

# Características y variabilidad de sitios con plantaciones adultas de *Pinus radiata* D. Don en suelos graníticos de las Regiones VIII y IX\*

Characteristics and variability of sites with adult stands of *Pinus radiata* D. Don in granite soils of the VIII and IX Regions, Chile

JUAN E. SCHLATTER, VICTOR GERDING, M. ISABEL OÑATE

Instituto de Silvicultura, Universidad Austral de Chile,  
Casilla 567, Valdivia, Chile.

## SUMMARY

An analysis of the characteristics of six *Pinus radiata* sites on granite soils of the VIII and IX regions was carried out in order to determine the factors involved in their productivity, as a form of contributing to the management of plantations. In each site, climate, soil, aerial stand, litter and the productive potential as well as the limiting factors of the sites were diagnosed. The results indicate that the sites in Concepción and Nacimiento presented a greater productivity with regards to the Santa Juana and Los Sauces sites. Productivity was determined principally by natural fertility of the soils. The most limiting factors were low organic matter content, deficiency of N, P and B, a closed structure with high bulk density, low total pore volume and difficult rooting. The most restrictive conditions were found in Santa Juana where besides the above, deficient summer hydric balance worsens the situation. Management of these soils should be mainly orientated towards favouring organic matter increase and improvement of physical conditions.

*Key words:* *Pinus radiata*, granite soils, productivity, biomass, nutrient balance.

## RESUMEN

Para contribuir al perfeccionamiento del manejo de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don establecidas en suelos graníticos de las regiones VIII y IX, se efectúa un análisis de las características de seis sitios con el fin de identificar los factores determinantes en su productividad. En cada sitio se precisaron las características del clima, suelo, vuelo y mantillo y se diagnosticó el potencial productivo y sus factores limitantes. El resultado demostró que los sitios de Concepción y Nacimiento presentaron una mayor productividad respecto a los sitios de Santa Juana y Los Sauces. La productividad estuvo determinada principalmente por la fertilidad natural de los suelos, siendo los factores más limitantes: un bajo contenido de materia orgánica, deficiencias en N, P y B, estructura cerrada, alta densidad aparente, bajo volumen total de poros y arraigabilidad dificultada. Las condiciones más restrictivas se presentaron en Santa Juana, donde además un balance hídrico estival deficitario agrava tales condiciones. El manejo de estos sitios debería ir orientado principalmente en favorecer el aumento de materia orgánica del suelo y mejorar sus condiciones físicas.

*Palabras claves:* *Pinus radiata*, suelos graníticos, productividad, biomasa, balance nutritivo.

---

\* Financiado por Dirección de Investigación y Desarrollo, Vicerrectoría Académica, Universidad Austral de Chile: Proyecto S-96-28.

## INTRODUCCION

El rápido crecimiento y la buena productividad del *Pinus radiata* han llevado en la práctica al manejo cada vez más intensivo de sus plantaciones. Como consecuencia, la capacidad productiva de los suelos ha sido afectada, de manera que mantener la sustentabilidad de los bosques a largo plazo con la tecnología adecuada es una medida necesaria para asegurar la productividad y rentabilidad de las futuras plantaciones.

Algunos estudios en el país han determinado que existen diferencias importantes de productividad en las plantaciones de *P. radiata* producto de diferencias climáticas (Instituto Forestal 1966), pero además por efecto de la fertilidad del suelo (Gerding y Schlatter 1995). Sin embargo, hasta hace unos años no se consideraba que podrían existir pérdidas de productividad de los sitios con estas plantaciones y se desestimaba que éstas se acentuaran al agregar los propios efectos de las prácticas de manejo forestal (Chile Forestal 1995).

Las plantaciones con especies de corta rotación son más exigentes y producen una extracción mayor de nutrientes del sistema. De allí que bosques de rápido crecimiento como aquellos de *P. radiata* tienden a disminuir la fertilidad de los suelos, ya que existe una periódica extracción de nutrientes desde el sistema suelo-planta. A esto se debe agregar el deterioro del suelo como consecuencia de la compactación y erosión que normalmente producen las faenas de maderío y preparación del sitio para la próxima plantación (Kunz *et al.* 1985). Por ello, el mantenimiento, mejoramiento y/o recuperación de la fertilidad del suelo son actividades esenciales y prioritarias para la productividad de las futuras rotaciones.

El objetivo de optimizar el proceso de producción y mantener la fertilidad del suelo hacen necesario buscar los elementos que permitan mejorar el manejo a nivel de sitios. En el caso particular de *P. radiata*, a ese nivel existe una escasa información cuantitativa respecto de los factores con mayor efecto en la variación natural de su productividad. Por tal motivo, la calidad de las decisiones de manejo se ve limitada y con ello se impide la optimización de la producción.

Gran parte de las plantaciones de *P. radiata* del país se concentran sobre suelos de origen granítico de las regiones VIII y IX. Estos suelos fueron afectados en el pasado por fuertes procesos erosivos como consecuencia de un uso agropecuario inadecuado,

de manera que las condiciones para mantener la sustentabilidad de los bosques a largo plazo son restringidas. Las limitantes más frecuentes de este tipo de suelo son alta densidad aparente, escasa profundidad arraigable, baja capacidad de agua aprovechable y, frecuentemente, drenaje interno restringido (Schlatter *et al.* 1994), factores que tienen un efecto importante sobre la productividad (Gerding y Schlatter 1995).

Por las razones indicadas, este estudio tiene por objetivo efectuar un análisis detallado de las características de sitios con plantaciones adultas de *P. radiata* ubicados en suelos graníticos de las regiones VIII y IX, con el fin de identificar los factores determinantes en su productividad, por sitio y/o grupo de sitios, y por esta vía contribuir al perfeccionamiento de su manejo.

Para este propósito se determinaron los siguientes objetivos específicos.

- Especificar las características particulares de cada sitio seleccionado, determinando la fertilidad del suelo y el balance nutritivo del ecosistema.
- Diagnosticar el potencial productivo de cada sitio para *P. radiata*, identificando los factores limitantes.
- Evaluar las diferencias entre sitios.
- Inferir los principales problemas que atañen al manejo nutritivo de las plantaciones de *P. radiata* para cada sitio y sugerir medidas para su solución.

## MATERIAL Y METODOS

*Base de datos.* La información generada por los proyectos "Variabilidad de las características tecnológicas hereditarias del *Pinus radiata* D. Don" (Delmastro *et al.* 1981) y "Mantención de la productividad de sitio para *Pinus radiata* D. Don" (Peters *et al.* 1985, Schlatter 1986) constituyen la fuente básica de datos para la realización del presente estudio. Ambos proyectos conforman un tamaño muestral de 70 sitios distribuidos a través de todo el rango latitudinal en que se presenta *P. radiata* en Chile. Sobre la base de esta muestra se seleccionaron seis sitios pertenecientes al grupo de suelos de origen granítico de las regiones VIII y IX.

*Area de estudio.* El área de las plantaciones en estudio se sitúa en la vertiente oriental de la Cor-

dillera de la Costa y en el secano interior. Este último formado por la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa y el inicio occidental de la Depresión Intermedia (cuadro 1, figura 1).

*Características dasométricas de los rodales.*

Los rodales en estudio son de primera rotación y no presentan ningún tipo de manejo (cuadro 2).

Las plantaciones fueron establecidas a un espaciamiento inicial de 2 x 2 m y las características genéticas de las poblaciones son similares (Delmastro *et al.* 1981). Sin embargo, el rodal del sitio 6 presentó claros indicios de que éste sufrió algún daño durante su establecimiento, los que se manifestaron por la forma de los árboles y la presencia de claros en el rodal.

CUADRO 1

Ubicación de los rodales seleccionados.  
Location of sites selected.

Sitio	Localidad	Latitud	Longitud	Elevación (m s.n.m.)	Exposición	Pendiente (%)	Posición fisiográfica	Ubicación en el relieve
1	Concepción	36 ° 56'	72° 44'	330	noreste	28	cerro	ladera alta
2	Concepción	36° 56'	72° 44'	280	sureste	29	cerro	ladera media
3	Santa Juana	37° 13'	72° 47'	135	norroeste	40	cerro	ladera media
4	Nacimiento	37° 29'	72° 51'	190	este	57	cerro	ladera alta
5	Nacimiento	37° 29'	72° 51'	180	este	38	cerro	ladera media
6	Los Sauces	38° 06'	72° 38'	220	sureste	30	cerro	ladera alta

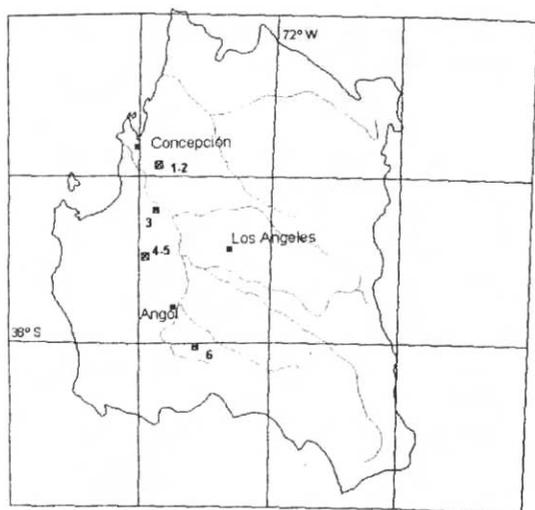


Figura 1. Ubicación geográfica de los sitios en estudio (1-2 Concepción, 3 Santa Juana, 4-5 Nacimiento, 6 Los Sauces).

Geographical location of the studied sites.

*Caracterización de sitios.* Para cada sitio se precisaron las características en sus componentes:

- **Clima:** temperatura media anual, precipitación anual, período seco, período libre de heladas (Santibáñez y Uribe 1993, Schlatter *et al.* 1994).
- **Suelo:** material de origen, morfología (Schlatter *et al.* 1991), características físicas, concentración y cantidad de elementos nutritivos (C y N total; P, K, Ca, Mg en reserva suministrable, extracto HC1 3%; K, Ca y Mg disponibles; capacidad de intercambio catiónico total y efectiva) (Schlatter 1986, Gerding 1991). Se diferenciaron tres estratos de profundidad del suelo de acuerdo con la morfología de los perfiles (P1 = primer horizonte u horizontes A, P2 = horizontes de transición AB y B, P3 = horizontes B).
- **Vuelo:** biomasa, concentración y cantidad de elementos nutritivos de los componentes: acúculas, ramillas, conos, ramas secas, ramas vivas, corteza y madera (Peters *et al.* 1985, Schlatter 1986).
- **Mantillo:** biomasa, concentración y cantidad de elementos nutritivos (Schlatter 1986, Gerding 1991).

CUADRO 2

Características dasométricas de los rodales.  
Dasometric characteristics of stands.

Sitio	Edad (años)	Densidad (árboles/ha)	Area basal (m <sup>2</sup> /ha)	Diámetro medio cuadrático (cm)	Índice de sitio (m)	Altura dominante (m)	Incremento medio anual en biomasa (t/ha/año)	Clase de sitio*
1- Concepción	19	1578	54.3	20.9	27.0	25.9	13.9	2
2- Concepción	27	1389	62.5	23.9	28.5	35.2	13.4	2
3- Sta. Juana	22	877	36.1	22.9	23.5	25.3	8.9	3
4- Nacimiento	21	1989	65.6	20.5	31.4	32.6	16.6	1
5- Nacimiento	19	1388	50.3	21.5	30.8	29.5	14.1	1
6- Los Sauces	23	1013	38.0	21.9	21.1	23.5	7.9	3

\* Clase de sitio: 1 > 30 m; 2 [25 - 30]; 3 < 25 m.

