

Caracterización de suelos rojo arcillosos de la zona Centro-Sur de Chile

Characterization of Red-clay soils of the South-Central Chile

C.D.O.: 114.3; 114.463; 114.52

CESAR BONELLI¹, JUAN SCHLATTER²

¹UNSE, Fac. Cs. Forestales, Santiago del Estero, Argentina. ²Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Casilla 567, Valdivia, Chile.

SUMMARY

Numerous studies have demonstrated the importance of soil characteristics in the development of forest plantations. The objective of this study was to determine the variability in the morphological and physical properties of red-clay soils of the Collipulli series (an Andisol), as well as its limiting factors and fertility in various topographic positions. Catenas that included outstanding morphologic units were used. Eight transects were selected, with a total of 18 soil profiles to determine soil morphological, physical, and chemical properties. The various topographic features included middle slope, upper slope, upper plain, lower plain, and depression.

The depth of soil development showed a wide range of variation, which was related to drainage and available soil water, characteristics directly associated with topographic position. Other soil characteristics also showed variation, although to a lesser extent, but did not show a clear relation to topographic position. Instead, they were the result of natural soil evolution or local anthropogenic effects. The fertility of these soils was a function of drainage and available water-holding capacity, which is associated with soil depth.

The soils were grouped according to their adaptability for various uses, depending on topographic position, depth of soil profile development, and drainage. As a result of these groupings, the following phases were recognized within the Collipulli series: depressions, plains soils (slopes <3%), soils with slopes from 3-5%, soils with slopes >5% (the upper and middle slopes). The classification of series into such phases allows for better soil management.

RESUMEN

Es indudable la relación entre factores ambientales y el desarrollo de las plantaciones forestales. A nivel local el suelo destaca como factor determinante.

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar la variabilidad de las características morfológicas y físicas de los suelos rojo arcillosos de la serie Collipulli, sus factores limitantes y su fertilidad, asociada a los cambios topográficos que experimenta el área.

La metodología empleada fue de transectos catenarios a través de unidades geomorfológicas relevantes. Se seleccionaron 8 transectos, con un total de 18 perfiles de suelo, de los cuales se determinaron las características morfológicas, físicas y químicas. Las unidades topográficas diferenciadas fueron: ladera media, ladera alta, plano alto, plano bajo y hondonadas.

El análisis e interpretación de los resultados indicaron que la profundidad arraigable del suelo presenta un amplio rango de variación conjuntamente con la capacidad de agua aprovechable y el drenaje, variables de estrecha asociación con la ubicación en el relieve. Las demás características del suelo también presentan variación, pero en un grado mucho menor, y no presentan una relación clara con el relieve, sino que son producto de la evolución natural o de un efecto antropogénico local.

La fertilidad de los suelos rojo arcillosos quedó definida principalmente por el drenaje y la capacidad de retener agua aprovechable. Esta última se asocia a la profundidad del suelo, pudiendo ser estimada en terreno a través de ésta.

Los suelos se agruparon de acuerdo a su mayor o menor adaptabilidad para distintos usos de acuerdo a ubicación en el relieve, profundidad de desarrollo del perfil y drenaje, lo que permitió a su vez distinguir las siguientes fases

de suelo dentro de la serie Collipulli: suelos en hondonadas, en planos < 3%, en pendientes de 3-5% y en terrenos inclinados > 5% (ladera alta y ladera media).

La clasificación de la serie en fases de suelo permite discriminar terrenos de acuerdo a su respuesta a un mejoramiento del suelo y a la susceptibilidad frente al tránsito pesado. Esta división sirve de base para programar el manejo forestal.

1. INTRODUCCION

El establecimiento y manejo de plantaciones forestales comerciales es una actividad que requiere información básica para identificar los sitios más aptos para lograr los objetivos de producción propuestos; la evaluación del sitio no sólo es útil para estimar la producción, sino que además permite la elección de métodos de manejo adecuados al ritmo de crecimiento del bosque. También permite identificar los factores componentes del sitio: clima, suelo y biológicos, que limitan la productividad y así decidir los métodos de mejoramiento genético o del suelo para crear bosques más estables y/o para optimizar la calidad del sitio (Schlatter, 1977).

