efectos del monocultivo sobre el suelo.....	151
9.3	El monocultivo y la productividad del suelo en el largo plazo.....	154
9.3.1	Principales factores que afectan la productividad.....	154
9.3.2	Experiencias en las regiones tropicales y templadas.....	155
9.4	Efecto de la cubierta forestal sobre el suelo.....	157

9.4.1	Experiencias en las regiones tropicales y templadas.....	158
9.4.2	Influencia de las plantaciones sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.....	159
9.4.3	Bosque puro versus bosque mixto....	161
9.4.4	Coníferas versus latifoliadas.....	162
9.5	Prácticas y esquemas de manejo asociados a una disminución de la productividad del sitio.....	165
9.5.1	La intensidad de cosecha.....	166
9.5.1.1	Remoción de nutrientes en cultivos agrícolas y forestales.....	167
9.5.2	La longitud de rotación.....	168
9.5.3	El manejo de residuos.....	170
9.5.4	La quema de desechos.....	172
9.5.5	Mecanización forestal y compactación del suelo.....	173
9.6	Fuentes naturales de nutrientes...	175
9.7	Mejoramiento del suelo y de la productividad.....	175
9.7.1	Fertilización.....	176
9.7.2	Plantas fijadoras de nitrógeno.....	177
X	OBSERVACIONES.....	178
XI	CONCLUSIONES.....	181
XII	RESUMEN.....	183
	SUMMARY.....	184
XIII	BIBLIOGRAFÍA.....	185



## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N°		PÁGINA
	<u>En el texto</u>	
1	Valores del pH del suelo bajo distintas especies y tipos forestales, en Chile y el extranjero.....	65
2	Contenido de nutrimentos en los distintos componentes de la biomasa sobre el suelo (% sobre peso seco), para una plantación de <u>P. radiata</u> , en Nueva Zelanda.....	96
3	Contenido de nutrimentos del total de componentes del tronco y del árbol entero, para plantaciones de <u>Eucalyptus</u> spp. y de <u>P. radiata</u> , de distintas edades.....	102
4	Cantidad promedio de nutrimentos removidos al cabo de una rotación, a través de la cosecha del cultivo.....	105
5	Distribución de los distintos componentes de la biomasa aérea (%), para <u>Eucalyptus</u> spp. y <u>Pinus</u> sp.....	115
6	Distribución del total de nutrimentos (%), por componente de la biomasa sobre el suelo, para plantaciones de <u>Eucalyptus</u> spp., de 10 años de edad.....	116

- 7 Aporte de nutrimentos a través de la precipitación y la meteorización, registrados en distintos países..... 138
- 8 Ejemplo hipotético para dos especies, del balance de nutrimentos que ocurre al considerar entradas de éstos vía precipitación y meteorización, y salida sólo vía cosecha, para el caso de Australia. 139



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	PÁGINA
<u>En el texto</u>	
1	38
Presentación estilizada de datos compuestos sobre las tendencias en la producción en área basal, según la edad, de una primera y segunda rotación de pino radiata en suelos arenosos.....	
2	100
Distribución relativa de materia seca y de cinco nutrimentos en los principales componentes aéreos de un rodal de pino radiata de 22 años de edad, en Nueva Zelanda.....	
3	120
Presentación esquemática de las distintas propiedades de un "mulch" consistente de hojarasca y residuos molidos de madereo.....	
4	132
Relación entre el aumento de la densidad aparente y el crecimiento en altura de plántulas arbóreas, basado en distintas especies forestales, tipos de suelos y lugares.....	

5	Flujos de entrada y salida de nutrimentos que pueden presentarse en un ecosistema forestal bajo manejo.....	136
6	Comparación hipotética entre la entrada de nutrimentos a través de la precipitación y meteorización y la salida sólo a través de la cosecha, para <u>E. grandis</u> y pino radiata de 10 y 29 años de edad, respectivamente, en Australia.....	140



## I. INTRODUCCIÓN.

En la naturaleza, los bosques constituidos por una sola especie arbórea en forma dominante, son frecuentes y se presentan particularmente en las regiones templadas; por ejemplo, los bosques de coníferas en varias áreas de América del Norte, algunos de eucaliptos en Australia, los del género Nothofagus en Nueva Zelandia y, en Chile, los de Alerce, Araucaria y Lenga. Algunos de estos bosques naturales puros también son coetáneos, como consecuencia de los patrones de regeneración que experimentan. Por ejemplo, en E.U.A., Pinus radiata y pino oregón (Pseudotsuga menziesii) se presentan en sus hábitats naturales como bosques puros bien definidos, muchos de los cuales son coetáneos (Will, 1984; FOREST RESEARCH INSTITUTE, 1990; Grass, 1992).

Para Popovich (1980), los bosques descritos anteriormente constituyen un monocultivo forestal, pues son puros y además coetáneos. Sin embargo, para Bain (1981) y Chou (1981), un monocultivo forestal además de tener las dos características ya mencionadas, debe ser artificial y establecido a gran escala. Esta situación deja en evidencia que no existe una definición de monocultivo única y universalmente aceptada, existiendo más bien un concepto impreciso.

Por otra parte, las plantaciones, o bosques artificiales, han llegado a ser cada vez más importantes en todas partes del

mundo, tanto por la necesidad de obtener madera y otros productos tangibles, como por la necesidad de proteger el suelo y de recreación (Shepherd, 1986). Nuestro país no escapa a esta realidad y en la actualidad cuenta con una superficie plantada que supera el millón y medio de hectáreas, conformada principalmente por especies del género Pinus y Eucalyptus, las que se han constituido en un gran éxito silvícola y económico (INFOR, 1993). En general, estas plantaciones son puras y coetáneas, por lo cual han sido llamadas comúnmente monocultivos.

La comprensión de las múltiples funciones que cumple un bosque han hecho que cada día haya un mayor interés de la opinión pública por éste. Es así como con mayor frecuencia se observan en diarios y revistas inquietudes respecto a medidas o situaciones que en apariencia van contra el bien común. En relación con las plantaciones de pino y eucalipto, el interés se centra en el monocultivo, entre otras materias (Espinosa et al., 1990).

El monocultivo, y en particular el de coníferas, es muchas veces criticado indicando que en el largo plazo su práctica degrada el suelo, poniendo en duda su productividad sostenida (Will, 1984; FOREST RESEARCH INSTITUTE, 1990).

Chijioke (1984) considera que cada vez existe mayor conciencia acerca de la posible reducción del potencial del suelo como resultado del monocultivo de especies de

crecimiento rápido, tanto en las regiones tropicales como templadas de todo el mundo. Esto ha hecho que cada día aumente la preocupación por eliminar las pérdidas potenciales de la productividad del sitio en segundas y sucesivas rotaciones (Espinosa *et al.*, 1990). Lo anterior sumado a la creciente demanda a nivel mundial por recursos forestales hace imperativo estudiar más a fondo la relación entre monocultivo y productividad del sitio, desde el punto de vista de la fertilidad del suelo, con el fin de que no ocurran mermas en ésta, sino más bien se alcance un rendimiento sostenido en el largo plazo.

RENARRES (1993) opina que en el país se han difundido a la opinión pública numerosos errores de interpretación en torno a los efectos de las plantaciones sobre el suelo que ocupan y su posible degradación, ya que las investigaciones realizadas hasta ahora, vinculadas a problemas de pérdida de fertilidad, no permiten obtener conclusiones definitivas, y menos hacer generalizaciones.

Contesse (1990) se pregunta por qué, en general, existe la inclinación a atribuir al monocultivo forestal un efecto negativo sobre el suelo, cuando la misma naturaleza ha creado por sí sola monocultivos forestales como los ya mencionados.

A pesar de los efectos negativos que se le confieren al monocultivo de plantaciones, actualmente, esta práctica ha llegado a ser la forma de cultivo más usada en muchos países

del mundo (Will, 1984) y, probablemente, esta tendencia continuará debido a su simplicidad y exitoso pasado (Oliver, 1986).

Es por lo anterior que el objetivo de este estudio es determinar, a través de una revisión bibliográfica, qué es un monocultivo forestal y analizar si su práctica genera en forma directa la degradación del suelo que lo sustenta, y por ende, una disminución de su productividad en el largo plazo.

Por motivos prácticos, para el desarrollo de este estudio se considerará como monocultivo todos aquellos bosques artificiales, coetáneos, conformados por una sola especie arbórea.





## II. DEFINICIONES DE MONOCULTIVO.

De acuerdo a Zobel y Talbert (1984) hay un gran desconocimiento respecto al significado de monocultivo; además, no hay un término aceptado universalmente. Por tal razón, es esencial que un término como este, usado tan ampliamente, sea comprendido y aclarado.

Varios autores coinciden en que monocultivo son aquellos rodales artificiales coetáneos, conformados por una sola especie arbórea (Gibson y Jones, 1977; Bain, 1981; FOREST RESEARCH INSTITUTE, 1990).

A lo anterior Chou (1981) agrega que los rodales deben ser establecidos a gran escala para constituir un monocultivo.

En E.U.A., Popovich (1980) señala que para los silvicultores, monocultivo es el manejo de una sola especie en bosques coetáneos.

También se ha dicho que monocultivo son aquellos rodales coetáneos conformados por una o por un número muy limitado de especies, los cuales abarcan superficies lo suficientemente grandes para producir un impacto ecológico significativo (Glasgow, 1975, citado por Zobel y Talbert, 1984).

Otros autores hablan de "monocultivo coetáneo", lo que indica que para ellos el término monocultivo no lleva implícito la uniformidad de la edad (Abbott, 1993; Sutton, 1993).

Torrent y Romanyk (1967) utilizan el término monocultivo como sinónimo de bosque monoespecífico, para referirse a bosques artificiales compuestos por una sola especie arbórea, ya sea nativa o exótica, los que no necesariamente son coetáneos.

Ipinza (1990) coincide con Torrent y Romanyk en cuanto a que el monocultivo puede estar conformado por una especie nativa o exótica.

Grass (1992) considera que se habla de bosque monoespecífico cuando se trata de bosques naturales conformados por una sola especie.

Hay coincidencia entre varios autores en que un monocultivo es el establecimiento de plantaciones forestales con una sola especie arbórea (Harper *et al.*, 1957; Whitehead, 1982; Shepherd, 1986; Grass, 1992; Francke, 1993a).

Daniel *et al.* (1982) señalan que un rodal es puro cuando un 90%, o más, de los árboles dominantes o codominantes pertenecen a la misma especie. Además, el rodal puede contar con un sotobosque compuesto por otras especies sin que pierda su categoría de puro.

Harper et al. (1957) usan los términos monocultivo y rodal puro para referirse sólo al dosel superior del bosque dado que, comúnmente, muchas otras especies vegetales, tales como hierbas, arbustos, y algunas veces regeneración arbórea, están presentes en el sotobosque.

Para Kupers (1972), citado por Shipton (1977), y Power y Follett (1987) monocultivo es aquella práctica que perpetúa el crecimiento del mismo cultivo, sobre el mismo suelo, en forma repetida (a lo menos dos ciclos de cultivo).

La REAL ACADEMIA ESPAÑOLA (1970) define monocultivo como "Cultivo único o predominante de una especie vegetal en determinada región".

El Diccionario Webster, citado por Zobel y Talbert (1984), da una definición amplia de monocultivo: "Es cultivar un único tipo de cultivo o producto, sin usar la tierra para otros propósitos".

Zobel y Talbert (1984) señalan que para algunos biólogos un monocultivo es un conjunto de plantas creciendo en áreas extensas, las cuales están relacionadas genéticamente en forma estrecha.

La idea de monocultivo de Zobel (1972) se relaciona a plantaciones extensivas de genotipos uniformes u homogéneos;

plantaciones consistentes de una sola especie no caen automáticamente en esta categoría.

Según Feret (1975), citado por Zobel y Talbert (1984), que una plantación esté constituida por una sola especie no es el principal atributo de un monocultivo, lo que interesa es que tan uniforme es ésta desde el punto de vista genético.

De acuerdo a Zobel y Talbert (1984) muchos genetistas forestales consideran que monocultivo son aquellas plantaciones extensas de genotipos similares, lo cual genera árboles lo suficientemente homogéneos, de modo que los peligros por causa de plagas o extremas ambientales llegan a ser un riesgo demasiado grande.

Esta misma idea es reflejada por Contesse (1990) quien opina que el concepto de monocultivo tiene la connotación del cultivo de una especie, sin embargo, para los efectos negativos o de riesgo con que habitualmente se le ha querido utilizar, el concepto verdadero de monocultivo es aplicable a genotipos similares y lo suficientemente homogéneos entre sí, con el fin de ser afectados, por ejemplo, por ciertas plagas u otros factores adversos.

### III. MONOCULTIVO Y DETERIORO DEL SUELO.

#### 3.1 Evidencias de deterioro del suelo bajo monocultivos.

Así como algunos riesgos serios sobre la sanidad de los bosques han sido atribuidos al monocultivo, también se ha dicho que el deterioro grave del suelo es el resultado inevitable de su práctica, especialmente con coníferas (Will, 1984).

Según definición clásica, el suelo es el material mineral no consolidado en la superficie inmediata de la tierra, que sirve como medio natural para el crecimiento de las plantas terrestres. Este material ha estado influido por factores genéticos y ambientales, por el material de origen, el clima, por macro y microorganismos y por la topografía; todos estos factores, actuando a lo largo de un período de tiempo han originado un producto, el suelo, que difiere del material de origen en muchas características físicas, químicas, biológicas y morfológicas (Anon, 1970, citado por Chijioke, 1984). El suelo sustenta las plantas, suministrándoles la mayor parte de los elementos necesarios para su nutrición y, al mismo tiempo, les sirve de anclaje.

Por otro lado, deterioro del suelo es cualquier alteración de las propiedades químicas o físicas de éste, lo cual reduce la productividad potencial de un sitio (Will y Ballard, 1976).

Lutz y Chandler (1946), citados por Pritchett (1979), opinan que la posibilidad de que los monocultivos de coníferas causen una degradación del sitio es un tema que está sujeto a alguna controversia. De hecho, la mayoría de los primeros textos de silvicultura defendían el uso de rodales mixtos como un medio de evitar los peligros asociados a los monocultivos de coníferas (Evans, 1976, citado por Pritchett, 1979).

Para Harper et al. (1957) la idea de que el monocultivo provoca el deterioro del suelo también es discutible. En general, el monocultivo de coníferas es menos eficaz para generar un suelo que otros tipos de cultivos forestales, pero sí conserva y mejora aspectos de éste a través de la descomposición de la hojarasca, del crecimiento de las raíces y de otras actividades biológicas.

En Europa, en el pasado, se le prestó mucha atención e interés al "deterioro" del suelo y a la declinación de la productividad que ocurrió bajo rodales de coníferas, por lo que las evidencias provienen casi exclusivamente de ahí; sin embargo, en este último siglo esta preocupación ha disminuido (Will y Ballard, 1976; Will et al., 1983). Es un hecho que ocurrieron deterioros muy severos en el suelo, con lo cual disminuyó el crecimiento de los árboles (Wiedemann, 1950, citado por Will y Ballard, 1976), pero lo que no se reconoce, generalmente, es que éstos no se debieron en forma principal a los árboles en sí, si no a las prácticas de manejo de la

época que removían los nutrimentos desde el sitio, siendo la remoción de hojarasca una de las principales (Stone, 1973, citado por Will et al., 1983). Dicha hojarasca era extraída para ser usada como lecho para el ganado en los establos (Powers et al., 1990), lo que causó un deterioro adicional en el nivel de nutrimentos del suelo. Por otro lado, muchos de los suelos ya eran infértiles al momento de ser plantados.

Según Francke (1993a), en Europa, las evidencias de deterioro de la fertilidad del suelo causadas por coníferas se remontan a varios siglos atrás, durante la conversión de bosques mixtos a monocultivos de Picea sp., Pinus sp. y Pseudotsuga sp., producto de la explosión industrial y avances de la civilización tecnológica. Estos monocultivos de rotación media (100-150 años) se concibieron con el objeto de mejorar la fertilidad del suelo y como etapa previa para establecer, en rotaciones futuras, rodales mixtos (coníferas y latifoliadas), tendencia que en la silvicultura europea moderna se encuentra plenamente vigente. Sin embargo, progresivamente fue aumentando la preocupación de los silvicultores respecto de disminuciones de la productividad en rotaciones sucesivas. Investigadores como Wiedemann (1925) y Mischerlich (1936), citados por Francke (1993a), informaban sobre disminuciones claras de la calidad del sitio y crecimiento entre primera y segunda rotaciones. No obstante, lo que no se reconoce normalmente, es que el deterioro del suelo no se debió en forma exclusiva a los árboles, sino que

también a las prácticas forestales y al uso anterior del suelo.

Will (1984) indica que la asociación del monocultivo de coníferas con el deterioro del suelo data del siglo pasado y, a pesar de que la evidencia del origen de esta idea puede ser oscura o confusa, ésta era afirmada en forma vehemente. Sin embargo, a comienzos de este siglo Wiedemann (1925), citado por Will (1984), usó la palabra "sobre enfatizado" cuando describió la idea de un deterioro generalizado de los suelos forestales bajo rodales puros. No obstante, la creencia en el deterioro del suelo no murió, su persistencia se refleja en una afirmación hecha por Stone (1973), citado por Will y Ballard (1976), quien después de estudiar el tema y de considerar, entre otras actividades humanas, la quema y la remoción de la hojarasca y varias formas de cultivo, señaló que "Uno llega a la conclusión de que mucha de la experiencia europea con el deterioro rápido del suelo bajo coníferas, tiene un significado poco real en la Europa moderna y aún menos en E.U.A.".

Will (1984) se pregunta qué bases habían para establecer en términos tan categóricos que los suelos se deterioran bajo los monocultivos, cuando se sabe que en Europa Central y Oriental, el deterioro del suelo atribuido a las plantaciones de Picea spp. ha sido causado por las prácticas de manejo. Además, en relación con la asociación que se ha hecho entre el monocultivo y el deterioro del suelo, Will considera que



mucha de la evidencia presentada es dudosa e inaplicable debido a la naturaleza emocional de sus argumentos.

Para Harper et al. (1957) la idea de que el monocultivo daña el suelo también surgió en Europa, pero a comienzos del presente siglo, particularmente con referencia a Picea sp., aunque también en relación con Pinus sylvestris, Abies sp. y Larix sp.. Los suelos bajo estos rodales mostraron signos típicos de baja productividad tales como niveles reducidos de materia orgánica y nutrimentos minerales y bajas tasas de descomposición de la hojarasca; también presentaron estratos compactos y drenaje interno y aireación pobres. Generalmente, había una capa de humus en formación y un proceso de podsolización, el que a veces era incipiente, todo lo cual fue interpretado como un indicador de baja productividad.

Agregan Harper et al. que posteriormente, al expandirse las plantaciones forestales en América, se observó en éstas condiciones de suelo similares a la de los bosques europeos. Incluso, algunas veces, los bosques naturales presentaron las mismas tendencias, particularmente aquellos que se originaron en suelos agrícolas abandonados.

En 1928, Krauss, citado por Will y Ballard (1976), declaró que "era una exageración el decir que los siglos de cultivo de Picea spp. eran una prueba clara y efectiva del deterioro general de los suelos forestales en los bosques del estado de Saxon".

En relación con la rapidez de descomposición de la hojarasca, en Europa se ha podido determinar que ésta depende, en gran medida, de las condiciones del sitio, tales como riqueza en elementos nutritivos esenciales y factores climáticos, siendo el rol de la especie vegetal menos importante, en este sentido (Wittich, 1969, citado por Schlatter, 1977).

La asociación del monocultivo con condiciones de suelo pobres y, por lo tanto, con un crecimiento de madera bajo, fue interpretado por muchos forestadores europeos como una relación de causa y efecto. La idea fue aceptada ampliamente por los forestadores americanos. En apoyo a esta interpretación, se le atribuyó mucha importancia al hecho que la mayoría de las coníferas no extraen tanto calcio desde el suelo y lo redepositan en su hojarasca como lo hace la mayoría de las latifoliadas. La hojarasca de las coníferas, por lo tanto, tiende a convertir al humus en uno fuertemente ácido que, en los climas más fríos y húmedos del norte de Europa y E.U.A., favorece la podsolización. La podsolización fue considerada como un signo de deterioro del suelo, y se postuló que el bajo contenido de nutrimentos, los estratos compactos y otros "síntomas" de baja productividad también son el resultado de la descomposición de una hojarasca pura, producto de una sola especie, que se forma bajo los monocultivos (Harper et al., 1957).

Por ejemplo, algunos autores han sugerido que pino radiata es una especie que produce una fuerte podsolización (Hamilton,

1965, citado por Turner y Lambert, 1988). Sin embargo, no se ha encontrado ninguna evidencia de que las plantaciones con esta especie hayan producido una podsolización del suelo mayor que la que originaron los bosques naturales que le precedieron (Calvo de Anta *et al.*, 1979; Turner y Kelly, 1985).

Según Harper *et al.* (1957), la podsolización, considerada como un signo de deterioro del suelo y de baja productividad, ahora es reconocida como un proceso normal bajo ciertas combinaciones de clima, vegetación y material parental del suelo. Por ejemplo, existen bosques de composición pura o mixta (v. gr. Picea sp.), establecidos sobre podsoles, que presentan excelentes crecimientos.

En Europa, experiencias actuales con monocultivos de coníferas (Picea abies y Pinus sylvestris), indican que ocurre una lenta degradación de la fertilidad del suelo superficial debido a procesos de acidificación. Este proceso es favorecido aún más por las tendencias en el aumento de ácidos y formadores de ácidos provenientes de la atmósfera o contaminación por fuentes de emisión industrial (Francke, 1993a).

En E.U.A., especies como pino ponderosa y pino contorta, que durante muchas generaciones se han mantenido como rodales puros naturales, no parecen haber originado efectos

contrarios que deterioren la calidad del sitio (Daniel et al., 1982).

Page (1968), después de estudiar los suelos bajo bosques puros de coníferas en North Wales, encontró muy poca, y a veces ninguna, evidencia de deterioro de éstos durante el transcurso de la primera rotación.

Squire et al. (1985), después de estudiar la productividad de la primera y segunda rotación de rodales de pino radiata, en suelos arenosos, encontraron evidencias que apoyaban la conclusión de Will y Ballard (1976) de que las coníferas, en sí, no causan deterioros serios e irreversibles al suelo. Sin embargo, como cualquier otra forma de cultivo intensivo (v. gr. agricultura), será esencial un manejo adecuado si se quiere mantener la productividad al mismo nivel de la primera rotación.

En relación con las remociones repetidas de la hojarasca, Baule y Fricker (1970), citados por Will y Ballard (1976), en una revisión del tema señalaron muchas referencias relacionadas al deterioro severo del suelo causado por éstas. Además, dieron ejemplos de sitios donde el suelo era tan infértil al momento de la forestación, que una sola remoción de hojarasca causó una declinación apreciable y duradera en el crecimiento de los árboles.

Wehrmann (1961), citado por Waring (1969), considera que la pérdida de N resultante de extraer la hojarasca sólo una vez, es suficiente para reducir seriamente el suministro de dicho elemento para los árboles, por décadas. Ante esta situación, actualmente se le está dando un mayor reconocimiento a la importancia del rol que cumple la hojarasca en el ciclo de los nutrimentos, en el campo forestal (Will et al., 1983).

Para Stone (1975), citado por Will (1984), algunos cambios experimentados por el suelo son físicamente imposibles que ocurran en la escala de tiempo que está siendo considerada. Por tal razón, muchas diferencias pueden atribuirse a la heterogeneidad que tenía el suelo antes del establecimiento de las plantaciones. Otros autores han señalado que, al menos en el corto plazo, las condiciones físicas y químicas del suelo pueden mejorar bajo coníferas (Wilde, 1964; Rolfe y Boggess, 1973; Buch, 1979, citado por Will, 1984).

Adams (1978) señala que en un ecosistema dado, a pesar que la escala de tiempo sobre la cual ocurre una pérdida de nutrimentos disminuye con el aumento de la precipitación, y por ende, de la tasa de lixiviación, ésta es mucho más larga comparada con la escala de tiempo que comúnmente involucra el manejo forestal.

En el largo plazo, la explotación constante de árboles sin duda puede causar degradación del suelo, al igual que con cualquier otro cultivo. Sin embargo, la evidencia actual

indica que la posible degradación que podrían causar las coníferas, en el corto y mediano plazo, se puede revertir en forma simple y económica mediante métodos modernos de preparación del suelo y fertilización. Mayor preocupación causaría una posible degradación provocada por quemas de desechos reiteradas o por cosechas intensivas asociadas con rotaciones cortas y por el uso de maquinaria pesada (FOREST RESEARCH INSTITUTE, 1990).

De acuerdo a Will (1984), pino radiata fue introducido a Nueva Zelandia en el siglo pasado, pero no fue si no hasta fines de la década del veinte, en el presente siglo, cuando comenzaron las plantaciones forestales a gran escala; sin embargo, desde antes ya se discutían sus posibles efectos perjudiciales sobre el suelo (Will y Ballard, 1976). En 1914 Cockayne, citado por Will (1984), escribió "Hay una creencia generalizada de que el pino radiata es un gran agotador del suelo y que el terreno, una vez ocupado por esta especie, se torna muy infértil". Will (1984) considera que en ese entonces, en ausencia de cualquier experiencia a gran escala con esta especie, ya sea en Nueva Zelandia o en algún otro país que ahora tiene plantaciones extensas, y sin contar con información sobre deterioro del suelo en su escaso bosque nativo, sólo se puede asumir que la "experiencia europea" con sucesivos monocultivos de coníferas ha sido aplicada por algunos en Nueva Zelandia, específicamente a pino radiata. No obstante, después de estudiar un suelo que había mantenido una plantación de 35 años de edad, Cockayne concluyó que "Es

evidente que el crecimiento del pino radiata, en lugar de disminuir la fertilidad del suelo, tiene un efecto muy positivo sobre éste".

Posteriormente, en la década del 70, Will y Ballard (1976) indican que lamentablemente en Nueva Zelanda, la idea de que el monocultivo, en especial el de coníferas, causa en el suelo en forma inevitable un daño severo y generalizado, es aún creída por muchos sectores del público en general; es así como artículos y editoriales de la época desacreditaban al monocultivo en los siguientes términos: "Muchos creen, y con muy buena razón, que el crecimiento de los pinos en rodales puros y coetáneos es el responsable del deterioro serio y permanente del suelo" y "El bosque de pino.... puede agotar el suelo.... y dejar el campo inerte cuando se haya ido". Sin embargo, señalan que "La experiencia e investigación que posee Nueva Zelanda, y otros países, no proporcionan evidencia alguna que apoye la idea, popular y errónea, de que los bosques puros y coetáneos de coníferas causan deterioros serios e irreversibles al suelo".

En el sur de Australia, Hamilton (1965), citado por Will y Ballard (1976), encontró que en sitios de bosques esclerófilos secos la conversión de los bosques de Eucalyptus spp., en plantaciones de pino radiata, dio como resultado condiciones menos favorables en cuanto al contenido de materia orgánica (disminución de ésta), a las propiedades químicas y a la densidad aparente del suelo. Sin embargo, en

sitios de bosques esclerófilos lluviosos hubo sustancialmente menos, y en algunos casos ninguna, reducción de la fertilidad. En Nueva Zelandia, la mayoría de las plantaciones de pino están en sitios equivalentes al último tipo nombrado, y la evidencia habla, en muchos casos, de un mejoramiento del suelo (FOREST RESEARCH INSTITUTE, 1990).

Según Will (1984) Japón es un país que cuenta con grandes extensiones de monocultivos nativos. En ese país los bosques artificiales datan del año 1580, y ya en 1976 su extensión era de 9,4 millones de hectáreas, constituyendo un 38% del total del área cubierta por bosques. No todos estos bosques tienen especies de "crecimiento rápido" pero, en términos de años y por el tamaño de sus plantaciones, Japón debe ser, con toda seguridad, uno de los países más experimentados en el manejo del monocultivo. En un resumen hecho por Kubo (1981), citado por Will (1984), sobre los suelos forestales de Japón, la única mención que se hace sobre su deterioro fue acerca de la erosión acelerada asociada a las frecuentes operaciones de cosecha.

Dyck *et al.* (1983) opinan que es importante reconocer que el deterioro potencial del sitio, a través de la pérdida de nutrimentos, proviene de la probabilidad de que aumente la lixiviación de éstos después de la cosecha y la preparación del sitio, que le sigue.



Teupe (1987), citado por Green (1991), en un estudio realizado sobre los efectos ecológicos de las plantaciones de eucalipto, concluyó que "... bajo los eucaliptos puede ocurrir una degradación del suelo como resultado de un manejo inapropiado. Si durante la cosecha del árbol entero se extraen corteza, ramillas, hojas o raíces, si la hojarasca es utilizada como combustible, si todo el sotobosque es removido con el pastoreo y los nutrimentos no son reemplazados mediante fertilizantes o interplantando especies fijadoras de nitrógeno u otras "mejoradoras de suelo", la plantación como sistema no será estable. La causa sería el manejo inadecuado más que cualquier característica del eucalipto".

Harper *et al.* (1957) y Poore y Fries (1987) opinan que donde el monocultivo no ha tenido éxito, no se ha debido a que esta práctica, en sí, degrade el suelo, si no a que el suelo ya se encontraba degradado por el abuso que se hizo de él en el pasado, antes que el presente bosque se estableciera; otra causa es que la especie (o la raza de ésta) utilizada no se adaptó al sitio (Florence, 1986). Sin embargo, en general, la culpa recae en el monocultivo y no sobre las malas prácticas forestales, que son las verdaderas responsables.

En Nueva Zelanda, Stone y Will (1965), citados por Waring (1969), encontraron que la disminución de la fertilidad, en plantaciones de pino radiata de segunda rotación, era atribuible a cambios de largo plazo en la disponibilidad de los nutrimentos, producto del manejo aplicado con

anterioridad al uso forestal. En Australia, Skinner y Attiwill (1981a,b) han observado que el crecimiento de las plantaciones de pino se relaciona fuertemente con el uso previo de la tierra.

En el sur de Australia, Keeves (1966), citado por Chijioke (1984), registró una disminución de la calidad del terreno en bosques replantados de pino radiata. Sin embargo, hay que mencionar que al final de la primera rotación se quemaron los desechos de explotación y que muchos de estos suelos, anteriormente, fueron usados para la agricultura (Edmonds y McColl, 1983).

En Chile, la especie exótica pino radiata ha demostrado una gran adaptación a sitios cuyos suelos habían sufrido un deterioro grave por el uso agrícola, aun cuando se ha determinado que su desarrollo está estrechamente relacionado con la fertilidad de dicho suelo (Schlatter, 1977; 1987). Por ejemplo, estudios realizados en la VIII región determinaron que la mayor parte de las plantaciones con esta especie se establecieron en terrenos ya erosionados (Campos, 1990; Grass, 1992).

En relación con el fracaso del monocultivo, debido a que el suelo ya se encontraba degradado, Harper et al. (1957) opinan que probablemente las plantaciones se establecieron en terrenos agrícolas "inservibles", o en terrenos no agrícolas que habían sido quemados en forma repetida o fuertemente

pastoreados o cosechados con un madereo destructivo. En casos extremos de abuso de la tierra, quizás ninguna especie o mezcla de especies podría prosperar durante la primera rotación forestal. En las situaciones menos extremas, el éxito de la plantación puede depender de la elección de la especie mejor adaptada al sitio deteriorado, y no del tipo de bosque. De cualquier modo, el establecer monocultivos en tales tierras es lo que ha hecho más probable que el crecimiento de los árboles no prospere ahí.

No obstante lo anterior, Harper *et al.* (1957) indican que igualmente se culpó al monocultivo del fracaso de las plantaciones, a pesar del hecho que los rodales puros que se establecieron en suelos mejores crecieron bien, especulando que éstos también declinarían bajo monocultivos futuros.

La gran mayoría de las especies adaptadas climáticamente tiene un buen desarrollo en los suelos forestales de mejor calidad. El número de especies que puede tener un buen desarrollo en suelos de inferior calidad disminuye claramente con el grado de deterioro de éstos. Por otro lado, hay que considerar que ciertas variedades, dentro de una especie, pueden estar mejor adaptadas a un clima y a ciertas condiciones de suelo particulares, que otras, y que dichas variedades existen en muchas especies. Es muy probable que algunos de los resultados deficientes atribuidos al monocultivo se debieron al uso de una especie o variedad adaptada pobremente (Harper *et al.*, 1957).

Wang et al. (1991) señalan que la eficiencia en el uso de los nutrimentos que presentan las distintas especie, es un factor que debe considerarse si se quiere que una plantación mantenga su productividad en el largo plazo, dado que las grandes diferencias que hay entre ellas, en cuanto a dicha eficiencia, resultan en cambios importantes en la tasa de consumo de nutrimentos de las plantaciones al emplear una u otra.

Según Florence (1986) la consideración más importante, con relación al suelo, es que hay que seleccionar especies y razas que estén bien adaptadas a las condiciones locales.



#### **IV. PRODUCTIVIDAD DEL MONOCULTIVO FORESTAL EN EL LARGO PLAZO.**

##### **4.1 Principales factores que la afectan.**

La productividad de los bosques está estrechamente ligada a la fertilidad de los suelos. Por lo tanto, las plantaciones forestales pueden alcanzar y mantener un desarrollo satisfactorio, en el largo plazo, sólo si se considera la aplicación de prácticas adecuadas para la conservación de los nutrientes y las condiciones físicas del suelo (Kunz et al., 1985).

Sin embargo, en los trópicos, la exuberancia del crecimiento depende de la eficiencia de la circulación de los nutrientes en el ecosistema, más que de la fertilidad del suelo. Por esto, en muchos sitios, el suelo tiene menos influencia sobre la productividad que en las regiones templadas, y su rol como depósito de nutrientes es secundario (Adlard et al., 1984).