*Diagnóstico del potencial productivo y sus factores limitantes.* Para determinar los factores limitantes se definió una secuencia de factores climáticos y del suelo que son considerados como aquellos de mayor incidencia sobre la productividad de *P. radiata*, expresada por medio del índice de sitio (IS). Se estableció que un nivel de productividad es bajo cuando el índice de sitio es menor a 25 m, considerando a la variable como limitante. Las funciones de índice de sitio utilizadas fueron las desarrolladas por Schlatter *et al.* (1982) y Gerding (1991) (anexo, cuadro A). Como no se disponía de funciones para los elementos nutritivos se compararon los valores presentes en el suelo y follaje de cada sitio con valores de referencia (anexo, cuadros B, C, D).

El potencial productivo se definió por la producción de biomasa lograda y también por los siguientes indicadores para su proyección futura:

*Estabilidad* (índice de reserva de la vegetación, según Fassbender y Bornemisza (1987)):

$$IRV = \frac{\text{Reservas en vegetación + mantillo (kg/ha)}}{\text{Reservas en el suelo mineral (kg/ha)}}$$

La estabilidad se calculó para cada elemento (Oñate 1997). En este último se consideraron los

elementos contenidos tanto en el horizonte superficial como a una profundidad uniforme de 0-15 cm. Para realizar comparaciones entre sitios se proyectó la biomasa del vuelo y mantillo a una edad de 25 años.

El análisis de estabilidad se consideró para los siguientes elementos: C y N total; P, K, Ca y Mg de reserva suministrable; K, Ca y Mg de intercambio. En este estudio se definió que para C un índice menor a 3 califica al sitio como estable, entre 3 y 5 moderadamente estable, y mayor a 5 inestable. Para los demás elementos nutritivos se consideró que un índice de reserva mayor a 0.5 representa una condición de inestabilidad.

*Eficiencia* (producción de biomasa por unidad de elemento nutritivo, según Raison y Crane (1981)):

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Cantidad de biomasa (t/ha)}}{\text{Cantidad de elemento en la biomasa (kg/ha)}}$$

Mediante la evaluación de la calidad de los sitios en estudio, efectuado en los puntos anteriores, se diagnosticó qué factores limitantes pudieran ser modificados, proponiendo medidas de manejo para las plantaciones de *P. radiata* de acuerdo a las características de cada sitio.

RESULTADOS Y DISCUSION

CARACTERISTICAS CLIMATICAS

Las características climáticas de los sitios de Santa Juana (3) y Los Sauces (6) son más restrictivas respecto a los demás sitios (cuadro 3). Destaca un balance hídrico más deficitario que se caracteriza por una menor pluviometría, un pronunciamiento del período seco, una humedad relativa más baja y además presentan un mayor número de heladas en invierno. Estas condiciones se ven acentuadas en Los Sauces, zona donde impera un clima más continental. En consecuencia, el período vegetativo es probablemente más corto, limitando el crecimiento y el desarrollo de los árboles, especialmente en los primeros años de vida.

En los sitios de Concepción y Nacimiento existe una moderación de las condiciones climáticas, que se manifiesta por bajo número de heladas, mayor humedad relativa en el período estival, mayor caída de precipitaciones y régimen térmico adecuado a favorable.

CARACTERISTICAS DEL SUELO

Los suelos de los sitios seleccionados fueron habilitados para la agricultura en el pasado, lo que sin duda afectó su fertilidad natural, debiéndose considerar este factor adicional en el análisis.

*Espacio de arraigamiento.* En general los suelos son profundos a muy profundos, pero las mejores condiciones de arraigamiento se presentan en los suelos de Nacimiento (4-5), con profundidades que superan los 120 cm (cuadro 4, figura 2).

En los suelos de Concepción el arraigamiento es favorable, sin embargo, éste se ve limitado en profundidad producto de una alta densidad y una estructura menos favorable en el subsuelo.

Los suelos están compactados en distinto grado, presentando una alta densidad aparente y un bajo volumen total de poros, características que son más desfavorables en los suelos de Concepción (1-2) y Santa Juana (3). La presencia de horizontes Ap, ABp o Bp indican el alto grado de deterioro de la estructura del suelo superficial debido al uso agrícola anterior que tuvieron (figura 2).

La erosión del horizonte superior y las características estructurales menos favorables del subsuelo dificultan el desarrollo radicular, y con ello se restringe el abastecimiento de agua y nutrientes a las plantas. Esta condición se hace más restrictiva en las localidades de Santa Juana (3) y Los Sauces (6), al presentar ambos suelos una baja densidad de raíces finas en el perfil y una condición climática de menor humedad.

En Santa Juana (3), sitio más deteriorado por la agricultura, las propiedades físicas del suelo (densidad aparente, pedregosidad, volumen total de poros y estructura) y la baja cantidad de materia orgánica caracterizan a este suelo como el más limitado. En Los Sauces (6), en cambio, a pesar de tener características morfológicas y físicas más adecuadas, la menor amigabilidad probablemente está determinada por la mayor proporción de arcilla. Se agrega una estructura inadecuada en el subsuelo, condiciones que favorecen el anegamiento y la dificultad en la penetración de raíces. A partir de los 70 cm se presenta un horizonte B2g que es claro indicio de esta condición (figura 2).

CUADRO 3

Características climáticas de los sitios.  
Climatic characteristics of the sites.

Parámetro	Sitio					
	Concepción		Sta. Juana	Nacimiento		Los Sauces
	1	2	3	4	5	6
Temperatura media anual (°C)	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	12.6
Precipitación total anual (mm)	1225	1225	1075	1500	1500	1025
Período seco (meses/año)	5.5	5.5	5.5	5.0	5.0	5.0
Período libre de heladas (días/año)	310	310	245	275	275	250

Fuente: Schlatter *et al.* (1994), Santibáñez y Uribe (1993).

CUADRO 4

Características morfológicas y físicas del suelo para cada sitio.  
Morphological and physical characteristics of the soil for each site.

Sitio	Profundidad estratos* (cm)			Pedregosidad (%)			Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )			Volumen total de poros (%)		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
1-Concepción	0-13	13-55	55-80	10	8	5	1.48	1.55	1.54	39	39	41
2-Concepción	0-43	43-50	50-66	0	10	6	1.40	1.63	1.63	43	33	32
3-Sta. Juana	0-12	12-55	55-95	15	8	17	1.43	1.50	1.61	44	42	38
4-Nacimiento	0-18	18-48	48-150	0	1	2	1.21	1.44	1.37	53	42	45
5-Nacimiento	0-14	14-30	30-120	3	2	2	1.25	1.26	1.43	49	49	46
6-Los Sauces	0-18	18-48	48-90	4	3	12	1.17	1.33	1.39	54	49	47

\* Los horizontes correspondientes se pueden apreciar en la figura 2.

*Regímenes de agua y aire.* Los sitios presentan regímenes de agua y aire fuertemente condicionados por la compactación y la estructura cerrada (Schlatter *et al.* 1991) que presentan estos suelos.

En general, los suelos presentan una textura franco arcillo-arenosa a franco arcillosa en el estrato superior, aumentando la proporción de arcilla a mayor profundidad. De acuerdo a las características texturales, el suelo de Santa Juana (3) presenta las condiciones más equilibradas, debido a la mayor proporción de limo que se registra en este suelo (cuadro 5). La mayor proporción de arcilla se presenta en el suelo de Los Sauces (6), particularmente aquella proporción concentrada en la profundidad 1. El contenido de arena es alto en todos los suelos y dentro de esta fracción la arena gruesa tiene una mayor proporción.

Los suelos del sitio Concepción (1) y Santa Juana (3) presentan un régimen hídrico más restringido, que se refleja en una menor capacidad de agua aprovechable (cuadro 5). Esta condición se encuentra determinada porque ambos sitios presentan una alta densidad aparente, mayor pedregosidad del suelo (10-15%), menor proporción de arcilla y un menor contenido de materia orgánica. Esta condición es agravada en el sector de Santa Juana por el efecto de un período seco prolongado y una exposición noroeste, de una mayor radiación solar, afectando el abastecimiento de agua a las plantas.

El suelo de Los Sauces (6) se destaca por una capacidad de agua aprovechable mayor, condición

que está determinada por una mayor proporción de arcilla. Sin embargo, esto no significa que presente regímenes de agua y aire adecuados. La estructura cerrada en este suelo restringe la capacidad de percolación y aireación, por una menor permeabilidad, lo que favorece condiciones de anegamiento.

El suelo de los sitios de Nacimiento (4-5) y Concepción (2) presenta un régimen hídrico favorable. En el sector de Nacimiento la gran profundidad del suelo, las mejores propiedades físicas, un buen contenido de materia orgánica y el aporte de agua por las precipitaciones, favorecen una mejor retención de agua y una buena aireación en el suelo. En el suelo de Concepción (2), la gran profundidad del horizonte A y la estructura más espaciada favorecen esta condición.

Respecto al drenaje externo del suelo, la velocidad del agua que escurre por la superficie es rápida en la mayoría de los suelos. Esto se favorece al ser suelos compactados y en especial en los de textura fina, como Los Sauces. En Nacimiento y Santa Juana la mayor pendiente del terreno también aumenta esta situación. Por lo tanto es muy importante considerar esta condición, no sólo por la tasa de infiltración, sino que también por los procesos de erosión. La posibilidad de erosión fluctúa de moderada a alta, y como los suelos presentan un grado de erosión considerable, las medidas de manejo deben ir orientadas a frenar este proceso.