A nivel local, el suelo es el factor ambiental de variación más relevante. La bibliografía señala que la topografía juega un papel muy importante en esa variación. El suelo forma parte del paisaje y la posición que ocupa en el relieve constituye un factor determinante en sus características y propiedades (Luzio, 1992). En la práctica, dos suelos de morfología marcadamente contrastante pueden coexistir adyacentes, ocupando posiciones diferentes en el relieve. La topografía afecta la profundidad del suelo, el desarrollo del perfil y la textura y estructura de la superficie del suelo y subsuelo, influyendo de esta manera en la composición, desarrollo y productividad del bosque (Spurr y Barnes, 1982).

Un análisis cronológico de los estudios sobre los factores que afectan a las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don (pino), sobre suelos rojo arcillosos de origen volcánico, destaca el desarrollo restringido originado por deficiencia de boro y potasio dentro de la región del Bío-Bío (Tollenaar, 1969; Zoettl, 1973; Schlatter y Gerding, 1985). Schlatter y Grez (1978) determinaron que las causas que restringen el desarrollo del pino fueron, por un lado, el régimen de elementos nutritivos y, por otro, las características físicas del suelo. Dentro de la provincia de Bío-Bío, los factores limitantes más importantes en los suelos rojo arcillosos fueron la deficiencia de los elementos boro y potasio princi-

palmente, la alta densidad aparente y moderada estructura del suelo y el desequilibrio del balance hídrico del sitio. Estos factores se vieron agravados por una inadecuada técnica de plantación.

Carrasco (1984) determinó que la serie Collipulli, representativa de los rojo arcillosos, ha experimentado una serie de procesos negativos causados por el hombre, destacando entre ellos la compactación, lo que origina estratas duras que limitan la infiltración del agua e incrementan el escurrimiento superficial, agudizando el problema de aridez durante el verano. La estructura más cerrada así formada impide una adecuada difusión del aire del suelo. Miletic (1990) observó en el extremo sur de la serie Collipulli que la principal limitante para el desarrollo de las plantaciones en terrenos planos y especialmente en suelos bajos es el drenaje restringido. Esto impide el normal desarrollo del sistema radicular de los árboles. Gerding (1991) destaca que los suelos rojo arcillosos de las series Collipulli y Mirador presentan mayores restricciones en los regímenes de agua y aire que otros suelos rojo arcillosos de la zona de Valdivia-Osorno.

Schalchli (1991) observó que el daño por viento, en las plantaciones de pino establecidas en estos suelos, se debía a las siguientes características: un drenaje imperfecto del suelo, un subsuelo compacto derivado de conglomerado volcánico y la presencia de horizontes muy densos. Schlatter (1992) destaca que, en general, los daños por viento se presentaron en los suelos más delgados, mal estructurados y/o con un drenaje imperfecto. Ponce (1993) señala que suelos con horizontes de material fino sobre conglomerado más compacto presentan un drenaje imperfecto, agravado por una topografía plana. Esto provoca un exceso de agua en el perfil durante los meses de invierno, favoreciendo la presencia de árboles inclinados o caídos.

Muchas plantaciones de pino, y recientemente también de *Eucalyptus* sp (eucalipto), se han establecido sobre suelos rojo arcillosos, principalmente de la serie Collipulli. Gran parte de esas plantaciones no logran un alto rendimiento, debido a las características propias del suelo. Muchas de las plantaciones de pino establecidas en estos suelos

presentan un desarrollo restringido y/o perturbado, con rendimientos menores a los esperados.

La hipótesis de trabajo plantea la existencia de una asociación entre la topografía y las características morfológicas y físicas del suelo Collipulli, es decir, con su fertilidad. En base a esto, se propone subdividir la serie Collipulli en fases de suelo, en beneficio del ordenamiento forestal. Esto es de importancia para el manejo forestal, el logro de estimaciones más reales del rendimiento y el desarrollo de medidas de mejoramiento del suelo.

El objetivo general planteado para este trabajo es reconocer la variabilidad de las características morfológicas y físicas de los suelos rojo arcillosos de la serie Collipulli, determinar su asociación con la topografía e identificar los factores que limitan su fertilidad.

2. MATERIAL Y METODO

2.1. MATERIAL

2.1.1. *Ubicación del Estudio.* Esta investigación se concentró en suelos rojo arcillosos de la serie Collipulli, que se extienden sobre la Depresión Intermedia, dentro de las provincias de Bío-Bío y Malleco, VIII y IX Regiones, respectivamente, en un área comprendida desde la ciudad de Los An-

geles al norte, hasta Collipulli por el sur, y desde Mininco al oeste hasta Santa Bárbara al este. Los sitios elegidos corresponden a predios de la empresa Forestal Mininco S.A

2.1.2. *Clima.* El clima en el área de estudio ha sido clasificado por Fuenzalida (1965) como templado cálido, con estaciones seca y lluviosa semejantes (Cfsb2). Los antecedentes climáticos, que se muestran en el cuadro 1, permiten deducir que la estación seca es marcada durante los meses de diciembre, enero y febrero, cuyas temperaturas promedio superan los 18°C.