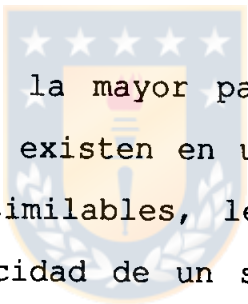
Sands (1983) y Squire (1983) coinciden al señalar que el factor más importante para mantener la productividad, en el largo plazo, es la mantención de la materia orgánica en el suelo. Sands agrega que no se debería aplicar ninguna práctica de manejo que reduzca el monto de materia orgánica en el suelo o restrinja su distribución en profundidad, aun cuando esto afecte las ganancias en el corto plazo.

A su vez, Boardman (1988) indica que "el problema de la segunda rotación", en Australia, demostró la importancia de retener la materia orgánica y su capacidad para suministrar nutrimentos en la zona radicular, por sobre otros factores.

De acuerdo a Lutz y Chandler (1946), citados por Peña *et al.* (1976), la materia orgánica es considerada como la condición más importante para el crecimiento de los árboles y la calidad del sitio, ya que es una determinante significativa de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que controlan el suministro, en el largo plazo, de nutrimentos y agua al sistema radicular del árbol (Raison *et al.*, 1982). Por tal motivo, una pérdida masiva o repetida de materia orgánica puede causar una disminución en el rendimiento (Powers *et al.*, 1990).

Farrell (1984) opina que el mantenimiento de la productividad del sitio debería ser uno de los objetivos principales en las plantaciones forestales. Sin embargo, tanto Van Goor (1952) como Keeves (1966), citados por Farrell (1984), estudiando plantaciones de *P. sylvestris* y de pino radiata, respectivamente, han registrado declinaciones en el rendimiento entre rotaciones sucesivas. Van Goor atribuyó la declinación de *P. sylvestris* en suelos arenosos, en Holanda, a la disminución de la materia orgánica que ocurrió después de una labranza profunda. También en suelos arenosos, donde se ubicaban las plantaciones de pino radiata estudiadas por Keeves, la pérdida de materia orgánica y nutrimentos, a

través de la quema de hojarasca y residuos de explotación, parecen ser las causas más importantes de la declinación en el rendimiento (Turner, 1983; Powers et al., 1990). Sands et al. (1979), citados por Farrell (1984), sugirieron que un componente no nutricional, tal como la compactación del suelo, puede también contribuir a esta declinación. Por otra parte, Evans (1976), citado por Pritchett (1979), sugirió que la tasa de descomposición de la hojarasca y la consiguiente tasa de circulación de nutrimentos, en particular en suelos relativamente pobres, puede ser demasiado lenta para mantener un buen crecimiento en la segunda rotación.



Según Chijioke (1984), la mayor parte de los nutrimentos contenidos en el suelo existen en un estado de flujo y se presentan en formas asimilables, lentamente asimilables e inasimilables. La capacidad de un sistema radicular de un árbol para beneficiarse de estas diversas formas depende, en gran medida, de la cantidad de nutrimentos presentes en la forma asimilable en la zona de las raíces y, respecto a algunas especies arbóreas, de una adaptación especial de dichas raíces (v. gr. las micorrizas) que les permiten absorber los recursos "inasimilables".

Por lo tanto, si en las rotaciones sucesivas se produce una disminución en el crecimiento de los árboles, en el tipo de suelo estudiado, esto es más probable que se deba al resultado de los defectos físicos del suelo o la imposibilidad del cambio de la forma "inasimilable" a la

forma "asimilable" de los nutrimentos, al ritmo de las exigencias de los árboles, y no al resultado de una ausencia de nutrimentos esenciales. La carencia de nutrimentos, que puede dar lugar a un crecimiento reducido y a un retraso en el cierre de la cubierta arbórea en el curso de rotaciones sucesivas, podría igualmente ser el resultado de una lenta mineralización de la materia orgánica.

Agrega Chijioke que la tasa de cambio de los nutrimentos "inasimilables" a "asimilables", en comparación con la tasa de absorción por las especies forestales, probablemente constituya el factor crítico para determinar la capacidad del terreno para soportar muchas rotaciones, aunque sobre este punto todavía no se tiene mucha información.

Stone y Will (1963) y Whyte (1973), citados por Will (1984) han informado de disminuciones de la tasa de crecimiento en segundas rotaciones para unos pocos sitios en suelos infértiles; sin embargo Will (1984) opina que, en general, el crecimiento en rodales de segunda y tercera rotación, a lo menos, es igual que en la primera rotación. Además, según Squire et al. (1985), la declinación de la productividad evidenciada por Whyte en 1973, en suelos infértiles desarrollados a partir de arenas gruesas, en ningún caso fue sustancial.

Will (1984) agrega que es importante considerar que la introducción de la silvicultura intensiva, con sus raleos



fuertes, hace difícil la comparación directa entre rotaciones sucesivas. Independientemente de esta situación, en sitios de baja fertilidad o fértiles, el crecimiento ha sido aumentado en forma significativa mediante la aplicación de fertilizantes (Turner, 1984).

Champion y Brasnett (1958), citados por Chijioke (1984), indican que, con el eucalipto, el crecimiento de la segunda y tercera rotaciones de monte bajo ha sido, por regla general, inferior que el de la primera; esto puede deberse al deterioro de las cepas o a la imposibilidad de asimilar los nutrimentos presentes en el terreno considerado. En relación con cultivos de eucalipto de monte alto, Evans (1984b) señala que no se han registrado evidencias de declinación en la productividad, en el largo plazo, debido a la degradación del sitio.

Según Evans (1984a,b) hay cuatro posibles factores que pueden provocar cambios en la productividad entre rotaciones sucesivas y que también pueden llevar a una confusión al compararlas: cambios climáticos, diferencias genéticas, cambios en el sitio debido a las actividades de cosecha y diferencias biológicas y silviculturales.

Ford (1983) agrupa estos factores en bióticos (v. gr. patógenos e insectos) y abióticos (v. gr. cambios, en el largo plazo, en la precipitación, radiación y concentración atmosférica del dióxido de carbono), muchos de los cuales

están más allá del control del manejo y son muy difíciles de cuantificar. Agrega que aun cuando las tendencias climáticas de largo plazo, relacionadas con la productividad, pueden ser difíciles de detectar, éstas no deberían ser ignoradas.

En este sentido, la reducción de la productividad no puede unirse necesariamente a un factor determinado, ya sea físico, químico o biológico, sino que todos participan e interactúan para producir una reducción neta. En otras palabras, la productividad varía considerablemente según el equilibrio entre los factores favorables y desfavorables (Boardman, 1978, citado por Chijioke, 1984).

Lundgren (1978), citado por Adlard *et al.* (1984), escribió: "el mayor error estratégico es asumir que la declinación del rendimiento en plantaciones de segunda rotación es la excepción más que la regla". Sin embargo, Chaffey (1978), citado por Adlard *et al.* (1984), revisando el "problema" de la segunda rotación, declaró: "hemos buscado más evidencia de tal declinación sin mucho éxito".

Jorgensen *et al.* (1975) consideran que la cantidad y el número de veces que la biomasa puede ser cosechada, antes que la productividad se reduzca en forma importante, depende de cada sitio en particular. Los sitios que tengan una proporción relativamente pequeña de nutrimentos en el suelo, comparada con la de la biomasa (v. gr. arenales) pueden agotarse rápidamente a través de la cosecha intensiva. Por el

contrario, suelos más fértiles pueden ser capaces de mantener la productividad después de muchas cosechas intensivas debido a su mayor reserva de nutrimentos.

Para Farnum *et al.* (1983), la declinación en la productividad, debido al manejo intensivo de las plantaciones, puede ser causada por varios factores tales como: actividades de cosecha en sitios lluviosos, que pueden causar la compactación del suelo; la utilización del árbol entero, que puede agotar las reservas de nutrimentos en sitios marginales; la quema, que puede remover la hojarasca y los nutrimentos; y la preparación intensiva del sitio, que tiene el potencial de incrementar la erosión.

En relación a las causas de la pérdida de productividad entre rotaciones, Alarcón (1990) señala las siguientes: a) pérdida de fertilidad, por la extracción de nutrimentos desde el sitio, en la explotación, b) erosión hídrica y eólica, por suelos descubiertos de vegetación después de la explotación (quema de residuos) y c) compactación del suelo, principalmente, en explotación mecanizada. Además, agrega que la solución a estos problemas puede darse a través de la fertilización y/o evitando o minimizando la pérdida de los nutrimentos existentes en el sitio mediante la eliminación de prácticas inadecuadas, como por ejemplo, la quema (no prescrita) de los desechos de explotación.

En un estudio sobre el efecto de las plantaciones de pino radiata en la mantención de la productividad del sitio, Kunz *et al.* (1985) concluyeron que si bien tras cada rotación declina la fertilidad del sitio, el impacto sobre la productividad de la próxima plantación dependerá tanto del nivel de utilización del bosque actual, como de las reservas naturales de nutrimentos que posee el suelo. Además, indican que los proyectos que utilizan intensivamente los restos de explotación deben tomar en cuenta que ésta no es una fuente de materia prima gratuita.

Según Turner y Lambert (1988), en términos de productividad de los sitios forestales en el largo plazo, hay dos elementos que son críticos, el N y el P. Por ejemplo, en E.U.A., Farnum *et al.* (1983) señalan que en plantaciones de pino oregón y pino taeda se han logrado aumentos en la productividad a través de prácticas de establecimiento y de fertilización con estos dos elementos.

Skinner y Attiwill (1981a,b), en un estudio de la productividad de las plantaciones de pino, en relación al uso previo de la tierra (pradera, bosque nativo de eucalipto y bosque exótico de pino), indicaron que éste afectó la productividad subsiguiente, alcanzando la pradera el valor más alto. Al parecer, entre los distintos usos existen diferencias en la disponibilidad de N y P producto de sus patrones de circulación.

De acuerdo a Chijioke (1984), una característica importante de la mayoría de los estudios sobre reducción de rendimientos y degradación del terreno, es que se presentan raramente estratificados según los principales tipos de suelos o métodos de ordenación forestal, y es por esta razón que se explica que sus conclusiones sean, con frecuencia, contradictorias. Por ejemplo, cuando se produzca una disminución del rendimiento en suelos de textura media a gruesa, probablemente se deba a las condiciones físicas pobres del suelo, las que conllevan a una movilización inadecuada de nutrimentos, y no a otra causa.

En un análisis de la productividad del suelo en el largo plazo, Pritchett (1979) concluyó que aun cuando una plantación forestal pueda resultar en una reducción de ésta, tales circunstancias son más bien raras. Además, cuando ocurren reducciones, la causa puede variar, entre sitios, dependiendo del suelo y de los factores climáticos.

#### **4.2 Evidencias de cambios en la productividad entre rotaciones.**

**4.2.1 En las regiones tropicales.** En los trópicos, las plantaciones forestales se han expandido rápidamente, registrándose altas productividades en muchas primeras rotaciones. Por otra parte, aún no se han observado declinaciones significativas en los rendimientos de segundas

o posteriores rotaciones, aunque hay que considerar que no se cuenta con mucha información al respecto (Evans, 1984b).

Para Johnson (1976) la reducción del crecimiento en rotaciones sucesivas es un tema que tiene una alta prioridad de investigación. Considera que debería continuar el establecimiento de plantaciones tropicales en alguna porción de toda la superficie de tierra que es cosechada en la actualidad, o abandonada después de una agricultura descuidada.

Will (1984) indica que, en los trópicos, hay suelos volcánicos jóvenes que suministran cantidades suficientes de nutrimentos por medio de la intemperización y de la fijación biológica. Mientras en las regiones más frías, el material parental permanece improductivo por siglos, aquí las plantaciones comerciales pueden establecerse en suelos jóvenes formados, en gran parte, por material parental no intemperizado. En tales suelos podría haber un incremento, más que una declinación, de la productividad potencial.

En India y Java, el crecimiento reducido de plantaciones puras de teca (Tectona grandis), de segunda rotación, llevó a investigar lo que fue llamado "el problema de la teca pura" (Griffith y Gupta, 1948, citados por Evans, 1984b). En general, investigaciones más recientes no han confirmado este problema, y no se ha encontrado ningún signo de deterioro en la calidad del sitio en replantaciones de teca en Kerala,

India. Sin embargo, la mayor inquietud está puesta en la excesiva erosión del suelo bajo estas plantaciones, la que puede hacer disminuir los rendimientos en segunda y sucesivas rotaciones (Evans, 1984b).

Irion (1981), citado por Will (1984), opina que en Brasil, país donde existen grandes superficies con monocultivos exóticos, los suelos de muchas plantaciones estarán completamente agotados después de la segunda generación.

Greaves (1979), citado por Will (1984), plantea la siguiente pregunta: "¿pueden los suelos tropicales soportar un crecimiento de segunda y más rotaciones, que sea económicamente viable sin aplicaciones masivas de fertilizantes?". En Australia al menos, Wise y Pitman (1981) han calculado que los costos de reposición de los nutrimentos probablemente no tienen mayor relación con la economía de las plantaciones (de eucalipto) de rotación corta, pero señalan que puede que esto no ocurra en otros países.

Por otra parte, aun cuando Ayling y Martins (1981), citados por Will (1984), han declarado que "Se sabe poco en relación a los efectos que produce un cultivo de eucalipto, de rotación corta, sobre la calidad del sitio en el tiempo", Will (1984) considera que la cosecha intensiva de cultivos forestales que han crecido en suelos que tienen un capital bajo de nutrimentos, afectará negativamente la productividad del sitio.

En Kenia, Kaumi (1983), citado por Will (1984), describió el sitio de un bosque de eucalipto, plantado en 1915, que fue cortado en 1955 y luego replantado. Desde entonces se han llevado a cabo cuatro rotaciones cortas de madera para combustible, mediante el manejo de monte bajo, registrándose una declinación de la productividad sólo en la última cosecha. Como un factor probable de tal declinación se mencionó la disminución de la precipitación que acompañó a este período, no considerándose otra causa.

Según Lundgren (1978), citado por Will (1984), en terrenos fértiles quizás no se produzcan efectos importantes, sobre el crecimiento, durante dos o tres rotaciones, en cambio en condiciones normales esto podría ser evidente en una segunda o tercera rotación, y en los terrenos más pobres (suelos arenosos o de alta pluviosidad), en la última etapa de la primera rotación. Sin embargo, Lundgren manifiesta que "Aunque obvio, merece señalarse el hecho de que la probabilidad de que ocurra una declinación en el rendimiento, no es en sí un argumento en contra del manejo forestal intensivo como una forma de uso de la tierra en los trópicos. Aun si ocurre una declinación moderada en la segunda o tercera rotación, la producción de madera todavía puede ser una forma de uso de la tierra, económicamente, mucho mejor y, ecológicamente, más segura, que el cultivar anualmente. Además, algunos tipos de deterioro pueden ser corregidos fácilmente, siempre que sean identificados adecuadamente".



De acuerdo a Johnson (1976) las experiencias con la palma aceitera y el árbol del caucho indican que con un cuidado adecuado pueden crecer varias generaciones de árboles, en el mismo sitio, sin pérdidas de productividad. Por ejemplo, las plantaciones de caucho podrían requerir la adición de nutrimentos ya al comenzar la segunda rotación (Watson, 1973, citado por Johnson, 1976).

**4.2.2 En las regiones templadas.** En Nueva Zelanda, en suelos infértiles desarrollados a partir de arenas gruesas, Whyte (1973), citado por Will y Ballard (1976), encontró evidencia de una disminución en la productividad de algunos rodales de segunda rotación. Una declinación similar, en la segunda rotación de bosques de pino radiata, se ha observado en arenas infértiles en el sur de Australia (Figura 1) (Keeves, 1966, citado por Will y Ballard, 1976). Hay que señalar que en ambos casos se aplicó tala rasa y se quemaron los desechos de explotación (Kunz et al., 1985).

Al parecer, la situación de disminución de la productividad, descrita anteriormente, no es generalizada puesto que sólo un número reducido de investigaciones han corroborado un descenso de ésta cuando el sitio es usado por segunda vez consecutiva por la misma especie (Whyte, 1973, citado por Toro y Álvarez, 1985).

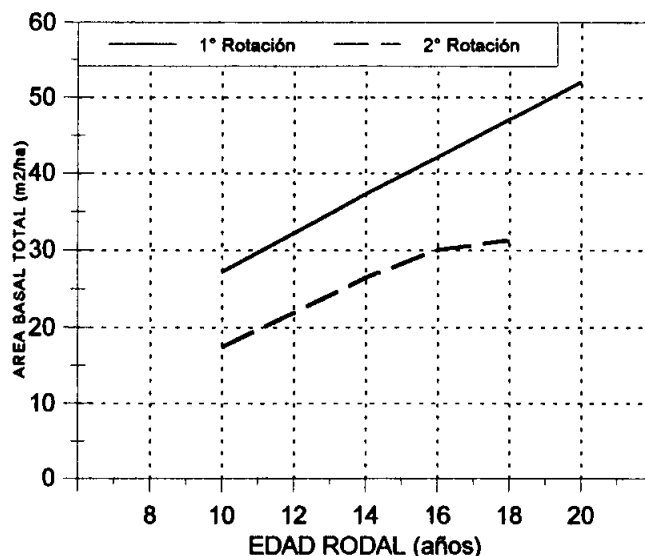


FIGURA 1. Presentación estilizada de datos compuestos sobre las tendencias en la producción en área basal, según la edad, de una primera y segunda rotación de pino radiata en suelos arenosos (Keeves, 1966, Bednall, 1968, citados por Pritchett, 1979).

Will y Ballard (1976) han atribuido esta disminución en la productividad a condiciones físicas, químicas o biológicas del suelo, menos favorables. Por ejemplo, hay evidencias de que en muchos bosques el suministro de N es insuficiente para alcanzar un buen crecimiento (Waring, 1969). No obstante, investigaciones realizadas en Nueva Zelanda y Australia indican que cualquier pérdida en la productividad puede ser más que compensada mediante la aplicación de fertilizantes (Mead, 1974, 1976, Woods, 1976, citados por Will y Ballard, 1976). Raison et al. (1982) consideran que la fertilización, probablemente, sea esencial para mantener la productividad de rotaciones subsiguientes.

Ballard (1978) también registró una disminución de la productividad en una segunda rotación de pino radiata, en Australia, situación que atribuyó a la excesiva pérdida de nutrimentos durante la preparación del sitio que siguió a la cosecha (remoción de 26 cm de la capa superior del suelo durante el despeje de desechos), agravada por la condición física pobre del suelo, bajo nivel de materia orgánica y compactación.

Aunque las declinaciones observadas en plantaciones de pino en Australia sólo han ocurrido en suelos arenosos, nutricionalmente pobres, resultados obtenidos por Feller (1983) en un estudio del tema sugieren que el potencial para tal declinación de la productividad también existe en suelos más fértiles. Por otro lado, Farrell et al. (1981), citados por Farnum et al. (1983), demostraron en Australia que rodales de segunda rotación, tratados científicamente, pueden tener igual o mayor producción que la primera rotación, en sitios iguales o similares.

En plantaciones en suelos arenosos, Turner (1983) encontró que entre el comienzo de la primera y la segunda rotación cambian por ejemplo, la densidad aparente, el nivel nutricional y la disponibilidad de humedad, lo que tiene efectos significativos en la productividad. Agrega que la declinación del nivel nutricional se relaciona en parte a la pérdida de materia orgánica.

También en relación con la declinación de la productividad en la segunda rotación, en Australia, Hamilton (1965), citado por Will (1984), indicó que posiblemente los factores del suelo eran los que se asociaban con ésta. Sin embargo, en los últimos años se ha observado que cualquier disminución en la productividad puede ser prevenida, y el crecimiento aumentado, a través de la conservación del N (sin quemas), de un buen control de malezas, para conservar la humedad del suelo y de la aplicación de fertilizantes (Waring, 1969; Donald *et al.*, 1984).

Por el contrario, Squire *et al.* (1985), comparando la productividad de una primera y una segunda rotación de rodales de pino, en suelos arenosos en Australia, encontraron un crecimiento sustancialmente mayor tanto en altura como en volumen, al cabo de los primeros cinco años de la segunda rotación, confirmando con esto que a esa edad no ha habido una declinación en el crecimiento, especialmente en sitios de baja calidad. Squire *et al.* destacan que la diferencia más importante en las prácticas de establecimiento, entre las dos rotaciones, fue que no se quemaron los desechos de explotación ni la hojarasca antes de establecer el segundo cultivo. Finalmente, concluyen que en suelos arenosos infértiles, la retención de la hojarasca y los residuos de explotación, como fuente de nutrimentos y de materia orgánica para el siguiente cultivo, al menos mantendrá la productividad del sitio en la segunda rotación. Por el contrario, la pérdida de materia orgánica y nutrimentos puede

conducir a una disminución importante de la productividad (Turner, 1983).

Por su parte, Evans (1984b) señala que en Australia no se han registrado evidencias de declinación en el crecimiento de plantaciones de P. elliotii de segunda rotación, siendo estas últimas, incluso, levemente superiores a las primeras. Además, no sólo no hay evidencias de disminución en la productividad, sino que los análisis de suelo indican que no han habido cambios de largo plazo en éste.

Will (1984) menciona que en un simposio realizado en Australia en 1981, sobre la "Productividad a Perpetuidad", y que consideró en gran parte el tema del monocultivo, ya había un aire de certidumbre respecto a que el problema de la declinación de la segunda rotación era una cosa del pasado. Stone (1982), después de evaluar las investigaciones realizadas en Australia sobre nutrición forestal, concluyó que "... el éxito presente y generalizado ha demostrado que el espectro de la declinación de la productividad tiene una existencia corporal a través de la infertilidad y de la competencia de malezas. Cuando se han identificado las causas, su aparición ya no es más un misterio, y sus efectos pueden superarse rápidamente, pero no a un costo bajo". En el mismo simposio, Boardman y Simpson (1981), citados por Will (1984), sugirieron que más que una declinación en la productividad, se lograron aumentos sustanciales de ésta,

como resultado de la aplicación de las investigaciones en nutrición, herbicidas y genética forestal.

Según Alarcón (1990), en Chile, al igual que en Australia y Nueva Zelandia, se presentan resultados que evidencian una declinación de la productividad en la segunda rotación, en plantaciones de pino radiata. Esta situación tendría su origen, fundamentalmente, en una disminución o agotamiento de las reservas nutricionales del suelo, producto de la primera rotación (Kunz et al., 1985; Toro y Álvarez, 1985), pero también hay que considerar que prácticas inadecuadas derivadas principalmente de la explotación y manejo del residuo, contribuyen a afectar de manera importante la productividad del sitio (Kunz, 1982, citado por Alarcón, 1990).

A su vez, Toro (1986) indica que las reducciones que pueden experimentar, en su productividad, las plantaciones de pino radiata que ocupan el mismo terreno por segunda o tercera vez consecutiva, pueden ser originadas por varias causas: a) un manejo inadecuado del sitio, el que tiende a reducir el capital nutricional del suelo a través de la erosión, compactación o quemas y, b) el sitio tiene una fertilidad natural baja, y no existe después de la primera rotación, una adecuada restitución de minerales para compensar las pérdidas que ocasiona la incorporación de nutrimentos en la madera que es exportada del lugar.

En cuanto al pino radiata, Arteaga y Etchevers (1988) señalan que un aspecto muy importante que puede afectar el desarrollo de esta especie, debido a problemas nutricionales, es la historia del sitio de plantación. Cuando estos sitios han sido cultivados anteriormente con especies agotadoras de los recursos nutritivos del suelo, es probable que aparezcan deficiencias de ciertos elementos esenciales.

En este aspecto, si se considera que en nuestro país las plantaciones de pino radiata se han establecido en suelos que fueron casi agotados por prácticas agropecuarias inadecuadas, la disminución de la fertilidad puede llegar muy rápidamente a niveles tales que el crecimiento de los bosques se vea considerablemente limitado (Kunz *et al.*, 1985). Entre las causas del deterioro de la fertilidad de dichos suelos, producto del uso anterior, están la erosión (pérdida de materia orgánica), compactación y/o quema de residuos orgánicos y el establecimiento de cultivos agotadores como los cereales (Schlatter, 1977; Schlatter y Gerding, 1985).

Espinosa *et al.* (1990) coinciden con Kunz *et al.* (1985) al indicar que, en numerosas ocasiones se han establecido plantaciones en sitios que presentan limitaciones severas para el crecimiento de pino radiata. A consecuencia de esto, han aumentado los problemas sanitarios y nutricionales en estas plantaciones.

En base al estudio del efecto de las plantaciones sobre el suelo, en Chile, y a evidencias australianas y neozelandesas, Francke (1993a) señala que la reducción de la productividad del sitio es el resultado de la extracción de nutrimentos y agua, consumidos por la especie arbórea, y de prácticas de manejo forestal inadecuadas. Agrega que, sin duda, las interacciones especie-sitio-modelo tecnológico de cultivo determinarán las variaciones de fertilidad del suelo y productividad del sitio.

A su vez en Europa, la productividad de rodales de latifoliadas y de coníferas ha declinado marcadamente pero, como informaron Baule y Fricker (1970), citados por Will (1984), en un estudio del tema, esto se debía a los roces y a las remociones de hojarasca que se realizaban en forma repetida, y no a la práctica del monocultivo *per se*. Agregan que la remoción repetida ha disminuido la fertilidad de los mejores sitios y ha provocado efectos severos en los sitios menos fértiles.

En Alemania y Suiza, a principios del siglo pasado, se plantaron grandes áreas con Picea abies, y en el año 1869 se observó, en algunas zonas de Alemania, una reducción en el crecimiento de rodales jóvenes, comparado con el de la rotación previa (Wiedemann, 1923, citado por Pritchett, 1979). Wiedemann hizo un estudio detallado y concluyó que el crecimiento de Picea sp. había declinado considerablemente en la segunda y tercera rotación debido a los efectos adversos



provocados al suelo por la tala rasa y la replantación de rodales puros. Posteriormente, Holmsgaard et al. (1961), citados por Pritchett (1979), cuestionaron la evidencia de la reducción en el crecimiento de los cultivos sucesivos de Picea sp. Donde ocurrieron declinaciones, consideraron que eran resultado de las severas sequías, agravadas por el abundante humus mor acumulado bajo los rodales de Picea sp. Los cambios en el suelo y en el tipo de humus, bajo dichos rodales, reflejan más lo inadecuado de la especie sobre algunos sitios y el pobre régimen hídrico, que la degradación y pérdida de fertilidad del suelo.

En Sajonia, la disminución del rendimiento observada en sucesivas plantaciones de abetos, se debió al drenaje defectuoso del suelo pesado, lo que confinaba el sistema radicular a las capas superficiales, y no a la plantación en sí (Chaffey, 1973, citado por Chijioke, 1984).

En Usutu, Suazilandia, estudios comparativos realizados por Evans (1978b), citado por Evans (1984b), en bosques de P. patula de primera y segunda rotación, no han revelado reducciones marcadas en la productividad a causa de la degradación del sitio, al cabo de la segunda rotación, aunque los rodales mostraron mejores y peores crecimientos en el transcurso de ésta. Además, entre rotaciones la calidad genética de las semillas cambió poco, aunque si se registraron diferencias climáticas de consideración,

especialmente en el monto de las precipitaciones, lo que explicaría en parte la baja en el crecimiento.

Robinson (1973) y Evans (1975), citados por Will (1984), opinan que los silvicultores deberían estar enterados de la posibilidad de una "declinación de la segunda rotación" en las plantaciones de P. patula en Suazilandia. Sin embargo, posteriormente, Schutz (1982), citado por Will (1984), declaró que "En Sudáfrica existen técnicas de monitoreo que no han revelado evidencias de alguna declinación en la productividad del sitio, después de varias rotaciones de monocultivos de pino, eucalipto o Acacia mearnsii". También indicó que después de cinco rotaciones de A. mearnsii, se han obtenido algunos aumentos en el rendimiento. Se pueden esperar estos aumentos en A. mearnsii, o en otro árbol fijador de N, producto de su capacidad para aportar materia orgánica y N al suelo.

También en Suazilandia, los resultados de estudios de suelos efectuados para comparar terrenos donde se obtienen una buena y una regular segunda rotación, indican que, en este último caso, pueden producirse cambios en la flora micorrizal entre las rotaciones, tanto desde el punto de vista cualitativo como de la amplitud de la asociación, lo que explicaría tal comportamiento (Evans, 1976, citado por Chijioke, 1984).

En un estudio sobre la productividad sostenida del sitio en los bosques americanos del norte, Powers et al. (1990)

encontraron que donde la productividad ha declinado, hay evidencias sustanciales que muestran que los comunes denominadores son las pérdidas de materia orgánica y de macroporosidad del suelo. Ambos factores son afectados directamente a través del manejo, durante la cosecha del bosque y la preparación del sitio.



## V. EFECTO DE LAS PLANTACIONES FORESTALES SOBRE EL MEDIO EDÁFICO.

El suelo y la vegetación no existen como componentes independientes del paisaje, sino al contrario, cada uno juega un rol determinando las características del otro (Alban, 1969). En este sentido, las especies forestales, en forma natural, le imprimen determinadas características a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, dependiendo, entre otros factores, del género, sistema radicular, hábitat de crecimiento, forma húmica y requerimientos hídricos y nutricionales de la especie (Francke, 1993a).

De acuerdo a Francke (1993a), el establecimiento de especies en rodales "puros" o "monocultivos" genera efectos en el suelo que dependen de las características de la especie, del sitio y del manejo forestal utilizado. Por lo tanto, la resultante integrada de la elección de la especie, selección del sitio e intensidad de manejo forestal, determinará la magnitud de los efectos en la fertilidad y productividad del sitio en el largo plazo.

Allaway (1957) señala que el rendimiento de un cultivo es afectado por muchas propiedades del suelo y, aunque algunas de éstas pueden ser mejoradas a través del crecimiento de

ciertos tipos de cultivos, no existe ninguno que las mejore todas.

Chijioke (1984) opina que las observaciones relativas a los efectos de la cubierta forestal sobre el suelo que la sustenta son, con frecuencia, contradictorias.

Alban (1982) considera que la mayoría de las veces es difícil separar la influencia de las condiciones del sitio y las prácticas de manejo de los efectos específicos de las especies arbóreas. La información disponible indica que la influencia sobre las propiedades del suelo, atribuida a algunas especies forestales exóticas, se debe principalmente al manejo que se le da al suelo y a la silvicultura aplicada.

Conforme los árboles van creciendo absorben de la solución del suelo los nutrimentos en forma continua y, una parte de ellos, se restituye a la superficie del suelo mediante la caída de la hojarasca, constituyéndose este proceso, en la vía principal del ciclo biogeoquímico de los nutrimentos en los bosques (Switzer y Nelson, 1972, citados por Baker, 1983). Este ciclo continúa hasta que, a una edad determinada, se alcanza el equilibrio entre las cantidades devueltas y las extraídas (Chijioke, 1984).

Según Evans (1984b), es un hecho que las plantaciones en monocultivo cambian el nivel nutricional del suelo. La escala de este cambio, su importancia y si afectará el crecimiento

de los cultivos posteriores, dependerá de numerosos factores pero, en especial, de la fertilidad inherente del suelo y de si las prácticas de manejo tienden a conservar o perder los nutrimentos acumulados en la capa de hojarasca y en los desechos.

Por su parte, Velasco y Lozano (1979) señalan que "la repoblación artificial, con especies del género Pinus y Eucalyptus, produce una disminución de la fertilidad natural del suelo, un empeoramiento de las propiedades físicas y acidificación, y afecta el proceso de humificación en el que interviene la microflora telúrica tanto en las etapas de mineralización o biodegradación de los restos orgánicos como en la biosíntesis de sustancias húmicas". A su vez, en plantaciones de E. globulus en Portugal, Madeira (1989) encontró que la mayoría de las variaciones en las propiedades del suelo se relacionan con el manejo de éstas, es decir, con la preparación del suelo y la silvicultura.

Alban (1982) indica que los diferentes tipos de bosques pueden acumular cantidades de nutrimentos bastante distintas (Rennie, 1955, Marion, 1979, citados por Alban, 1982) y este diferencial de acumulación puede afectar las propiedades del suelo.

De acuerdo a Page (1968), en general, los estudios realizados sobre las interrelaciones árbol-suelo pueden proponer indicaciones valederas, sin embargo, los resultados

cuantitativos específicos sólo pueden conducir a conclusiones erradas si son tomados fuera de su contexto original.

Chijioke (1984) considera que cada día existe una mayor conciencia acerca de la posible reducción del potencial del suelo como resultado de los monocultivos de especies de crecimiento rápido en las regiones tropicales, subtropicales, e incluso templadas, de todo el mundo.

### **5.1 Monocultivo en las regiones tropicales y templadas.**

En los trópicos húmedos existen monocultivos extensivos que se encuentran en su primera rotación o entrando en la segunda, como por ejemplo en Brasil (Chijioke, 1984). También en Australia, Nueva Zelandia y Chile, entre otros países templados, existen plantaciones extensas de pino radiata que son la base para las industrias que abastecen tanto los mercados internos como externos (Will, 1984). En Australia, por ejemplo, pino radiata es la principal especie plantada y gran parte de estas plantaciones se han establecido en suelos que son relativamente infértiles (Squire et al., 1985).

Will (1984) señala que debido a que el clima es más caluroso en las zonas tropicales que en las cálidas, la tasa de crecimiento de los árboles tiende a aumentar, tanto en los bosques naturales como en las plantaciones. Además, entre la gran variedad de suelos tropicales hay muchos que, estando

sometidos a largos períodos de intensa intemperización y lixiviación, están bajos en su capital total de nutrimentos.

El hecho que muchas plantaciones tropicales presenten tasas de crecimiento muy altas, trae consigo una gran demanda por humedad y nutrimentos sobre el sitio. Aquí puede ocurrir una situación de agotamiento, o estrés, mucho más rápido que en una zona templada y en particular, donde los suelos son inicialmente muy infértiles. Tales sitios pueden no soportar la conversión a monocultivos intensivos (Adlard et al., 1984).

Según Will (1984), en los bosques tropicales nativos la producción de materia seca es alta pero, la diversidad de especies y la elevada proporción de material no leñoso, resulta en una producción modesta de trozas comerciales.