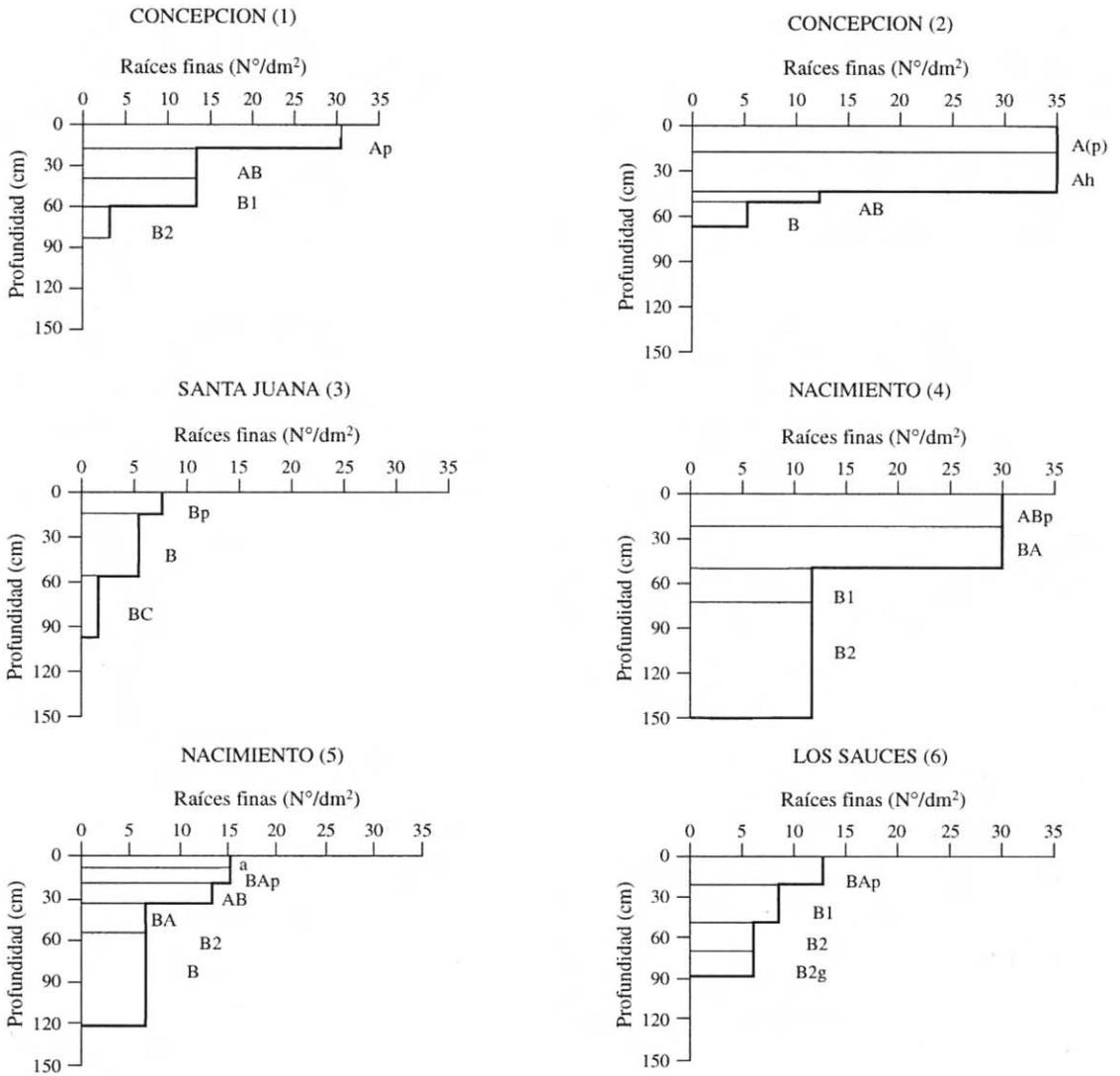


Figura 2. Distribución de raíces finas en el perfil de cada suelo.  
Distribution of fine roots in the profile of each soil.

*Régimen de elementos nutritivos.* El C total es un indicador de la materia orgánica del suelo, de las reservas nutritivas y de ciertas características del régimen hídrico del suelo. Varía de niveles medio a bajo en todos los suelos de acuerdo a la clasificación establecida para el elemento (cuadro 6 y anexo, cuadro B), excepto en el del sitio Nacimiento (5) donde se presenta en un nivel significativamente alto. El bajo contenido de materia orgánica en todos los suelos se produce como consecuencia de la erosión del suelo superficial,

producto del cultivo agrícola anterior. El suelo más afectado es el de Santa Juana, con la ausencia de un horizonte superior mineral orgánico.

La materia orgánica aporta casi la totalidad del N disponible para las plantas en el suelo. Ello determina que el nivel de nitrógeno en el suelo sea bajo en el sitio de Santa Juana y medio en los sitios restantes. Sin embargo, la relación C/N es adecuada, lo que indica que los procesos de descomposición son apropiados. Sólo en el suelo del sitio Nacimiento (5) se presenta en condición

CUADRO 5

Composición granulométrica, textura del suelo y capacidad de agua aprovechable de cada suelo.  
 Granulometric composition, soil texture and available water capacity for each soil.

Sitio	Profundidad	Arcilla	Limo	Arena fina	Arena gruesa	Textura	Capacidad de agua aprovechable* hasta 1 m de profundidad (mm)
		(% )					
1-Concepción	1	28	23	7	42	Franco arcillo-arenosa Arcilla Arcilla	107
	2	43	21	6	30		
	3	57	15	6	22		
2-Concepción	1	32	23	7	38	Franco arcillo-arenosa Franco arcillo-arenosa Arcilla	115
	2	32	19	6	43		
	3	49	18	5	28		
3-Sta. Juana	1	21	38	12	29	Franco Franco arcillosa Franco arcillosa	107
	2	38	29	9	24		
	3	35	28	11	26		
4-Nacimiento	1	34	23	16	27	Franco arcillosa Arcilla Franco arcillosa	124
	2	41	24	13	22		
	3	36	37	12	15		
5-Nacimiento	1	37	21	13	29	Franco arcillosa Arcilla Arcilla	119
	2	44	21	9	26		
	3	52	16	8	24		
6-Los Sauces	1	43	21	8	28	Arcilla Arcilla Arcilla	145
	2	41	27	6	26		
	3	57	15	6	22		

\* Agua retenida entre 0.3 y 15 atm de presión.

moderada, situación que indica una alteración en la descomposición y mineralización de los nutrientes que afectan en especial al nitrógeno.

Todos los suelos presentan un nivel crítico de P de reserva (< 15 mg/100 g). Esta deficiencia se confirma para suelos de origen granítico, caracterizados por un bajo nivel de P al ser suelos más evolucionados y por el bajo contenido de materia orgánica producto de la erosión. Se debe considerar, por tanto, que a largo plazo este elemento va a ser crítico en sucesivas rotaciones. El suelo de Santa Juana presenta la situación más grave, condición que está determinada por la ausencia de un horizonte A. En los suelos de Nacimiento la baja disponibilidad del elemento estaría condicionada además por problemas de solubilidad del P ante una mayor acidez del suelo, ya que entre un pH 5.5 y 7.0 varía el rango óptimo de solubilidad del elemento.

Todos los suelos presentan altos contenidos de K, Ca y Mg de reserva, a pesar de que en la fracción de intercambio se encuentren en un nivel medio en la mayoría de los suelos en estudio. De este modo, un régimen hídrico favorable y un sistema radicular adecuado favorecerían el suministro desde las reservas.

Aunque no se determinó el contenido de B en el suelo, son conocidas las deficiencias que presentan los suelos derivados de rocas graníticas (Schlatter y Gerding 1985), constituyendo uno de los problemas nutricionales más graves en las plantaciones de *P. radiata* en la zona de estudio. La deficiencia se acentúa cuando el suelo pierde la materia orgánica, principalmente por erosión, en suelos de texturas más arcillosas y situados en lugares de sequía prolongada. Tales características coinciden con los sitios de Santa Juana y Los Sauces, más aún al indicar niveles marginales de B en

CUADRO 6

Concentración de elementos nutritivos de reserva y acidez del suelo.  
Concentration of reserve nutritive elements and acidity of the soil.

Sitio	Profundidad	C	N	C/N	P	K	Ca	Mg	PH agua	PH
		(% )			(mg/100 g)					
1-Concepción	1	1.8	0.17	11	15	108	128	127	6.0	4.6
	2	0.9	0.10	9	6	58	104	94	6.0	4.4
	3	0.4	0.06	-	8	62	108	100	6.1	4.6
2-Concepción	1	2.4	0.18	13	9	109	140	114	6.1	4.5
	2	0.9	0.10	9	5	65	87	92	5.9	4.2
	3	1.2	0.08	-	6	61	93	90	6.0	4.3
3-Sta. Juana	1	1.1	0.07	16	4	55	295	176	5.8	4.3
	2	0.7	0.07	10	2	49	236	123	5.9	4.4
	3	0.5	0.04	-	1	38	410	245	6.1	4.3
4-Nacimiento	1	2.0	0.15	13	11	32	92	117	4.8	4.4
	2	1.4	0.13	11	6	211	87	212	4.6	4.0
	3	0.7	0.03	-	5	117	98	228	4.9	4.1
5-Nacimiento	1	5.1	0.19	27	11	53	110	161	4.8	4.4
	2	3.2	0.16	20	8	115	67	135	4.6	4.0
	3	1.8	0.10	-	8	109	72	131	4.7	4.0
6-Los Sauces	1	2.4	0.17	14	11	71	141	67	5.5	4.5
	2	1.0	0.11	9	8	47	123	71	5.6	4.2
	3	1.0	0.08	-	7	41	104	72	5.5	4.4

el follaje. La forma de los árboles en Los Sauces ratifica lo anterior, indicando que éstos crecieron bajo un insuficiente abastecimiento del elemento.

De acuerdo a lo demostrado por González (1982), el bajo contenido de materia orgánica, la menor profundidad del horizonte superior mineral-orgánico, la menor capacidad de agua aprovechable y alta densidad aparente se encuentran asociados a una menor disponibilidad de B, características que se manifiestan en Santa Juana. En Los Sauces, en cambio, las propiedades físicas y el contenido de materia orgánica del suelo no reflejarían tal situación. Sin embargo, la textura más arcillosa de este suelo aumentaría la fijación del elemento, disminuyendo su disponibilidad, el que asociado a una escasa arraigabilidad dificulta su absorción.

La acidez del suelo es un indicador importante de las condiciones físicas y nutritivas del suelo en cada sitio, por su influencia en el desarrollo de éste a través de la meteorización. Los suelos más ácidos corresponden a aquellos mejor desarrollados y en un clima más húmedo como son los de Nacimiento (cuadro 6). Sin embargo, la mayor acidez indica que estos suelos presentan una menor reserva de bases y por tanto una menor capacidad de amortiguar eventuales pérdidas de bases por efecto de las cosechas (figura 3). El grado de acidez de estos suelos puede representar una limitante creciente para el desarrollo de raíces de los vegetales, especialmente al presentar un porcentaje de saturación de Al bastante más alto que los demás suelos.

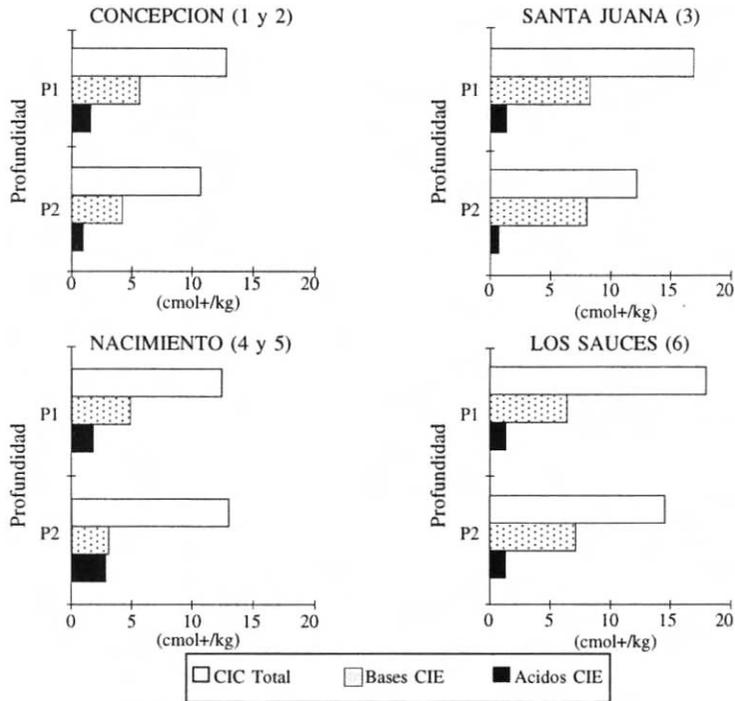


Figura 3. Capacidad de intercambio catiónico total y efectiva en cada suelo. Capacity of total and effective cationic interchange for each soil.