Marzo, octubre y noviembre presentan precipitaciones moderadas con un promedio mensual de 52 mm, y el resto de los seis meses de invierno las precipitaciones alcanzan niveles sobre 100 mm, con las menores temperaturas de 8-9°C entre junio y agosto; en Collipulli probablemente entre 7-8°C por su mayor elevación.

2.1.3. *Suelos.* En Chile se conoce como suelos rojo arcillosos a un grupo extenso de suelos en la Cordillera de la Costa y en la Depresión Intermedia, coincidente en ciertas características morfológicas y propiedades, pero provenientes de diferentes materiales originales como granito, micaesquistos, sedimentos marinos terciarios, basalto o cenizas volcánicas. De estos suelos, los provenientes de cenizas o *loess* volcánicos antiguos fueron designados por Wright (1965) como *Red Volcanic*

CUADRO 1

Valores climáticos para las localidades de Los Angeles y Collipulli.
Climatic values for the locations of Los Angeles and Collipulli.

LOS ANGELES*

Latitud; 37° 23'S. Longitud: 72° 21'W Altura: 160 m s.n.m.

Temperatura media anual: 13°C
Período (1936-50)

Precipitación media anual (mm): 1303
Período (1921-60)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Temperatura °C	20.6	19.4	16.7	13.5	10.7	8.6	8.2	8.6	10.8	13.3	15.0	18.6
Precipitación (mm)	25	26	50	83	220	256	217	182	105	61	42	30

COLLIPULLI**

Latitud: 37° 55' S. Longitud: 72° 25'W Altura: 247 m s.n.m.

Promedio anual de precipitación, período 1980-1987: 1422 mm

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Precipitación (mm)	25	30	39	111	370	280	227	145	108	66	50	17

Fuente: * Fuenzalida, 1965.

** Ministerio de Obras Públicas, 1988.

Clay Soils o suelos rojo arcillosos volcánicos y constituyen el grupo particular de este estudio; dentro de ellos destacamos la serie Collipulli. Besoán (1985) lo clasifica según *Soil Taxonomy* en el grupo de los Ultisoles, y dentro de éstos como Typic Rhodustuls.

El desarrollo que exhiben los rojo arcillosos, su alto contenido de arcillas, los contenidos de óxidos de hierro extraíbles, y demás características morfológicas, físicas y químicas, sugieren el concurso de, al menos, un período interglaciar, el cual condicionó una meteorización acelerada en un ambiente más caluroso y húmedo. Es decir, que los suelos rojo arcillosos se formaron en una fase bioclimática diferente a la actual, por lo cual son paleosoles. Se han desarrollado bajo un régimen de temperatura méxico y un régimen de humedad ústico o údico. Actualmente la serie Collipulli presenta un régimen de humedad xérico y un régimen de temperatura térmico (Besoán, 1985). La serie Collipulli se caracteriza por descansar sobre un sustrato constituido por conglomerado volcánico de composición petrográfica mixta y muy meteorizado, que no guarda relación genética con el desarrollo del perfil (Mella y Kühne, 1985). Se ubica en la Depresión Intermedia, entre los paralelos 36°36' al 38°10' S; en terrenos intermedios, planos a ligeramente ondulados y a una elevación de 120 a 400 m s.n.m., ocupando una superficie aproximada de 186.000 ha.

Son suelos de textura fina a muy fina, moderadamente profundos a profundos, de colores pardo rojizo a rojizos en el tono 5YR, Además presentan un nivel moderado a alto de materia orgánica (4%-8%) y una acidez fuerte a moderada (pH H₂O 5-6) (INIA, 1985).

Los niveles nutritivos determinados indican un abastecimiento escaso de los siguientes elementos: fósforo, potasio (especialmente en terrenos con drenaje imperfecto) y boro (Schlatter, 1985). Estos elementos, como también nitrógeno y azufre, son más limitados en terrenos erosionados.