Por ejemplo, Johnson (1976) indica que en una hectárea de bosque tropical lluvioso pueden haber, en promedio, más de cien especies. Aunque la tecnología actual permite una utilización mayor de las especies tropicales mezcladas que antes, la calidad variable de la madera presenta numerosos problemas que pueden ser eliminados en las plantaciones. Es por esta razón que Johnson se imaginó el futuro del sector forestal, en los trópicos, en base a monocultivos de corta rotación. Además, comprendió las dificultades planteadas por la situación de que los árboles cosecha en sí, contienen una proporción alta de los nutrimentos totales del lugar. No



obstante, señaló que la clave está en un manejo adecuado, pues así han crecido, en el mismo lugar y sin pérdidas de productividad, varias generaciones de palmas aceiteras y de árboles de caucho.

Will (1984) señala que en las regiones tropicales, las plantaciones no industriales son usadas, en gran parte, como fuentes de madera para combustible. FAO (1981c), citado por Will (1984), informó que en Asia, África y América Central y del Sur, áreas extensas que proveen de madera para combustible, ya han sido sobre explotadas o llegarán a una situación crítica cerca del año 2000. Sin duda que esto generará una cosecha intensiva de materia seca y una interrupción del ciclo natural de los nutrimentos a través de la descomposición de la hojarasca. El resultado final será, inevitablemente, la pérdida de los nutrimentos contenidos en el material cosechado, y a causa de la exposición de la superficie del suelo, la lixiviación y la erosión disminuirá aún más la fertilidad de éste.

En los terrenos agrícolas, la erosión del suelo puede remover cantidades considerables de nutrimentos (Cooke, 1981, citado por Will, 1984). Will (1984) considera que en la mayoría de los bosques artificiales de las zonas templadas, tal erosión es insignificante debido, en gran parte, a la presencia de la capa de hojarasca. Sin embargo, en las plantaciones tropicales donde la descomposición rápida de la hojarasca frecuentemente deja expuesta la capa mineral del suelo y

donde además la intensidad de la lluvia es alta, los riesgos de erosión son muy elevados, especialmente en las zonas montañosas. Frente a esta situación el manejo forestal debe tender a minimizar los riesgos de erosión; es por ello que las especies que rebrotan parecen una alternativa lógica para mantener la estabilidad del suelo a través de la presencia continua de las raíces de los árboles.

Lundgren (1978), citado por Chijioke (1984), en base a estudios realizados en zonas montañosas de Tanzania, y a través de una revisión de la literatura, concluyó que en los suelos inherentemente infértiles de las regiones tropicales húmedas y semihúmedas donde no se adopten medidas especiales para su manejo, la conversión de bosques naturales en plantaciones arbóreas de crecimiento rápido y de rotación corta tendrá como resultado, inevitablemente, la degradación del suelo manifestada a través del empobrecimiento del contenido de materia orgánica y de los niveles de nutrimentos, y por la pérdida de la estructura de la capa superficial y de la porosidad. La rapidez de la degradación dependerá de las condiciones iniciales del suelo, del clima, de las prácticas de manejo y de las especies utilizadas y, eventualmente, afectará al crecimiento de los árboles en forma adversa.

Investigaciones efectuadas por Page (1968), sobre la primera rotación de plantaciones de coníferas en North Wales, demostraron que las propiedades del suelo tendían a volver a

sus valores originales en el momento en que los árboles habían alcanzado entre 30 y 37 metros de altura. Este efecto se debió a que la mezcla de hojarasca de herbáceas y coníferas, formada bajo un dosel moderadamente denso, creó un sustrato favorable para los procesos químicos y biológicos de la descomposición. Page fue aún más allá al predecir que, en la misma zona, la segunda rotación sería tan buena como la primera dado que el suelo seguía manteniendo un nivel nutricional adecuado.

El contenido de nutrimentos varía entre los suelos dependiendo, principalmente, de los materiales de origen, del clima y de la fisiografía. Esto significa que la vida biológica de los suelos sometidos a una ordenación forestal intensiva será muy variable (Stark, 1978, citado por Chijioke, 1984). Además de la variación en el equilibrio de los nutrimentos, se sabe que los monocultivos también cambian determinadas características del suelo tales como el color, la estructura, la densidad, así como su acidez (Hamilton, 1965, citado por Chijioke, 1984). Estos cambios pueden tener efectos beneficiosos o perjudiciales, sobre la futura producción de la masa arbórea. Cualquiera que sean los efectos del monocultivo de árboles de crecimiento rápido sobre los suelos tropicales, el objetivo del programa de ordenación deberá ser el de evitar las pérdidas excesivas de nutrimentos exportados en la biomasa y el de mantener, por regla general, el potencial y la estabilidad del suelo.

Uno de los efectos más evidentes de la vegetación, sobre el suelo que la sustenta, es el depósito de materias vegetales muertas tales como hojas, ramillas, frutos, ramas e incluso madera del tronco (Chijioke, 1984). El resultado de esto es un aumento del contenido de materia orgánica en la capa superficial del suelo que, en ciertos casos, oscurece aún más su color, mejora su estructura, su infiltración, su aireación y los procesos conexos (Mergen y Malcolm, 1955, citados por Chijioke, 1984; Challinor, 1968).

## **5.2 Cambios físicos y químicos del suelo producidos bajo plantaciones.**

Cada especie arbórea, a través de sus requerimientos nutricionales y hábitos de enraizamiento característicos, puede alterar, en el tiempo, las propiedades físicas y químicas del suelo sobre el cual está creciendo (Challinor, 1968).

Las plantaciones forestales pueden afectar las propiedades químicas del suelo de dos formas. Primero, mediante el flujo de nutrimentos desde el suelo hacia los árboles, a medida que ellos crecen, y luego, desde el ecosistema cuando éstos son cosechados. Y segundo, al producirse un cambio en el nivel nutricional de la superficie del suelo, debido a que la capa de hojarasca y materia orgánica son dominadas por una especie, y las características de la composición química y la

degradación de hojas y ramillas se hacen uniformes (Evans, 1984b).

Wilde (1964) señala que, en general, el mejor indicador del nivel de fertilidad de un suelo reforestado es su contenido de materia orgánica, ya que se relaciona estrechamente con los suministros de N (Waring, 1969) y de nutrimentos disponibles (Poore y Fries, 1987), y con la capacidad de intercambio catiónico.

Fischer y Eastburn (1974), citados por Will y Ballard (1976), al evaluar los cambios que ocurrieron en un suelo de pradera, 20 años después de ser forestado, encontraron que Pinus sp. y Larix sp. no causaron cambios en la densidad, en las bases intercambiables y en el pH de la capa superior del suelo, pero sí produjeron un aumento significativo en el nivel de N.

En relación con el pH, Garrido (1993) indica que este valor expresa la actividad de los iones y su influencia sobre las funciones vitales de los organismos, sobre la disponibilidad de los nutrimentos y sobre las propiedades físicas de los suelos.

El conocimiento de este valor, y su determinación, son muy útiles para el manejo del suelo en los cultivos agrícolas y forestales; además, la acidez y la alcalinidad del suelo deben ser entendidas como factores importantes, y perfectamente controlables, en la ejecución de los

tratamientos silviculturales que se aplican en el bosque y, por lo tanto, deben ser liberadas de las connotaciones negativas que suelen atribuírseles (Garrido, 1993).

Agrega Garrido que las plantas pueden crecer en un rango de pH que va de 3,0 a 9,0, lo que significa que hay vegetales que prefieren los suelos de reacción ácida (pH menores a 7), y otros que se desarrollan muy bien en suelos de reacción alcalina (pH mayores a 7). Además, hay muchas plantas que, a pesar que su óptimo es un pH determinado, pueden adaptarse bien a valores distantes de éste. Por ejemplo, la encina blanca y el haya tienen su óptimo en pH 6,0 a 7,0 y, no obstante, pueden crecer, excepcionalmente, en pH 4,6. Los abetos prefieren los suelos ácidos, pero en regiones muy húmedas prosperan en suelos calcáreos, que son alcalinos, con pH 7,3 a 8,0.

Se ha demostrado que algunas especies forestales son indiferentes al pH y para ellas es más importante el contenido de nutrimentos del suelo. Las plantas resultan afectadas sólo cuando los valores del pH están fuera del rango 3,0 a 9,0. Por lo tanto, resulta claro que la acidez de los suelos forestales no afecta el crecimiento de los bosques y que, por el contrario, ciertos niveles de acidez lo favorecen (Garrido, 1993).

Según Lawton (1963), citado por Peña *et al.* (1976), en condiciones ácidas, la descomposición de la materia orgánica

es más lenta y el desprendimiento de N y  $\text{NH}_4$  es menor, y afecta la actividad de las bacterias nitrificadoras. Además, la nitrificación disminuye por debajo de pH 6.

Alban (1982), después de comparar los suelos bajo rodales puros de varias especies arbóreas, señaló que la evidencia encontrada apoyaba la idea de que las diferencias en las propiedades del suelo más variables, como son el pH, los nutrimentos intercambiables y las características del piso forestal, pueden ser el resultado de las especies arbóreas en sí. Además, es importante mencionar que la influencia de los árboles sobre el suelo se ejerce, principalmente, a través de la biomasa desprendida sobre éste y de la actividad radicular. Por lo tanto, aun después de cientos de años, las especies que alteren, en gran medida, los horizontes superficiales del suelo, pueden tener poco impacto por debajo de los 25 cm de profundidad (Alban, 1969).

Estudiando el efecto de plantaciones de distintas especies sobre las propiedades físicas del suelo, Pokhiton (1958) encontró que todos los tipos de bosques (puro o mixto) expresan más claramente su efecto en la capa superior del suelo, la que no va más allá de los 10 cm de profundidad.

Page (1968) considera que al igual que con las propiedades físicas del suelo, los cambios químicos más importantes, como resultado de la plantación forestal, se producen en la

superficie o en la proximidad de ella, y se relacionan con el aporte de materia orgánica hecho por la hojarasca.

Investigaciones realizadas en Chile por Schlatter y Alcoser (1981), citados por Ros (1993), en bosque nativo secundario y de pino radiata, evidenciaron diferencias cuantitativas y morfológicas en la hojarasca, explicadas por la distinta velocidad de descomposición, dado el mayor pH, contenido de Ca y número de individuos de macrofauna existente en la vegetación nativa.

Chijioke (1984) indica que las características físicas del suelo necesitan mucho más tiempo para que presenten modificaciones que puedan afectar en forma significativa al crecimiento, pero cuando se producen, pueden ser muy importantes para las rotaciones futuras. Por ejemplo, en plantaciones de Gmelina sp., el aumento de la densidad aparente y del contenido de humedad, así como la reducción del contenido de aire, en los suelos de textura media a ligeramente gruesa, pueden (si este fenómeno continúa en las rotaciones sucesivas) alterar la textura del suelo en tal medida que modifiquen, efectivamente, los procesos de movilización de los nutrimentos del suelo y de absorción por parte de las raíces. Puede presentarse una situación en la que los nutrimentos sean abundantes pero inasimilables por los árboles.



Rennie (1962) y Page (1968) concuerdan en que como resultado de la forestación se consigue una mejor aireación y porosidad en los horizontes superiores de los suelos bajo el bosque.

Estudios efectuados por Lundgren (1978), citado por Chijioke (1984), en plantaciones de P. patula y Cupressus lusitanica sobre suelos latosólicos en las montañas de Usambara, en Tanzania, mostraron que hay una tendencia a una mejora inicial de la estructura del suelo (aumento del contenido de materia orgánica y de la porosidad, y reducción de la densidad aparente) durante los primeros 4-8 años, seguida de un período de degradación durante los 10-20 años subsiguientes, correspondiente a la etapa de densidad y crecimiento máximos de la plantación. Conforme las masas arbóreas envejecen, la estructura del suelo tiende a mejorar nuevamente.

Wilde y Patzer (1940), citados por Wilde (1964), encontraron que los suelos bajo plantaciones de Pinus sp. menores de 20 años de edad, conservaban la mayor parte de las características que poseían en el momento de la plantación. No obstante, los suelos bajo plantaciones de más edad presentaban mejorías marcadas debido al gran depósito de hojarasca rica en nutrimentos y a la incorporación directa, por lixiviación, de nutrimentos solubles provenientes del follaje de los árboles (Wilde e Iyer, 1962).

Para Wilde (1964) el grado de enriquecimiento del suelo, producto de las plantaciones forestales, está sujeto a una amplia variación que depende de la edad, la composición, la densidad y la tasa de crecimiento de la masa arbórea, y del potencial productivo del suelo.

Las reservas de nutrimentos contenidas en el suelo dependen de la naturaleza de los materiales de origen. Al respecto, pueden producirse modificaciones en los nutrimentos disponibles, tanto directamente, mediante su extracción con el aprovechamiento de la madera, como indirectamente, a través de cambios en el pH y de la inmovilización de los nutrimentos (Chijioke, 1984).

De acuerdo a Garrido (1993), en los medios de comunicación nacional a menudo se dice que el pino radiata genera suelos ácidos y que por ello, no permitiría el crecimiento de otra vegetación y esterilizaría los suelos o disminuiría su fertilidad fuertemente. Muchas personas aceptan esta afirmación como valedera y, en consecuencia, combaten o se manifiestan contrarias a la plantación de esta especie forestal procedente del hemisferio norte.

En nuestro país el pino radiata crece, y se comporta excelentemente bien, en suelos cuyo pH va de 4,2 a 6,0 (Peña et al., 1976; Grass, 1992; Garrido, 1993). Del mismo modo, a pesar de que ya existen por lo menos tres generaciones de pino en un mismo lugar, no parece disminuir la capacidad del

suelo para el crecimiento del bosque y, al contrario, los rendimientos se van acrecentando. Además, las densidades iniciales de plantación actualmente utilizadas (1250 a 1600 plantas por hectárea) y los raleos efectuados a lo largo de la rotación, permiten el crecimiento de especies latifoliadas nativas que hacen posible la producción de un humus de reacción menos ácida que la actual, y la existencia de una flora y fauna del suelo, que actúan en el mismo sentido (Garrido, 1993).

Según Will (1984), con frecuencia la hojarasca ácida es considerada como una advertencia con respecto a los efectos del monocultivo de coníferas. Sin embargo, al menos en Nueva Zelanda, los efectos del pino radiata son menos extremos que aquellos producidos por varias especies nativas, particularmente por kauri (Agathis australis), cuya hojarasca ácida y capacidad de podsolización son bien conocidas. De hecho, en ciertos tipos de suelos el problema no es mantener la productividad del sitio durante sucesivos cultivos de pino, que es lo que le interesa a los manejadores forestales, sino la respuesta a la pregunta de ¿cómo rehabilitar los sitios degradados, en primer lugar, por la podsolización producida por el kauri?.

Calvo de Anta y Díaz-Fierros (1981) indican que el proceso de acidificación no depende sólo de la presencia de un agente acidificante, externo o interno, sino que en último término

la eficiencia de la acidificación depende de las propiedades del suelo.

Para Garrido (1993) el pH está muy relacionado con otros factores del suelo que modifican la acidez. Por ejemplo, las precipitaciones elevadas tienden a lixiviar el Ca y, por tanto, contribuyen a formar suelos ácidos. Esto significa que las acículas del pino radiata son menos responsables de la acidez del suelo que las precipitaciones superiores a 1500 mm anuales.

A su vez la alcalinidad del suelo, que es lo contrario a la acidez, suele ser más negativa para las plantas, ya que dificulta la absorción de algunos elementos al hacerlos menos solubles. Esto quiere decir que los suelos de reacción ácida moderada pueden ser más favorables para las plantas que los que presentan reacciones alcalinas y, por lo tanto, la actitud de las personas que se alarman porque los suelos de las plantaciones de pino tienen reacción ácida, es exagerada e injustificada (Garrido, 1993).

En Nueva Zelandia, la mayoría de las plantaciones de pino radiata están establecidas en suelos que tiene un pH que varía entre 4,8 y 5,5, y éste cambia muy poco bajo la influencia del monocultivo. Donde el pH natural del suelo es inferior a 4,0, el crecimiento del pino radiata puede asociarse con un aumento de éste (Will, 1984).

En Chile, la acidez de los suelos bajo pino radiata no es muy diferente a la que presentan aquellos bajo bosque nativo (Tabla 1).

TABLA 1. VALORES DEL pH DEL SUELO BAJO DISTINTAS ESPECIES Y TIPOS FORESTALES, EN CHILE Y EN EL EXTRANJERO.

Tipo Forestal o Especie	Rango de pH
<u>En el Extranjero:</u>	
Pino radiata (1)	4,7 - 6,5
<u>Eucalyptus</u> spp. (2)	4,6 - 5,8
<u>En Chile:</u> (3)	
Palma Chilena	6,0 - 8,0
Esclerófilo	6,0 - 7,3
Ciprés de la Cordillera	4,3 - 5,2
Roble - Hualo	4,8 - 5,7
Roble - Raulí - Coigüe	4,5 - 6,0
Renoval de Raulí (5)	5,2
Coigüe - Raulí - Tapa	4,5 - 6,0
Araucaria	4,7 - 6,0
Siempreverde	3,8 - 5,0
Alerce	3,7 - 4,1
Ciprés de las Guaitecas	3,7 - 4,5
Coigüe de Magallanes	4,2 - 4,4
Lenga	4,5 - 6,0
Pino radiata (3) (4) (5)	4,2 - 6,0
Pradera (IX Región) (5)	5,9

- Fuente: (1) Ballard (1978); Carey et al. (1982); Webber y Madgwick (1983); Toro y Álvarez (1985); Turner y Lambert (1988).  
 (2) Edmonds y McColl (1983); Turner y Lambert (1988); Madeira et al. (1989).  
 (3) Garrido (1993).  
 (4) Peña et al. (1976).  
 (5) Grass (1992).

De acuerdo a Garrido (1993), y para el caso de Chile, se desprende de la Tabla 1 que todos los tipos forestales con coníferas muestran una reacción ácida mayor o igual a la del pino radiata; los tipos forestales ubicados en sitios con

altas precipitaciones tienen suelos con reacción ácida (v. siempreverde); los tipos forestales ubicados en regiones con escasa precipitación dan reacciones alcalinas (v. gr. palma chilena y esclerófilo); y prácticamente todos los bosques de Chile están sobre suelos de reacción ácida.

Basado en parte de los datos registrados en la Tabla 1, Garrido (1993) concluye que la reacción ácida de un suelo forestal no es necesariamente negativa y por el contrario puede ser propia de un determinado tipo forestal; la reacción ácida de los suelos de las plantaciones de pino radiata no es más aguda que la de otros tipos forestales nativos; el pino radiata crece muy bien en suelos con pH entre 4,2 y 6,0 y, probablemente, no reaccionaría igual en suelos más alcalinos; y las precipitaciones son más determinantes en la reacción ácida de los suelos que la acción de las especies forestales que se desarrollan en ellos.

### **5.3 Bosque puro versus bosque mixto.**

Según Smith (1986) la respuesta a la pregunta de si ¿los rodales mixtos son superiores a los puros?, depende de las circunstancias particulares y no de generalizaciones indiscriminadas.

El monocultivo, considerado como el establecimiento de plantaciones forestales con una sola especie arbórea, es una práctica común debido a que es más simple y más barata que

establecer una mezcla planificada y a que raleos, y otras actividades de manejo, también son más simples y menos costosas de llevar a cabo (Harper et al., 1957; Daniel et al., 1982).

Sin embargo, en Nueva Zelanda, actualmente, pocos monocultivos de pino radiata son monocultivos botánicos verdaderos; la silvicultura aplicada, con sus raleos tempranos y fuertes, proporciona durante gran parte del período de rotación condiciones adecuadas para el crecimiento vigoroso de las especies del sotobosque (Will, 1984).

En Chile, los esquemas de manejo actuales también han permitido el crecimiento de una abundante diversidad de especies nativas (Campos, 1990; Castro, 1991). Estudios realizados en la zona de Valdivia por Ramírez et al. (1984), citados por Ros (1993), dan cuenta de la existencia de 55 especies nativas y 10 introducidas en el sotobosque de pino, siendo estas últimas de mayor dominancia. La presencia de una u otra está relacionada con la cobertura que entrega el bosque de pino.

De acuerdo a Grass (1992), estudios realizados en Chile, que compararon el bosque nativo con plantaciones de pino radiata, revelaron que para un mismo tipo de terreno, la fertilidad del suelo era similar entre ambos.

En la ex U.R.S.S., estudios realizados por Pokhiton (1958) sobre el contenido de nutrimentos, en particular de N y P, de la hojarasca bajo plantaciones puras de coníferas y latifoliadas, y mixtas de coníferas con latifoliadas, mostraron que la especie en particular, en el caso de bosques puros, o su proporción dentro de la composición, en el caso de bosques mixtos, tiene un efecto tanto o más importante sobre dicho contenido, que el hecho que la plantación sea pura o mixta. Es así como la plantación pura de coníferas ocupó el segundo lugar, en relación al contenido de N y P de la hojarasca, en comparación con las otras plantaciones puras y mixtas estudiadas, en tanto que diversos autores han señalado una tendencia a la reducción de las reservas de nutrimentos del suelo bajo coníferas (Waring, 1963, Hamilton, 1964, citados por Chijioke, 1984).

Smith (1986) considera que el hecho que los suelos pobres con frecuencia presenten rodales puros, mientras que los rodales mixtos están asociados a buenos suelos, es un efecto, más que una causa, de la condición del suelo.

Un estudio realizado por Chijioke (1984) sobre los efectos que causan en el suelo las especies de crecimiento rápido, no proporcionó ninguna evidencia de que el monocultivo *per se* produzca un agotamiento más rápido de las reservas nutricionales del suelo, que el que produciría un bosque mixto que tenga la misma tasa de producción de biomasa, la misma duración de la rotación y la misma proporción de



productos forestales extraídos en la cosecha. Lo que si es evidente es que el agotamiento rápido de los nutrimentos está asociado con un crecimiento rápido, una rotación de corta duración y una cosecha intensiva. Sin embargo, se necesitan más estudios para demostrar si, siendo todos los demás factores iguales, un cultivo conformado por una sola especie inmoviliza nutrimentos más rápidamente que uno mixto.

#### **5.4 Coníferas versus latifoliadas.**

Entre los forestales y los expertos en suelos, hay algunos que creen que las coníferas no producen efectos de importancia práctica sobre el suelo, y otros que están convencidos que la plantación continua de cultivos puros de coníferas dará como resultado una degradación seria del sitio (Page, 1968). A su vez, las latifoliadas rara vez son consideradas causantes de efectos adversos sobre el suelo, por el contrario, son vistas como "constructoras" de éste (Harper *et al.*, 1957). Es más, Chijioke (1984) señala que no se ha registrado ninguna degradación de las propiedades físicas del suelo con especies latifoliadas.

Will (1984) corrobora esta idea al señalar que entre aquellos que describen a las coníferas como causantes de deterioro del suelo, las latifoliadas son consideradas como "mejoradoras" de éste, sin embargo, no hay que dejar de lado que estas últimas también remueven nutrimentos desde el suelo (Hansen y Baker, 1979, citados por Will, 1984). Agrega que esta

última situación podría minimizarse no cosechando los rodales a una edad tan temprana (rotación corta), y dejando en el sitio los componentes que tienen un alto contenido de nutrimentos.

Comparando el efecto de Populus spp., Picea spp. y Pinus spp., sobre las propiedades del suelo, Alban (1982) indicó que la tasa de crecimiento es tan importante como la especie en particular, para determinar los efectos de la extracción de nutrimentos, por parte de los rodales puros, sobre el suelo. Es así como, en muchos casos, la diferencia en la acumulación de nutrimentos causada por las distintas tasas de crecimiento puede ser tan importante para explicar las diferencias existentes en el suelo bajo latifoliadas y coníferas, así como la naturaleza de los productos de la descomposición de la hojarasca.

Pokhiton (1958) considera que el efecto de las plantaciones sobre el suelo está determinado tanto por la especie arbórea en particular, como por el tipo de suelo. Es reconocido que los bosques artificiales y naturales, de distintas especies arbóreas, producen un efecto beneficioso sobre el suelo, sólo desde el momento en que se juntan sus copas y se empieza a formar la hojarasca (reciclaje interno de nutrimentos).

Según Harper et al. (1957), las latifoliadas, en sitios que no les son adecuados, con frecuencia fracasan aún más que las coníferas, ya sea en mezclas o monocultivos. Sin embargo, el

monocultivo de latifoliadas rara vez ha sido acusado de causar deterioros al suelo. El hecho que los suelos bajo la hojarasca de latifoliadas estén menos propensos a formar podsoles, que bajo la de coníferas, dudosamente es una razón en su defensa, ya que la idea de que la podsolización y la baja productividad del suelo se dan juntas no es correcta.

Hamilton (1965), citado por Edmonds y McColl (1983), encontró que la conversión de bosques nativos de Eucalyptus spp. a plantaciones de pino radiata dio como resultado una reducción en los niveles de materia orgánica y N del suelo. En la misma zona estudiada por Hamilton, Edmonds y McColl (1983) encontraron una tendencia similar en rodales de Eucalyptus sp. y pino radiata.

Estudios realizados en Gran Bretaña señalan que las cantidades de nutrimentos extraídas por los árboles aumentan en el siguiente orden: pinos, otras coníferas, y latifoliadas, estas últimas en especial respecto al Ca (Rennie, 1957, citado por Chijioke, 1984).

También en Gran Bretaña, en unos antiguos podsoles Calluna, Rennie (1962) encontró que tanto latifoliadas como coníferas, pero especialmente estas últimas, provocaron la degradación del suelo al aumentar la inmovilización de los nutrimentos en el humus y al agotar el Ca y otros elementos en los horizontes inferiores.

Según Wilde (1964), los bosques de coníferas después de los 35 ó 40 años de edad, generalmente corrigen las deficiencias temporales del suelo causadas por el madereo, las quemas, los cultivos agrícolas o el pastoreo, a tal punto que el contenido de materia orgánica y de nutrimentos dejan de ser factores limitantes.

En Gran Bretaña, Rennie (1962) encontró que al cabo de 80 años la tendencia general en el suelo, tanto bajo coníferas como latifoliadas, era la de un mejoramiento en el nivel nutricional del humus y de los horizontes superficiales, es decir, dentro de los primeros 30 cm de profundidad del suelo, y la de un empobrecimiento de los horizontes minerales bajo esta magnitud. No obstante que el empobrecimiento de los horizontes más profundos es un fenómeno que ocurre con mayor frecuencia en la naturaleza que el enriquecimiento de los horizontes más superficiales.

En relación con el contenido de nutrimentos en la biomasa, Pritchett (1979) indica que, en general, la cosecha de latifoliadas remueve más nutrimentos desde el sitio que la cosecha de un volumen igual de coníferas.

Marión (1979), citado por Johnson (1983), opina que, en general, es verdad que para una región climática dada, las latifoliadas contienen más nutrimentos por unidad de biomasa que las coníferas. Sin embargo, es incorrecto concluir que éste es siempre el caso. Por tal motivo, las generalizaciones

relativas a los contenidos de nutrimentos por unidad de biomasa de coníferas versus latifoliadas tienen poco significado y pueden llevar a confusiones.

Pokhiton (1958) considera que el efecto de algunas especies arbóreas, sobre los suelos bajo diferentes tipos de bosques, se relaciona estrechamente con la velocidad del ciclo biológico de los nutrimentos. Por ejemplo, se ha encontrado que hay un incremento en la velocidad de este ciclo en la medida que aumenta la proporción de especies latifoliadas en las plantaciones de coníferas.

Smith (1986) encontró que, en algunos casos, la descomposición de la hojarasca de coníferas aumenta mediante la mezcla con hojarasca de latifoliadas, ya que esta última mantiene una población más abundante y versátil de organismos descomponedores y desintegradores.

De acuerdo a Harper *et al.* (1957), un estudio en Nueva Inglaterra mostró que la hojarasca de latifoliada atrae a poblaciones de organismos del suelo diferentes a las que atrae la de Pinus sp., con lo cual provoca una mayor incorporación de humus en el suelo mineral.

Agregan Harper *et al.* que el establecimiento y mantenimiento de un sotobosque de hoja ancha, probablemente es la manera práctica más común para mejorar la productividad del suelo en los monocultivos de coníferas. La mezcla de hojarasca de

latifoliada con la de conífera estimula una descomposición más rápida de la materia orgánica, reduce la acidez y fomenta la nitrificación. Los efectos beneficiosos de la hojarasca de latifoliada provienen principalmente de su contenido más alto de Ca y de otros nutrimentos.

Según Schlatter (1977), existen antecedentes que indicarían que las plantaciones de pino pueden presentar condiciones menos favorables que los suelos cubiertos con especies latifoliadas, para los procesos de descomposición del material orgánico. La restricción de la velocidad de descomposición y mezcla de la sustancia orgánica, con el suelo mineral, es importante en cuanto a la cantidad de nutrimentos disponibles para las plantas, ya que ella representa una reserva significativa de éstos (Schlatter, 1974, citado por Schlatter, 1977). Por tal motivo, en suelos pobres en reservas, en donde la restricción es, en general, mayor, esta situación viene a significar que las plantas no tengan una adecuada disponibilidad de nutrimentos, lo que puede originar un crecimiento restringido.

A su vez, Bonneau (1973), citado por Will y Ballard (1976), basado en investigaciones realizadas en Europa, Australia y Nueva Zelandia, concluyó que las plantaciones de coníferas producen una reducción de la actividad biológica en el humus, hacen disminuir el pH y el nivel de Ca, pero no ocasionan una degradación como tal en el suelo.

Frecuentemente se plantea que las coníferas, en contraste con las latifoliadas, causan acidificación del suelo, es decir, disminuyen el pH y el contenido de Ca, y tienen un efecto generalmente perjudicial sobre éste (Calvo de Anta y Díaz-Fierros, 1981; Jones, 1965, citado por Alban, 1982; Will, 1984). Sin embargo, Ovington (1953), citado por Will (1984), después de estudiar plantaciones en cinco sitios diferentes, concluyó que el pH del subsuelo es el que tiene una influencia mayor en la acidificación y, además, que no todas las coníferas generan suelos con pH más ácido que todas las latifoliadas.

De acuerdo a Holmsgaard y Holstener-Jorgensen (1961), citados por Alban (1982), estudios más recientes ponen en duda algunas de las primeras generalizaciones, y ahora parece cierto que muchas diferencias de suelo, atribuidas a la vegetación presente, existían antes que ésta se estableciera (Stone, 1975, citado por Alban, 1982).

Al respecto, Schlatter (1977) opina que no es fácil compartir la conclusión de los autores que señalan un pH significativamente más ácido bajo pino, ya que estas diferencias pueden ser atribuidas a variaciones naturales del pH del sitio.

Según Bergkvist (1987), citado por Maliondo et al. (1990), en general, la acidificación será mucho más alta en los suelos bajo coníferas que bajo latifoliadas.

Rolfe y Boggess (1973) estudiando las condiciones del suelo bajo una plantación de pinos, un uso agrícola y un bosque nativo de latifoliadas, no encontraron diferencias significativas, en el pH, entre ellos.

En Gran Bretaña, después de estudiar la acidez de la hojarasca, tanto bajo coníferas como latifoliadas, Rennie (1962) señaló que al cabo de 80 años, ésta sólo sufrió cambios leves. Bajo coníferas el pH aumentó de 3,3 a 3,1, y bajo latifoliadas disminuyó de 3,3 a 3,5. Sin embargo, en los horizontes minerales inferiores, la acidez aumentó ligeramente bajo todas la especies arbóreas.

En relación con las propiedades físicas del suelo, Francke (1993a) indica que, en general, la cubierta de coníferas genera en los horizontes superficiales del suelo, un aumento del volumen total de poros y macroporos, al compararla con la de latifoliadas. En cambio en estas últimas se favorecería la formación de poros de tamaño medio, lo que se asociaría con propiedades físicas del suelo más benéficas (v. gr. un mejor régimen de aire).

Challinor (1968) encontró que la transformación de un suelo de empastada, compacto, en uno forestal poroso, se efectuaba al mismo ritmo en cuatro especies, Picea sp., Quercus sp., Pinus strobus y P. resinosa, en un período de 30 años, sin que existiera prueba alguna de que las coníferas fueran



especialmente dañinas para el suelo, ni los robles (Quercus sp.) especialmente beneficiosos.

En Kenia, la comparación entre el suelo de una plantación de cipreses de 16 años de edad y el de un bosque nativo conformado principalmente por especies latifoliadas, no ha demostrado ninguna diferencia en las características físicas de éstos (Robinson et al., 1966, citados por Chijioke, 1984).



## **VI. PRÁCTICAS Y ESQUEMAS DE MANEJO ASOCIADOS A UNA DISMINUCIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DEL SITIO.**

En la década pasada, estudiosos del suelo forestal, ecologistas y silvicultores manifestaron su interés por el impacto adverso que pueden tener algunas prácticas de manejo forestal intensivas, sobre la productividad del sitio, en el largo plazo (Van Lear *et al.*, 1983).

Alban (1982) indica que existe una preocupación creciente por saber si las rotaciones más cortas y la utilización intensiva de la biomasa pueden, a través de la remoción acelerada de nutrimentos, afectar las propiedades del suelo y, por lo tanto, la productividad futura del sitio.

Adams (1978) opina que la mayoría de las prácticas de manejo forestal sólo se basan en su utilidad y pragmatismo, dado que le prestan poca atención al impacto que provocan en el suelo. Después de examinar las prácticas más comunes, encontró que todas tienen algún impacto sobre el suelo, con las consiguientes implicaciones para su productividad, en el largo plazo. Por ejemplo, pueden ocurrir ganancias de nutrimentos en el caso de aplicar fertilizantes, o pérdidas de ellos al cosechar el bosque o al preparar el suelo para plantar. No obstante, la magnitud de la pérdida de nutrimentos dependerá, en particular, de la forma en que se lleve a cabo la práctica de manejo. Es así como una cosecha

intensiva extraerá una cantidad mayor de todos los nutrimentos, que una cosecha tradicional. Además, hay que tomar en cuenta que la pérdida de nutrimentos, probablemente, es más significativa en los ecosistemas que tienen un bajo contenido de ellos (Evans, 1984b), tales como los que se encuentran en suelos fuertemente intemperizados y lixiviados.