Los suelos de Concepción, Santa Juana y Los Sauces no presentan una condición química mucho mejor. No obstante que estos suelos presentan una mayor proporción de bases, tienen un alto riesgo de disminuir sus reservas, al presentar un mayor potencial de acidificación. Destaca la mayor proporción de bases en el suelo de Santa Juana debido a su carácter marcadamente mineral.

CARACTERISTICAS DEL VUELO

La producción de biomasa acumulada en el vuelo tiene relación con la calidad del sitio, la edad y la densidad del rodal. Estos resultados coinciden con lo señalado por Rodríguez (1989); sin embargo, el autor también atribuye a factores como la latitud y/o altitud las diferencias en productividad. En este caso esos factores no tienen influencia por lo estrecho del rango geográfico en la distribución de los sitios.

Los sitios presentan una biomasa que fluctúa entre 181 y 362 t/ha (figura 4). El sitio de Concepción (2) tiene la mayor acumulación, producto de la mayor edad del rodal, pero su producción promedio anual es sólo de 13 t/ha/año. El sitio 4 de Nacimiento es el que presenta una mayor capacidad productiva. Su mejor calidad de sitio influye en la alta densidad en este rodal aún a la edad de 21 años (1.989 árboles/ha), determinando un in-

cremento promedio anual de biomasa de 17 t/ha/año. Los sitios de Concepción (1) y de Nacimiento (5) tienen una productividad equivalente, la cual está determinada por una mayor densidad en el primero y una mejor calidad de sitio en el segundo. En Santa Juana y Los Sauces la menor capacidad productiva está determinada por una baja densidad del rodal y condiciones de sitio más limitadas. En este último sitio esta condición es afectada probablemente aún más por una calidad de plantas inferior.

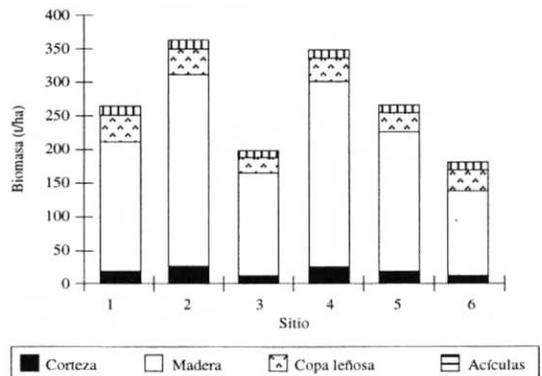


Figura 4. Biomasa de los componentes del vuelo en cada sitio (1-2 Concepción, 3 Santa Juana, 4-5 Nacimiento, 6 Los Sauces). Biomass of the aerial stand components of each site.

La participación relativa de los distintos componentes del vuelo en cada sitio (figura 5) indica que los sitios de Concepción (2), Santa Juana (3) y Nacimiento (4-5) presentan entre sí igual distribución. En cambio, en los sitios de Concepción (1) y Los Sauces el peso promedio del fuste es menor y por lo tanto el peso de la copa es más alto que en los demás sitios.

En Los Sauces, la estructura del bosque determina esta condición; el rodal menos denso influye en una mayor proporción de copa y menor del fuste. En el sitio Concepción (1), en cambio, existe una limitante metodológica en la estimación de la biomasa. Esto se explica porque tal sitio presenta características similares al sitio Nacimiento (5), y considerando que tiene una mayor densidad, debería esperarse una distribución similar de los componentes del vuelo. Sin embargo, la variable altura de la función de biomasa empleada determinó las variaciones en la distribución de los componentes del vuelo. Se comprobó que una mayor altura aumenta considerablemente la proporción de madera del fuste. Igual situación ocurre entre los rodales de Santa Juana y Los Sauces. En función de lo anterior, sería aconsejable crear funciones de biomasa para *P. radiata* propias de un área edafoclimática particular.

En el sitio Santa Juana (3) no se descarta que la baja proporción de copa sea producto de la deficiencia en nitrógeno que caracteriza a este sector. La deficiencia en nitrógeno condiciona a los árboles para que se desarrollen con un fuste muy delgado y presenten una proporción de copa muy pequeña, lo que en términos relativos significa una alta participación de fuste y menor de copa.

*Concentración y cantidad de elementos nutritivos en el vuelo.* En general, los niveles de concentración en el follaje son satisfactorios en todos los sitios, excepto en nitrógeno (cuadro 7), de acuerdo a la clasificación determinada por Will (1985) para *P. radiata*. Esto es ratificado por la relación N/P, en general menor al óptimo del valor 10, indicando que el nivel de nitrógeno es muy bajo para el nivel de fósforo en el follaje. La excepción es el sitio de Santa Juana (3), en el cual ambos elementos presentan un nivel marginal. Así también, en los sitios de Santa Juana y Los Sauces se presentan niveles marginales de boro en el follaje, lo que es fuertemente restrictivo para el crecimiento de los árboles. Esto demuestra el alto riesgo de deficiencia de este elemento que existe en los suelos graníticos, especialmente cuando están muy erosionados y compactados y en áreas geográficas más secas (Schlatter y Gerding 1985a).

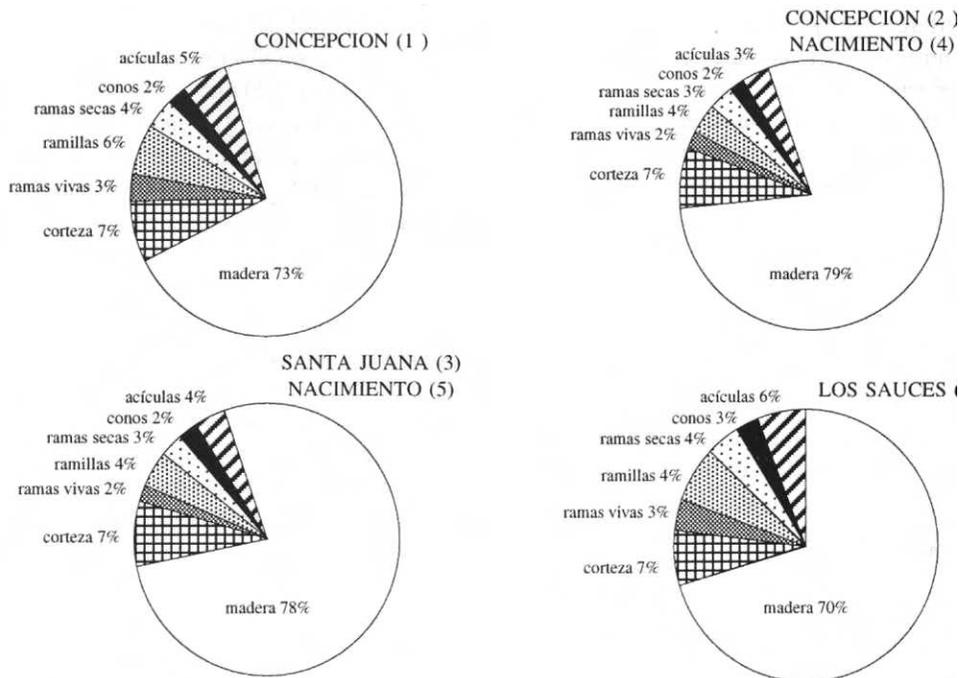


Figura 5. Participación relativa de los componentes del vuelo en cada sitio. Relative participation of components of the aerial stand.

Entre los componentes del vuelo, los tejidos más activos, como las acículas, concentran un mayor contenido de elementos nutritivos. De este modo, se observó la tendencia a disminuir la concentración de elementos nutritivos en el siguiente

orden: acículas > corteza > ramillas > ramas vivas y secas > conos >> madera, presentándose sólo algunas variaciones en esta secuencia para ciertos elementos.

CUADRO 7

Nivel de concentración de nutrientes en acículas\*.  
Needle nutrient level.

Elemento	Sitio					
	Concepción		Sta. Juana	Nacimiento		Los Sauces
	1	2	3	4	5	6
N (%)	<b>1.40</b>	<b>1.50</b>	<b>1.26</b>	<b>1.40</b>	<b>1.46</b>	1.55
P (%)	0.20	0.17	<b>0.13</b>	0.21	0.21	0.18
K (%)	0.89	0.90	0.70	1.04	1.03	0.92
Ca (%)	0.31	0.24	0.51	0.26	0.22	0.59
Mg(%)	0.18	0.18	0.21	0.18	0.17	0.14
B (mg/kg)	25	33	<b>9</b>	13	14	<b>8</b>
N/P	7.0	8.8	9.7	6.7	7.0	8.6

\* Con letra negrita los niveles marginales; otros niveles están satisfactorios (Will, 1985).

Las diferencias en cuanto a la cantidad de elementos nutritivos acumulados en cada sitio se explican en gran parte por la cantidad de biomasa acumulada en cada uno de ellos y la concentración de elementos nutritivos. De este modo, la mayoría de los elementos están en mayor cantidad en el fuste, producto de la mayor acumulación de materia seca, siguiendo la tendencia de la distribución de la biomasa total. La excepción se tiene con N y P, elementos que se encuentran para la generalidad de los sitios en mayor cantidad en la copa (figura 6).

De este modo, las mayores cantidades de elementos nutritivos acumulados en el vuelo se encuentran en los sitios Concepción (2) y Nacimiento (4), los cuales acumulan una mayor biomasa; asimismo, en los sitios Santa Juana (3) y Los Sauces (6) se presenta la menor acumulación.

CARACTERISTICAS DEL MANTILLO

La acumulación de mantillo en los rodales estudiados fluctúa entre 27.5 y 57.4 t/ha (cuadro 8) y se mostró independiente de la calidad del sitio,

edad y densidad del rodal. En el sitio Nacimiento (4) la mayor acumulación de mantillo coincide con lo señalado por Schlatter *et al.* (1984), Rodríguez (1989) y Gerding (1991), en que un sitio de mayor productividad acumula una mayor cantidad de hojarasca sobre el suelo. Pero el mantillo se mostró más bien relacionado con las características climáticas, de manera que las diferencias de acumulación se explican por las variaciones en la tasa de descomposición y en menor grado por la tasa de caída de hojarasca.

La acumulación relativamente alta de mantillo en los sitios de Santa Juana y Los Sauces es consecuencia de las condiciones climáticas más restrictivas, producto de las menores temperaturas y mayor sequía que estos sectores registran. Por el contrario, la menor acumulación en los rodales de Concepción indicaría que estos sitios presentan una condición ambiental particularmente favorable, por su cercanía al mar, que influye en una mayor rapidez de descomposición y en una menor acumulación de materia orgánica y de elementos nutritivos sobre el suelo.

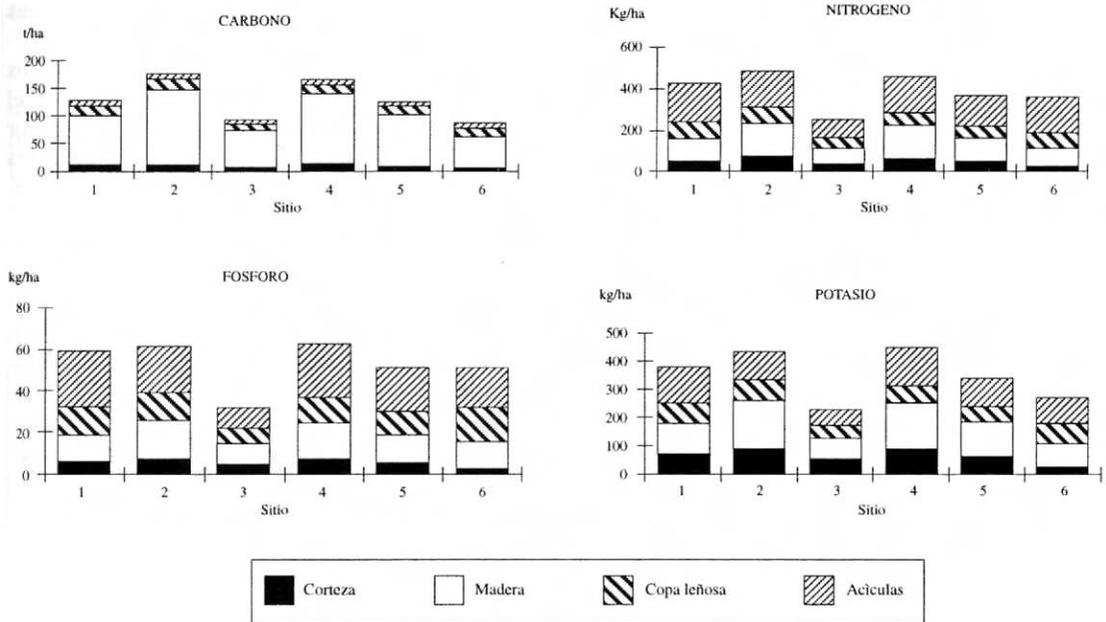


Figura 6. Contenido de nutrientes en los componentes del vuelo (1-2 Concepción, 3 Santa Juana, 4-5 Nacimiento, 6 Los Sauces).

Nutrient content of the aerial stand.

En general, el mantillo en cada sitio muestra una morfología subdividida claramente en Oi y Oe, caracterizando a los sitios con un tipo de humus moder-mulliforme. El subhorizonte Oa se presenta poco desarrollado sólo en el sitio Concepción (2). El material característico está compuesto por acículas y algunas hifas de hongos, variando el espesor del mantillo entre 3 y 7 cm.

INVENTARIO DE ELEMENTOS NUTRITIVOS

El sitio Concepción (2) destaca por la mayor cantidad de elementos nutritivos si se considera todo el sistema, especialmente por la fracción de reserva que se encuentra en el suelo. En cambio, el sitio Santa Juana (3) registra la menor cantidad total en aquellos elementos asociados a la materia orgánica (C, N y P) (figura 7), lo que lo caracteriza como uno de los sitios más restrictivos,

CUADRO 8

Peso seco, materia orgánica, cenizas y elementos nutritivos en el mantillo de cada sitio.  
Dry weight, organic matter, ashes and nutritive elements in the litter of each site.

Sitio	Peso seco	Materia orgánica	Ceniza	C	N	P	K	Ca	Mg
	(t/ha)				(kg/ha)				
1-Concepción	27.5	10.3	18	5	113	17	29	113	23
2-Concepción	37.5	17.0	21	9	199	23	36	184	35
3-Sta. Juana	43.3	24.8	19	12	273	22	44	225	60
4-Nacimiento	57.4	38.4	20	20	476	56	38	287	59
5-Nacimiento	41.8	22.8	20	12	251	35	34	138	41
6-Los Sauces	47.0	20.0	28	10	338	28	49	268	47

El P es el elemento de menor cantidad en el suelo y por lo tanto proporcionalmente presenta una relación suelo-vuelo más estrecha. Esto indica que el P puede ser el elemento más limitante entre los elementos nutritivos mayores en rotaciones futuras.

El K se presenta en menor cantidad en los sitios de Santa Juana (3) y Nacimiento (4, 5). Calcio y

Mg, en cambio, presentan reservas considerables en todos los sitios.

De acuerdo a la distribución de los elementos en el sistema, la mayor cantidad se encuentra en el suelo, excepto para carbono, que está en mayor cantidad en el fuste. En los demás componentes del sistema la participación es variable entre elementos y entre los sitios (figura 7).

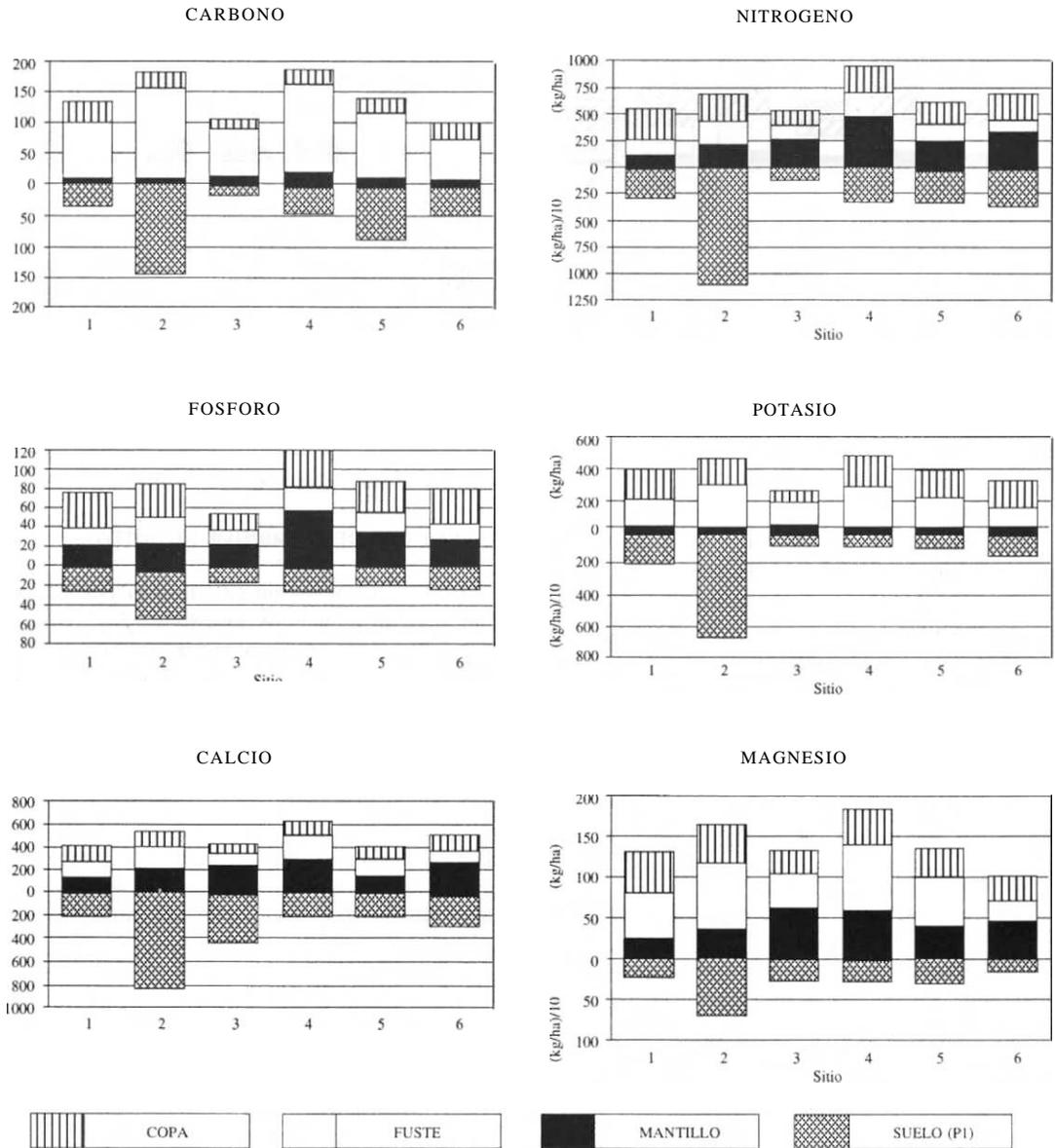


Figura 7. Distribución de nutrientes en el sistema para cada sitio (1-2 Concepción, 3 Santa Juana, 4-5 Nacimiento, 6 Los Sauces).

Nutrient distribution in the system for each site.

DIAGNOSTICO DEL POTENCIAL PRODUCTIVO

*Factores del sitio incidentes en la productividad.* Los principales factores que afectan la productividad de los sitios en estudio los constituyen las características y propiedades físicas del suelo (cuadro 9).

En general una profundidad menor e igual a 13 cm en el estrato superior constituye un factor limitante, situación que se presenta en los suelos de los sitios Concepción (1) y Santa Juana (3), debido a la directa relación de esta variable con la

calidad del régimen nutritivo del suelo. En el sitio Concepción (2) el índice de sitio no se determinó mediante la función señalada, puesto que el índice estimado disminuye con profundidades mayor a 30 cm. Como este sitio se ubica en un pie de monte, el horizonte A se caracteriza por ser muy profundo producto del depósito de material de arrastre proveniente del sector alto de la ladera, resultando esto una condición favorable y no una limitante. El sitio Nacimiento (5) presenta un horizonte A delgado, pero se le agrega un AB profundo que equilibra esta situación.

CUADRO 9

Índice de sitio (m) estimado según distintas variables del sitio\*  
 Site index (m) estimated according to different variables of sites.

Variable	Sitio					
	Concepción		Sta. Juana	Nacimiento		Los Sauces
	1	2	3	4	5	6
Índice sitio real (m) (García 1970)	27.0	28.5	23.5	31.4	30.8	21.1
Latitud (grados, minutos centecimales)	25.0	25.0	25.6	25.8	25.8	26.6
Precipitación total anual (mm)	28.6	28.6	28.4	28.6	28.6	27.8
Suma de las precipitaciones de primavera+verano+otoño (mm)	27.6	27.6	27.5	27.8	27.8	27.7
Profundidad horizonte A (cm)	<b>24.0</b>		<b>22.9</b>	27.5	<b>24.9</b>	27.5
Drenaje interno	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7
Capacidad agua aprovechable hasta 1 m (mm)	26.9	27.4	26.9	27.8	27.6	28.6
Densidad aparente, profundidad 1 (g/cm <sup>3</sup> )	<b>23.8</b>	<b>24.9</b>	<b>24.5</b>	26.9	26.5	27.3
Densidad aparente subsuelo (g/cm <sup>3</sup> )	25.2	<b>23.7</b>	<b>24.0</b>	27.5	26.8	27.3
Volumen total de poros subsuelo (%)	<b>22.3</b>	<b>19.0</b>	<b>21.3</b>	<b>23.6</b>	<b>23.9</b>	<b>24.2</b>
Contenido arcilla, profundidad 1 (%)	26.0	26.5	<b>24.9</b>	26.7	27.0	27.5
Contenido limo, profundidad 1 (%)	<b>24.7</b>	<b>24.7</b>	27.6	<b>24.7</b>	<b>24.3</b>	<b>24.3</b>
Contenido arena gruesa, profundidad 1 (%)	<b>24.6</b>	25.2	26.5	26.7	26.5	26.6
Contenido arena gruesa subsuelo (%)	25.1	<b>23.9</b>	<b>24.3</b>	26.5	<b>24.7</b>	25.1
Contenido N total, profundidad 1 (%)	25.0	25.2	<b>21.8</b>	<b>24.6</b>	25.4	25.0
Contenido C total, profundidad 1 (%)	<b>23.7</b>	<b>24.6</b>	<b>22.3</b>	<b>24.0</b>	26.7	<b>24.6</b>

\* Cifras en negrita indican que la variable es limitante en el sitio. Las funciones se presentan en el anexo, cuadro A.