Agrega Adams que se requiere un mayor reconocimiento del impacto potencial de las prácticas de manejo forestal sobre el suelo, y un mejor entendimiento de las características de los suelos que están siendo manejados, a fin de mantener y, si es posible, mejorar la productividad de éstos en el largo plazo. Por ejemplo, el crecimiento en rodales establecidos a alta densidad se puede mejorar a través de raleos, lo que reducirá la competencia por humedad y nutrimentos, fomentará una mayor descomposición del humus y favorecerá el desarrollo de vegetación en el sotobosque (Harper et al., 1957).

Evans (1984b) considera que el manejo puede alterar el sitio de tres formas: (1) a través de las prácticas de preparación del suelo, de fertilización, de extracción de biomasa en raleos y cortas finales, de manejo de desechos, etc.; (2) mediante el daño que se le hace al suelo durante las faenas de cosecha, lo que puede traducirse en compactación, erosión localizada y distribución heterogénea de desechos y materia orgánica sobre el sitio; y (3) la plantación en sí, y la hojarasca que produce, afectará el sitio y el suelo en numerosas formas, y son estos posibles efectos los que han

originado la inquietud de que algunos monocultivos pueden causar una degradación del sitio.

Harper *et al.* (1957) clasifican en cuatro las prácticas forestales que están relacionadas estrechamente con la productividad del suelo: las quemas controladas y prescritas; el monocultivo (cultivo de una sola especie, en rodales puros); el pastoreo; y la cosecha de madera. De estas cuatro prácticas, tres de ellas, la quema, el pastoreo y la cosecha, si no se hacen adecuadamente, pueden destruir o alterar el material orgánico, compactar el suelo y causar erosión.

Burschel y Huss (1987), citados por Gerding (1993), indican que las plantaciones forestales de rápido crecimiento, como por ejemplo las de pino radiata, representan ecosistemas que sufren alteraciones con alta frecuencia. En este sentido, la estabilidad del ecosistema, entendida como la capacidad de éste para restablecer su estado original, luego de recibir alteraciones internas o externas, temporales o permanentes, se verá empeorada en todos los sitios en la medida que las rotaciones sean más cortas, se extraiga más biomasa y se quemen los desechos (Gerding, 1993). Por tal razón, es fundamental el esquema de manejo silvícola que se aplique a la plantación, para mantener la productividad de las rotaciones futuras.

De acuerdo a Jorgensen *et al.* (1975) y Nwoboshi (1983), la productividad de los ecosistemas forestales se mantiene

principalmente a través de la circulación de los nutrimentos minerales, lo que permite un suministro adecuado y su reutilización. Es así como bajo las condiciones de un bosque no manejado, los árboles eventualmente mueren y los nutrimentos acumulados son regresados al suelo, situación que no ocurre en un bosque bajo manejo (Alban, 1982). Por lo tanto, cualquier alteración del ecosistema que resulte, directa o indirectamente, en una pérdida sustancial de nutrimentos circulantes, conducirá a una disminución de la productividad en aquellos sitios donde tales elementos son escasos. En este sentido, el uso de rotaciones cortas y/o la mayor utilización de la biomasa, lo que aumenta marcadamente la tasa de extracción de nutrimentos desde los sitios (Raison *et al.*, 1982), tendrán un efecto importante sobre el mantenimiento de la productividad.

Para Dyck *et al.* (1983), las actividades de cosecha del bosque y de preparación del suelo para plantar, alteran el ciclo normal de los nutrimentos. Por consiguiente, los nutrimentos liberados durante la descomposición acelerada que normalmente ocurre después de una corta (Gadgil y Gadgil, 1978), no pueden ser utilizados y por lo tanto, están más expuestos a ser lixiviados y a perderse.

Pritchett (1979) opina que los nutrimentos removidos en la cosecha son moderados, sobre una base anual, y pueden, generalmente, ser reemplazados mediante las entradas naturales en el ecosistema. Sin embargo, las operaciones de

preparación del sitio sí pueden causar una pérdida significativa de la fertilidad.

Will (1984) menciona que en la mayoría de los países tropicales los suelos han estado sometidos a una intensa intemperización y lixiviación, y que gran parte de los nutrimentos totales del sitio están contenidos en la vegetación. Por tal razón, los nutrimentos circulan rápidamente para ser reabsorbidos mediante una cubierta de raíces superficiales, densa y eficiente. Ante tal situación, la quema de hojarasca y desechos de explotación producirá una pérdida inmediata de N, a la forma de gas, y convertirá a otros nutrimentos en formas más solubles y lixiviables, a través de las cenizas. Agrega Will que la actividad biológica puede reponer el N, pero nada, excepto la intervención del hombre, a través de la fertilización, devolverá la mayor parte del P, K, Ca, Mg, entre otros nutrimentos, perdidos por lixiviación.

En relación con el madereo, Kunz et al. (1985) señalan que éste, además de extraer nutrimentos desde el ecosistema puede, en algunos casos, acelerar su pérdida a través de los procesos de volatilización, lixiviación y erosión del suelo. Además, el madereo también pueden producir compactación, por lo que se le debe prestar un cuidado especial (Hornbeck et al., 1990).

Según Alarcón (1990), en la actualidad, en general, no se considera que existan pérdidas de productividad en los sitios con plantaciones, y que éstas se acentúan al agregar los efectos propios de las prácticas de manejo silvícola y de residuos, después de la explotación, en especial por el uso del fuego a través de quemas controladas. Este proceso lento, muchas veces no visible, pero existente, se manifiesta en pérdidas de suelo o procesos erosivos de características irreversibles, pérdidas de fertilidad por procesos de lixiviación, drenaje, volatilización y translocación de nutrimentos; finalmente, se expresa en términos de disminución del crecimiento y productividad en la siguiente rotación.

Francke (1988a) opina que, en la actualidad, la fertilidad del suelo se encuentra afectada, principalmente, por determinadas técnicas y prácticas de explotación tales como tala rasa, desbroce, quema de desechos, sistemas de explotación, etc., las que favorecen la exportación de nutrimentos del sitio. Por ejemplo, con la tala rasa aumenta la tasa de mineralización de nutrimentos en el suelo, con lo cual es probable que también aumenten las pérdidas por lixiviación. Estas pérdidas serán mucho mayores si se utilizan quemas de alta intensidad para eliminar los desechos, especialmente en suelos arenosos (Florence, 1986).

Para Edmonds y McColl (1983), prácticas de manejo forestal tales como la tala rasa y el uso de quemas prescritas, pueden

influir negativamente en el crecimiento de los árboles al afectar la disponibilidad de N en el suelo.

Por otra parte, hoy en día, el manejo forestal, en general, implica el uso intensivo de maquinaria, no sólo para la cosecha de los rodales, sino también para la aplicación de una variedad de tratamientos silvícolas. Dicho uso tiene el potencial de modificar marcadamente las propiedades físicas de las capas superficiales del suelo, aunque su efecto varía marcadamente de un suelo a otro, pudiendo causar una pérdida seria en crecimiento y productividad, en el largo plazo (Froehlich, 1972).

Según Gayoso e Iroumé (1989), citados por Gayoso e Iroumé (1993), el mayor grado de mecanización de las operaciones forestales, producto del incremento de los volúmenes de producción, la incorporación de terrenos con mayor grado de pendiente, el hecho de reutilizar sitios en segundas y terceras rotaciones y la disminución de las edades de éstas, son las causas que han traído, bajo ciertas condiciones, una reducción de la productividad del sitio.

Murphy (1982) indica que la maquinaria utilizada en faenas de raleo produce daños en el suelo, los que él clasificó en: compactación del suelo; deformación de la estructura; y remoción del suelo superior, lo que reduce la disponibilidad de nutrimentos. Agrega Murphy que existe mucha evidencia en relación a que el daño al suelo reduce el crecimiento de los



árboles; sin embargo, la magnitud de esta reducción varía considerablemente según la especie, condición original del suelo y del rodal, densidad y severidad del daño. Por ejemplo, en E.U.A. se han registrado reducciones en el crecimiento que van desde un 6% hasta un 55% (Froehlich, 1979; Perry, 1964, citado por Murphy, 1982).

De acuerdo a Florence (1986), la pérdida de nutrimentos desde el sitio, como resultado de desplazamientos o pérdidas de suelo producidas durante operaciones de cosecha y de preparación del sitio, puede superar a la producida por la cosecha de la biomasa y, además, reducir la productividad del sitio apreciablemente. Por ejemplo, la remoción de alrededor de un centímetro de profundidad de suelo exporta, aproximadamente, la misma cantidad de nutrimentos removidos en una sola cosecha de biomasa (Raison, 1984, citado por Florence, 1986).

Alarcón (1990) también considera que la erosión provocada por la remoción de árboles en la cosecha es una de las causas importantes de pérdida de nutrimentos. El madereo, la construcción de caminos, la utilización de maquinaria pesada, el tratamiento de residuos mediante quema controlada, pueden generar de moderados a fuertes procesos erosivos, básicamente visibles por la pérdida del suelo, y por ende, de los nutrimentos contenidos en él. Agrega Alarcón que el fenómeno erosivo es de primer orden de importancia, principalmente porque ocurre en los primeros horizontes del suelo, que son

los que contienen cerca del 80% de los nutrimentos. Como resultado final, este fenómeno afectará en forma considerable la productividad del sitio (Stone, 1973, citado por Alarcón, 1990).

Según Pritchett (1979), la cosecha del bosque puede tener efectos perjudiciales sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, lo cual, algunas veces, se expresa a través de la reducción de la productividad forestal. Además, la tendencia hacia la utilización más completa de los componentes del árbol y la adopción de rotaciones más cortas puede reducir significativamente la capacidad de muchos suelos marginales para reponer los nutrimentos removidos en la cosecha. Sin embargo, con una planificación adecuada y un manejo responsable, el suelo y el sitio forestal pueden asociarse juiciosamente con el apropiado sistema silvicultural, método de cosecha, práctica de preparación del sitio, selección de la especie, y programa de protección del rodal, y cuando esto se hace correctamente, el daño a la productividad del sitio puede minimizarse o evitarse.

Adlard et al. (1984) opinan que la tendencia hacia cosechas más intensivas y la remoción de materia orgánica, a través de la quema de desechos y labores culturales, ha puesto en duda, incluso, la estabilidad de los suelos más ricos manejados bajo cultivos de rotación corta.

Kunz et al. (1985) indican que, al igual que los cultivos agrícolas, los bosques de crecimiento rápido, como los de pino radiata, tienden a disminuir la fertilidad del suelo ya que existe una extracción periódica de nutrimentos desde el sistema suelo-planta, a través de las intervenciones silvícolas extractivas. A esto debe sumarse el deterioro del suelo, como consecuencia de la compactación y erosión, ambos productos, normalmente, de las faenas de maderero y de preparación del sitio para la próxima plantación (Froehlich, 1972).

Para Raison et al. (1982) y Johnson (1983), la cantidad de nutrimentos extraídos a través de la cosecha del bosque depende de la tasa y patrón de almacenamiento de nutrimentos de la especie arbórea en particular, de la longitud de la rotación empleada, del grado de utilización de la biomasa (incluido raleos), de las condiciones climáticas y del estado nutricional del suelo.

Vitousek y Melillo (1979), citados por Dyck et al. (1983), señalan que no todos los ecosistemas forestales responden de la misma forma ante una alteración como la que produce la cosecha y, por lo tanto, algunos liberan considerablemente más nutrimentos que otros. Por otra parte, la severidad de la alteración también puede afectar, en gran medida, el grado en que los nutrimentos son perdidos, así como la ausencia prolongada de cubierta, en el terreno, puede elevar aún más

estos niveles (Likens *et al.*, 1970, citados por Dyck *et al.*, 1983).

Miller (1983) indica que la productividad del suelo forestal se puede mantener mediante un manejo juicioso que conserve una cubierta vegetal para prevenir la erosión y retener los nutrimentos, corrija la compactación del suelo y restrinja el uso del fuego en los suelos menos fértiles.

De acuerdo a Hornbeck *et al.* (1990), los manejadores forestales pueden tomar precauciones para proteger las reservas nutritivas y la productividad futura del sitio, por ejemplo, evitando la cosecha del árbol entero en tipos de suelos y condiciones de baja fertilidad y, en el caso de especies caducas, planificando la cosecha de modo que las hojas permanezcan en el sitio.

Según Florence (1986), un manejo cuidadoso debería considerar la adopción de rotaciones más largas (al menos de 20 a 30 años), prohibir la remoción de hojarasca, evitar el uso de quemas para reducir desechos y combustible, incorporar especies leguminosas en el ciclo de cultivo y prácticas operacionales diseñadas para minimizar la erosión del suelo y otras pérdidas de nutrimentos. De otra forma, en un sitio de baja a moderada fertilidad, donde la hojarasca es removida y los métodos de cosecha son deficientes, desde el punto de vista del impacto sobre el medio, el agotamiento de los

nutrimentos del sitio podría expresarse como una disminución de la productividad dentro de pocas rotaciones.

### **6.1 La intensidad de cosecha.**

En las últimas décadas, en el mundo, ha surgido la tendencia a utilizar más intensivamente la biomasa producida por el bosque, cosechándose no sólo el fuste, sino que también ramas, acículas y, en algunos casos, raíces, para ser utilizadas como materia prima industrial o como fuente de energía. Este hecho hace que el problema de la disminución de la productividad se vea considerablemente acentuado, ya que se altera severamente el ciclo de los nutrimentos en el bosque (Norton, 1976, citado por Kunz *et al.*, 1985; Hornbeck *et al.*, 1990).

Chijioke (1984) señala que los efectos producidos sobre el suelo, por los monocultivos de especies de crecimiento rápido, son mucho más complejos que la simple adición y sustracción de nutrimentos por parte de los árboles. Sin embargo, una parte importante de los efectos totales del monocultivo se debe a la extracción, desde el suelo, de nutrimentos esenciales contenidos en la biomasa. Además, la cantidad de nutrimentos inmovilizados en los árboles debe considerarse en función de las reservas contenidas en el suelo y, las modificaciones efectuadas en éste, por el crecimiento de los árboles, deben examinarse desde el punto de vista del rendimiento sostenido en las rotaciones futuras.

Entre los años 60 y 70, distintos investigadores de los ecosistemas forestales templados ya habían planteado que el aumento en la extracción de biomasa, y su contenido de nutrimentos, mediante la cosecha intensiva, podía causar una declinación en la productividad futura en tales sitios. Sus informes mostraron que el impacto de tal cosecha puede variar según el suelo, el clima y la especie en particular (Boyle et al., 1973; Silkworth y Grigal, 1982; Keeves, 1966, citado por Nwoboshi, 1983).

Boyle et al. (1973) consideran que las operaciones de cosecha intensiva, en terrenos de baja fertilidad o en aquellos que presentan erosión y/o lixiviación severa, pueden causar una reducción importante en la capacidad del ecosistema forestal para suministrar nutrimentos en el futuro, dado que su contenido en la biomasa cosechada, representa una proporción importante del capital de nutrimentos del suelo (Rennie, 1962).

Wells y Jorgensen (1979), citados por Chijioke (1984) indican que las cortas de aprovechamiento, que implican la salida de gran cantidad de nutrimentos, agotan el suelo. Tales extracciones, permanentes y periódicas, reducen la capacidad del suelo para suministrar nutrimentos y, por lo tanto, hacen disminuir el depósito de éstos, en su forma asimilable, a un nivel inferior al necesario para garantizar la nutrición adecuada de los árboles.

Según Kunz et al. (1985), la práctica de cosecha intensiva también se está iniciando en Chile, aumentándose así la posibilidad de que el crecimiento de los bosques, en la próxima rotación, se vea disminuido de manera importante. Esto debido a que la cosecha de gran parte de la biomasa producida en el bosque puede aumentar, sustantivamente, la cantidad de nutrimentos removidos desde el sitio (Riekerk, 1983), en comparación con las prácticas de cosecha tradicional, lo cual, tarde o temprano, dependiendo de la calidad del suelo, afectará su productividad (Alarcón, 1990).

Alarcón y Prado (1990) opinan que, en Chile, la extracción total del árbol todavía no es una práctica común, ya que se deja una cantidad considerable de biomasa como desecho de explotación, la que, en la mayoría de los casos, es apilada y quemada. Sin embargo, dicha práctica se está acrecentando día tras día.

De acuerdo a Chijioke (1984), en los trópicos, durante varios decenios se han aplicado métodos de explotación intensiva de cultivos permanentes tales como la palma aceitera (Elaeis guineensis) y el caucho, entre otros. La experiencia ha demostrado que los rendimientos disminuyen después de varios años de aprovechamiento forestal. Entre las muchas causas posibles de esta reducción se encuentran los desequilibrios entre los nutrimentos del suelo, la proliferación de agentes patógenos o cambios microbiológicos desfavorables y la degradación de las propiedades físicas del suelo, lo que

puede impedir la movilización de los nutrimentos y la utilización del agua.

Agrega Chijioke que cuando en las plantaciones de caucho se cosecha el árbol entero, se produce una pérdida importante de los nutrimentos almacenados, con lo cual el terreno entra en su segundo ciclo de plantación en un estado de empobrecimiento extremo, haciéndose evidente, rápidamente, la carencia de dichos nutrimentos. Sin embargo, este riesgo se elimina mediante una fertilización regular.

Para Adams (1978), la cosecha del bosque produce un gran impacto sobre el suelo a través de la pérdida de los nutrimentos contenidos en los troncos, acelerándose de esta forma la tasa natural de deterioro del ecosistema. Por otro lado, algunos estudios han sugerido que la remoción de nutrimentos, a través de la cosecha, tiene poco significado desde el punto de vista silvicultural, particularmente cuando sólo se extrae el tronco (Malkonen, 1976, citado por Adams, 1978). No obstante, Adams indica que la mayoría de esos estudios, al parecer, fueron realizados en bosques bajo rotaciones largas y sobre suelos débilmente intemperizados, es decir, con un alto contenido de nutrimentos. Por lo anterior, es importante reconocer que la misma situación puede no ser valedera en un ecosistema menos fértil.

Por su parte, Chijioke (1984) indica que, en promedio, alrededor del 80% de los nutrimentos contenidos en los



árboles se encuentran en la madera del tronco y en la corteza, las que, en general, son extraídas durante la explotación. Por ejemplo, entre un 70 y un 80% de los nutrientes inmovilizados en las partes aéreas de los árboles, en plantaciones de Gmelina arborea y P. caribaea, se pierden en el aprovechamiento forestal de la madera del tronco más la corteza. Además, las cantidades mayores de nutrientes inmovilizadas, en estas especies, están asociadas a los mejores suelos y a un crecimiento más rápido; sin embargo, estas cantidades presentan una variación amplia según el tipo de suelo y edad de la especie.

Jorgensen *et al.* (1975) consideran que la remoción más grande de nutrientes, desde un sistema, puede deberse a la cosecha de la biomasa, especialmente si es cosechado el árbol entero; ahora si a esto se le agrega una quema para preparar el terreno, se reducen aún más las reservas de nutrientes, especialmente el N, llegando a niveles que pueden producir sólo unas pocas rotaciones económicamente aceptables.

Según Turner (1983), el establecimiento de plantaciones y la intensificación del manejo forestal producen cambios en la forma y distribución de los nutrientes, pero aparte de las simulaciones, ningún estudio ha mostrado que la remoción de éstos, en la biomasa cosechada, conduzca a una declinación de la productividad.

Alban (1982) opina que es esencial conocer el monto de nutrimentos acumulados en todos los componentes del ecosistema para comprender los efectos de las especies sobre el suelo. El considerar sólo los nutrimentos presentes en el piso forestal, en el suelo mineral o en la vegetación, puede generar interpretaciones bastante diferentes del impacto de las especies sobre el sitio.

A su vez, Chijioke (1984) señala que es muy importante la relación que existe entre las cantidades totales de nutrimentos presentes en los árboles, que son extraídas durante el aprovechamiento forestal, y las reservas contenidas en el suelo (capital nutricional), ya que ésta dará una idea aproximada del número de rotaciones que un suelo determinado podría teóricamente sostener bajo un esquema de manejo específico.

De acuerdo a Schlatter (1987), la utilización de la madera modifica cuantitativa y cualitativamente los flujos naturales de nutrimentos. Intervenciones que causan la extracción de nutrimentos a través de la cosecha de madera, corteza y, en algunos casos, ramas, afectan la disponibilidad de éstos en el estrato superior del suelo, efecto especialmente delicado en suelos con bajas reservas nutritivas, que presentan poca capacidad de recuperación.

Para Florence (1986), la cantidad de nutrimentos removidos desde el suelo de una plantación, a través de la cosecha,

depende de la concentración de nutrimentos dentro de los distintos componentes de la biomasa y de la intensidad de utilización de ésta. Donde hayan rotaciones sucesivas, esto también dependerá de la tasa de producción de biomasa, la longitud de la rotación y la forma en que cambia, con la edad del rodal, la distribución de nutrimentos en la biomasa.

En este sentido, los árboles forestales, especialmente las especies de crecimiento rápido, imponen grandes demandas al suelo. Además, con los métodos de explotación actuales, en que es corriente extraer la totalidad, o la casi totalidad, de la biomasa, la cantidad de nutrimentos que desaparecen en cada extracción, puede alcanzar varios miles de kilos por hectárea (Chijioke, 1984).

Maliondo *et al.* (1990) consideran que la remoción de grandes cantidades de nutrimentos en los componentes de la copa del árbol, a través de la cosecha del árbol entero, puede tener efectos perjudiciales para la productividad futura del sitio.

Según Van Hook *et al.* (1982), citados por Johnson (1983), en general, las concentraciones de nutrimentos son mayores en el follaje y en las ramillas, y menores en el fuste y en las ramas (Tabla 2); por lo tanto, la cosecha del árbol entero normalmente resulta en una remoción mayor de nutrimentos, por unidad de biomasa removida, que la cosecha de sólo el fuste. Sin embargo, aunque esta generalización es válida en la mayoría de los casos, hay excepciones a la regla. Por esta

razón, Johnson (1983) opina que el generalizar acerca de los efectos de cosechar distintos componentes de la biomasa es discutible. Siendo comúnmente cierto que los nutrimentos están más concentrados en los tejidos más jóvenes, esto no siempre es así, y las excepciones pueden ser importantes desde la perspectiva de la remoción total de nutrimentos desde el sitio. Además, la importancia relativa que tiene el follaje en la remoción total de nutrimentos es tan variable que, el generalizar con respecto a su relevancia, puede inducir a errores.

TABLA 2. CONTENIDO DE NUTRIMENTOS EN LOS DISTINTOS COMPONENTES DE LA BIOMASA SOBRE EL SUELO (% SOBRE PESO SECO), PARA UNA PLANTACIÓN DE PINO RADIATA, EN NUEVA ZELANDIA.

Especie	Componente	Contenido de Nutrimentos (%)			
		N	P	K	Ca
<u>P. radiata</u> (29 años)	Fuste	0,04	0,01	0,06	0,05
	Corteza	0,21	0,02	0,28	0,15
	Ramas	0,18	0,03	0,26	0,20
	Ramillas s/a	0,50	0,11	0,71	0,24
	Acículas	1,42	0,20	0,99	0,40

Fuente: Webber y Madgwick (1983).

Nota: s/a = sin acículas.

Los altos contenidos de nutrimentos de ramas, ramillas y hojas ponen de manifiesto la gran importancia que tiene el destino que se dé a estos componentes (Jorgensen et al., 1975; Kunz et al., 1985). Su extracción, que implica una ganancia escasa en la cantidad de biomasa cosechada, o su

eliminación mediante el uso del fuego, pueden incidir fuertemente en la productividad futura del sitio.

Likens et al. (1978) señalan que con la cosecha del árbol entero, la remoción de ramas, ramillas y hojas puede incrementar las pérdidas de N, K y Ca, desde el ecosistema, en aproximadamente 3, 2 y 2 veces, respectivamente.

De acuerdo a Jorgensen et al. (1975), datos entregados por varios autores evidencian claramente que la cosecha del árbol entero (sin raíces) incrementa la pérdida de importantes nutrimentos, desde un 50% hasta más del doble, comparado con la cosecha tradicional del fuste (Williams et al., 1983).

En Chile, Kunz et al. (1985) determinaron que la cosecha tradicional, pese al empleo del fuego y con la excepción del N, elemento que se volatiliza fácilmente, conserva una cantidad mayor de nutrimentos en el sitio, que la cosecha intensiva.

Estudiando los efectos de la intensidad de cosecha, Bigger y Cole (1983) hallaron que el aumento en la utilización de biomasa, a través de la cosecha del árbol entero, tiene implicaciones importantes para la productividad forestal, ya que con esto se incrementa la pérdida de nutrimentos en forma desproporcionada, en comparación con el aumento en la biomasa obtenida. Por ejemplo, tanto en rodales de coníferas como de latifoliadas, dicha cosecha, en la que se remueve toda la

biomasa que está sobre el suelo, puede producir entre 24 y 133% más de ésta, en comparación con la cosecha tradicional (Maliondo *et al.*, 1990); sin embargo, los nutrimentos removidos pueden aumentar de 2 a 5 veces (Malkonen, 1976, citado por Bigger y Cole, 1983). Además, esta pérdida adicional de nutrimentos puede ser muy significativa, en especial en áreas de baja fertilidad (Adams, 1978), pudiendo conducir a una reducción de la productividad del sitio (White, 1974, citado por Webber, 1978).

Otros autores han encontrado que la cosecha del árbol entero, en bosques de latifoliadas, puede extraer de 2 a más de 3 veces la cantidad de nutrimentos comparado con la cosecha tradicional (Boyle y Ek, 1972, citados por Hornbeck y Kropelin, 1982; Patric y Smith, 1975, citados por Mroz *et al.*, 1985). Este hecho, asociado a un acortamiento de los intervalos entre cosechas, ha aumentado la inquietud acerca del agotamiento potencial de los nutrimentos y la posible declinación en la productividad del sitio (Kimmins, 1977, Carlisle y Methuen, 1979, citados por Hornbeck y Kropelin, 1982).

Freedman (1981), citado por Webber y Madgwick (1983), revisando la literatura sobre la cosecha del árbol entero, reportó aumentos de 2 a 99% en el rendimiento de biomasa de rodales de coníferas, dependiendo de la especie y de las características del rodal. Sin embargo, el aumento relativo

en la remoción de nutrimentos fue mucho mayor que el aumento en el rendimiento en biomasa.

En plantaciones de Pinus taeda de 16 años de edad, Jorgensen *et al.* (1975) determinaron que las ramas y acículas representaban sólo el 16,2% de la biomasa total del árbol, no obstante contenían el 44,4% del N, el 33,3% del P y el 33,6% del K. También en plantaciones de P. taeda, Van Lear *et al.* (1983) encontraron que la cosecha del árbol entero extrae entre 45 y 50% más N y P, y 37% más K y Ca, que la cosecha tradicional.

Estudiando la degradación de terrenos cubiertos por plantaciones de pino radiata, desde el punto de vista de la pérdida de nutrimentos resultante de la cosecha del árbol entero, Orman y Will (1960) hallaron que en un árbol maduro de entre 26 y 29 años de edad, la copa (ramas y acículas) no contenía más del 40% del total de los nutrimentos. Por lo tanto, se eliminan cantidades mayores de nutrimentos de un terreno, cuando se cosecha el árbol entero, que si se dejasen en él los desechos de la tala. Por ejemplo, las acículas, las ramas y la corteza, que representan aproximadamente entre el 15 y el 20% de la materia seca de un árbol, contienen alrededor del 50% de los nutrimentos de éste (Figura 2) (Madgwick *et al.*, 1977; Kunz *et al.*, 1985). Por otro lado, aunque sólo el 10% de la materia seca de un cultivo de árboles maduros se deja en los desechos de explotación, por este medio retornan al suelo porcentajes altos de todos los

nutrimentos, debido a que las ramas y, especialmente, las acículas contienen altas concentraciones de ellos (Orman y Will, 1960; Will, 1964; Kunz et al., 1985).

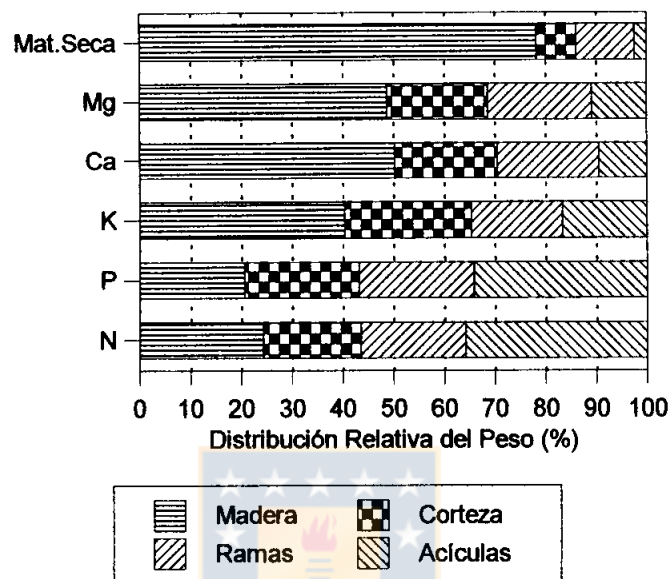


FIGURA 2. Distribución relativa de materia seca y de cinco nutrientes en los principales componentes aéreos de un rodal de pino radiata de 22 años de edad, en Nueva Zelanda (Madgwick et al., 1977).

Por ejemplo, se podría evitar desde un 25% de pérdida de nutrientes por causa de la explotación de árboles enteros si se dejasen sobre el terreno los residuos de la corta. De igual forma, las pérdidas podrían reducirse en otro 5-10% si se dejase, además, la corteza en el terreno (Jorgensen et al., 1975; Chijioke, 1984).

En relación con la corteza, según Francke (1988a), al realizarse el descortezado en caminos de explotación o en aserraderos, se pierde alrededor de un 40% más de



nutrimentos, que si se efectuara en el lugar de explotación. Esto porque la corteza puede contener entre 25 y 50% del N o P del tronco, en árboles como pino radiata y Eucalyptus spp. (Crane y Raison, 1980; Attiwill, 1980, citado por Raison et al., 1982). Además, en cosechas del árbol entero, en las que sólo una pequeña parte de la copa de éste queda en el rodal, las pérdidas pueden ser aún mayores.

Contenidos de nutrimentos del tronco (fuste y corteza) y los del árbol entero (tronco más ramas y hojas), para rodales de Eucalyptus spp. de 10 años de edad y de pino radiata, de distintas edades se presentan en la Tabla 3.

Para plantaciones de Eucalyptus spp. de 10 años de edad, el tronco, que representa sobre el 80% de la biomasa aérea total (Tabla 5), en general contiene entre 76 y 82% de los nutrimentos presentes en el árbol. La cosecha del árbol entero, comparada con la de sólo el tronco, causa un aumento del 34-37% en la remoción de N, del 38-41% en la de P y del 28-37% en la de K. La remoción de los otros elementos aumenta en forma menos marcada (Tabla 3).

Para pino radiata, el tronco representa aproximadamente el 77% del total de la biomasa aérea (Tabla 5), y contiene entre 49 y 70% de los nutrimentos considerados en el árbol entero. La cosecha del árbol entero, comparada con la de sólo el tronco, implica un aumento del 42-61% en la remoción de N, del 35-63% en la de P y del 34-50% en la de K (Tabla 3).

TABLA 3. CONTENIDO DE NUTRIMENTOS DEL TOTAL DE COMPONENTES DEL TRONCO Y DEL ÁRBOL ENTERO, PARA PLANTACIONES DE Eucalyptus spp. Y DE PINO RADIATA, DE DISTINTAS EDADES.

Especie	Componente	Contenido de Nutrimentos (kg/ha)					
		N	P	K	Ca	Mg	Total
<u>E. grandis</u> (1) (10 años)	Tronco	276	10	110	613	33	1042
	Árbol entero	416	16	158	730	51	1371
<u>E. saligna</u> (1) (10 años)	Tronco	260	10	150	886	57	1363
	Árbol entero	412	17	208	927	89	1653
<u>E. viminalis</u> (10 años) (1)	Tronco	171	16	103	569	73	932
	Árbol entero	273	27	164	614	93	1171
<u>P. radiata</u> (2) (12 años)	Tronco	136	12	150	110	45	453
	Árbol entero	350	32	298	178	75	933
<u>P. radiata</u> (3) (17 años)	Tronco	161	41	238	174	58	672
	Árbol entero	382	70	417	284	90	1243
<u>P. radiata</u> (4) (20 años)	Tronco	447	52	402	590	238	1729
	Árbol entero	770	80	606	722	273	2451
<u>P. radiata</u> (3) (22 años)	Tronco	108	14	174	126	48	470
	Árbol entero	251	31	266	177	70	795
<u>P. radiata</u> (5) (29 años)	Tronco	217	31	285	220	66	819
	Árbol entero	412	61	458	332	99	1362

Fuente: (1) Wise y Pitman (1981).  
 (2) Will (1964).  
 (3) Madgwick (1985).  
 (4) Toro y Álvarez (1985).  
 (5) Webber y Madgwick (1983).

Wise y Pitman (1981) opinan que la cantidad de nutrimentos removidos a través de la cosecha de toda, o parte, de la biomasa, puede recuperarse a partir de las reservas de nutrimentos del suelo. Si se necesita o no la adición de fertilizantes para mantener la tasa de crecimiento dependerá de la diferencia que exista entre los requerimientos de nutrimentos del cultivo y su disponibilidad en el sustrato.

Johnson (1983) señala que investigadores en distintas partes del mundo concluyeron que la cosecha del árbol entero, especialmente en rotaciones cortas, causa agotamientos significativos de uno o más nutrimentos, con lo cual se puede ver afectada la productividad futura del sitio.

**6.1.1 Remoción de nutrimentos en cultivos agrícolas y forestales.** En el largo plazo, la repetida cosecha de cualquier cultivo, sea agrícola o forestal, causa una menor fertilidad del suelo, por el simple hecho que éstos van extrayendo nutrimentos del suelo (Grass, 1992).

Poore y Fries (1987) consideran que existe un doble estándar para juzgar los cultivos forestales, en comparación con muchos cultivos agrícolas. Por ejemplo, nadie se sorprende que estos últimos sean a menudo de especies introducidas; cultivos tales como trigo, maíz, arroz, papa, etc. existen en muchas partes del mundo y son de origen exótico. Incluso, nadie se sorprende que los suelos agrícolas puedan llegar a agotarse, si se mantienen con cultivos permanentes, sin adición de fertilizantes. Sin embargo, ambas situaciones se consideran suficientes para basar las críticas hacia los cultivos forestales.

Mientras en la actividad agrícola, con las cosechas anuales, se extrae casi la totalidad de la masa vegetal, es decir, se retiran cantidades considerables de nutrimentos del sistema, en la actividad forestal se extraen, en forma comparativa,

cantidades relativamente bajas, dado los largos períodos de tiempo entre las cosechas finales, siendo la madera, además, relativamente pobre desde el punto de vista nutritivo (Francke, 1988a).

Will (1984) indica que la mayoría de los cultivos agrícolas son cosechados en semanas o meses; no obstante, en muchos otros aspectos ellos no son diferentes de las plantaciones forestales; se siembra la semilla de una especie en particular y a través del crecimiento de ésta (producción de materia seca) se obtiene el producto deseado. Además, para alcanzar niveles de crecimiento adecuados, el suelo debe ser capaz de suministrar un cierto nivel y balance de nutrimentos. Por otro lado, algunas plantas requieren un nivel de fertilidad del suelo mucho más alto que otras pero, en general, los árboles forestales están entre los menos exigentes.

De acuerdo a Grass (1992), las plantaciones forestales tienen dos grandes diferencias respecto a los cultivos agrícolas: (1) se plantan en terrenos sin alternativas claras de otros usos, en general de menor fertilidad y, muchas veces, con un grado de erosión importante; por estas razones es obvio que no se puede exigir la misma fertilidad a estos suelos; y (2) los requerimientos nutricionales, de los cultivos forestales, son muy inferiores a los de los cultivos agrícolas (Tabla 4).

TABLA 4. CANTIDAD PROMEDIO DE NUTRIMENTOS REMOVIDOS AL CABO DE UNA ROTACIÓN, A TRAVÉS DE LA COSECHA DEL CULTIVO.

Tipo de cultivo	Cantidad de nutrimento removido (kg/ha/año)			
	N	P	K	Ca
Pino radiata (1)	4,5-7,0	0,1-1,0	5,5-8,5	3,5-5,5
Cereales (2), (3)	60-100	10-30	60-70	6-21
Patata (2)	80	5	100	3
Alfalfa (2)	155	16	110	120

Fuente: (1) Will (1964); Will (1968b), citado por Will y Ballard (1976).

(2) Fried y Broeshart (1967), citados por Will y Ballard (1976).

(3) Halse et al. (1969), Archer (1974), citados por Wise y Pitman (1981).

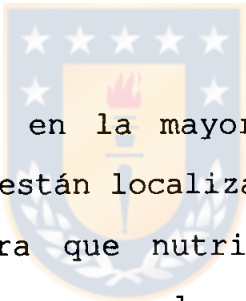
En E.U.A., Zobel y Davey (1977), citados por Will (1984), se han manifestado en contra de aquellos que creen que la pérdida de nutrimentos asociada a la cosecha intensiva que se le practica a los monocultivos de pino es "aún más devastadora" que la que ocurría cuando se cosechaba algodón.

Al respecto, Poore y Fries (1987) indican que los cultivos de eucalipto, que poseen tasas de crecimiento altas y que se manejan en rotaciones cortas, generan fuertes demandas nutritivas sobre el suelo, las cuales son similares a las de los cultivos agrícolas anuales (v. gr. el maíz).

Estudiando las condiciones que presenta el suelo después que ha tenido por largo tiempo un uso agrícola y un uso forestal, Rolfe y Boggess (1973) encontraron que la etapa seral de los

pinos introducidos mejoró considerablemente las condiciones del suelo desde que se abandonó su uso agrícola.

Según Will y Ballard (1976) no hay que olvidar que al igual que otras formas productivas de uso de la tierra (v. gr. agricultura), la cosecha del bosque también involucra una remoción de nutrimentos. Por lo tanto, del mismo modo como se acepta la práctica de aplicar fertilizantes para reponer los nutrimentos extraídos por los cultivos agrícolas y por la crianza de animales, se debe considerar como parte esencial, de un manejo saludable, el uso de éstos en el sector forestal.



Will (1984) señala que en la mayoría de los países, las plantaciones forestales están localizadas en los suelos menos fértiles, de tal manera que nutricionalmente corren más riesgos que si estuvieran en suelos agrícolas. Sin embargo, Will y Ballard (1976) opinan que aunque la extracción de madera desde los bosque resulta en una tasa de remoción de nutrimentos mucho más baja que la que se produce en la mayoría de otros cultivos (Tabla 4), la cosecha del árbol entero o la remoción de hojarasca elevan la extracción de nutrimentos, aproximándola a aquella de los cultivos agrícolas.

Las demandas por nutrimentos, de aun los bosques de rotación corta más productivos, son pequeñas cuando se comparan con las remociones de nutrimentos que hay en la agricultura. Por

ejemplo, si se considera un cultivo de cereales, sobre un período de 10 años de edad, basado en un barbecho anual cada 4 años, y en los datos de la Tabla 4, las remociones podrían llegar a 800 kg de N, 240 kg de P y a 560 kg de K, lo que en comparación con los datos de la Tabla 3, para el caso de Eucalyptus spp., y con la cosecha del árbol entero, equivale de 2 a 3 veces la remoción de N, de 9 a 15 veces la de P y de 3 a 4 veces la de K, de una plantación de rotación corta.

Según Will (1984), en las regiones templadas hay muchos suelos que contienen nutrimentos suficientes para mantener, por muchos años, una producción agrícola continua. Experimentos han demostrado que cultivos sucesivos de cereales, que son altamente demandantes de nutrimentos, pueden crecer por más de un siglo sin que se origine una disminución en la productividad potencial del sitio (Cooke, 1967, citado por Will, 1984). Los rendimientos más altos han sido y serán posibles mediante la aplicación de fertilizantes; además, el sitio no ha sufrido una degradación permanente por el crecimiento de monocultivos de trigo o cebada.

## **6.2 La longitud de rotación.**

El cultivo forestal, a través de monocultivos de rotación corta, se está difundiendo cada día más no sólo en las regiones templadas sino también en las regiones tropicales húmedas. El efecto neto de tales monocultivos, sobre el

suelo, dependerá de una serie de factores entre los cuales se encuentra el clima predominante, la naturaleza del suelo y el tipo de cubierta arbórea, y sus exigencias particulares (Chijioke, 1984).

Raison *et al.* (1982) indican que con el acortamiento de la rotación aumenta la frecuencia de las alteraciones que sufre el sitio, a través de la cosecha y la preparación del sitio. Estas dos actividades son muy importantes porque, comúnmente, incrementan la pérdida de nutrimentos vía erosión, lixiviación y traspaso hacia la atmósfera (v.gr. durante la quema).

Crane y Raison (1980) consideran que la longitud de la rotación es muy significativa al evaluar los niveles nutricionales, ya que al disminuir ésta, aumenta la tasa de pérdida de nutrimentos por escurrimiento y lixiviación. Además, la tasa de acumulación de nutrimentos, en la biomasa, es mayor durante la primera fase de la rotación y, por lo tanto, su tasa de remoción en la cosecha también es mayor. Por otro lado, una rotación corta no proporciona el tiempo suficiente para la acumulación de nutrimentos mediante la precipitación, intemperización y fijación de N, por lo que el flujo de éstos es más rápido en tales rotaciones (Van Lear *et al.*, 1983).

En relación con rotaciones cortas, algunos autores creen que los cambios en el ecosistema forestal no son tan graves como



para producir alarma, en tanto otros los consideran más importantes, y piden que se haga un estudio mucho más detenido al respecto (Keeves, 1966, Lawton, 1973, citados por Chijioke, 1984). En este sentido, Chijioke (1984) opina que no existe duda alguna de que la extracción de árboles, en rotaciones frecuentes y sobre vastas superficies, tendrá como resultado un determinado grado de degradación de las características físicas, químicas o morfológicas del suelo, a pesar del ciclo de los nutrimentos.

De acuerdo a Raison *et al.* (1982), la exportación directa de nutrimentos en la biomasa aumenta marcadamente con el acortamiento de la rotación y, mediante la remoción de los componentes del dosel, en cualquier etapa de ésta. Por lo tanto, en los cultivos de rotación corta, la cosecha del árbol entero terminará por agotar las reservas de nutrimentos del suelo, a menos que se apliquen fertilizantes para reponer lo que se ha removido (Webber y Madgwick, 1983). Respecto a esto último, Wise y Pitman (1981) señalan que, en la actualidad, hay escasa información sobre la necesidad de aplicar nutrimentos para mantener la productividad del sitio en los sistemas de rotación corta.

Webber (1978) clasificó en tres las implicaciones que tiene la rotación corta sobre las relaciones nutricionales del sitio forestal: (1) al acortar la longitud de la rotación, una proporción mayor de ésta es destinada al período de regeneración, tiempo en el cual es posible que ocurra una

pérdida acelerada de nutrimentos a través de la descomposición del piso forestal; (2) con rotaciones cortas la salida total de nutrimentos será mayor que con rotaciones largas, dado que al comienzo de la fase de crecimiento de la plantación la tasa de producción de biomasa, absorción de nutrimentos y concentración de éstos en la biomasa, serán mayores que en las fases de crecimiento subsiguientes (Florence, 1986); y (3) aunque la cosecha se realice después del período de ocupación total del sitio, el drenaje de nutrimentos por unidad de biomasa cosechada, dependiendo del método de cosecha, podría ser alto.

Según Ferreira et al. (1984), en Brasil, en la región de la sabana, se han establecido plantaciones de eucalipto cuyas rotaciones van de los 4 a 5 años, período en el cual la absorción de nutrimentos es más alta. Esta intensificación del manejo impondrá una demanda mayor de nutrimentos sobre el suelo. Además, junto con el acortamiento de la rotación está la tendencia a elevar la densidad y, en algunos casos, a cosechar el árbol entero. Como resultado de esto, la presión sobre el capital de nutrimentos del suelo aumentará de manera importante. Ahora que si se considera que los suelos de la sabana son de baja fertilidad, esta situación podría tener consecuencias serias sobre la productividad del sitio, en el largo plazo.

Crane y Raison (1980) señalaron que la tasa de remoción de P, en plantaciones de E. delegatensis, aumentó al acortar la

longitud de la rotación. Sugirieron que esta tasa de remoción de P, en una rotación de 10 años o menos, podría ser equivalente a 4 veces lo que se remueve en una rotación de 60 años.

Poore y Fries (1987) consideran que la cosecha de eucaliptos, en rotaciones cortas, especialmente cuando se aprovecha toda la biomasa, conduce a un agotamiento rápido de las reservas nutritivas del suelo como consecuencia directa de su alta tasa de crecimiento, situación que además, podría aplicarse a cualquier otro cultivo altamente productivo, y a la vez asociarse íntimamente con la longitud de la rotación.

Wang et al. (1991) opinan que las plantaciones tropicales de rotación corta, que combinan manejo intensivo con altas tasas de crecimiento, pueden conducir a remociones particularmente elevadas de nutrimentos en la biomasa cosechada, aumentando así la inquietud por la calidad y producción sostenida del sitio, en el largo plazo.

De acuerdo a Alarcón (1990), toda la literatura extranjera, y la lógica, indican que las plantaciones de especies de rotación corta son más exigentes y producen una extracción mayor de nutrimentos del sistema, lo cual podría reducir la calidad del sitio (Mroz et al., 1985).

Por ejemplo, la remoción de nutrimentos que se produce bajo un bosque nativo manejado para obtener madera aserrada es, en

promedio, menos del 5% de lo que se remueve con la utilización del árbol entero, en plantaciones de rotación corta. Esta remoción de nutrimentos, tan baja, es el resultado de la retención de hojas, ramas y corteza en el sitio, del desarrollo de una proporción mucho mayor de duramen en los rodales de más edad (con lo cual queda un contenido de nutrimentos mucho menor en el tronco) y de una productividad mucho más baja comparada con las plantaciones de rotación corta. En el caso del bosque nativo, cuando los troncos no son descortezados en el bosque, la remoción de nutrimentos promedio no es más del 6%, que la de las plantaciones de rotación corta (Wise y Pitman, 1981).

Jorgensen *et al.* (1975) señalan que el efecto de la longitud de la rotación, sobre el ciclo de los nutrimentos, debería ser considerado junto con la remoción de la biomasa. Aunque, en general, con una rotación más larga se removerán más nutrimentos, independientemente del método de cosecha, debido a que la acumulación máxima de nutrimentos ocurre durante las primeras etapas de desarrollo del rodal, con una rotación más corta habrá una mayor remoción de éstos, sobre una base anual.

Por ejemplo, en plantaciones de pino radiata, de entre 2 y 22 años de edad, Madgwick *et al.* (1977) encontraron que, comúnmente, las concentraciones de nutrimentos, tanto en el tronco como en las ramas, tendían a disminuir a medida que aumentaba la edad del árbol. Además, las concentraciones

relativas en los distintos componentes del árbol disminuyeron en el siguiente orden: follaje, corteza, ramas y fuste.

También en plantaciones de pino radiata, Raison *et al.* (1982) encontraron que el aumento en la remoción de nutrimentos asociada, a una utilización más intensiva de la biomasa, es relativamente mayor en los rodales jóvenes debido a que el follaje y la corteza contienen una proporción más alta de nutrimentos en los árboles de menor edad. Los fustes de los árboles jóvenes también contienen una cantidad mucho mayor de nutrimentos, por unidad de biomasa, que los de más edad. Por otro lado, los raleos que extraen la copa podrían aumentar la cantidad de nutrimentos removidos en un factor de 3 ó 4, en comparación con los que sólo cosechan el fuste. Tal situación es equivalente a cosechar el árbol entero, en rotaciones cortas.

Según Alban (1982), la tasa de acumulación de nutrimentos varía con la edad del rodal y, en la mayoría de los casos, la tasa de acumulación máxima no ocurre sino hasta los 20 ó 30 años de edad. Jorgensen *et al.* (1975) encontraron que la acumulación máxima de nutrimentos, en rodales de *P. taeda*, se produce entre los 10 y los 15 años de edad, poco después que se cierra el dosel y el terreno queda completamente ocupado. De cualquier modo, la acumulación de nutrimentos probablemente no produzca un cambio mayor, en el suelo, en un período de tiempo mucho menor que éste (Lane, 1975, citado por Alban, 1982), excepto bajo sistemas de cultivo intensivo

de rotación corta, los que son análogos, en muchos aspectos, a los sistemas agrícolas (Hansen y Baker, 1979, citados por Alban, 1982).

Madgwick (1985) indica que el contenido total de nutrimentos, en los distintos componentes de una masa arbórea, aumenta hasta que se cierra el dosel; después de esto existe una variabilidad amplia entre los distintos rodales.

En bosques de coníferas, en general, se ha observado que la tasa de acumulación de nutrimentos y biomasa es mayor antes del cierre del dosel, que después de éste (Turner, 1981, citado por Johnson, 1983). Esto, unido al predominio de componentes de la biomasa ricos en nutrimentos (v. gr. follaje y tejidos leñosos nuevos) hace que la cosecha, en rotaciones cortas, genere una demanda mayor sobre el capital de nutrimentos del suelo, que la cosecha en rotaciones más largas (Miller et al. 1980, citados por Johnson, 1983).

Es importante considerar que el contenido de nutrimentos del duramen es generalmente más bajo que el de la albura; y la madera, en una plantación joven, está constituida básicamente por albura (Tabla 5) (Orman y Will, 1960).

Se han medido distribuciones de biomasa similares a la de E. grandis, para E. globulus de 6 años de edad (Cromer et al., 1975, citados por Wise y Pitman, 1981) y para E. viminalis,

de monte bajo, de 11 años de edad (Nicholls y Phillips, 1970, citados por Wise y Pitman, 1981).

Tanto las hojas como la corteza involucran una remoción relativamente alta de nutrimentos, entre 14,0 y 19,0% y 41,5 y 58,0%, respectivamente (Tabla 6), en comparación a su contribución a la biomasa total (v. gr. 4,8% y 13,2%, respectivamente, para E. grandis) (Tabla 5).

TABLA 5. DISTRIBUCIÓN DE LOS DISTINTOS COMPONENTES DE LA BIOMASA AÉREA (%), PARA Eucalyptus spp. Y Pinus sp..

Especie	Distribución de la Biomasa (%)				
	Hojas	Ramas	Corteza	Fuste	
<u>E. grandis</u> (1) (10 años)	4,8	10,0	13,2	72,0	(43,5 albura) (28,5 duramen)
<u>E. globulus</u> (2) (16-19 años)	5,4	3,4	15,4	75,8	
<u>P. radiata</u> (3) (20 años)	6,3	9,9	7,0	76,8	

Fuente: (1) Bradstock (1981), citado por Wise y Pitman (1981).

(2) López (1991).

(3) Toro y Álvarez (1985).

A su vez, la albura también involucra una extracción importante de nutrimentos, de 18 a 25% (Tabla 6), aunque su aporte a la biomasa total es mayor (v. gr. 43,5% para E. grandis), en especial cuando los árboles son más jóvenes (Tabla 5).

El contenido total de nutrimentos de los distintos componentes de la biomasa aérea de plantaciones de Eucalyptus spp. de 10 años de edad, decrece de la siguiente forma: corteza, albura, hojas, duramen y ramas (Tabla 6). El total de nutrimentos considera N, P, K, Ca, Mg, Na, S y Cl.

TABLA 6. DISTRIBUCIÓN DEL TOTAL DE NUTRIMENTOS (%), POR COMPONENTE DE LA BIOMASA SOBRE EL SUELO, PARA PLANTACIONES DE Eucalyptus spp. DE 10 AÑOS DE EDAD.

Especie	Componente	Total de Nutrimentos (%)
<u>E. grandis</u>	Hojas	19,0
	Ramas	6,0
	Corteza	41,5
	Albura	25,5
	Duramen	8,0
<u>E. saligna</u>	Hojas	14,0
	Ramas	4,5
	Corteza	58,0
	Albura	18,0
	Duramen	5,5
<u>E. viminalis</u>	Hojas	16,0
	Ramas	4,0
	Corteza	49,0
	Albura	20,0
	Duramen	11,0

Fuente: Wise y Pitman (1981).

### 6.3 El manejo de residuos.

Como señalaron Will et al. (1983), gran parte de las declinaciones de la productividad que ocurrieron en Europa, en el pasado, se debieron a las prácticas que extraían



nutrimentos desde el sitio, siendo la remoción de hojarasca, una de las principales.

Dicha hojarasca es la materia vegetal que se acumula sobre el suelo y su producción y descomposición juegan un papel importante en la mantención de la productividad de los ecosistemas forestales (Ballard y Will, 1981, citados por Huber y Oyarzún, 1983). Además, la cantidad y composición de esta materia, y su posterior descomposición, son factores relevantes en la eficiencia del ciclo de nutrimentos en el bosque (Bray y Gorham, 1964, citados por Huber *et al.*, 1986).

Para Francke (1988a), el ciclo de nutrimentos depende en forma considerable de la movilización y disponibilidad de los nutrimentos que se encuentran en la hojarasca, y de los horizontes orgánicos superficiales del suelo mineral. Si la hojarasca es removida en forma regular, esto ocasionará un drenaje adicional, y algunas veces sustancial, sobre la reserva de nutrimentos del suelo (Florence, 1986).

En un bosque maduro, el ciclo de los nutrimentos, que se encuentra en un estado de equilibrio relativo, es alterado radicalmente a través de la cosecha, debido al gran aumento de biomasa que se produce sobre el piso forestal y a la exposición de éste a las extremas climáticas. No obstante, esta situación puede no ser crítica, en términos de la dinámica de los nutrimentos del ecosistema, si la hojarasca y los residuos de explotación son dejados sobre la superficie

del suelo, de modo que se descompongan gradualmente (Farrell, 1984). Además, el manejo de los desechos provenientes de los raleos y de la corta final, constituye un factor clave para la mantención de la calidad del sitio, ya que éstos concentran una gran cantidad de nutrimentos que son liberados paulatinamente, pudiendo así la planta reutilizarlos (Ballard y Will, 1981, citados por Toro y Álvarez, 1985).

Van Lear et al. (1983) opinan que en sitios de baja fertilidad, además de cosechar sólo el fuste en rotaciones relativamente largas, se deben dejar en el lugar los desechos de explotación y la hojarasca, lo que ayudará a reducir el impacto de las operaciones de cosecha sobre el nivel nutricional del sitio.

En algunos países, Florence (1986) señala que la hojarasca de los bosques de eucalipto es removida regularmente y utilizada de diversas maneras, situación que puede llevar a una disminución apreciable del capital de nutrimentos en tales bosques. Agrega que la cantidad de nutrimentos removidos desde el sitio depende de la calidad de éste, de la especie en particular y de la frecuencia con que la hojarasca es extraída.

En Nueva Zelanda, Will et al. (1983) indican que cada vez hay mayor conciencia de la importancia de la hojarasca como una gran fuente de nutrimentos en los bosques de pino radiata, particularmente de N. Por ejemplo, la biomasa sobre

el suelo, de un rodal maduro de pino radiata, contiene alrededor de 400 kg/ha de N, de lo cual la mitad es removido en una cosecha tradicional; en contraste, la hojarasca bajo un rodal de primera rotación contiene, aproximadamente, 500 kg/ha de N (Webber y Madgwick, 1983).

En un estudio sobre las capas de hojarasca bajo primeras y segundas rotaciones de bosques de pino radiata, de entre 16 y 21 años de edad, en Nueva Zelandia, Carey et al. (1982) registraron 287,0 kg/ha de N, 18,1 kg/ha de P, 25,7 kg/ha de K y 28,8 kg/ha de Mg en rodales de primera rotación, y 540,0 kg/ha de N, 36,9 kg/ha de P, 49,4 kg/ha de K y 31,9 kg/ha de Mg, bajo los de segunda rotación. Así, después de dos rotaciones se almacenó más N y P en las capas de hojarasca que lo que podría ser removido en una operación de cosecha tradicional (Webber y Madgwick, 1983).

En relación con la erosión, Alarcón (1990) señala que la hojarasca favorece la disminución del proceso erosivo y representa un aporte importante de nutrimentos. Además, a medida que se deposita sobre el suelo y se descompone, libera parcialmente nutrimentos que se movilizan, generalmente, hacia el suelo mineral para ser absorbidos por las raíces e incorporados a la biomasa del árbol, contribuyendo así a mantener la productividad del bosque.

Francke (1988a, 1990) indica que al dejar en la superficie talada del bosque los residuos de explotación, éstos actúan

como una cubierta tipo mulch que minimiza los procesos erosivos e influye en el microclima en la cercanía del suelo, favoreciendo así, el régimen térmico e hídrico de éste y elevando las reservas húmicas, con el consiguiente beneficio para los árboles que conformen la reforestación (Figura 3).

Según Will (1964), una segunda rotación de pino radiata producirá una demanda de nutrimentos mucho más baja sobre las reservas del suelo, durante los primeros 10 años de su vida, período en el cual ésta es muy alta, siempre que existan nutrimentos disponibles a partir de la descomposición de los desechos y de la hojarasca del primer cultivo.

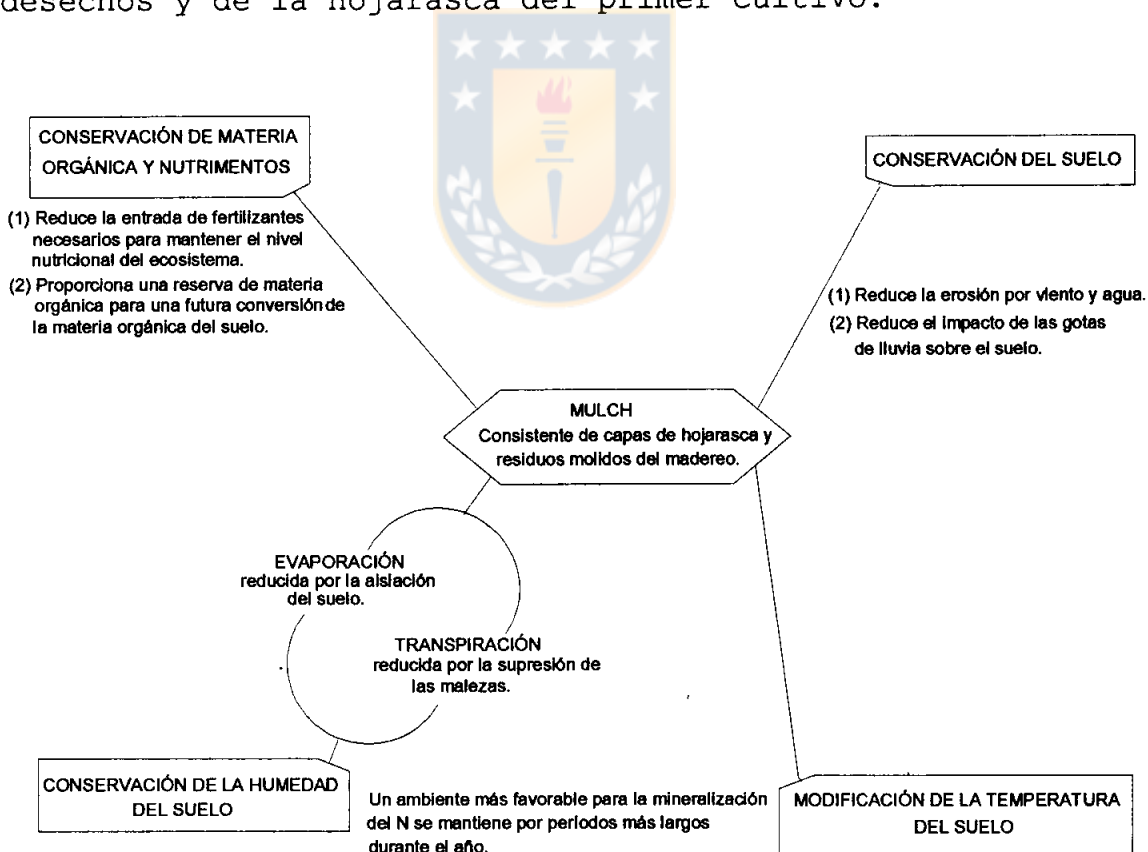


FIGURA 3. Presentación esquemática de las distintas propiedades de un "mulch" consistente de hojarasca y residuos molidos de madereo (Farrell, 1984).

En este sentido, uno de los beneficios más grandes de mantener la hojarasca y los residuos de explotación sobre la superficie del suelo, es que proporcionan un mecanismo de liberación lenta de nutrimentos para el nuevo cultivo (Pritchett y Wells, 1978, citados por Farrell, 1984).

En un estudio sobre los aspectos nutricionales del pino radiata, en relación al uso del sitio, Toro y Álvarez (1985) determinaron que el aporte que efectúan los residuos de explotación son muy sustantivos, por lo que deberían permanecer en el sitio después de cortar el bosque.

Kunz *et al.* (1985) señalan que las limitaciones que tiene el uso de fertilizantes en especies arbóreas, sumado a su alto costo, han estimulado la mantención de la productividad, en el largo plazo, mediante la conservación de los nutrimentos en el sitio, tratando de reducir todas las prácticas que producen pérdidas innecesarias.

Al respecto Poore y Fries (1987) opinan que se debería dejar en el sitio la biomasa rica en nutrimentos, no aprovechar el sistema radicular en la mayoría de los sitios, remover la corteza de los troncos y dejarla en el sitio siempre que sea posible, usar procedimientos conservacionistas para la preparación del suelo, lo cual reduce las perturbaciones y las pérdidas de nutrimentos y materia orgánica contenidas en los residuos de la corta, en la capa de hojarasca y en el suelo superficial.

Flinn *et al.* (1980), citados por Squire (1983), consideran que "la retención de la hojarasca y los residuos de explotación, para conservar la materia orgánica, la humedad y los nutrimentos del suelo, probablemente es el único medio seguro mediante el cual se puede mantener la productividad de las arenas infértiles, bajas en materia orgánica". Para Farrell (1984), la retención de la hojarasca y los residuos de explotación también es una opción importante a tomar en cuenta en cualquier estrategia diseñada para mantener o mejorar la productividad de las plantaciones de pino radiata, en suelos arenosos infértiles.

#### **6.4 El uso del fuego.**

El fuego ha representado, desde tiempos inmemoriales, una herramienta de gran utilidad en el cumplimiento de diversos fines en el manejo de recursos agrícolas y forestales (Julio, 1988). Sin embargo, no hay que dejar de considerar que su empleo es un factor que incide sobre la mantención de la fertilidad y productividad del sitio, en el largo plazo (Francke, 1993a).

De acuerdo a Kunz *et al.* (1985), en el sector forestal nacional, entre las prácticas de manejo, la más corriente es el uso del fuego para eliminar desechos de explotación. Esto, sin duda, presenta grandes ventajas al facilitar las labores de la siguiente plantación, y al reducir el peligro de incendios y la regeneración natural. Lamentablemente, la

quema de desechos produce la pérdida de gran parte de los nutrientes contenidos en ramas y acículas y, además, de gran parte de la materia orgánica acumulada en el suelo, que es la otra gran reserva de nutrientes del sistema.

Harper *et al.* (1957) indican que el fuego afecta el suelo biológica, química y físicamente. Algunas de las formas de vida vegetal y animal, como por ejemplo bacterias, hongos, insectos y lombrices, que son beneficiosas porque descomponen la hojarasca e incorporan material orgánico en el suelo, son consumidas al ser quemada ésta. No obstante, las quemas controladas comúnmente no alcanzan temperaturas muy elevadas, o queman sólo en forma superficial, como para destruir todas las poblaciones vegetales y animales, por lo que las reducciones temporales probablemente no tienen consecuencias mayores.

Al respecto, Francke (1990) señala que la aplicación del fuego, aun en forma de "quema prescrita", conlleva un riesgo en relación a la pérdida de productividad del sitio. Sin embargo, otros autores consideran que este riesgo puede ser minimizado, con un margen de seguridad amplio, si se toman todas las medidas necesarias para controlar su propagación y liberación calórica (Kunz *et al.*, 1985; Toro y Álvares, 1985; Julio, 1988).

Por ejemplo, en la VIII Región, Francke (1990) estudiando el efecto de diferentes tipos de manejo de residuos de

explotación, encontró que la aplicación de quemas controladas no es recomendable en suelos de texturas arenosas, considerando aspectos de conservación de nutrimentos del suelo, crecimiento y estado nutricional; en cambio su aplicación en suelos de texturas arcillosas mejora algunas propiedades químicas, pero deteriora otras. En base a lo anterior, recomienda el perfeccionamiento de la alternativa técnica de mantención de residuos *in situ*, es decir, sin extraer residuos y sin aplicar quemas.

En este sentido, Farrell (1984) indica que, en Australia, los efectos potencialmente perjudiciales de la quema, en los ecosistemas forestales, ya han sido reconocidos por lo que se ha investigado para desarrollar prácticas alternativas que tiendan a minimizar las pérdidas de materia orgánica y de nutrimentos durante la reforestación.

Según Toro y Álvarez (1985) las quemas no controladas, de alta intensidad, deberían evitarse dado que aportan una concentración inicial alta de nutrimentos en las cenizas, que excede los requerimientos de las plántulas, provocando, en la mayoría de los casos, que éstos se pierdan en gran cantidad, lo que se suma a las pérdidas de nutrimentos producidas por la extracción de biomasa, por escurrimiento, lixiviación y erosión (Alarcón, 1990; Burschel y Huss, 1987, citados por Francke, 1990).



Turner (1983) opina que en el establecimiento de una plantación, el efecto de la quema de alta intensidad tiene un gran impacto, en especial en suelos arenosos, al provocar una pérdida seria de N y materia orgánica. Van Lear *et al.* (1983) señalan que las quemas prescritas frecuentes, aun aquellas de baja intensidad, también pueden ser una fuente importante de pérdida de N a través de la volatilización.

De acuerdo a Florence (1986), cuando se realiza una quema de alta intensidad, para eliminar desechos de explotación, ocurren grandes pérdidas de nutrimentos desde el combustible, por volatilización, y algunas veces desde la superficie del suelo. Por ejemplo, para pino radiata, se pueden perder entre 420 y 920 kg/ha de N, en esta forma, cantidad que puede ser igual o mayor a la removida en la biomasa cosechada.

Al respecto, Farrell (1984) indica que si se queman la hojarasca y los residuos de explotación, la pérdida de N desde el sitio será más del doble, comparado con la cosecha de sólo el tronco y corteza. Squire y Flinn (1981), citados por Squire (1983), calcularon que la quema de los desechos de explotación, después de una primera rotación de 40 años con pino radiata, sobre un suelo arenoso infértil, removería aproximadamente 745 kg/ha de N.

Para Waring (1969) la quema de desechos y material orgánico no incorporado, previo a la plantación, y la quema de la hojarasca durante la rotación, son prácticas que reducen la

cantidad de materia orgánica que se puede incorporar en el suelo, aumentando la posibilidad de reducir la fertilidad de éste, en el largo plazo.

Carey *et al.* (1982) consideran que la decisión de quemar o remover los desechos en las áreas taladas tiene un gran impacto sobre el piso forestal. Donde los desechos son dejados *in situ*, existe una gran probabilidad de que las reservas de materia orgánica y de nutrimentos doblen en cantidad a aquellas de los sitios donde éstos son quemados o removidos. Por ejemplo, encontraron que sitios de segunda rotación contenían, en promedio, dos veces más materia orgánica y nutrimentos que sitios de primera rotación, situación que atribuyeron al hecho de que no se realizó una quema o limpieza de desechos al final de la rotación anterior.

Según Farrell *et al.* (1981), citados por Miller (1983), en suelos arenosos pobres la conservación de la materia orgánica es un factor clave para el mantenimiento de la productividad, por lo que prácticas culturales como la quema deberían evitarse.