\*\* La profundidad del horizonte A está fuera del rango definido para la función.

La porosidad del subsuelo constituye una limitante en todos los sitios, al indicar menor difusión de aire, restricción en la evacuación de agua libre y por lo tanto lento recambio del aire. Las características heredadas del material de origen, rocas graníticas evolucionadas *in situ*, y el efecto del hombre en distinto grado vía compactación y erosión, son responsables de la estructura cerrada que presentan estos suelos. Esto se manifiesta especialmente en los suelos de los sitios Concepción

(2) y Santa Juana (3); el primero producto de sedimentación de material de erosión y el segundo un suelo fuertemente erosionado y transitado.

Según Schlatter *et al.* (1982) y Gerding (1991), una densidad aparente superior a 1.3 g/cm<sup>3</sup> en el suelo superior y una densidad mayor a 1.5 g/cm<sup>2</sup> en el subsuelo constituyen niveles críticos para la especie. Esta situación se presenta en los suelos de Concepción (1-2) y Santa Juana (3).

El bajo contenido de materia orgánica, producto de la remoción de suelo superficial por erosión y por el mal uso dado a los suelos, es uno de los factores del sitio más limitantes en la productividad, principalmente en Santa Juana, donde falta el horizonte superior mineral orgánico. Esto explica además el bajo nivel de N y P, especialmente de este último elemento, el cual se encuentra en un nivel de reserva bajo en todos los sitios (cuadro 6). Los demás elementos están en un nivel superior al rango mínimo predeterminado para cada uno de ellos, registrándose niveles altos de concentración.

En el sitio Los Sauces (6) la productividad puede estar limitada por el drenaje interno del suelo. Si bien el índice de sitio estimado a partir del drenaje interno no demuestra ser limitante (cuadro 9), desde los 70 cm de profundidad el drenaje sí se presenta restringido (figura 2). Ello limita el arraigamiento y determina una mayor dificultad de abastecimiento de agua para el bosque. Este

sitio presenta la menor precipitación anual, un prolongado período seco y el más breve período libre de heladas (cuadro 3). De esta manera, la combinación de las restricciones del suelo que limitan el arraigamiento y las climáticas contribuye a determinar la baja productividad del sitio.

*Estabilidad.* Se diagnosticó que sitios de igual productividad experimentan distintos niveles de extracción y pérdidas de elementos nutritivos. Esto puede influir significativamente en la capacidad de reacción frente a intervenciones silviculturales y verse afectada su sustentabilidad (Gerding 1993). En este sentido, el sitio Concepción (2) y Nacimiento (4) presentan un nivel productivo similar; sin embargo, este último se caracterizó por una gran inestabilidad en algunos elementos. En cambio, el sitio de Los Sauces (6), a pesar de tener la menor productividad, mantiene una condición más estable respecto del sitio más productivo (cuadro 10).

CUADRO 10

Índice de estabilidad de los sitios, considerando la biomasa y mantillo proyectado a 25 años, "a" estrato superior del suelo y "b" 0-15 cm de profundidad \*.

Projected 25 year stability index of the sites considering biomass and litter, "a" (upper soil layer) and "b" (0-15 cm deep).

Sitio	a. Índice reserva de la vegetación (P1)								
	C	N	P	K	Ca	Mg	K	Ca	Mg
			reserva				intercambio		
	1-Concepción	<b>5.54</b>	0.20	0.32	0.24	0.21	0.07	<b>1.98</b>	0.35
2-Concepción	1.17	0.06	0.14	0.06	0.06	0.02	<b>0.73</b>	0.09	0.23
3-Sta. Juana	<b>7.47</b>	<b>0.60</b>	<b>1.05</b>	0.38	0.12	0.05	<b>1.59</b>	0.34	0.24
4-Nacimiento	<b>5.14</b>	0.35	<b>0.61</b>	<b>0.86</b>	0.37	0.09	<b>1.12</b>	<b>0.58</b>	<b>0.90</b>
5-Nacimiento	2.23	0.27	<b>0.64</b>	<b>0.60</b>	0.29	0.07	<b>1.03</b>	0.46	<b>1.02</b>
6-Los Sauces	2.20	0.20	0.35	0.22	0.18	0.08	<b>0.79</b>	0.27	0.38
	b. Índice reserva de vegetación (profundidad 0-15 cm)								
1-Concepción	<b>5.12</b>	0.18	0.30	0.22	0.19	0.06	<b>1.74</b>	0.30	0.44
2-Concepción	3.36	0.16	0.40	0.18	0.16	0.06	<b>2.08</b>	0.26	<b>0.65</b>
3-Sta. Juana	<b>6.33</b>	0.46	<b>0.91</b>	0.31	0.10	0.04	<b>1.36</b>	0.26	0.19
4-Nacimiento	<b>6.16</b>	0.42	<b>0.73</b>	<b>1.04</b>	0.44	0.11	<b>1.34</b>	<b>0.70</b>	<b>1.08</b>
5-Nacimiento	2.13	0.25	<b>0.60</b>	<b>0.51</b>	0.27	0.07	<b>0.99</b>	0.44	<b>0.97</b>
6-Los Sauces	2.64	0.24	0.42	0.26	0.21	0.09	<b>0.95</b>	0.32	0.45

\* Cifras en negrita indican condiciones de inestabilidad.

Bajo las condiciones actuales, los sitios de Santa Juana (3) y Nacimiento (4-5) son más inestables para la mayoría de los elementos. En el caso particular del sitio de Santa Juana (3), se comprobó que presenta las condiciones más restrictivas frente a los elementos principales (N, P y K). Por lo tanto, la productividad en este sitio se verá afectada en continuas rotaciones y esencialmente la futura rentabilidad de las plantaciones si se mantienen las condiciones actuales del sitio. El sitio de Nacimiento (4), en cambio, a pesar de tener el más alto rendimiento y una mejor calidad de sitio, también verá fuertemente afectada su productividad si se considera que tras cada rotación la disponibilidad de elementos nutritivos del suelo disminuye. Por tal motivo, a pesar de ser un sitio bueno, no tiene garantizada, para continuas rotaciones, una disponibilidad de elementos adecuada.

Al considerar una rotación de 25 años, la pérdida de nutrientes por la cosecha del bosque aumenta, dificultando la capacidad del ecosistema para abastecer la demanda futura. En estas condiciones

la inestabilidad de los sitios de Santa Juana (3) y Nacimiento (4-5) aumenta.

En general, todos los sitios presentan, en distinto grado, inestabilidad con K de intercambio. Sin embargo, se debe considerar que este elemento tiene un reciclaje muy rápido dentro del sistema y no necesariamente puede representar una condición de inestabilidad. Por lo tanto, las medidas deberán ir orientadas a favorecer el régimen hídrico y un sistema radicular adecuado para suministrar el elemento desde las reservas, ya que la estabilidad de los sitios frente a las reservas de K son favorables, especialmente si se considera el alto nivel de concentración que presentan estos suelos.

*Eficiencia.* El nivel de eficiencia en el fuste se mostró muy parecido entre los distintos sitios, y como es lógico, mayor al nivel de eficiencia de la copa. En este componente se registraron variaciones muy importantes entre los distintos sitios (cuadro 11).

CUADRO 11

Indice de eficiencia (t biomasa/kg elemento) en los componentes del vuelo.  
Efficiency index of aerial stand components.

Elemento	Componente del vuelo	Sitio					
		Concepción		Sta. Juana	Nacimiento		Los Sauces
		1	2	3	4	5	6
C	copa	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020
	fuste	0.0020	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021
N	copa	0.20	0.19	0.22	0.19	0.20	0.17
	fuste	1.32	1.33	1.33	1.32	1.33	1.20
P	copa	1.29	1.44	1.73	1.20	1.29	1.20
	fuste	11	12	11	12	11	8
K	copa	0.27	0.28	0.34	0.23	0.26	0.25
	fuste	1.17	1.19	1.18	1.18	1.18	1.20
Ca	copa	0.43	0.46	0.35	0.45	0.48	0.33
	fuste	1.33	1.34	1.34	1.34	1.34	1.31
Mg	copa	1.06	1.05	0.98	1.02	1.10	1.36
	fuste	3.66	3.73	3.69	3.71	3.72	5.66
B	copa	96	82	161	132	133	191
	fuste	275	277	277	276	277	397

El análisis a través de la eficiencia no reflejó las diferencias de la demanda nutritiva con la edad de los rodales. Se esperaba que el sitio Concepción (2) fuera el más eficiente, por ser el rodal de mayor edad y, por tanto, de menor demanda nutritiva. Por el contrario, los rodales más jóvenes (Concepción (1) y Nacimiento (5)) deberían haber mostrado la menor eficiencia.

Destaca el sitio de Los Sauces (6) por ser más eficiente en Mg y B, en la copa y fuste, y el sitio de Santa Juana en P y K en la copa. Como ambos sitios presentan un bajo contenido en el suelo para los respectivos elementos nutritivos, se podría inferir que la planta es más eficiente en la medida que se encuentra en una condición de mayor estrés frente a la disponibilidad de un elemento nutritivo.

Por el contrario, el sitio de Los Sauces (6) mostró una menor eficiencia en el aprovechamiento de N, P y Ca, como consecuencia de la mayor proporción de copa y menor crecimiento del rodal. El sitio de Santa Juana (3), a su vez, presentó una menor eficiencia en Ca y Mg. Esto se explica porque este sector tiene una gran cantidad de estos elementos en el suelo, lo que permite que los árboles concentren una gran cantidad en sus tejidos. Así, el menor crecimiento del rodal y en especial la menor producción de biomasa determinan la menor eficiencia.

La menor eficiencia en K en el sitio Nacimiento (4) y en B en el sitio Concepción (2) está determinada por la mayor concentración de estos elementos en el follaje que se registraron en ambos sitios. Por lo tanto, en relación con la producción de biomasa de copa que presentan, hace que tengan este bajo nivel de eficiencia.

#### MEDIDAS DE MANEJO PARA MANTENER Y/O INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD

Las medidas de manejo que deben ser consideradas para estos sitios deben ir orientadas a mejorar la fertilidad natural de los suelos, como consecuencia de su degradación estructural, erosión y agotamiento de reservas nutritivas. De esta manera, el manejo debe considerar los siguientes principios:

1. Proteger el suelo contra la erosión.
2. Favorecer una estructura más suelta.
3. Facilitar un buen arraigamiento.
4. Mejorar el régimen hídrico.
5. Aumentar la disponibilidad de elementos nutri-

tivos, que en forma prioritaria debe considerar al N, P y B.