Woods (1981), citado por Raison *et al.* (1982), encontró evidencia de una correlación directa entre la cantidad de N perdido durante la quema de desechos para preparar el sitio y la declinación de la productividad medida en la segunda rotación de pino radiata, en el sureste de Australia.

Estudios realizados en el sur de Australia han sugerido que la causa principal de la declinación de la productividad, en la segunda rotación de plantaciones de pino radiata, ha sido la pérdida de N y de materia orgánica del ecosistema, causada por la quema de desechos de explotación (Woods, 1980, citado por Feller, 1983). También Squire (1983) indica que hay evidencias valederas de que la quema de residuos contribuyó, en gran parte, a la declinación promedio del 25-30% de la productividad de la segunda rotación de rodales de pino radiata, en Australia, informada por Keeves en la década del sesenta.

De acuerdo a Adams (1978), la quema de residuos de explotación (ramas, corteza, trozas, tocones, hojarasca, etc.) causa pérdidas significativas de nutrimentos en el ecosistema forestal. Dichas pérdidas ocurren a través de la volatilización, del flujo de materia como partículas (humo y cenizas) y de la lixiviación de la capa de cenizas resultante de la quema. La magnitud de las pérdidas por las dos primeras vías puede ser bastante grande. En E.U.A., por ejemplo, en rodales de pino oregón y de pino ponderosa, Grier (1972), citado por Adams (1978), registró pérdidas por volatilización y convección de más del 90% de N, 60% de P y 20% de Ca, Mg y K, en el material de desecho que consumió el fuego. Aunque otros estudios han informado de pérdidas más bajas que las de Grier, para algunos elementos, su importancia dependerá de la naturaleza del ecosistema en particular, siendo mayor el impacto en los ecosistemas más pobres.

De lo anterior se desprende que el fuego no sólo afecta el contenido de N, sino el de casi todos los nutrimentos, por lo que su uso puede ser de especial significación en la productividad futura del sitio, especialmente en los suelos menos fértiles (Kunz *et al.*, 1985).

El fuego, además de afectar los desechos de explotación, también libera los nutrimentos minerales contenidos en la hojarasca y el humus. Algunos nutrimentos pueden ser utilizados por las plantas y otros se pueden perder mediante el escurrimiento superficial o la lixiviación. En cualquier caso, la liberación rápida que provoca el fuego significa menor cantidad de nutrimentos para una liberación gradual, posterior, bajo los procesos normales de descomposición de dicha hojarasca (Harper *et al.*, 1957).

Otro efecto potencialmente importante del fuego es que aumenta la erodabilidad del suelo. Si la temperatura y la duración del fuego son suficientes (temperaturas sostenidas por sobre 200°C), entonces la materia orgánica, que es incorporada en el suelo y que es importante en la agregación de éste, puede consumirse dejando el suelo "quemado", más erodable (Debano, 1981, citado por Scott y Schulze, 1991). Además, y particularmente en los sitios secos, la materia orgánica perdida por causa de la quema puede afectar la productividad del suelo en el largo plazo, más profundamente que los nutrimentos perdidos, *per se* (Powers *et al.*, 1990).

En Chile, en la zona de Arauco (VIII región), Álvarez (1988 y 1989), citado por Alarcón (1990), estudiando las pérdidas de suelo (medidas en t/ha) en un sector afecto a una quema controlada, encontró que, en términos generales, la utilización del fuego produce en estos suelos forestales, pérdidas superiores a las consideradas como tolerables, es decir, mayores a 4 t/ha/año.

Carrasco (1989), en un estudio descriptivo de los suelos forestales de la VIII región, concluyó que el uso del fuego y la erosión son los principales factores degradantes de dichos sitios.

En base a los resultados obtenidos en un estudio sobre los efectos del manejo de residuos de explotación sobre el suelo, Francke (1993b) reconoce la necesidad de efectuar en el futuro, estudios integrados de otras alternativas técnicas de manejo de residuos de explotación, como los que se emplean en países como Alemania, Australia y Nueva Zelandia, que tiendan a mantener la fertilidad del suelo, y por ende, la productividad del sitio en el largo plazo.

#### **6.5 La mecanización forestal y la compactación del suelo.**

De acuerdo a Reisinger et al. (1988), el mayor grado de mecanización de las operaciones de cosecha de bosques ha incrementado el efecto perjudicial que tiene el tráfico de máquinas pesadas sobre las propiedades físicas del suelo, y

por ende, sobre la productividad del sitio. Davis (1984) considera que las operaciones de raleo mecanizado también producen un grado de compactación del suelo que puede afectar su productividad futura.

Alarcón (1990) indica que el efecto de la compactación se relaciona con el tipo de madereo usado en la explotación forestal, y provoca un nuevo factor de disminución del crecimiento en futuras plantaciones. Además, donde han crecido rotaciones sucesivas, las necesarias operaciones de cosecha pueden conducir a un deterioro gradual del suelo, mediante la compactación y la alteración de la densidad aparente (Evans, 1984b).

Por ejemplo, un estudio efectuado por Villa (1995) en la costa de la VIII región, concluyó que un sistema de cosecha mecanizado causa en el suelo alteraciones significativas en cuatro variables relacionadas directamente con el fenómeno de la compactación como son la densidad aparente, porosidad, resistencia a la penetración y velocidad de infiltración.

Las máquinas usadas en las operaciones forestales aplican cargas pesadas a la superficie del suelo, con lo cual el daño estructural que sufre éste puede manifestarse como compactación (Davis, 1984). Al estar el suelo compactado, el crecimiento de los árboles puede declinar debido a que se reduce el espacio radicular y el suministro de agua y nutrimentos, debido al aumento de la escorrentía, y a que hay

una aireación deficiente (Greacen y Sands, 1980, citados por Davis, 1984; Reisinger et al., 1988; Vora, 1988).

Hatchell et al. (1970) opinan que la mayor parte de las deformaciones estructurales del suelo forestal son resultado directo de la compactación provocada por el amontonamiento de trozas, por el arrastre de madera, así como por el uso general de máquinas pesadas en las operaciones forestales.

Agregan Hatchell et al. que la perturbación de la estructura del suelo, después de una explotación forestal, puede ser lo más perjudicial para la plantación y el crecimiento del Pinus taeda, debido a la fuerte compactación del suelo asociada a su excesiva humedad.

Al respecto, Wingate-Hill y Jakobsen (1982) señalan que existe una evidencia amplia en relación a que la compactación del suelo puede afectar adversamente el crecimiento de los árboles y la productividad del sitio en el largo plazo; sin embargo, los efectos son variables y no han sido aún bien cuantificados.

Para Adams y Froehlich (1981), los impactos negativos de la compactación del suelo son la reducción significativa del crecimiento de plántulas y árboles residuales (Figura 4) y, en algunos casos, el aumento de la erosión. Por ejemplo, en suelos compactados, se han registrado reducciones en el crecimiento en altura de plántulas, que van de un 5 a un 50%,

y en árboles residuales de rodales raleados, reducciones de entre un 5 y un 15%, en el crecimiento volumétrico.

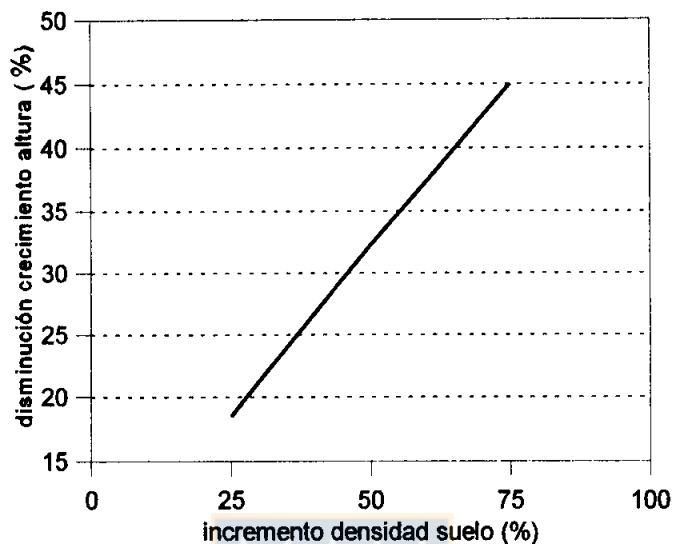


FIGURA 4. Relación entre el aumento de la densidad aparente y el crecimiento en altura de plántulas arbóreas, basado en distintas especies forestales, tipos de suelos y lugares (Adams y Froehlich, 1981).

Moehring y Rawls (1970), citados por Froehlich (1979), encontraron que la reducción en el crecimiento, en árboles de *P. taeda* de 40 años de edad, se relacionaba estrechamente con la severidad de la compactación del suelo en la zona radicular, llegando ésta a un 40% en los árboles más afectados.

Jurgensen et al. (1979), citados por Kunz et al. (1985), indican que existe una estrecha relación entre la compactación y la disponibilidad de oxígeno, y el desarrollo radicular y la productividad. A su vez, Froehlich (1979) y



Pritchett (1979) confirman el efecto negativo de la compactación sobre el crecimiento de los árboles.

Por ejemplo, Gayoso (1982), citado por Alarcón (1990), informó de una pérdida de crecimiento en altura en pino radiata, del orden del 24 al 30%, en sectores compactados por el madereo, en comparación con aquellos no afectados. Además, según antecedentes recopilados por el mismo autor, el efecto de la compactación expresado como una disminución del crecimiento (diámetro y altura), en términos de volumen, llega a ser un 56-59% menor, que el obtenido en sectores menos alterados. Esta disminución se mantiene durante los años observados (6 años) y, de acuerdo a la bibliografía, su efecto alcanza hasta la edad adulta del árbol, aunque muestra algunos signos de recuperación.

Estudiando rodales de pino radiata de segunda rotación, de 5 años de edad, ubicados en sitios de mayor y menor calidad, Squire et al. (1985) encontraron que el crecimiento fue mucho mejor en estos últimos, señalando que la causa más probable para tal situación, era la práctica de raleos, actividad confinada a los mejores sitios. Dicha práctica afectó el crecimiento al producir la compactación del suelo (Turner, 1983), aumentando así la consistencia de éste, lo que redujo el crecimiento de los árboles a través de interacciones complejas con otros factores (v. gr. aireación del suelo) que afectan el crecimiento de las raíces y la absorción de agua y nutrimentos (Sands, 1983).

El aumento en la compactación del suelo, en la zona radicular, es considerado como un inhibidor potencial del crecimiento. Además, la compactación también se relaciona con el agotamiento de la materia orgánica en el suelo (Greacen y Sands, 1980, citados por Boardman, 1983).

Skinner y Attiwill (1981a) han observado que el despeje de la vegetación nativa, mediante maquinaria pesada, puede generar condiciones físicas más pobres para el crecimiento de las plantas debido a la pérdida de la capa superficial del suelo y al aumento en la compactación. La eliminación del suelo superficial significa que un alto porcentaje de coloides orgánicos y minerales ha desaparecido, por lo tanto, la capacidad de suministro de elementos esenciales, para el desarrollo de las plantas, se ve resentida (Toro, 1986).

Harper *et al.* (1957) indican que el pastoreo también tiene su efecto sobre la productividad del suelo, y por ende sobre el crecimiento forestal. El daño que producen los animales es causado por el pisoteo, por la desintegración y disipación de la hojarasca, y por la reducción o destrucción de la vegetación del sotobosque. Todo conduce directa o indirectamente a la compactación del suelo, lo cual reduce la porosidad y, por lo tanto, la tasa de infiltración, disminuye el almacenamiento de agua en el suelo y aumenta la superficie de escurrimiento, lo que probablemente aumentará la erosión.

## VII. EL SUELO Y LA ATMÓSFERA COMO FUENTES DE NUTRIMENTOS.

Es importante considerar el ecosistema forestal como una parte del mundo circundante y no como un sistema cerrado. Por tal situación, no es realista intentar entender el crecimiento de una plantación sin tomar en cuenta las entradas de nutrimentos desde el exterior, por ejemplo, a la forma de aerosoles, polvo, agua, animales, etc. (Adlard et al., 1984).

Además de la disponibilidad de nutrimentos que hay en el suelo, existen entradas y salidas naturales de estos elementos al sistema (Figura 5). Hay una entrada de nutrimentos que es constante, pero limitada, proveniente de la meteorización física y química de las rocas que constituyen el material parental del suelo, y otra desde la atmósfera a través de la precipitación, el polvo y los aerosoles (Jorgensen et al., 1975; Likens et al., 1978; Poore y Fries, 1987). Las salidas consisten, principalmente, en pérdidas vía lixiviación, en materiales suspendidos en escurrimientos y durante incendios debido a la volatilización o a la dispersión de las cenizas (Likens et al., 1977, Raison, 1980, citados por Wise y Pitman, 1981). La magnitud real de estas variables dependerá del sitio y del manejo del bosque, en particular.

A través de la precipitación, se producen entradas adicionales de nutrimentos que, durante el transcurso de una rotación forestal, pueden aportar cantidades significativas de la mayoría de ellos (Jorgensen et al., 1975; Weetman y Webber, 1972, citados por Alban, 1982). Sin embargo, para N, K, Ca y Mg, en la mayoría de las situaciones forestales, las pérdidas por lixiviación son mayores o iguales a las entradas vía precipitación (Bormann et al., 1977, citados por Keeney, 1980; Likens et al., 1977, citados por Alban, 1982).

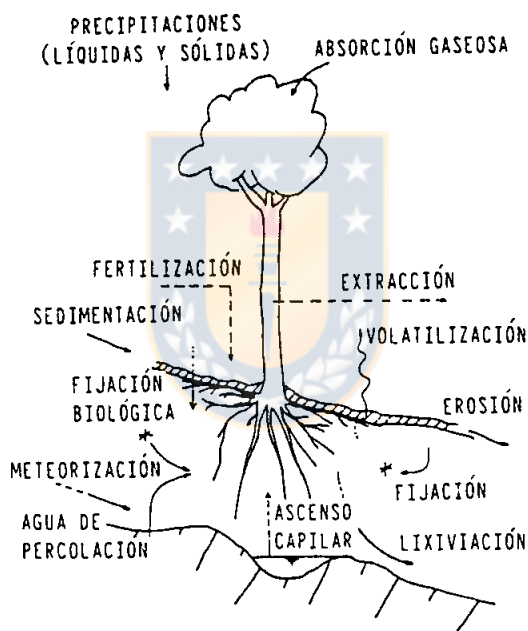


FIGURA 5. Flujos de entrada y salida de nutrimentos que pueden presentarse en un ecosistema forestal bajo manejo (Schlatter, 1987).

En relación con las entradas atmosféricas en los ecosistemas forestales, Pritchett (1979) señala que éstas son considerablemente mayores que las pérdidas por lixiviación que ocurren en las áreas forestadas y, por lo tanto, pueden

reponer ampliamente los nutrimentos removidos en los árboles cosechados, durante el período de una rotación.

Por ejemplo, Silkworth y Grigal (1982) encontraron que durante una rotación de 60 años, en una plantación de Populus sp., la precipitación y meteorización reemplazaron las pérdidas de N, P y K, no así las de Ca y sólo la mitad de las de Mg, producto de la cosecha del árbol entero y la lixiviación.

Según Williams *et al.* (1983), aun cuando el manejo intensivo y el aumento en la utilización de la biomasa elevan fuertemente la tasa de extracción de nutrimentos desde el sitio forestal, el impacto de este flujo de nutrimentos, sobre la productividad futura del sitio, dependerá de la tasa de entrada de éstos y de la capacidad del suelo para su reabastecimiento.

El rango de valores registrados para el aporte de nutrimentos a través de la precipitación y la meteorización, en distintos países, se presenta en la Tabla 7. En algunos casos, las entradas a partir de la meteorización de las rocas son muy bajas (Ellis, 1969, Jackson, 1977, citados por Wise y Pitman, 1981) y las únicas entradas sustanciales son aquellas provenientes de la atmósfera.

TABLA 7. APOORTE DE NUTRIMENTOS A TRAVÉS DE LA PRECIPITACIÓN Y LA METEORIZACIÓN, REGISTRADOS EN DISTINTOS PAÍSES.

Vía de Entrada Y Lugar Geográfico	Nutrimento (kg/ha/año)				
	N	P	K	Ca	Mg
E.U.A.: (1)					
Precipitación	2,5-6,9	0,2-2,6	0,8-9,5	1,6- 5,0	0,5- 2,0
Meteorización	-	0,4	0,2-8,7	0,3-21,0	4,0-10,4
Australia: (2)					
Precipitación	1,0-3,0	0,1-0,3	0,3-14,0	0,8-35,0	0,3-15,0
Meteorización	-	0,07	9,0	6,0	2,0
Precipitación:					
Ghana (3)	14,0	0,4	17,5	12,7	11,3
Malasia (4)	-	-	12,5	14,0	3,3
Nigeria (5)	15,0	0,5	-	10,2	2,1
Panamá (4)	-	1,4	9,5	29,3	4,9
Puerto Rico (4)	14,0	-	-	-	-

Fuente: (1) Boyle et al. (1973); Jorgensen et al. (1975); Likens et al. (1978); Adams y Boyle (1979); Johnson et al. (1968), Verry y Timmons (1982), citados por Alban (1982); Verry y Timmons (1977), citados por Silkworth y Grigal (1982); Riekerk (1983); Van Lear et al. (1983).  
 (2) Hingston, F. J. (1977), citado por Poore y Fries (1987).  
 (3) Nye (1961).  
 (4) Edmisten (1970), Kenworthy (1971) y Golley et al. (1975), citados por Chijioke (1984).  
 (5) Blay (1980), citado por Nwoboshi (1983).

La cantidad de nutrimentos que aporta la precipitación es muy variable entre los distintos sitios (Tabla 7). Al multiplicar los aportes naturales de nutrimentos por las edades de las masas arbóreas, y considerando las tasas de remoción de nutrimentos (Tabla 3), se puede tener una idea de hasta que punto pueden reponer las entradas naturales, los nutrimentos removidos desde el sitio a través de la cosecha de la biomasa. Por ejemplo, si consideramos el caso de Australia, el K y el Mg pueden ser reemplazados parcialmente, pero el

P y N no se recuperarán en forma suficiente mediante las entradas naturales, como para reponer las remociones producidas (Tabla 8, Figura 6), sin dejar de considerar las pérdidas que ocurren por las salidas naturales (v. gr. lixiviación).

TABLA 8. EJEMPLO HIPOTÉTICO PARA DOS ESPECIES, DEL BALANCE DE NUTRIMENTOS QUE OCURRE AL CONSIDERAR ENTRADAS DE ÉSTOS VÍA PRECIPITACIÓN Y METEORIZACIÓN, Y SALIDA SÓLO VÍA COSECHA, PARA EL CASO DE AUSTRALIA.

Especie (Edad)	Proceso	Cantidad de Nutrimentos (kg/ha)				
		N	P	K	Ca	Mg
<u>E. grandis</u> (10 años)	Salida	416	16	158	730	51
	Entrada	20	3	160	239	100
B a l a n c e :		-396	-13	2	-491	49
<u>P. radiata</u> (29 años)	Salida	412	61	458	332	99
	Entrada	58	8	468	693	280
B a l a n c e :		-354	-53	10	361	181

Nota: La salida de nutrimentos considera la cosecha del tronco, ramas y hojas.

De acuerdo a Wise y Pitman (1981), en muchos sitios costeros de Australia las entradas naturales de nutrimentos podrían reponer rápidamente el Na y el Cl, y quizás el Mg. El K puede ser repuesto parcialmente, pero el Ca, P y N no se repondrán en forma suficiente, a través de las entradas naturales, como para compensar las pérdidas producidas tanto por la cosecha de la biomasa como a través de las salidas naturales.

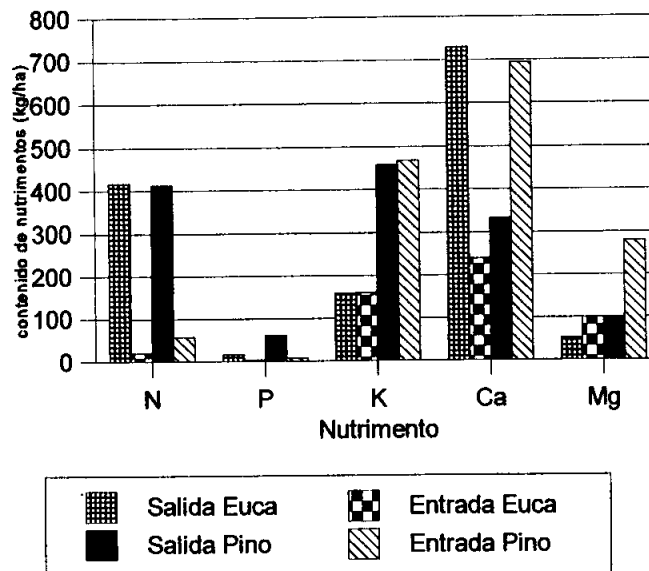


FIGURA 6. Comparación hipotética entre la entrada de nutrientes a través de la precipitación y meteorización y la salida sólo a través de la cosecha, para *E. grandis* y pino radiata de 10 y 29 años de edad, respectivamente, en Australia.

Agregan Wise y Pitman que cuando se determinan las salidas naturales, el balance neto de nutrientes (entradas-salidas) puede ser relativamente pequeño en algunos sitios. Por ejemplo, Flinn et al. (1979b), citados por Wise y Pitman (1981), registraron en Australia un aumento anual neto de nutrientes por hectárea (asumiendo entradas en la precipitación y salidas sólo en el escurrimiento), para tres cuencas con bosques vírgenes distantes de las costa, del orden de 0,3 kg para el N, 0,005 kg para el P, 2,7 kg para el Ca, 1,4 kg para el K y una pérdida de 0,2 kg para el Mg. Aumentos de esta magnitud, aunque no necesariamente afectan a la generalidad de los sitios forestales, hacen un aporte bajo como para compensar las remociones que provocan las plantaciones de rotación corta (Tabla 3).



## VIII. MEJORAMIENTO DEL SUELO Y DE LA PRODUCTIVIDAD.

Según Harper *et al.* (1957), ya sea con monocultivos o con especies mezcladas, los suelos de baja productividad a menudo pueden ser mejorados, en relación al crecimiento de los árboles, mediante la aplicación de medidas correctivas o a través de ciertas prácticas culturales. En la mayoría de los casos el costo es el factor limitante. Con frecuencia, por ejemplo, en áreas muy erosionadas o de baja fertilidad, la materia orgánica es la más necesaria, junto con los nutrimentos minerales. En tales sitios, la aplicación de un mulch orgánico puede hacer la diferencia entre el éxito y el fracaso.

Schlatter (1977) considera que no puede dejarse de lado el mejoramiento de los suelos para incrementar el rendimiento de las plantaciones o mantener la fertilidad del suelo. Es por esto que debe mencionarse el uso de especies acompañantes, las que aumentan la variedad y mejoran la composición del material orgánico, componente de la materia orgánica, y la fertilización mineral.

A su vez, Grass (1992) menciona que la menor fertilidad del suelo, producto de la repetida cosecha de cualquier cultivo, se subsana con fertilizantes; en ocasiones basta con dejar los desechos de la cosecha o con sembrar plantas fijadoras de N, por lo que este problema no es insoluble.

Rennie (1955), citado por Waring (1969), presentó evidencias que indican que esperar un gran aumento en la productividad de las masas forestales, en suelos infértiles, probablemente es sólo una ilusión, a menos que se realice un mejoramiento del nivel nutricional de dichos suelos.

Squire *et al.* (1985) señalan que para mantener la productividad del sitio en el largo plazo, es necesario reponer los nutrimentos perdidos a través de la cosecha, y de otras prácticas de manejo.

En general, Jorgensen *et al.* (1975) consideran que si se pueden reponer todos los nutrimentos removidos desde un terreno, entonces no debería haber problemas nutricionales.

### **8.1 Fertilización.**

Grass (1992) señala que, en general, los fertilizantes tienen efectos benéficos sobre el suelo, ya que restituyen su fertilidad. Agrega que su aplicación es una consecuencia inevitable de la vida humana, ya que los métodos naturales no permiten corregir o prevenir todas las deficiencias nutricionales del suelo.

Contrariamente a la creencia popular, Will y Ballard (1976) opinan que los cultivos sucesivos de coníferas en sí, no causan deterioros serios e irreversibles al suelo. Donde éstos han ocurrido, se ha debido a la práctica de remover la

hojarasca y al fracaso en la aplicación de fertilizantes en los sitios infértiles.

Baule y Fricker (1970), citados por Will (1984), describieron una situación en donde la remoción de la hojarasca desde el piso del bosque redujo su productividad corriente, sin embargo, indicaron que su restauración es posible, y se puede lograr rápidamente, mediante la aplicación de fertilizantes.

Francke (1988b) menciona que con la fertilización se inducen y alcanzan formas de humus más favorables, y el aumento de las sustancias húmicas contribuye a regular el régimen de agua en el suelo. Al respecto, Ballard (1972), citado por Will y Ballard (1976), indica que la aplicación de fertilizantes en plantaciones de pino radiata, en suelos arcillosos erosionados, mejora las propiedades químicas y, mediante la estimulación de la actividad radicular del árbol, las condiciones físicas del suelo.

De acuerdo a Boardman (1983), con una fertilización balanceada se mejora el contenido de nutrimentos de la hojarasca y la tasa de circulación de dichos nutrimentos. Además, la fertilización produce ganancias significativas en la productividad, así como también permite mantener una tasa de crecimiento, incluso tasas no alcanzadas antes, en forma sostenida, tanto en primeras como en segundas rotaciones (Williams et al., 1983).

Will y Ballard (1976) señalan que aun cuando, en algunos suelos, las reservas nutritivas son lo suficientemente altas para abastecer las demandas de varias rotaciones forestales, antes de necesitar fertilizantes, el cultivo de árboles de crecimiento rápido, como el pino radiata, eventualmente requerirá fertilizaciones para mantener una tasa de crecimiento elevada.

En Nueva Zelanda, hay ejemplos donde bosques de pino radiata, con un manejo adecuado, han mejorado la fertilidad del suelo. A su vez, en sitios infértiles, donde se han registrado declinaciones en el crecimiento del cultivo de segunda rotación, las tasas de crecimiento pueden incrementarse sustancialmente empleando técnicas de cultivo intensivo, como por ejemplo, a través de la aplicación de fertilizantes y herbicidas (Waring, 1969; Will y Ballard, 1976; Snowdon y Waring, 1984).

En Australia, donde la práctica de fertilizar se aplica extensivamente desde la década del 70, Woods (1981), citado por Squire (1983), ha informado que con ella se ha mejorado sustancialmente el crecimiento de rodales de segunda rotación. Turner y Lambert (1988) indican que en general, en los sitios más pobres, esta práctica ha originado un aumento de la productividad.

Kunz *et al.* (1985) consideran que la fertilización ha llegado a ser una herramienta silvicultural aceptable y valiosa para

aumentar la productividad del sitio, especialmente cuando se trata de una deficiencia simple. No obstante, su uso tiene como limitante la baja eficiencia que presentan los árboles para aprovechar los nutrimentos aplicados (Poore y Fries, 1987; Mahendrappa et al., 1987, citados por Maliendo et al., 1990).

En relación con el uso de fertilizantes, Adams (1978) menciona que los manejadores forestales han tendido a emplearlos sólo bajo situaciones de deficiencia, en contraste a los agricultores que reconocen la necesidad de realizar fertilizaciones anuales para prevenir una declinación en la fertilidad. Ante tal hecho, considera seriamente que en las plantaciones forestales deberían adoptarse programas rutinarios de fertilización de apoyo para reponer los nutrimentos perdidos a través de la cosecha o mediante otras prácticas de manejo, lo que ayudaría a mantener la productividad del sitio, en el largo plazo, a prevenir la aparición de deficiencias nutricionales y a evitar una declinación futura en el rendimiento del cultivo.

Agrega Adams que aun cuando la necesidad de fertilizar es mayor en los ecosistemas bajos en nutrimentos, ésta debería considerarse en todas las áreas de producción forestal. Por ejemplo, en Nueva Zelandia, los bosques son fertilizados tanto para mejorar las deficiencias nutricionales como para estimular el crecimiento en los buenos sitios (Will y Manley, 1983).

También en Nueva Zelanda, Will (1984) indica que hay muchos ejemplos donde la aplicación de N y P ha aumentado notablemente la productividad de plantaciones forestales establecidas en suelos que no contenían suficiente de uno o más nutrimentos, para el crecimiento de una rotación. Agrega Will que, en el largo plazo, los cultivos forestales de crecimiento rápido serán manejados en forma similar a otros cultivos, pero con la diferencia que estos requieren una tasa de adición de nutrimentos mucho más baja.

Jorgensen et al. (1975) señalan que los niveles de nutrimentos pueden ser mantenidos a través de la fertilización; el problema es que su aplicación podría no ser factible desde el punto de vista económico. Al bosque, debido a su alta ineficiencia en el aprovechamiento de fertilizantes, es necesario aplicarle grandes cantidades de ellos, lo que hace que esta solución sea de alto costo. Por ejemplo, para igualar el nivel nutricional que existía antes de la explotación, es necesario aplicar fertilizantes a una tasa que varía entre 2 y 4 veces el monto de nutrimentos extraídos (Stone y Will, 1965, Keeves, 1966, citados por Alarcón, 1990).

Will (1984) opina que siempre hay que considerar si los costos del empleo de fertilizantes y de horas-máquina, se justifican en términos económicos, para convertir un sitio improductivo en uno altamente productivo, dado que por lo menos hasta que la capa de hojarasca y el ciclo de los

nutrimentos no lleguen a estar bien establecidos, se requerirán más entradas de fertilizantes.

Baule y Fricker (1970), citados por Will y Ballard (1976), informaron que la capacidad productiva de sitios degradados fue restaurada en un tiempo relativamente corto, mediante la introducción de plantas fijadoras de N, en el sotobosque de los rodales, o a través de la aplicación de fertilizantes minerales.

## **8.2 El rol de las plantas fijadoras de nitrógeno.**

Según Will (1984), con frecuencia los monocultivos de especies de crecimiento rápido se establecen en suelos que tienen un nivel de nitrógeno bajo o marginal; los cultivos previos (agrícolas o forestales), la erosión, el fuego, etc., han producido su pérdida y las cosechas forestales subsiguientes causarán una disminución adicional en el nivel de este elemento. En muchos países, los fertilizantes que contienen N son de un alto valor, por lo que no constituyen una opción de manejo rentable; ante tal situación se debe considerar en forma seria su fijación biológica. Además, es importante mencionar que bajo algunas especies arbóreas fijadoras de N, se puede generar una adición sustancial de este elemento, como por ejemplo bajo Acacia spp.

Will agrega que también hay otra posibilidad, tal vez más atractiva, esta es la del crecimiento de una planta fijadora de N en el sotobosque, cada vez que las condiciones del dosel lo permitan.

Al respecto, Gadgil (1971) y Will y Manley (1983) indican que en plantaciones realizadas en dunas costeras de Nueva Zelanda, el Lupinus arboreus aportó cantidades importantes de N para el crecimiento del pino radiata. Una vez que el Lupinus sp. se establece en un área, la producción natural de semillas de la especie asegura su presencia en el sotobosque, entre rotaciones, y cuando algún raleo reduce el dosel superior.

Squire (1983) considera que la fijación de N que realizan las leguminosas representa una vía potencialmente importante de reposición de dicho elemento, en los ecosistemas forestales. Estas especies pueden aportar entre 50 y 160 kg de N/ha/año, dependiendo del efecto supresivo del cultivo arbóreo en desarrollo (Gadgil, 1971; Squire, 1983; Francke, 1988a).

Boardman (1983) y Poore y Fries (1987) informan que el uso de leguminosas, ya sea intercaladas entre el cultivo o entre rotaciones, puede acrecentar tanto el nivel de N como el de materia orgánica.



## **IX. RESUMEN DE LOS ASPECTOS MÁS RELEVANTES RELACIONADOS CON EL MONOCULTIVO Y LA PRODUCTIVIDAD DEL SUELO EN EL LARGO PLAZO.**

### **9.1 ¿Qué se entiende por monocultivo?.**

Respecto a qué es un monocultivo forestal cabe señalar que existen varias definiciones de este término, muchas de las cuales tienen algunos elementos en común, sin embargo, otras difieren en su totalidad. En cuanto a la definición en sí se observan dos posiciones, la de quienes consideran que ésta debe ser pragmática, es decir, debe contener aspectos que denoten los efectos negativos o de riesgo con que habitualmente se le asocia, y la de quienes le dan sólo una connotación descriptiva.

En base a las definiciones encontradas, a continuación se indican los distintos aspectos que caracterizan más un Monocultivo Forestal:

- Bosque artificial.
- Bosque coetáneo.
- Una especie arbórea: nativa o exótica.
- Establecido a gran escala.
- Produce un impacto ecológico significativo.
- Sinónimo de bosque monoespecífico.
- Mantener el mismo tipo de cultivo, sobre el mismo suelo, en forma repetida.

- Cultivar un único tipo de cultivo o producto sin usar la tierra para otros propósitos.
- Plantación de genotipos uniformes u homogéneos, o relacionados genéticamente en forma estrecha, creciendo en áreas extensas, altamente susceptibles a plagas o extremas ambientales.

Aspectos coincidentes más comunes:

- Bosques artificiales.
- Coetáneos.
- Compuestos por una sola especie arbórea.
- Establecidos a gran escala.
- Individuos genéticamente uniformes.

Puntos donde no hay consenso o claridad:

- No necesariamente debe ser coetáneo.
- No necesariamente artificial.
- No necesariamente dice relación con individuos de genotipos homogéneos.
- Puede contar con una o un número muy limitado de especies.
- La especie puede ser nativa o exótica.

## **9.2 Efectos del monocultivo sobre del suelo.**

Las opiniones más relevantes vertidas en relación al monocultivo, y su efecto sobre el suelo, son las siguientes:

- En general, se considera que el deterioro grave del suelo es el resultado inevitable del monocultivo, en especial de coníferas.
- El origen de esta idea no es claro, aunque algunos señalan que habría surgido en Europa, en forma casi exclusiva, por lo que en general las evidencias de deterioro del suelo provienen de ese continente.
- La data de esta asociación no es precisa, variando desde varios siglos atrás hasta comienzos del presente siglo.
- Que el monocultivo de coníferas cause una degradación del suelo es un tema que está sujeto a controversia.
- Algunos opinan que es una exageración hablar de un deterioro general del suelo bajo bosques puros de coníferas.

Respecto al monocultivo de coníferas se ha dicho lo siguiente:

- En general, es menos eficaz para generar un suelo que otros tipos de cultivos forestales, pero sí conserva y mejora aspectos de éste a través de distintas actividades biológicas.
- Su asociación con condiciones de suelo pobres fue interpretada por muchos forestadores europeos como una relación de causa y efecto. Esta idea fue aceptada

ampliamente en distintos países, al no contar con conocimientos propios, en relación al tema.

- El proceso de podsolización presente en los suelos bajo estos monocultivos, considerado como un signo de deterioro del suelo y de baja productividad, ahora es reconocido como un proceso normal bajo ciertos tipos de suelo, clima y vegetación.
- En Europa, experiencias actuales con monocultivos de coníferas indican que ocurre una lenta degradación de la fertilidad del suelo superficial debido a procesos de acidificación. Este proceso es favorecido aún más por las tendencias en el aumento de ácidos y formadores de ácidos provenientes de la atmósfera o de fuentes de emisión industrial.

Respecto a las coníferas se señala lo siguiente:

- Éstas en sí no causan deterioros serios e irreversibles al suelo. Es más, en el corto plazo, las condiciones físicas y químicas del suelo pueden mejorar bajo coníferas.
- Su cultivo debe ser considerado como cualquier otra forma de cultivo intensivo, por lo que el manejo que se le aplique será esencial para mantener la productividad.
- La experiencia europea con el deterioro rápido del suelo bajo coníferas, tiene un significado poco real en la actualidad.

En general, en los casos en que ocurrieron deterioros severos en el suelo bajo bosques puros de coníferas, se señala que la causa obedeció a las prácticas de manejo aplicadas y/o al uso anterior del suelo, y no al bosque en sí.

Experiencias en distintas partes del mundo con bosques puros de coníferas indican que éstos no causan deterioros serios e irreversibles al suelo, sino al contrario, en muchos casos la evidencia habla de un mejoramiento de éste.

Principales situaciones y/o actividades indicadas como responsables del deterioro del suelo bajo bosques:

- Remoción o quema de la hojarasca y los desechos de explotación en forma repetida.
- La explotación constante de árboles en el largo plazo.
- Cosechas intensivas asociadas a rotaciones cortas.
- Compactación del suelo por uso de maquinaria pesada o pastoreo.
- Erosión acelerada asociada a frecuentes operaciones de cosecha.
- Aumento de la tasa de lixiviación después de la cosecha y de la preparación del sitio.
- La no reposición de los nutrimentos extraídos del sistema.
- Utilización de suelos ya deteriorados producto del o los usos anteriores.

### **9.3 El monocultivo y la productividad del suelo en el largo plazo.**

**9.3.1 Principales factores que afectan la productividad.** La productividad de los bosques, en el largo plazo, no está ligada a un factor determinado, sea físico, químico o biológico, sino que todos participan interactuando entre sí. Por lo tanto, ésta varía según el equilibrio entre los factores positivos y negativos.

Factores que inciden en la productividad:

- Las interacciones especie-sitio-modelo tecnológico de cultivo determinarán las variaciones de fertilidad del suelo y de productividad del sitio.
- La conservación de los nutrimentos y la materia orgánica.
- Todas aquellas prácticas que reducen el monto de materia orgánica en el suelo o restrinjan su distribución. Por ejemplo, la remoción o quema de hojarasca y residuos de explotación.
- El esquema de manejo silvícola aplicado al sistema (nivel o grado de utilización del bosque, edad de rotación, etc.).
- La aplicación de fertilizantes y/o la utilización de especies fijadoras de nitrógeno.
- La fertilidad o estatus nutricional natural de los suelos.
- El uso anterior dado al suelo.
- La tasa de descomposición de la hojarasca y la consiguiente tasa de circulación de los nutrimentos al ritmo de las exigencias de los árboles.

- Cambios climáticos.
- Diferencias genéticas y biológicas entre los árboles.
- La especie seleccionada.
- En el caso de bosques de monte bajo, el deterioro de las cepas.
- La compactación del suelo.
- Defectos físicos inherentes al suelo.
- Las actividades que tienen el potencial de aumentar la erosión hídrica y/o eólica del suelo, tales como la preparación intensiva del suelo y la quema de desechos, entre otras.

De lo anterior se desprende que para mantener o elevar la productividad, en general, serán muy importantes todas aquellas prácticas que tiendan a la conservación o mejoramiento de las propiedades y/o condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo.

### **9.3.2 Experiencias en las regiones tropicales y templadas.**

En general, en los trópicos no se han registrado declinaciones en los rendimientos de segundas o posteriores rotaciones, según los antecedentes analizados.

Lo que si se ha observado es que hay una erosión excesiva en los suelos de ciertas plantaciones tropicales, la que puede hacer disminuir los rendimientos. Por otro lado, experiencias con la palma aceitera y el árbol del caucho indican que con

un manejo adecuado pueden crecer varias generaciones sin pérdidas de productividad.

La disminución de la productividad en las regiones templadas no es una situación generalizada ya que sólo un número reducido de investigaciones han corroborado un descenso de ésta cuando el sitio es usado en forma consecutiva por la misma especie.

Este último caso ha sido observado en países de América, Europa y Oceanía, principalmente con coníferas, y comúnmente se ha debido a una o más de las siguientes causas: prácticas de manejo inadecuadas, condiciones físicas y/o químicas negativas inherentes al suelo, compactación, agotamiento de las reservas nutritivas del suelo y condiciones climáticas adversas. En ningún caso se ha culpado al monocultivo o la plantación en sí de esta situación.

Cabe mencionar que en algunos países se han registrados casos donde la productividad no ha dado evidencias de declinación después de una o más rotaciones, aún en suelos infértiles, observándose incluso situaciones en las que ésta ha aumentado.

Causas específicas consideradas responsables de disminuciones de la productividad entre rotaciones:

- Uso o cultivo intensivo del suelo, antes del uso forestal.



- Prácticas de manejo que conducen al agotamiento del capital nutricional del suelo (v.gr. empleo de tala rasa y/o quema o remoción de desechos de explotación y hojarasca), así como a condiciones físicas poco favorables (v.gr. compactación).
- Diferencias climáticas de consideración entre rotaciones, por ejemplo, sequías severas.
- Condiciones físicas negativas inherentes al suelo (v.gr. poca profundidad).
- Especie no adecuada al sitio.
- Condiciones biológicas del suelo menos favorables, por ejemplo, cambios en la flora micorrizal entre las rotaciones.
- La baja fertilidad del sitio (natural o producida por el hombre) y la competencia de malezas. El primer punto se relaciona en parte con la pérdida o bajo nivel de materia orgánica.
- La no reposición de los nutrimentos exportados del lugar a través de la cosecha de madera.

#### **9.4 Efecto de la cubierta forestal sobre el suelo.**

- El suelo y la vegetación juegan un rol determinando las características del otro.
- El contenido de nutrimentos varía entre los suelos dependiendo principalmente de los materiales de origen, del clima y de la fisiografía; por este motivo la vida

biológica de los suelos sometidos a una ordenación forestal intensiva será muy variable.

- El establecimiento de rodales puros o monocultivos genera efectos en el suelo que dependen de las características de la especie, del sitio y del manejo forestal aplicado, todo lo cual determinará la magnitud de los efectos en la fertilidad y productividad del sitio en el largo plazo.
- El monocultivo cambia el nivel nutricional del suelo, pero la escala de este cambio, su importancia y su efecto sobre el crecimiento de cultivos posteriores, dependerá de numerosos factores, en especial de la fertilidad inherente del suelo y de si el manejo aplicado tiende a conservar o perder los nutrimentos presentes en la hojarasca y en los desechos.
- Las observaciones relativas a los efectos de la cubierta forestal sobre el suelo que la sustenta son con frecuencia contradictorias, dado que es difícil separar la influencia de las condiciones del sitio y las prácticas de manejo, de los efectos específicos de las especies arbóreas.
- La información disponible indica que la influencia atribuida a algunas especies forestales exóticas sobre las propiedades del suelo se debe principalmente al manejo que se le da al suelo y a la silvicultura aplicada.

#### **9.4.1 Experiencias en las regiones tropicales y templadas.**

- Las altas tasas de crecimiento que presentan la mayoría de las plantaciones tropicales genera una gran demanda por agua y nutrimentos sobre el sitio, situación que puede

llevar a un agotamiento o estrés mucho más rápido que en una zona templada, en particular donde los suelos son de baja fertilidad.

- En los trópicos, a diferencia de las regiones templadas, los árboles cosecha contienen una proporción alta de los nutrimentos totales del sitio que ocupan, por lo que el manejo que se aplique es crucial para mantener la productividad.
- En los suelos infértiles de las regiones tropicales húmedas y semihúmedas, si no se adoptan medidas especiales para su manejo, la conversión de bosques naturales a plantaciones arbóreas de crecimiento rápido y de rotación corta, dará como resultado la degradación del suelo manifestada a través de la disminución del contenido de materia orgánica y de los niveles de nutrimentos y de la pérdida de la estructura de la capa superficial y de la porosidad. La rapidez de la degradación dependerá de las condiciones iniciales del suelo, del clima, de las prácticas de manejo y de las especies utilizadas.

#### **9.4.2 Influencia de las plantaciones sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.**

- Cada especie arbórea puede alterar en el tiempo, las propiedades físicas y químicas del suelo sobre el cual está creciendo a través de sus demandas nutricionales y hábitos de enraizamiento.

- La influencia de los árboles sobre el suelo se ejerce principalmente a través de la biomasa desprendida sobre éste y la actividad radicular.
- Las plantaciones forestales afectan las propiedades químicas del suelo de dos formas: mediante el flujo de los nutrimentos contenidos en la biomasa cosechada y sacada del ecosistema, y del cambio en el nivel nutricional de la superficie del suelo debido a la uniformidad de la capa de hojarasca y materia orgánica, dominada por una especie, por lo que las características de la composición química y la degradación de hojas y ramillas también se hacen uniformes.
- Los cambios en propiedades del suelo tales como pH, bases intercambiables y características del piso forestal, bajo rodales puros, pueden ser resultado de la especie arbórea en sí.
- Los cambios químicos que producen las plantaciones de distintas especies (puras o mixtas) se relacionan con el aporte de materia orgánica hecho por la hojarasca.
- Hay opiniones contradictorias respecto a que la repoblación artificial con especies arbóreas produce una degradación de las propiedades físicas y químicas del suelo.
- Conforme las masas arbóreas envejecen, tienden a mejorar la estructura y el nivel nutricional del suelo.
- En general, se considera que las coníferas acidifican los suelos lo que disminuye fuertemente su fertilidad.
- En condiciones ácidas la descomposición de la materia orgánica es más lenta; además, la nitrificación disminuye por debajo de pH 6,0.

- En Nueva Zelanda, en general, el pH de los suelos bajo bosques de pino radiata varía entre 4,8 y 5,5, cambiando muy poco bajo la influencia del monocultivo; en nuestro país, esta especie crece bien en suelos cuyo pH varía entre 4,2 y 6,0.
- En Chile y Nueva Zelanda, la acidez de los suelos bajo bosques de pino radiata no es muy diferente a la de ciertos bosques de especies nativas.
- La reacción ácida de un suelo forestal no es necesariamente negativa, pudiendo ser propia de un determinado tipo forestal.
- Las precipitaciones son más determinantes en la reacción ácida de los suelos que la acción de las especies forestales que se desarrollan en ellos.

#### **9.4.3 Bosque puro versus bosque mixto.**

- Actualmente, el monocultivo entendido como una plantación conformada por una sola especie arbórea, no es un monocultivo botánico verdadero ya que debido a la silvicultura intensiva se crean condiciones para el crecimiento vigoroso de las especies del sotobosque.
- La especie en particular, en el caso de bosques puros, y su proporción dentro de la composición, en el caso de bosques mixtos, tiene un efecto tanto o más importante sobre el contenido de nutrimentos de la hojarasca, que el hecho que la plantación sea pura o mixta.
- El hecho que los suelos pobres con frecuencia presenten rodales puros, mientras que los rodales mixtos se asocian

a buenos suelos, es un efecto de la condición del suelo más que una causa de la cobertura.

- Un estudio del efecto que producen las especies de crecimiento rápido, mostró que el monocultivo per se no produce un agotamiento más rápido de las reservas nutricionales del suelo que el que produciría un bosque mixto de características similares (tasa de crecimiento, edad de rotación y volumen).
- En Chile, un estudio que comparó un mismo tipo de suelo bajo bosque nativo y bajo plantaciones de pino radiata, reveló que la fertilidad era similar entre ambos.

#### **9.4.4 Coníferas versus latifoliadas.**

- El efecto de las plantaciones sobre el suelo está determinado por la especie arbórea en particular, por su tasa de crecimiento y por el tipo de suelo.
- Que la plantación continua de cultivos puros de coníferas degrada seriamente el suelo es un tema que está sujeto a discrepancias.
- En general, las latifoliadas no son consideradas causantes de efectos adversos sobre el suelo, es más, son vistas como mejoradoras de éste. Además, su monocultivo rara vez ha sido acusado de causar deterioros al suelo.
- En relación con el contenido de nutrimentos en la biomasa, no se puede generalizar respecto a que la cosecha de latifoliadas remueve más nutrimentos desde el sitio que la cosecha de un volumen igual de coníferas, ya que esto no siempre es así. Esta situación sí puede ocurrir en una

región climática particular, por ejemplo en Gran Bretaña se encontró que las cantidades de nutrimentos extraídas por los árboles aumentan en el siguiente orden: pinos, otras coníferas, y latifoliadas.

- Las generalizaciones relativas a los contenidos de nutrimentos por unidad de biomasa de coníferas versus latifoliadas tienen poco significado y pueden llevar a confusiones.
- Los bosques artificiales y naturales, de distintas especies arbóreas, producen un efecto positivo sobre el suelo sólo desde el momento en que se juntan sus copas y se empieza a formar la hojarasca (reciclaje interno de nutrimentos).
- En Gran Bretaña se encontró que al cabo de 80 años, tanto coníferas como latifoliadas mejoraron el nivel nutricional del humus y de los horizontes superficiales del suelo. Sin embargo, también aumentaron la inmovilización de los nutrimentos en el humus y agotaron algunos nutrimentos en los horizontes inferiores, lo que provocó la degradación del suelo.
- Los suelos bajo plantaciones de pinos pueden presentar condiciones menos favorables que los cubiertos con especies latifoliadas, para los procesos de descomposición del material orgánico.
- La velocidad del ciclo biológico de los nutrimentos se incrementa en la medida que aumenta la proporción de especies latifoliadas en las plantaciones de coníferas, ya que las primeras mantienen una población más abundante y versátil de organismos descomponedores y desintegradores.

- Investigaciones realizadas en Europa, Australia y Nueva Zelandia, indican que las plantaciones de coníferas además de producir una reducción de la actividad biológica en el humus, hacen disminuir el pH y el nivel de Ca, pero no ocasionan una degradación como tal en el suelo.
- En general se considera que la acidificación será mucho más alta en los suelos bajo coníferas que bajo latifoliadas, lo que tiene un efecto comúnmente perjudicial sobre éste. Sin embargo, no todas las coníferas generan suelos con pH más ácido que todas las latifoliadas. Por otro lado, el pH más ácido bajo coníferas puede atribuirse a variaciones naturales del pH del sitio y, además, el pH del subsuelo es el que tiene una influencia mayor en la acidificación.
- En Gran Bretaña, estudios sobre la acidez de la hojarasca, tanto bajo coníferas como latifoliadas, al cabo de 80 años sólo mostraron cambios leves en ésta. Sin embargo, en los horizontes minerales inferiores, la acidez aumentó ligeramente bajo todas las especies arbóreas analizadas.

En relación con las propiedades físicas del suelo se ha encontrado que:

- En general, la cubierta de latifoliadas favorece la formación de poros de tamaño medio, lo que se asocia con propiedades físicas del suelo más benéficas (v.gr.: un mejor régimen de aire), en comparación con las coníferas, las que generan un aumento del volumen total de poros y macroporos.



- Hay casos en los que no se han encontrado diferencias en las propiedades físicas de un suelo bajo coníferas o latifoliadas, ni evidencias de que las coníferas sean especialmente dañinas para el suelo, y las latifoliadas especialmente beneficiosas, desde el punto de vista físico.

#### **9.5 Prácticas y esquemas de manejo asociados a una disminución de la productividad del sitio.**

En general, cualquier actividad o esquema que resulte directa o indirectamente en una pérdida sustancial de nutrientes, o atente contra las propiedades físicas del suelo, conducirá a una disminución de la fertilidad, y por ende de la productividad, en aquellos sitios donde tales elementos sean escasos.

A continuación se indican las principales prácticas o esquemas que inciden en la productividad, en largo plazo:

- La quema o remoción de hojarasca y desechos de explotación.
- La extracción de biomasa en forma repetida.
- La cosecha intensiva (mayor utilización de la biomasa).
- La adopción de rotaciones más cortas.
- Las operaciones de cosecha del bosque.
- El método de corta (tala rasa).
- El mayor grado de mecanización de las operaciones forestales.

### **9.5.1 La intensidad de cosecha.**

- La tendencia a utilizar más intensivamente la biomasa producida por el bosque, cosechando no sólo el fuste, sino que también ramas, acículas y en algunos casos el sistema radicular, hace que el problema de la disminución de la productividad se vea considerablemente acentuado, ya que se altera severamente el ciclo de los nutrimentos en el bosque.
- Una parte importante de los efectos totales del monocultivo se debe a la extracción, desde el sitio, de nutrimentos esenciales contenidos en la biomasa.
- El aumento en la extracción de biomasa mediante la cosecha intensiva, puede causar una declinación de la productividad futura del sitio. El impacto de esta cosecha puede variar según el tipo de suelo, el clima y la especie en particular.
- La cosecha intensiva o del árbol entero, aumenta en forma sustantiva la cantidad de nutrimentos removidos desde el sitio, lo que puede originar agotamientos significativos de uno o más nutrimentos, con lo cual se puede ver afectada la productividad futura del sitio, en especial en terrenos de baja fertilidad.
- La cantidad de nutrimentos removidos desde el suelo de una plantación, a través de la cosecha, depende de la concentración de éstos dentro de los distintos componentes de la biomasa y de la intensidad de utilización de ésta.
- En promedio, el tronco y la corteza contienen entre el 50 y 80% de los nutrimentos del árbol. Sin embargo, esta

cantidad presenta variaciones amplias según el tipo de suelo, la tasa de crecimiento de la especie en particular y la edad de corta.

- Los árboles forestales, en especial las especies de crecimiento rápido, imponen grandes demandas al suelo por lo que con la extracción de la totalidad, o la casi totalidad de la biomasa, desaparece una cantidad muy importante de nutrimentos.
- La cosecha intensiva remueve en total más nutrimentos desde el sitio que la cosecha tradicional.
- Tanto en rodales de coníferas como de latifoliadas, y dependiendo de la especie y de las características del rodal, con la cosecha de toda la biomasa aérea los nutrimentos removidos pueden aumentar desde un 50% hasta 5 veces, comparado con la cosecha tradicional.

#### **9.5.1.1 Remoción de nutrimentos en cultivos agrícolas y forestales.**

- En la actividad agrícola, con las cosechas anuales, se extraen cantidades considerables de nutrimentos desde el sistema. En cambio en la actividad forestal se extraen en forma comparativa, cantidades relativamente bajas, dado los largos períodos de tiempo entre cosechas finales, siendo además la madera relativamente pobre desde el punto de vista nutritivo.
- Los requerimientos nutricionales de los cultivos forestales son muy inferiores a los de los cultivos agrícolas.

- Aunque la cosecha de madera resulta en una tasa de remoción de nutrimentos mucho más baja que la que se produce en la mayoría de otros cultivos, la cosecha del árbol entero o la remoción de hojarasca elevan la extracción de nutrimentos, pudiendo aproximarla a aquella de los cultivos agrícolas.
- Las demandas por nutrimentos, de aun los bosques de rotación corta más productivos, son pequeñas cuando se comparan con las remociones de nutrimentos que hay en la agricultura.

#### **9.5.2 La longitud de rotación.**

- La longitud de la rotación es muy significativa al evaluar los niveles nutricionales, ya que con el acortamiento de ésta aumenta la frecuencia de las alteraciones que sufre el sitio a través de la cosecha y la preparación del sitio. Estas dos actividades son muy importantes porque comúnmente incrementan la pérdida de nutrimentos vía erosión, lixiviación y traspaso hacia la atmósfera.
- Una rotación corta no proporciona el tiempo suficiente para la acumulación de nutrimentos mediante la precipitación, intemperización y fijación de N, por lo que el flujo de éstos es más rápido en tales rotaciones.
- La exportación directa de nutrimentos en la biomasa aumenta marcadamente con el acortamiento de la rotación, por lo que, en este caso, la cosecha del árbol entero puede terminar por agotar las reservas nutritivas del suelo.

- Se clasifican en tres las implicancias que tiene la rotación corta sobre las relaciones nutricionales del sitio forestal:
  - 1.- Una proporción alta de la longitud de la rotación está destinada al período de regeneración, tiempo en el cual puede ocurrir una pérdida acelerada de nutrimentos a través de la descomposición del piso forestal.
  - 2.- La salida total de nutrimentos será mayor que con rotaciones largas, dado que al comienzo de la fase de crecimiento de la plantación la tasa de producción de biomasa, absorción de nutrimentos y concentración de éstos en la biomasa, es mayor que en las fases de crecimiento subsiguientes.
  - 3.- Aunque la cosecha se realice después del período de ocupación total del sitio, el drenaje de nutrimentos por unidad de biomasa cosechada, dependiendo del método de cosecha, puede ser igualmente alto.
- Las especies utilizadas en rotaciones cortas son más exigentes y producen una mayor extracción de nutrimentos desde el sistema.
- Las plantaciones de rotación corta que combinan manejo intensivo con altas tasas de crecimiento, a través de la biomasa cosechada, pueden conducir a remociones de nutrimentos particularmente elevadas, aumentando así la inquietud por la producción sostenida del sitio en el largo plazo.
- Comúnmente es verdad que los nutrimentos están más concentrados en los tejidos más jóvenes, sin embargo, esto

no siempre es así, y las excepciones pueden ser muy relevantes desde la perspectiva de la remoción total de nutrimentos desde el sitio. Por ejemplo, la importancia relativa que tiene el follaje en la remoción total de nutrimentos es tan variable que el generalizar respecto a su relevancia puede inducir a errores.

- En plantaciones de pino radiata se encontró que comúnmente las concentraciones de nutrimentos, tanto en el tronco como en ramas y follaje, tienden a disminuir a medida que aumenta la edad del rodal.
- En las coníferas, en general, la tasa de acumulación de nutrimentos es mayor antes del cierre del dosel, que después de éste. Esto unido al predominio de componentes de la biomasa ricos en nutrimentos, hace que la cosecha en rotaciones cortas genere una demanda mayor sobre el capital nutricional del suelo, que la cosecha a una edad mayor.
- El contenido de nutrimentos del duramen es generalmente más bajo que el de la albura; y la madera, en una plantación joven, está constituida básicamente por albura.

### **9.5.3 El manejo de residuos.**

- Gran parte de las declinaciones de la productividad que ocurrieron en Europa, en el pasado, se debieron a las prácticas que removían nutrimentos desde el sitio, siendo la remoción de hojarasca, una de las principales.
- La mantención de la hojarasca y los residuos de explotación constituye un factor clave para la mantención de la calidad del sitio, ya que éstos concentran una gran cantidad de

nutrimentos que son liberados paulatinamente, pudiendo así la planta reutilizarlos, lo que contribuye a mantener la productividad del sitio.

- La remoción de la hojarasca puede disminuir apreciablemente el capital de nutrimentos. La cantidad de nutrimentos removidos desde el sitio dependerá de la calidad de éste, de la especie en particular y de la frecuencia con que la hojarasca es extraída.
- En Nueva Zelanda se encontró que al cabo de dos rotaciones de pino radiata, se almacenó más N y P en las capas de la hojarasca que lo que se podría remover en una operación de cosecha tradicional.
- La hojarasca y los residuos de explotación además de representar un aporte importante de nutrimentos, favorecen la disminución del proceso erosivo, ya que actúan como una cubierta tipo mulch que minimiza dicho proceso. Por otro lado, también influyen en el microclima del suelo, favoreciendo así el régimen térmico e hídrico de éste y elevando las reservas húmicas, con el consiguiente beneficio para los árboles que conformen la reforestación.
- Las limitaciones que tiene el uso de fertilizantes en especies arbóreas, sumado a su costo, han estimulado la mantención de la productividad en el largo plazo, mediante la conservación de los nutrimentos del sitio, a través de la reducción de todas aquellas prácticas que produzcan pérdidas innecesarias. Por ejemplo, se debería dejar en el sitio la biomasa rica en nutrimentos, el sistema radicular y la corteza, siempre que sea posible.

#### **9.5.4 La quema de desechos.**

- La quema de desechos produce la pérdida de gran parte de los nutrimentos contenidos en ramas y acículas y de la materia orgánica acumulada en el suelo, que es la otra gran reserva de nutrimentos del sistema, aumentando con esto la posibilidad de reducir la fertilidad de éste, en el largo plazo.
- El fuego afecta el suelo física, química y biológicamente. Por ejemplo, algunas de las formas de vida vegetal y animal, como bacterias, hongos, insectos y lombrices, que son beneficiosas porque descomponen la hojarasca e incorporan material orgánico en el suelo, son consumidas al ser quemada ésta.
- Las quemas no controladas, de alta intensidad, además de afectar los desechos de explotación, también liberan los nutrimentos minerales contenidos en la hojarasca y el humus, aportando una concentración inicial alta de éstos en las cenizas, que excede los requerimientos de las plántulas, provocando, en la mayoría de los casos, su pérdida en gran cantidad, principalmente por lixiviación, erosión, escurrimiento, volatilización y flujo de partículas.
- Tanto la quema de alta como de baja intensidad provoca pérdidas importantes de nutrimentos y materia orgánica.
- El fuego afecta el contenido de casi todos los nutrimentos, por lo que su uso puede tener un efecto significativo en la productividad futura del sitio, en especial en los suelos menos fértiles.



- Donde los desechos son dejados *in situ*, existe una gran probabilidad de que las reservas de materia orgánica y de nutrimentos doblen en cantidad a aquellas de los sitios donde éstos son quemados o removidos.
- Estudios realizados en Australia han sugerido que la causa principal de la declinación de la productividad, en la segunda rotación de plantaciones de pino radiata, ha sido la pérdida de N y materia orgánica del ecosistema, causada por la quema de desechos de explotación.
- El fuego tiene el efecto potencial de aumentar la erodabilidad del suelo, producto del consumo de la materia orgánica, factor importante en la agregación de éste.
- El uso del fuego y la erosión son los principales factores degradantes de los suelos forestales de la VIII región.

#### **9.5.5 Mecanización forestal y compactación del suelo.**

- La mecanización de las operaciones silviculturales ha aumentado el efecto perjudicial que tiene el tráfico de máquinas pesadas sobre las propiedades físicas del suelo, y por ende, sobre la productividad del sitio.
- El efecto de la compactación se relaciona con el tipo de madereo usado en la explotación forestal, y provoca un nuevo factor de disminución del crecimiento en futuras plantaciones.
- Al estar el suelo compactado, el crecimiento de los árboles puede declinar debido a que se reduce el espacio radicular y el suministro de agua y nutrimentos, a causa del aumento de la escorrentía, y a que hay una aireación deficiente.

- El aumento en la compactación del suelo, en la zona radicular, es considerado como un inhibidor potencial del crecimiento.
- Existe una evidencia amplia en relación a que la compactación del suelo puede afectar adversamente el crecimiento de los árboles y la productividad del sitio en el largo plazo; sin embargo, los efectos son variables y no han sido aún bien cuantificados.
- La compactación del suelo reduce significativamente el crecimiento de plántulas y árboles residuales y, en algunos casos, aumenta la erosión. Por ejemplo, se han encontrado reducciones que van desde un 5 hasta un 60%, en el crecimiento volumétrico, en rodales afectados por compactación, comparado con sectores menos alterados. También se han registrado pérdidas de crecimiento en altura del orden del 24 al 30% en sectores compactados por el madereo. El efecto de esta disminución alcanzaría hasta la edad adulta del árbol.
- El pastoreo también tiene su efecto sobre la productividad del suelo al producir directa o indirectamente la compactación de éste a través del pisoteo, la desintegración y disipación de la hojarasca y de la reducción o destrucción del sotobosque.

### **9.6 Fuentes naturales de nutrimentos.**

- A través de la precipitación se producen entradas adicionales de nutrimentos que, durante el transcurso de una rotación forestal, pueden aportar cantidades significativas de la mayoría de ellos.
- En relación con las entradas atmosféricas en los ecosistemas forestales, éstas son considerablemente mayores que las pérdidas por lixiviación que ocurren en las áreas forestadas y, por lo tanto, pueden reponer ampliamente los nutrimentos removidos en los árboles cosechados, durante el período de una rotación. Sin embargo, para N, K, Ca y Mg, en la mayoría de las situaciones forestales, las pérdidas por lixiviación son mayores o iguales a las entradas vía precipitación.
- Hay casos en que la precipitación junto con la meteorización han reemplazado las pérdidas de N, P y K, producto de la cosecha del árbol entero y la lixiviación.
- En general, sólo algunos nutrimentos podrán ser repuestos por las vías naturales, dependiendo del lugar, sin embargo, otros deberán reponerse en forma artificial.

### **9.7 Mejoramiento del suelo y de la productividad.**

- El mejoramiento de los suelos para incrementar el rendimiento de las plantaciones, o mantener la fertilidad del suelo, se puede lograr a través de la fertilización mineral y del uso de especies acompañantes, las que

aumentan la variedad y mejoran la composición de la materia orgánica.

- El establecimiento y mantenimiento de un sotobosque de hoja ancha, probablemente es la manera práctica más común para mejorar la productividad del suelo en los monocultivos de coníferas.
- La baja fertilidad de algunos suelos, producto de repetidas cosechas, se puede subsanar con fertilizantes, o sembrando especies fijadoras de N.

#### **9.7.1 Fertilización.**

- La aplicación de fertilizantes es una consecuencia inevitable de la vida humana, ya que los métodos naturales aún no son respuesta a todas las deficiencias nutricionales del suelo.
- En general, los fertilizantes tienen efectos benéficos sobre el suelo, ya que restituyen su fertilidad. Además, con la fertilización se inducen y alcanzan formas de humus más favorables, y el aumento de las sustancias húmicas contribuye a regular el régimen de agua en el suelo.
- La aplicación de fertilizantes en suelos erosionados puede mejorar las propiedades químicas y, mediante la estimulación de la actividad radicular del árbol, las condiciones físicas del suelo.
- Una fertilización balanceada mejora el contenido de nutrimentos de la hojarasca y la tasa de circulación de éstos. Además, permite mantener, y en algunos casos elevar,

- la tasa de crecimiento, tanto en primeras como en segundas rotaciones.
- La fertilización es una herramienta aceptable y valiosa para aumentar la productividad del sitio, en especial la de aquellos menos fértiles. Sin embargo, su uso tiene como limitante la baja eficiencia que presentan los árboles para aprovechar los nutrimentos aplicados.
  - Investigaciones realizadas en Nueva Zelandia y Australia señalan que cualquier pérdida de productividad puede ser más que compensada mediante la aplicación de fertilizantes. En estos países la fertilización ha aumentado notablemente la productividad de plantaciones forestales establecidas en suelos carentes de uno o más nutrimentos.
  - En Nueva Zelandia, los bosques son fertilizados para mejorar las deficiencias nutricionales y para estimular el crecimiento en los buenos sitios.

**9.7.2 Plantas fijadoras de nitrógeno.** En los ecosistemas forestales, la fijación de N que realizan las leguminosas representa una vía de reposición de dicho elemento potencialmente importante y sustancial. Estas especies pueden aportar entre 50 y 160 kg de N/ha/año, dependiendo del efecto supresivo del cultivo arbóreo en desarrollo y, además, acrecentar el nivel de materia orgánica.

**X. OBSERVACIONES.**

- El hecho de no existir una definición única de monocultivo forestal tiene como consecuencia que al usar este término en forma general, no se sabe si se está hablando respecto a la misma situación, lo que puede llevar a confusiones o errores. Por este motivo se recomienda en lo posible, evitar usar el término, y si se ocupa señalar que se está entendiendo por éste.
- Dado que las pérdidas directas e indirectas de nutrimentos asociadas a las distintas prácticas llevadas a cabo en el bosque, como cosecha y preparación del sitio, entre otras, pueden alcanzar valores importantes, se debería investigar en esta línea a fin de poder cuantificar dichas pérdidas y así fijar su significancia para la productividad de los sitios forestales en el largo plazo.
- En los ecosistemas forestales además de la disponibilidad de nutrimentos que hay en el suelo, existen entradas y salidas naturales de estos elementos al sistema. Por tal situación, sería importante poder cuantificar dichas entradas y salidas, y así determinar si son preponderantes al momento de evaluar el efecto potencial de las actividades que involucran la pérdida directa o indirecta de los nutrimentos del sitio.