Para llevar a cabo estos objetivos, el manejo de los sitios debe favorecer principalmente el aumento de materia orgánica del suelo y el estímulo de la actividad biológica. Así también, labores de mejoramiento físico mediante el empleo de maquinaria son necesarias siempre y cuando las condiciones topográficas lo permitan. Con este propósito las técnicas de manejo a considerar son:

1. Exportación de biomasa lo mínima posible.
2. Evitar la quemada de desechos.
3. Favorecer la descomposición de desechos orgánicos.
4. Establecer cultivos acompañantes, cubrir el suelo rápidamente con vegetación.
5. Fertilización mineral.
6. Aplicar técnicas de subsolado, arado o labrado del suelo.
7. Emplear sistemas de cosecha apropiados a las condiciones de terreno.

En cada sitio se deben considerar esquemas de cosecha que consideren extraer sólo el fuste, manteniendo en el sitio la copa y en lo posible corteza, componentes que concentran una gran proporción de nutrientes, especialmente de N y P. Estos elementos se caracterizaron por una baja disponibilidad en estos suelos, motivo por el cual se deben tomar las medidas necesarias para asegurar a largo plazo la estabilidad de los sitios, especialmente en los sectores de Santa Juana y Nacimiento.

El uso de rotaciones cortas, asociadas a un alto grado de utilización de la biomasa, incrementa la tasa de elementos nutritivos removidos y el costo de nutrientes (Gerding, 1991). Por lo tanto se debe considerar un manejo con edades de rotación más largas, especialmente en los sitios más inestables como los de Santa Juana y Nacimiento.

Se debe evitar la quema de desechos producto de la cosecha del bosque o como alternativa en la preparación de un sitio previa al establecimiento. Los desechos debieran manejarse para facilitar su descomposición e incorporación al suelo mineral, mediante trituración u ordenamiento. De esta manera, se restringen los procesos de escurrimiento superficial que provocan la remoción del suelo superior, especialmente en sitios de mayor pendiente como Santa Juana y Nacimiento, favoreciendo la infiltración de agua de lluvia y la conservación de N y P en el sitio. El N se pierde

fácilmente con la aplicación de fuego y la erosión, y el P más con la extracción de desechos y la erosión. Por ello es fundamental minimizar el período comprendido entre la cosecha y la reforestación, con el fin de evitar una prolongada exposición descubierta del suelo.

El manejo de estos sitios debe considerar también la aplicación de tratamientos silviculturales que combinen en forma conjunta podas y raleos, desde la etapa de rodal joven hasta rodal maduro. Estas técnicas permiten una mayor entrada de luz y agua al piso del bosque, favoreciendo las condiciones para una adecuada actividad biológica, especialmente si se considera la dificultad en la descomposición que caracteriza al mantillo de rodales con *P. radiata* (Schlatter *et al.* 1984, Gerding 1991). De este modo, se evita la gran acumulación de tejidos orgánicos sobre el suelo y se permite además utilizar en forma óptima el espacio, obtener un mayor rendimiento y un producto de mejor calidad.

La descomposición de la hojarasca podría favorecerse con cultivos de piso (lupino, por ejemplo) y/o con fertilización, lo que a su vez estimularía la producción de madera. De este modo no sólo se favorece la incorporación y disponibilidad de nutrientes en el suelo, sino que además se puede neutralizar el efecto ácido de la materia orgánica.

Schlatter y Grez (1978) señalan que no debe descartarse en estos suelos la aplicación de calcio como complemento a las medidas de mejoramiento del suelo, ya que esta medida permite moderar la acidez del suelo y favorecer una mejor estructuración. Para su mejor efectividad, esta aplicación debiera hacerse en el rodal en pie, al segundo raleo o en una precosecha, a comienzos de otoño.

Respecto a las deficiencias de N, P y B que presentan todos estos suelos, la fertilización representa una buena alternativa para mejorar la disponibilidad de estos elementos de manera prioritaria. Esta técnica puede ser utilizada entre el establecimiento y el cierre de copas, como también después de un raleo, ya que sirve de complemento a la materia orgánica que se está incorporando. Al respecto, ensayos de raleo y fertilización con N, P, K y B para *P. radiata* en predios de Nacimiento mostraron buenos incrementos en área basal y volumen (Toro 1995). Por otra parte, Mendoza (1987) analizó financieramente distintas opciones de fertilización para plantaciones de *P. radiata*, determinando su factibilidad económica en muchos esquemas de manejo.

En suelos muy degradados como el de Santa Juana la incorporación de cultivos acompañantes, como leguminosas, puede favorecer un significativo aumento en su fertilidad. Esto a través del enriquecimiento de materia orgánica y de N, ya que estos cultivos son capaces de formar simbiosis con microorganismos fijadores de N atmosférico. Cuando están asociados a micorrizas promueven un mejor aprovechamiento de las reservas minerales de P, Zn, Mn y Cu (Díaz 1995).

Con el fin de mejorar las propiedades físicas del suelo es recomendable aplicar técnicas de subsolado y arado en los sitios de Concepción, Santa Juana y Los Sauces al momento de la preparación del sitio. Estas técnicas entregan las condiciones óptimas para el desarrollo radicular, aumentan la aireación, mejoran la infiltración del agua y la capacidad de retención de humedad del suelo. Además, permite incrementar la fertilidad natural por efecto de la mineralización de la materia orgánica incorporada, especialmente en el sector de Santa Juana, y protege el suelo contra la erosión. Cirano y Goffard (1987) demostraron mediante un análisis económico que es posible controlar la alta inversión que significa subsolar, si se mantiene adecuadamente el espaciamiento de las plantas. El mayor crecimiento que debieran experimentar las plantaciones con subsolado alcanza a niveles tales que es factible recuperar en la primera rotación esa inversión. Para los sitios de Nacimiento, en cambio, la aplicación de técnicas de labrado superficial, o mullimiento, son adecuadas y serían suficientes para mejorar la fertilidad del suelo y estimular el desarrollo de las raíces.

Para aminorar la compactación de estos suelos las actividades de cosecha y el tránsito en general debieran de preferencia estar concentradas en el período en que el suelo se encuentra sin la presencia de agua libre.

Las actividades de cosecha deben considerar una adecuada planificación de todas las operaciones de acuerdo a las características de los suelos. El madereo terrestre debe efectuarse en sectores con pendientes menores a 30% (Gayoso 1995), de modo que para los sitios de Santa Juana y Nacimiento la cosecha debiera efectuarse, por ejemplo, con torres de madereo. Se debe evitar el madereo en sentido de la pendiente, para lo cual deben determinarse previamente las vías de saca, de modo que no se produzca una alteración a la superficie del terreno. También se debe considerar el empleo de maquinaria de baja presión sobre el suelo.

## CONCLUSIONES

La productividad de los sitios en estudio está fuertemente influida y determinada por la fertilidad natural de los suelos, variable que ha sido afectada negativamente como consecuencia de las técnicas de cultivo utilizadas en el pasado. Esto provocó la degradación estructural del suelo, la erosión y el agotamiento de elementos nutritivos, condiciones que en mayor o menor grado se evidenciaron en los sitios estudiados.

Las características climáticas también tienen una influencia importante en la productividad de los sitios. Los sitios de Concepción y Nacimiento presentaron mejores condiciones, al tener una mayor pluviometría, un balance hídrico estival más favorable y un régimen térmico adecuado. Los sitios de Santa Juana y Los Sauces, en cambio, presentaron un balance hídrico estival más deficitario y un mayor número de heladas en invierno, condiciones que en parte determinaron la menor productividad en estos sitios.

Los sitios de Concepción se caracterizaron por una menor profundidad del suelo, limitando el arraigamiento en profundidad. El sitio ubicado en la ladera alta (1) presentó las condiciones más restrictivas en el suelo por una mayor densidad aparente, un menor volumen total de poros, una mayor pedregosidad, una menor capacidad de agua aprovechable y un horizonte A delgado. El sitio ubicado al pie de la ladera (2) se caracterizó por un horizonte A muy profundo, sobresaliendo como el sitio con mayor reserva de elementos nutritivos, a pesar de tener un subsuelo con una densidad muy alta y bajo arraigamiento.

Los sitios de Nacimiento presentaron un suelo muy profundo, un mejor arraigamiento y un régimen hídrico favorable, el que se ve favorecido por una mayor caída de precipitaciones. Sin embargo, la mayor acidez que se registró en estos suelos, producto de la menor reserva de bases y una mayor saturación de Al, constituye una limitante que afecta la estabilidad de las futuras plantaciones. El sitio 4 presentó la mayor productividad en toda la zona de estudio, como resultado de una mejor calidad del sitio.

El sitio de Santa Juana presentó las condiciones más restrictivas. En este sector el suelo sufrió una erosión pronunciada, presentó las más graves deficiencias nutritivas, especialmente de P, y fuertes alteraciones físicas (alta densidad aparente, baja capacidad de agua aprovechable, mayor pedrego-

sidad), restringiendo el desarrollo radicular. El abastecimiento de agua a las plantas es por tanto deficiente, especialmente por tratarse de un terreno con pendiente pronunciada y expuesto a alta radiación.

En el sector de Los Sauces, el uso agrícola extractivo a que estuvo sometido el suelo afectó considerablemente su estructura, lo que sumado a una mayor proporción de arcilla en el perfil limita el desarrollo radicular por resistencia mecánica a la penetración y condiciones de mal drenaje en el subsuelo. Como consecuencia de estas limitaciones se agava la deficiencia de boro. La menor productividad de este sitio se explica adicionalmente por una calidad de plantas inferior y a un mal manejo del bosque.

De las características y propiedades del suelo, el bajo contenido de materia orgánica, las bajas reservas de P, la estructura cerrada del suelo, la alta densidad aparente, el bajo volumen total de poros y la arraigabilidad dificultada, resultaron ser los factores más limitantes en la productividad de *P. radiata* para el conjunto de sitios estudiados.

El balance de elementos nutritivos indicó que el P es el elemento más crítico, por su baja reserva en el suelo y especialmente en aquellos sitios con menor contenido de materia orgánica. Si no se toman las medidas adecuadas, a largo plazo va a ser un elemento limitante que afectará significativamente el crecimiento de las plantaciones.

Las medidas de manejo de estos sitios deben estar orientadas a incrementar la materia orgánica del suelo y estimular la actividad biológica, con el fin de mejorar la disponibilidad de elementos nutritivos, que en forma prioritaria debe considerar a los elementos N, P y B. También es necesario mejorar las condiciones físicas del suelo y favorecer una estructura más suelta. Con estas medidas es posible esperar una mayor productividad del sitio y su mantención en el largo plazo.

Para los sitios de Concepción, Nacimiento y Los Sauces las medidas son más bien para mantener la fertilidad del suelo. El sitio de Santa Juana, en cambio, requiere de mayores inversiones para recuperar el suelo, producto de su gran inestabilidad. Aquí deben mejorarse las características físicas mediante la aplicación de técnicas de subsolado, como también el nivel de materia orgánica del suelo, mediante la conservación de residuos después de la cosecha, fertilización y a través del establecimiento de un cultivo agrícola acompañante que permitan recuperar el régimen nutritivo.