- De igual modo sería importante poder realizar investigaciones para cuantificar el efecto que tiene la compactación del suelo sobre el crecimiento de los árboles, en el largo plazo, y así dimensionar su importancia en el mantenimiento de la productividad del sitio.
- Respecto a las distintas actividades operativas que se realizan en el bosque, es importante considerar que éstas no sólo deben basarse en su pragmatismo, sino que también deben tomar en cuenta el posible impacto que pueden provocar al suelo, el cual tarde o temprano afectará la productividad del sitio, por lo que siempre deberían compatibilizarse ambos aspectos.
- De acuerdo a los antecedentes relativos a los efectos de la quema de residuos de explotación sobre el capital nutricional del sitio, se deberían estudiar en forma integrada otras alternativas técnicas de manejo de residuos de explotación que tiendan, a lo menos, a mantener la fertilidad del suelo y por ende la productividad del sitio en el largo plazo, situación que en los suelos menos fértiles cobra mayor relevancia.
- En cuanto a las generalizaciones que se hacen con respecto a diversas materias relacionadas con el ámbito forestal, como por ejemplo cuando se habla de coníferas, latifoliadas, monocultivo, etc., se recomienda tomarlas con mucha precaución puesto que es muy difícil admitir

generalizaciones válidas sobre temas que abarca tantas circunstancias específicas de distinta naturaleza. El generalizar en base a ejemplos aislados de cultivos de todas las edades y especies posibles, bajo distintas condiciones climáticas y de suelo, y bajo diferentes grados de manejo sólo puede originar confusiones. Es por esto que las conclusiones de muchos estudios sólo tienen validez si son consideradas dentro de su contexto, es decir en forma relativa o local.





## **XI. CONCLUSIONES.**

De acuerdo a la información analizada en este trabajo bibliográfico se concluye lo siguiente:

- No se puede señalar qué es un monocultivo forestal en forma precisa ya que no existe una definición única, aceptada universalmente, de este término. Las diversas definiciones encontradas involucran distintos aspectos, algunos coincidentes y otros antagónicos, representando a veces situaciones muy diferentes. Sin embargo, por su generalidad se propone como definición más adecuada de monocultivo la siguiente: es la práctica de cultivar el mismo tipo de cultivo, en el mismo suelo, en forma repetida.
- No se encontraron antecedentes que apoyen la idea de que el monocultivo forestal *per se*, entendido éste como un bosque artificial, coetáneo, compuesto por una sola especie arbórea, degrada el suelo y por ende produce una disminución de la productividad del sitio en el largo plazo. En general, estas dos últimas situaciones se han asociado a aquellas prácticas y/o esquemas de manejo que en forma directa o indirecta tienen un efecto negativo sobre las propiedades físicas, químicas y/o biológicas del suelo.

- No es el monocultivo forestal en sí, sino las prácticas de manejo asociadas las que alterarían el suelo y por ende afectarían negativamente la productividad del sitio en el largo plazo.
- La degradación del suelo y la disminución de la productividad del sitio, en el largo plazo, no está ligada a un factor específico, sea físico, químico o biológico, sino que todos participan interactuando entre sí. Por esta razón, no es correcto considerar a la cubierta arbórea como único factor responsable de tal situación. En este sentido, y como señaló Francke (1993a), son las interacciones especie-sitio-modelo tecnológico de cultivo las que determinarán las variaciones de fertilidad del suelo y de productividad del sitio forestal en el largo plazo.

## **XII. RESUMEN.**

Con el objeto de determinar qué es un monocultivo forestal y clarificar si su práctica genera en forma directa la degradación del suelo que lo sustenta, y por ende, una disminución de la productividad de éste en el largo plazo, se realizó una investigación bibliográfica de carácter general respecto a estos dos temas.

Se concluyó que no se puede señalar qué es un monocultivo forestal en forma precisa ya que existen variadas definiciones de este término, algunas de las cuales presentan aspectos coincidentes y otras aspectos antagónicos, representando a veces situaciones muy diferentes. Por otro lado, se encontró que el monocultivo forestal per se no causa una degradación del suelo, y una disminución de la productividad del sitio en largo plazo, sino que estas dos situaciones se asocian a aquellas prácticas y/o esquemas de manejo que en forma directa o indirecta tienen un efecto negativo sobre las propiedades físicas, químicas y/o biológicas del suelo. Como señaló Francke (1993a), son las interacciones especie-sitio-modelo tecnológico de cultivo las que determinarán las variaciones de fertilidad del suelo y de productividad del sitio forestal en el largo plazo.

**SUMMARY .**

A general bibliographic research was carried out in order to determine what a forest monoculture is and clarify if its practice produces in a direct form, the degradation of the soil that is supporting it, and thereby, a decrease of the soil productivity in the long term.

It was concluded that it is not possible to establish precisely what a forest monoculture is since there are several definitions of this term, some of these showing coincident aspects and others antagonistic aspects, sometimes representing very different situations. On the other hand, it was found that the forest monoculture *per se* causes no soil degradation, and no decrease of the site productivity in the long term, but these two situations are associated to those practices and/or outlines of management which in a direct or indirect way have a negative effect on the physic, chemical and/or biological soil properties. As Francke (1993a) stated, the interactions specie-site-crop technological model are the ones that will determine the variations of the soil fertility and the forest site productivity in the long term.

**XIII. BIBLIOGRAFÍA.**

1. Abbott, I. 1993. Minimising insect pests in eucalypt plantations: A review in the context of the concepts of optimal area, polycultures and patchiness. *Aust. For.* 56:385-390.
2. Adams, J. A. 1978. Long-term aspects of nutrient loss from forest soils and ecosystems. *N. Z. J. For.* 23:10-20.
3. Adams, P. W. and J. R. Boyle. 1979. Cation release from Michigan Spodosols leached with aspen leaf extracts. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:593-596.
4. Adams, P. W. and H. A. Froehlich. 1981. Compaction of forest soils. PNW 217. A Pacific Northwest Extension Publication. Oregon, USA.
5. Adlard, P. G., J. A. Johnson and J. Evans. 1984. A strategy for detecting productivity change in tropical plantations. pp.857-869. In: *Proceedings Vol. 2. Symposium on site and productivity of fast growing plantations. 30 April - 11 May. IUFRO. Pretoria and Pietermaritzburg, South Africa.*
6. Alarcón, C. 1990. ¿Los costos ocultos en el sector forestal disminuyen la rentabilidad del negocio?. *Renarres* 7:3-14.

7. Alarcón, C. y J. A. Prado. 1990. Efecto del manejo de los residuos de explotación de Pinus radiata en los procesos de erosión. Ciencia e Investigación Forestal 4:35-48.
8. Alban, D. H. 1969. The influence of western hemlock and western redcedar on soil properties. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33:453-457.
9. Alban, D. H. 1982. Effects of nutrient accumulation by aspen, spruce, and pine on soil properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 46:853-861.
10. Allaway, W. H. 1957. Cropping systems and soil. pp.386-395. In: Soil - The Yearbook of Agriculture 1957. USDA. Washington, D. C.
11. Arteaga, B. y J. D. Etchevers. 1988. Pinus radiata en México y el mundo. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
12. Bain, J. 1981. Forest monoculture - how safe are they? An entomologist's view. N. Z. J. For. 26:37-42.
13. Ballard, R. 1978. Effect of slash and soil removal on the productivity of second rotation radiata pine on a pumice soil. N. Z. J. For. Sci. 8:248-258.

14. Baker, T. G. 1983. Dry matter, nitrogen, and phosphorus content of litterfall and branchfall in Pinus radiata and Eucalyptus forests. N. Z. J. For. Sci. 13:205-221.
15. Bigger, C. M. and D. W. Cole. 1983. Effects of harvesting intensity on nutrient losses and future productivity in high and low productivity Red Alder and Douglas-fir stands. pp.167-178. In: Symposium on forest site and continuous productivity. August 22-28, 1982. Seattle, Washington. IUFRO, USDA, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. Portland, Oregon, USA.
16. Boardman, R. 1983. Use of balanced mineral fertilizers to produce acceptable growth rates in Pinus radiata on marginal sites in South Australia. pp.323-332. In: Symposium on forest site and continuous productivity. August 22-28, 1982. Seattle, Washington. IUFRO, USDA, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. Portland, Oregon, USA.
17. Boardman, R. 1988. Living on the edge - the development of silviculture in South Australian pine plantations. Aust. For. 51:135-156.
18. Boyle, J. R., J. J. Phillips and A. R. Ek. 1973. "Whole tree" harvesting: nutrient budget evaluation. J. For. 71:760-762.

19. Calvo de Anta, R. M. y F. Díaz-Fierros. 1981. Consideraciones acerca de la acidificación de los suelos de la zona húmeda española a través de la vegetación. *Ann. Edaf. Agrobiol.* 40:411-425.
20. Calvo de Anta, R. M., A. Paz y F. Díaz-Fierros. 1979. Nuevos datos sobre la influencia de la vegetación en la formación del suelo en Galicia. II. Aporte de elementos por lavado de cubierta y tronco. *Ann. Edaf. Agrobiol.* 38:1675-1691.
21. Campos, D. 1990. Efectos ecológicos de los nuevos esquemas de manejo del pino radiata. *Corma* 216:41-45.
22. Carey, M. L., I. R. Hunter and I. Andrew. 1982. Pinus radiata forest floors: factors affecting organic matter and nutrient dynamics. *N. Z. J. For. Sci.* 12:36:48.
23. Carrasco, P. 1989. Suelos forestales de la VIII región. Chile Forestal, Documento Técnico N°41. CONAF. Santiago, Chile.
24. Castro, V. R. 1991. Fauna asociada a bosques de Pinus radiata D. Don y Eucalyptus globulus Labill. en los predios de Bosques Arauco. *Corma* 220:21-26.



25. Contesse, D. 1990. El desarrollo forestal chileno - una realidad sustentable. Lamas y Cía. Ltda. Concepción, Chile.
26. Crane, W. J. B. and R. J. Raison. 1980. Removal of phosphorous in logs when harvesting Eucalyptus delegatensis and Pinus radiata forests on short and long rotations. Aust. For. 43:253-260.
27. Challinor, D. 1968. Alteration of surface soil characteristics by four tree species. Ecology 49:286-290.
28. Chijioke, E. O. 1984. Suelos de las regiones tropicales húmedas de tierras bajas: efectos causados por las especies de crecimiento rápido. Estudio FAO Montes N°21. FAO. Roma, Italia.
29. Chou, C. K. S. 1981. Monoculture, species diversification, and disease hazards in forestry. N. Z. J. For. 26:20-36.
30. Daniel, P. W., U. E. Helms y F. S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. 2ª Ed. McGraw-Hill S. A. México.

31. Davis, G. R. 1984. Effect of soil compaction on root growth of Pinus radiata D. Don. pp.871-879. In: Proceedings Vol. 2. Symposium on site and productivity of fast growing plantations. 30 April - 11 May. IUFRO. Pretoria and Pietermaritzburg, South Africa.
32. Donald, D. G. M., P. W. Lange, C. J. Schutz and A. R. Morris. 1984. The application of fertilizers to pines in Southern Africa. pp.621-635. In: Proceedings Vol. 2. Symposium on site and productivity of fast growing plantations. 30 April - 11 May. IUFRO. Pretoria and Pietermaritzburg, South Africa.
33. Dyck, W. J., J. R. Gosz and P.D. Hodgkiss. 1983. Nitrate losses from disturbed ecosystems in New Zealand - a comparative analysis. N. Z. J. For. Sci. 13:14-24.
34. Edmonds, R. L. and J. G. McColl. 1983. Forest management effects on soil nitrogen in Eucalyptus pauciflora and Pinus radiata stands in the Australian Capital Territory, Australia. pp.259-263. In: Symposium on forest site and continuous productivity. August 22-28, 1982. Seattle, Washington. IUFRO, USDA, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. Portland, Oregon, USA.

35. Espinosa, M., R. Escobar y F. Drake. 1990. Silvicultura de las plantaciones forestales en Chile: pasado, presente y futuro. *Agro-Ciencia* 6:131-144.
36. Evans, J. 1984a. Measurement and prediction of changes in site productivity. pp.441-456. In: Proceedings Vol. 2. Symposium on site and productivity of fast growing plantations. 30 April - 11 May. IUFRO. Pretoria and Pietermaritzburg, South Africa.
37. Evans, J. 1984b. Maintaining and improving the productivity of tropical and sub-tropical plantations. pp.893-905. In: Proceedings Vol. 2. Symposium on site and productivity of fast growing plantations. 30 April - 11 May. IUFRO. Pretoria and Pietermaritzburg, South Africa.
38. Farnum, P., R. Timmis and J. L. Kulp. 1983. Biotechnology of forest yield. *Science* 219:694-702.
39. Farrell, P. W. 1984. Radiata pine residue management and its implications for site productivity on sandy soils. *Aust. For.* 47:95-102.
40. Feller, M. C. 1983. Effects of an exotic conifer (Pinus radiata) plantation on forest nutrient cycling in southeastern Australia. *For. Ecol. Manage.* 7:77-102.

41. Ferreira, M. G. M., J. P. Kimmins and N. F. Barros. 1984. Impact of intensive management on phosphorus cycling in Eucalyptus grandis plantations in the savannah region, Minas Gerais, Brazil. pp.847-856. In: Proceedings Vol. 2. Symposium on site and productivity of fast growing plantations. 30 April - 11 May. IUFRO. Pretoria and Pietermaritzburg, South Africa.
42. Florence, R. G. 1986. Cultural problems of Eucalyptus as exotics. *Commonw. For. Rev.* 65:141-163.
43. Ford, E. D. 1983. What do we need to know about forest productivity and how can we measure it?. pp.2-12. In: Symposium on forest site and continuous productivity. August 22-28, 1982. Seattle, Washington. IUFRO, USDA, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. Portland, Oregon, USA.
44. FOREST RESEARCH INSTITUTE. 1990. Monocultivos ¿Cuán vulnerables son?. Publicación 115. *Renarres* 7:11-14.
45. Francke, S. 1988a. Mejoramiento de suelos forestales. Chile Forestal, Documento Técnico N°30. CONAF. Santiago, Chile.
46. Francke, S. 1988b. Fertilización forestal. Chile Forestal, Documento Técnico N°31. CONAF. Santiago, Chile.

47. Francke, S. 1990. Efecto del tratamiento de los residuos de explotación en el suelo y en el crecimiento inicial de Pinus radiata. Ciencia e Investigación Forestal 4:1-33.
48. Francke, S. 1993a. Efectos de las plantaciones forestales en el suelo. Chile Forestal, Documento Técnico N°70. CONAF. Santiago, Chile.
49. Francke, S. 1993b. Efectos del manejo de residuos de explotación en el suelo y crecimiento inicial de plantaciones de Pinus radiata en las series de suelo Constitución (zona de Constitución) y Cauquenes (zona de Nacimiento). pp.64-79. En: Actas VIII Simposio Suelos Forestales. 8-10 Abril, 1992. Boletín N°10 Soc. Chilena de la Ciencia del Suelo. Univ. Austral de Chile, Fac. Cs. For. Valdivia, Chile.
50. Froehlich, H. A. 1972. The impact of even-age forest management on physical properties of soils. pp.199-219. In: Even-Age Management: Proceedings. Oregon State Univ. Oregon, USA.
51. Froehlich, H. A. 1979. Soil compaction from logging equipment: Effects on growth of young ponderosa pine. J. Soil Water Cons. 34:276-278.

52. Gadgil, R. L. 1971. The nutritional role of Lupinus arboreus in coastal sand dune forestry. 3. Nitrogen distribution in the ecosystem before tree planting. *Plant Soil* 35:113-126.
53. Gadgil, R. L. and P. D. Gadgil. 1978. Influence of clearfelling on decomposition of Pinus radiata litter. *N. Z. J. For. Sci.* 8:213-224.
54. Garrido, F. 1993. Comentarios sobre la acidez de los suelos forestales. *Corma* 231:37-39.
55. Gayoso, J. y A. Iroumé. 1993. Impacto al suelo por efecto de la cosecha forestal. pp.98-106. En: Actas VIII Simposio Suelos Forestales. 8-10 Abril, 1992. Boletín N°10 Soc. Chilena de la Ciencia del Suelo. Univ. Austral de Chile, Fac. Cs. For. Valdivia, Chile.
56. Gerding, V. 1993. Estabilidad de plantaciones de Pinus radiata D. Don: extracción y pérdida de elementos nutritivos asociadas al manejo. pp.55-63. En: Actas VIII Simposio Suelos Forestales. 8-10 Abril, 1992. Boletín N°10 Soc. Chilena de la Ciencia del Suelo. Univ. Austral de Chile, Fac. Cs. For. Valdivia, Chile.

57. Gibson, I. A. S. and T. Jones. 1977. Monoculture as the origin of major forest pests and diseases. pp.139-161. In: J.M. Cherrett and G.R. Sagar (Eds.) Origins of Pest, Parasite, Disease and Weed Problems. Symposium of The British Ecological Society 18th. April 12-14, 1976. Bangor. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
58. Grass, A. 1992. Efectos ecológicos de las plantaciones de pino radiata. Corma 226:19-24.
59. Green, T. 1991. The controversy of planting eucalypts in Lesotho. pp.1038-1043. In: Proceedings Vol. 2. Symposium on Intensive Forestry: The Role of Eucalyptus. Sept. 2-6. Durban. IUFRO. Southern African Institute of Forestry. Pretoria, South Africa.
60. Harper, V. L., B. Frank and W. E. McQuilkin. 1957. Forest practices and productivity. pp.732-741. In: Soil - The Yearbook of Agriculture 1957. USDA. Washington, D. C.
61. Hatchell, G. E., C. W. Ralston and R. R. Foil. 1970. Soil disturbances in logging: effects on soil characteristics and growth of loblolly pine in the Atlantic coastal plain. J. For. 68:772-775.
62. Hornbeck, J. W. and W. Kropelin. 1982. Nutrient removal and leaching from a whole-tree harvest of northern hardwoods. J. Environ. Qual. 11:309-316.

63. Hornbeck, J. W., C. T. Smith, C. W. Martin, L. M. Tritton and R. S. Pierce. 1990. Effects of intensive harvesting on nutrient capitals of three forest types in New England. *For. Ecol. Manage.* 30:55-64.
64. Huber, A. y C. Oyarzún. 1983. Producción de hojarasca y sus relaciones con factores meteorológicos en un bosque de Pinus radiata (D. Don). *Bosque* 5:1-11.
65. Huber, A., J. E. Schlatter y C. Oyarzún. 1986. Aporte en elementos nutritivos por la hojarasca de un bosque adulto de Pinus radiata. *Bosque* 7:59-64.
66. INFOR. 1993. Estadísticas forestales 1992. Boletín Estadístico N°30. INFOR/CORFO. Santiago, Chile.
67. Ipinza, R. 1990. Algunas consideraciones y reflexiones sobre la fragilidad de nuestros bosques a plagas y enfermedades forestales. Chile Forestal, Documento Técnico N°48. CONAF. Santiago, Chile.
68. Johnson, N. E. 1976. Biological opportunities and risks associated with fast-growing plantations in the tropics. *J. For.* 74:206-211.



69. Johnson, D. W. 1983. The effects of harvesting intensity on nutrient depletion in forests. pp.157-166. In: Symposium on forest site and continuous productivity. August 22-28, 1982. Seattle, Washington. IUFRO, USDA, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. Portland, Oregon, USA.
70. Jorgensen, J. R., C. G. Wells and L. J. Metz. 1975. The nutrient cycle: key to continuous forest production. J. For. 73:400-403.
71. Julio, G. 1988. Análisis de técnicas de quema en la eliminación de desechos de explotaciones de pino radiata. Ciencia e Investigación Forestal 2:27-44.
72. Keeney, D. R. 1980. Prediction of soil nitrogen availability in forest ecosystems: a literature review. Forest Sci. 26:159-171.
73. Kunz, M., S. Aguirre, R. Peters y J. A. Prado. 1985. Efecto de la utilización de las plantaciones de Pinus radiata D. Don en la mantención de la productividad del sitio. pp.177-197. En: B. Olivares y E. Morales (Eds.) Pinus Radiata Investigación en Chile, Tomo I. 24-26 Octubre. Univ. Austral de Chile, Fac. Cs. For. Valdivia, Chile.

74. Likens, G. E., F. H. Bormann, R. S. Pierce and W. A. Reiners. 1978. Recovery of a deforested ecosystem. *Science* 199:492-496.
75. López, M. 1991. Ciclo biológico de los elementos biogénicos en una plantación de Eucalyptus globulus del SO. de España. *Inves. Agrar., Sist. Recur. For.* N°0:75-91.
76. Madeira, M. A. V. 1989. Changes in soil properties under Eucalyptus plantations in Portugal. pp. 81-99. In: J. S. Pereira and J. J. Landsberg (Eds.) *Proceeding of a NATO. Advanced Research Workshop. Biomass Production by Fast-Growing Trees.* Kluwer Ac. Pub. Dordrecht, Netherlands.
77. Madeira, M. A. V., F. Andreux and J. M. Portal. 1989. Changes in soil organic matter characteristics due to reforestation with Eucalyptus globulus, in Portugal. *Sci. Total Environ.* 81/82:481-488.
78. Madgwick, H. A. I. 1985. Dry matter and nutrient relationships in stands of Pinus radiata. *N. Z. J. For. Sci.* 15:324-336.
79. Madgwick, H. A. I., D. S. Jackson and P. J. Knight. 1977. Above-ground dry matter, energy and nutrient contents of trees in an age series of Pinus radiata plantations. *N. Z. J. For. Sci.* 7:445-468.

80. Maliondo, S. M., M. K. Mahendrappa and G. D. van Raalte. 1990. Distribution of biomass and nutrients in some New Brunswick forest stand: Possible implications of whole-tree harvesting. Information Report M-X-170E/F. Forestry Canada, Maritimes Region. Fredericton, N. B., Canada.
81. Miller, H. G. 1983. Maintenance and improvement of forest productivity: an overview. pp.280-285. In: Symposium on forest site and continuous productivity. August 22-28, 1982. Seattle, Washington. IUFRO, USDA, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. Portland, Oregon, USA.
82. Mroz, G. D., M. F. Jurgensen and D. J. Frederick. 1985. Soil nutrient changes following whole tree harvesting on three northern hardwood sites. Soil Sci. Soc. Am. J. 49:1552-1557.
83. Murphy, G. 1982. Soil damage associated with production thinning. N. Z. J. For. Sci. 12:281-292.
84. Nwoboshi, L. C. 1983. Potential impacts of some harvesting options on nutrient budgets of a Gmelina pulpwood plantation ecosystem in Nigeria. pp.212-217. In: Symposium on forest site and continuous productivity. August 22-28, 1982. Seattle, Washington. IUFRO, USDA, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. Portland, Oregon, USA.

85. Nye, P. H. 1961. Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. *Plant Soil* 13:333-346.
86. Oliver, C. D. 1986. Silviculture: the next thirty years, the past thirty years. Part I: Overview. *J. For.* 84:32-42.
87. Orman, H. R. and G. M. Will. 1960. The nutrient content of *Pinus radiata* trees. *N. Z. J. Sci.* 3:510-522.
88. Page, G. 1968. Some effects of conifer crops on soil properties. *Commonw. For. Rev.* 47:52-62.
89. Peña, S., B. Fernández y L. Rocuant. 1976. Efecto de la cubierta vegetal en las propiedades químicas y físicas de los suelos forestales II. Suelos serie arenales. *Boletín Técnico-Suelos N°58*. Univ. de Concepción, Escuela de Agronomía. Chillán, Chile.
90. Pokhiton, P. P. 1958. The effect of various tree species on soil. *Soviet Soil Sci.* (6):630-634.
91. Poore, M. E. D. y C. Fries. 1987. Efectos ecológicos de los eucaliptos. Serie FAO Montes N°59. FAO. Roma, Italia.
92. Popovich, L. 1980. Monoculture, a bugaboo revisited. *J. For.* 78:487-489.

93. Power, J. F. and R. F. Follett. 1987. Monoculture. Scientific American 256:56-64.
94. Powers, R. F., D. H. Alban, R. E. Miller, A. E. Tiarks, C. G. Wells, P. E. Avers, R. G. Cline, R. O. Fitzgerald and N. S. Loftus Jr. 1990. Sustaining site productivity in North American forests: problems and prospects. pp.49-79. In: S. P. Gessel, D. S. Lacate, G. F. Weetman and R. F. Powers (Eds.) Sustained Productivity of Forest Soils. Proceedings of the 7th North American Forest Soils Conference. University of British Columbia, Faculty of Forestry Publication. Vancouver, B. C., Canada.
95. Pritchett, W. L. 1979. Properties and management of forest soils. John Wiley & Sons. New York.
96. Raison, R. J., P. K. Khanna and W. J. B. Crane. 1982. Effects of intensified harvesting on rates of nitrogen and phosphorus removal from Pinus radiata and Eucalyptus forests in Australia and New Zealand. N. Z. J. For. Sci. 12:394-403.
97. REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. 1970. Diccionario de la Lengua Española. 19ª Ed. Madrid.
98. Reisinger, T. W., G. L. Simmons and P. E. Pope. 1988. The impact of timber harvesting on soil properties and seedling growth in the south. South. J. Appl. For. 12:58-67.

99. RENARRES. 1993. Conclusiones de las XVI jornadas forestales. Renarres 10:24-29.
100. Rennie, P. J. 1962. Some long-term effects of tree growth on soil productivity. *Empire For. Rev.* 41:209-213.
101. Riekerk, H. 1983. Environmental impacts of intensive silviculture in Florida. pp.264-271. In: Symposium on forest site and continuous productivity. August 22-28, 1982. Seattle, Washington. IUFRO, USDA, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. Portland, Oregon, USA.
102. Rolfe, G. L. and W. R. Boggess. 1973. Soil conditions under old field and forest cover in southern Illinois. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37:314-318.
103. Ros, R. 1993. Plantaciones: sus efectos sobre el ambiente. pp.21-37. En: Actas XIV Jornadas Forestales. 13-14 Noviembre, 1992. Colegio de Ingenieros Forestales A. G. Temuco, Chile.
104. Sands, R. 1983. Physical changes to sandy soils planted to radiata pine. pp.146-152. In: Symposium on forest site and continuous productivity. August 22-28, 1982. Seattle, Washington. IUFRO, USDA, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. Portland, Oregon, USA.

105. Schlatter, J. E. 1977. La relación entre suelo y plantaciones de Pinus radiata D. Don en Chile Central. Análisis de la situación actual y planteamientos para su futuro manejo. Bosque 2:12-31.
106. Schlatter, J. E. 1987. La fertilidad del suelo y el desarrollo de Pinus radiata D. Don. Bosque 8:13-19.
107. Schlatter, J. E. y V. Gerding. 1985. Deficiencia de boro en plantaciones de Pinus radiata D. Don en Chile. II Principales causas y corrección. Bosque 6:32-43.
108. Scott, D. F. and R. E. Schulze. 1991. Fire, water and soil erosion. pp.1057-1068. In: Proceedings Vol. 2. Symposium on Intensive Forestry: The Role of Eucalyptus. Sept. 2-6. Durban. IUFRO. Southern African Institute of Forestry. Pretoria, South Africa.
109. Shepherd, K. R. 1986. Plantation silviculture. Martinus Nijhoff Publishers. Dordrecht, Netherlands.
110. Shipton, P. J. 1977. Monoculture and soilborne plant pathogens. Annu. Rev. Phytopathol. 15:387-407.
111. Silkworth, D. R. and D. F. Grigal. 1982. Determining and evaluating nutrient losses following whole-tree harvesting of aspen. Soil Sci. Soc. Am. J. 46:626-631.

112. Skinner, M. F. and P. M. Attiwill. 1981a. The productivity of pine plantations in relation to previous land use. I. Growth responses in agricultural and forest soils. *Plant Soil* 60:161-176.
113. Skinner, M. F. and P. M. Attiwill. 1981b. The productivity of pine plantations in relation to previous land use. II. Phosphorus adsorption isotherms and the growth of pine seedlings. *Plant Soil* 61:329-339.
114. Smith, D. M. 1986. *The practice of silviculture*. 8<sup>a</sup> Ed. John Wiley & Sons. New York.
115. Snowdon, P. and H. D. Waring. 1984. Long-term nature of growth responses obtained to fertilizer and weed control applied at planting and their consequences for forest management. pp.701-711. In: *Proceedings Vol. 2. Symposium on site and productivity of fast growing plantations*. 30 April - 11 May. IUFRO. Pretoria and Pietermaritzburg, South Africa.
116. Squire, R. O. 1983. Review of second rotation silviculture of *Pinus radiata* plantations in southern Australia: establishment practice and expectations. *Aust. For.* 46:83-90.
117. Squire, R. O., P. W. Farrell, D. W. Flinn and B. C. Aeberli. 1985. Productivity of first and second rotation stands of radiata pine on sandy soils. *Aust. For.* 48:127-137.



118. Stone, E. L. 1982. Observations on forest nutrition research in Australia. *Aust. For.* 45:181-192.
119. Sutton. W. R. J. 1993. Plantación neozelandesa de pino radiata: un ejemplo de subsistencia. *Corma* 231:33-36.
120. Toro, J. 1986. Fertilización en plantaciones de pino radiata, segunda rotación. *Avances en Investigación Forestal, Forvesa* (Junio) DID/06.
121. Toro, J. y S. Álvarez. 1985. Aspectos nutricionales del Pinus radiata en relación al uso del sitio. pp.152-162. En: B. Olivares y E. Morales (Eds.) Pinus Radiata Investigación en Chile, Tomo I. 24-26 Octubre. Univ. Austral de Chile, Fac. Cs. For. Valdivia, Chile.
122. Torrent, J. A. y N. Romanyk. 1967. Protección contra plagas de insectos en las masas artificiales. *Bol. Serv. Plag. Forest.* 20:79-93.
123. Turner, J. 1983. Maintenance and improvement of forest productivity in Australia. pp.293-303. In: *Symposium on forest site and continuous productivity*. August 22-28, 1982. Seattle, Washington. IUFRO, USDA, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. Portland, Oregon, USA.

124. Turner, J. 1984. Potential productivity gains in Australian east coast Pinus radiata plantations. pp.947-956. In: Proceedings Vol. 2. Symposium on site and productivity of fast growing plantations. 30 April - 11 May. IUFRO. Pretoria and Pietermaritzburg, South Africa.
125. Turner, J. and J. Kelly. 1985. Effect of radiata pine on soil chemical characteristics. For. Ecol. Manage. 11:257-270.
126. Turner, J. and M. J. Lambert. 1988. Soil properties as affected by Pinus radiata plantations. N. Z. J. For. Sci. 18:77-91.
127. Van Lear, D. H., W. T. Swank, J. E. Douglass and J. B. Waide. 1983. Forest management practices and the nutrient status of a loblolly pine plantation. pp.252-258. In: Symposium on forest site and continuous productivity. August 22-28, 1982. Seattle, Washington. IUFRO, USDA, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. Portland, Oregon, USA.
128. Velasco, F. y J. M. Lozano. 1979. Cambios sinecológicos de la microflora telúrica asociados a las repoblaciones forestales con especies exóticas. Ann. Edaf. Agrobiol. 38:871-879.

129. Villa, P. A. 1995. Evaluación de la compactación de suelo causada con sistema de cosecha harvester-forwarder. Tesis de grado Universidad de Concepción, Fac. Cs. For. Dep. Silvicultura. Concepción, Chile.
130. Vora, R. S. 1988. Potential soil compaction forty years after logging in northeastern California. *Great Basin Nat.* 48:117-120.
131. Wang, D., F. H. Bormann, A. E. Lugo and R. D. Bowden. 1991. Comparison of nutrient-use efficiency and biomass production in five tropical tree taxa. *For. Ecol. Manage.* 46:1-21.
132. Waring, H. D. 1969. The role of nitrogen in the maintenance of productivity in conifer plantations. *Commonw. For. Rev.* 48:226-235.
133. Webber, B. 1978. Potential increase in nutrient requirements of Pinus radiata under intensified management. *N. Z. J. For. Sci.* 8:146-159.
134. Webber, B. and H. A. I. Madgwick. 1983. Biomass and nutrient content of a 29-year-old Pinus radiata stand. *N. Z. J. For. Sci.* 13:222-228.
135. Whitehead, D. 1982. Ecological aspects of natural and plantation forests. *Forestry Abstr.* 43:615-624.

136. Wilde, S. A. 1964. Changes in soil productivity induced by pine plantations. *Soil Sci.* 97:276-278.
137. Wilde, S. A. and J. G. Iyer. 1962. Growth of red pine (*Pinus resinosa* Ait.) on scalped soils. *Ecology* 43:771-774.
138. Will, G. M. 1964. Dry matter production and nutrient uptake by *Pinus radiata* in New Zealand. *Commonw. For. Rev.* 43:57-70.
139. Will, G. M. 1984. Monoculture and site productivity. pp.473-487. In: *Proceedings Vol. 1. Symposium on site and productivity of fast growing plantations. 30 April - 11 May. IUFRO. Pretoria and Pietermaritzburg, South Africa.*
140. Will, G. M. and R. Ballard. 1976. Radiata pine - soil degrader or improver? *N. Z. J. For.* 21:248-252.
141. Will, G. M., P. D. Hodgkiss and A. I. Madgwick. 1983. Nutrient losses from litterbags containing *Pinus radiata* litter: influences of thinning, clearfelling, and urea fertiliser. *N. Z. J. For. Sci.* 13:291-304.

142. Will, G. M. and B. R. Manley. 1983. Methods for maintaining and improving forest productivity in New Zealand. pp.286-292. In: Symposium on forest site and continuous productivity. August 22-28, 1982. Seattle, Washington. IUFRO, USDA, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. Portland, Oregon, USA.
143. Williams, T. M., C. A. Gresham, G. R. Askew, D. D. Hook and D. C. Guynn. 1983. Nitrogen supply for forests intensively managed for fiber and energy in the Atlantic Coastal Plain: a modeling approach. pp.272-279. In: Symposium on forest site and continuous productivity. August 22-28, 1982. Seattle, Washington. IUFRO, USDA, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. Portland, Oregon, USA.
144. Wingate-Hill, R. and B. F. Jakobsen. 1982. Increased mechanisation and soil damage in forests - a review. N. Z. J. For. Sci. 12:380-393.
145. Wise, P. K. and M. G. Pitman. 1981. Nutrient removal and replacement associated with short-rotation eucalypt plantations. Aust. For. 44:142-152.
146. Zobel, B. J. 1972. Genetic implications of monoculture in forest management. pp.221-229. In: Even-Age Management: Proceedings. Oregon State Univ. Oregon, USA.

147. Zobel, B. J. and J. T. Talbert. 1984. Applied forest tree improvement. John Wiley & Sons. New York.