## BIBLIOGRAFIA

- CHILE FORESTAL, 1995. "La importancia de los residuos en el desarrollo de plantaciones de *Pinus radiata*", *Chile Forestal* 229: 30-31.
- CIRANO, O., J. GOFFARD. 1987. Efecto del subsolado y de la aplicación de algunos fertilizantes sobre el crecimiento inicial de las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don, en la VIII Región. Tesis, Ing. Forestal, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. 109 p.
- DELMASTRO, R., J. E. DIAZ-VAZ, J. E. SCHLATTER. 1981. Variabilidad de las características tecnológicas hereditarias del *Pinus radiata* (D. Don): Informe N° 3. Proyecto CONAF/PNUD/FAO/CHI/76/003. Informe de Convenio N° 43, Serie Técnica, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 187 p.
- DIAZ, E. 1995. Leguminosas forestales: aspectos relacionados con su nutrición y uso en la recuperación de suelos degradados. En: Manejo nutritivo de plantaciones forestales. Actas Simposio IUFRO para Cono Sur Sudamericano, Valdivia, Chile, p. 305-315.
- FASSBENDER, H., E. BORNEMISZA. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, 420 p.
- GARCIA, O. 1970. Indices de sitio para pino insigne en Chile. Instituto Forestal. Serie de Investigación 2, Santiago, 29 p.
- GAYOSO, J. 1995. Impacto de plantaciones sobre el ambiente físico. En: Manejo nutritivo de plantaciones forestales. Actas Simposio IUFRO para Cono Sur Sudamericano, Valdivia, Chile, p. 271-284.
- GERDING, V. 1991. *Pinus radiata* - Plantagen in Zentralchile: Standortfaktoren der Produktivität und Nährstoffverteilung in Beständen. Dissertation Forstwissenschaftliche Fakultät. Georg-August-Universität, Göttingen, 182 p.
- GERDING, V. 1993. Estabilidad de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don: Extracción y pérdida de elementos nutritivos asociados al manejo. En: Suelos Forestales. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Boletín N° 10, Valdivia, p. 55-63.
- GERDING, V., J. E. SCHLATTER. 1995. "Variables y factores de sitio de importancia para la productividad de *Pinus radiata* D. Don en Chile", *Bosque* 16 (2): 39-56.
- GONZALEZ, P. 1982. Respuesta de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don a la fertilización con boro, en la provincia de Malleco, IX Región, Tesis, Ing. Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 87 p.
- GREZ, R. 1977. Náhrelementhaushalt und Genese von Böden aus vulkanischen Aschen in Südchile. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen, Heft 6. Freiburg, 177 p.
- KUNZ, M., S. AGUIRRE, R. PETERS, J. A. PRADO. 1985. Efecto de la utilización de las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en la mantención de la productividad del sitio. En: *Pinus radiata*. Investigación en Chile. Olivares, B y Morales, E. (eds.), Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Valdivia, Tomo I, p. 177-197.
- INSTITUTO FORESTAL. 1966. Inventario de las plantaciones forestales de la zona Centro Sur de Chile. Informe Técnico N° 24, Santiago, Chile. 93 p.
- MENDOZA, F. 1987. Determinación económica de alternativas de fertilización en *Pinus radiata* D. Don, Tesis, Ing. Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 94 p.
- OÑATE, M. I. 1997. Características y variabilidad de sitios con plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en suelos graníticos de las Regiones VIII y IX. Tesis, Ing. Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 93 p.
- PETERS, R., J. A. PRADO, S. AGUIRRE, M. KUNZ, V. CUBILLOS. 1985. Mantención de la productividad de sitio para *Pinus radiata* D. Don. Funciones de biomasa. Instituto Forestal, Santiago, 64 pp.
- RAISON, R., W. CRANE. 1981. Nutritional costs of shortened rotations in plantation forestry. Proceedings 17. IUFRO World Congress. Ibariki, Japón, Div. 1, p. 63-72.
- RODRIGUEZ, C. 1989. Producción potencial en sitios característicos para *Pinus radiata*. Tesis Magister en Ciencias. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 160 p.
- SANTIBAÑEZ, F., J. M. URIBE. 1993. Atlas agroclimático de Chile, Regiones VI, VII, VIII y IX. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Laboratorio de Agroclimatología. Departamento de Ingeniería de Suelos, 99 p.
- SCHLATTER, J. E. 1977. "La relación entre suelo y plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Chile Central. Análisis de la situación actual y planteamiento para su futuro manejo", *Bosque* 2(1): 12-31.
- SCHLATTER, J. E. 1986. Mantención de la productividad de sitio para plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. B: Determinación del contenido de elementos nutritivos en la biomasa, mantillo y suelo, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, 11 p.
- SCHLATTER, J. E. 1987. "La fertilidad del suelo y el desarrollo de *Pinus radiata* D. Don", *Bosque* 8(1): 13-19.
- SCHLATTER, J. E., V. GERDING, M. BONNEFOY. 1982. Factores del sitio de mayor incidencia en la productividad de *Pinus radiata* D. Don. En: Actas de Reunión de Trabajo sobre Evaluación de la Productividad de Sitios Forestales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, p. 61-97.
- SCHLATTER, J. E., V. GERDING. 1984. Important site factors for *Pinus radiata* growth in Chile. En: Proceedings IUFRO Symposium on Site and Productivity of Fast Growing Plantations. Grey, D. C, A. P. G. Schönau, C. J. Schultz; A. Van Laar (eds.). Pretoria (Sudáfrica), p. 541-549.
- SCHLATTER, J. E., V. GERDING, V. BASTIAS. 1984. Variaciones de las características del mantillo en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. Chile Central. Actas del Cuarto Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Valdivia, Tomo 1-8, 6 p.
- SCHLATTER, J. E., V. GERDING. 1985a. "Deficiencia de boro en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Chile. I Distribución y origen", *Bosque* 6(1): 24-31.
- SCHLATTER, J. E., V. GERDING. 1985b. "Deficiencia de boro en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Chile. II Principales causas y corrección", *Bosque* 6(1): 24-31.
- SCHLATTER, J. E., V. GERDING, J. ADRIAZOLA. 1994. Sistema de ordenamiento de la tierra. Herramienta para la planificación forestal aplicada a las regiones VII, VIII y IX. Serie Técnica, 114 p.
- SCHLATTER, J., R. GREZ. 1978. Diagnóstico de los factores causantes del crecimiento restringido en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don, Provincia de Malleco y Bío-Bío. En: Actas del II Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo, Tomo I: 36-63.
- TORO, J. 1995. Avances en fertilización en *Pinus radiata* y *Eucalyptus* en Chile. En: Manejo nutritivo de plantaciones forestales. Actas Simposio IUFRO para Cono Sur Sudamericano, Valdivia, Chile, p. 293-299.
- WILL, G. 1985. Nutrient deficiencies and fertiliser use in New Zealand exotic forests. New Zealand Forest Research Institute. Bull. N° 97: 53 p.

ANEXO

CUADRO A

Funciones de índice de sitio (IS m).  
Index function of site (IS m).

Factor	Variable independiente	Función	R <sup>2</sup>	Fuente
Ubicación	LAT	$121.779 - 2883.419 (1/LAT) - 0.0134 (LAT)^2$	38.3	*
Clima	PPAÑO PPPVO	$19.8 + 0.0069 \text{ PPAÑO} - 4.4467\text{E-}10 \times (\text{PPAÑO})^3$ $20.5 + 0.2736 (\text{PP PVO})^{1/2}$	38.4 29.2	*** ***
Características y propiedades físicas del suelo	PHA	$-139.534 + 307.908 (1/PHA) + 152.096 [\log(\text{PHA})] - 2.227 (\text{PHA})$	49.7	*
	DRIN	$-22.556 + 27.686 [\log(\text{DRIN})]$	42.0	*
	CAAIM	$41.565 - 1577.073 (1/\text{CAAIM}) - 1.61 \times 10^{-4}$	42.1	*
	DA1	$30.7 - 2.1265 (\text{DA1})^3$	40.0	***
	DA3	$25.2 + 7.9810 \text{ DA3} - 3.3591 (\text{DA3})^3$	41.0	***
	VP3	$-28.202 + 13.606 [\ln (\text{VP3})]$	43.8	*
	T1	$3.250 + 14.697 [\log(\text{T1}+10)] - 5.75 \times 10^{-4} (\text{T1})^2$	56.6	*
	U1	$14.711 + 4.986 [\log(\text{U1}+10)] - 9.99 \times 10^{-5} (\text{U1})^3 + 6.92 \times 10^{-1} (\text{U1})^2$	39.8	*
	SG1	$30.5 - 0.1395 \text{ SG1}$	63.6	*
	SG3	$14.348 + 13.030 [\log(\text{SG3}+10)] - 0.412 \text{ SG3} + 2.17 \times 10^{-5} (\text{SG3})^3$	46.9	*
Características y propiedades químicas del suelo	NT1	$31.5404 + 3.681334 [\ln (\text{Nt})]$	50.3	**
	CT1	$22.077 + 2.846 [\ln (\text{CTI})]$	46.8	*

(Fuente: Schlatter *et al.* 1982\*, Schlatter y Gerding 1984\*\*, Gerding 1991\*\*\*).

PPAÑO : precipitación total anual (mm).

PP PVO : suma de las precipitaciones primavera-verano-otoño (mm).

LAT : latitud (grados, minutos centesimales).

PHA : profundidad del horizonte A (cm).

CAAIM : capacidad de agua aprovechable hasta 1 m de profundidad (mm).

DRIN : drenaje interno del suelo.

DA1 : densidad aparente, profundidad 1 (g/cm<sup>3</sup>).

DA3 : densidad aparente, profundidad 3 ((g/cm<sup>3</sup>).

VP3 : volumen total de poros, profundidad 3 (%)

T1 : contenido de arcilla, profundidad 1 (%).

L1 : contenido de limo, profundidad 1 (%).

SG1 : contenido de arena gruesa, profundidad 1 (%).

SG3 : contenido de arena gruesa, profundidad 3 (%).

NT1 : contenido de nitrógeno total, profundidad 1 (%).

CTI : contenido de carbono total, profundidad 1 (%).

CUADRO B

Evaluación de la materia orgánica del suelo.  
Evaluation of the soil organic matter.

Elemento	Bajo	Medio	Alto
C (%)	<1.50	1.5 - 5.0	>5.0
N (%)	<0.15	0.15 - 0.40	>0.40
C/N	Adecuado	Moderado	Inadecuado
	< 20	20 - 30	>30

Fuente: Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales, Universidad Austral de Chile.

CUADRO C

Nivel de concentración de elementos nutritivos de reserva suministrable (mg/100 g) (Grez 1977).  
Concentration level of nutritive elements in the reserve supply (mg/100 g) (Grez 1977).

Elemento	Bajo	Medio	Alto
P	< 15	15-35	35-55
K	< 10	10-30	30-50
Ca	< 5	5-20	20-45
Mg	< 15	15-30	30-45

CUADRO D

Nivel de concentración de elementos de intercambio (cmol +/kg) (Adaptado de Gerding 1991).  
Concentration level of elements of interchange (cmol +/kg) (Adapted from Gerding 1991).

Elemento	Bajo	Medio	Alto
K	< 0.2	0.2-0.5	> 0.5
Ca	< 2.0	2.0-5.0	> 5.0
Mg	< 0.5	0.5-2.5	> 2.5