2.1.4 *Vegetación.* La vegetación natural presente en el área de estudio ha sido clasificada por Donoso (1981) como perteneciente al tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe, y estuvo compuesta por roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst), lingue (*Persea lingue* (R. et Pav.) Nees ex Kopp), laurel (*Laurelia sempervirens* R et Pav.). Tul y arrayán (*Luma apiculata* (D C) Burret. Pero estas formaciones vegetales naturales, predominantemente bos- que, fueron desplazadas totalmente, desde hace 90-

110 años y el uso que se dio a estos terrenos fue principalmente agropecuario.

En la actualidad, muchos suelos presentan limitaciones en su fertilidad por agotamiento y por procesos erosivos causados por el uso histórico. Una de las alternativas actuales del uso de tales suelos es el establecimiento de plantaciones forestales. Efectivamente, desde hace más de 30 años se implantó *P. radiata* D. Don y últimamente también especies del género *Eucalyptus*.

2.2. METODO

Para lograr los objetivos se definieron las siguientes etapas de trabajo:

2.2.1. *Evaluación de antecedentes:* revisión bibliográfica de información sobre las características y propiedades de los suelos de la serie Collipulli, la variabilidad que presentan, factores que causan esa variación y su incidencia sobre el crecimiento vegetal.

2.2.2. *Análisis de la zona:* interpretación fotogramétrica (Esc. 1:10.000) y análisis de mapas con curvas de nivel (Esc: 10.000), para seleccionar situaciones representativas de la topografía. Para tal propósito se diseñó un reconocimiento de suelos, del tipo transecto (seis), que incluyó unidades geomorfológicas relevantes. En casos en donde no se pudo utilizar este tipo de reconocimiento, se utilizó el del tipo puntual (predios Las Viñas y Buena Vista, sector Santa Bárbara).

2.2.3. *Reconocimiento preliminar:* antes de iniciar el reconocimiento de suelos definitivo, se recorrió el área de estudio para obtener una visión general de sus características y para ajustar algunas apreciaciones hechas en gabinete.

2.2.4. *Unidades de muestreo:* en 6 transectos se seleccionaron 18 puntos representativos de la variación topográfica, donde se excavaron calicatas en secuencia catenaria, para el estudio de "perfiles tipo" de suelos, complementados por observaciones con bastón pedológico. Las pautas e indicaciones para el reconocimiento de suelos y su evaluación en terreno se hizo siguiendo las indicaciones de Schlatter, Grez y Gerding (1981).

2.2.5. *Determinaciones en laboratorio:* en el Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile se procedió a determinar las variables físicas y químicas que se indican a continuación:

Análisis físicos:

- a) Densidad aparente (peso volumétrico del suelo seco a 105°C, cilindros de 100 cc).
- b) Composición granulométrica (preparación con H₂O₂, ditonito citrato-bicarbonato de sodio y dispersión con hexametafostato de Na, tamizado y sedimentación discontinua-pipeta de Köhn).
- c) Volumen de poros (macroporos, método gravimétrico).
- d) Volumen total de poros (cálculo de densidad aparente y real).
- e) Estabilidad estructural (cambio en diámetro medio ponderado según De Leenheer y De Boedt, 1958, cit. por Santanoglia y Fernández, 1982).
- f) Capacidad de agua aprovechable (cálculo según Schlatter, Grez y Gerding, 1981).

Análisis químicos:

- a) Carbono total (oxidación húmeda, dicromato de K en medio sulfúrico, determinación colorimétrica).
- b) Reacción del suelo (pH en H₂O y KCl 0,1 N, 1:2,5).

2.2.6. *Evaluación de los resultados:* los resultados se analizan en forma independiente por predio para definir la variabilidad de las características

morfológicas y físicas de los sitios, e interpretar el grado de asociación entre las mismas con los cambios topográficos. Posteriormente, se entrega una síntesis de los factores limitantes para el desarrollo de la vegetación y un diagnóstico de la fertilidad actual que presentan los suelos. En base a la evaluación de los resultados se propone una subdivisión de la serie Collipulli en fases de suelo.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. ANALISIS DE LOS RESULTADOS POR PREDIO. Los resultados que se presentan a continuación corresponden a dos predios de los ocho analizados. Los mismos representan las características morfológicas y físicas de la totalidad de los sitios analizados (Bonelli, 1994).

3.1.1. *Selva Negra.* El predio Selva Negra se extiende sobre terrenos intermedios, de topografía ondulada. Sobre un transecto se analizaron tres perfiles ubicados en secuencia catenaria en distintas posiciones fisiográficas (figura 1). El cuadro 2 muestra las características morfológicas de los suelos y su reacción química.

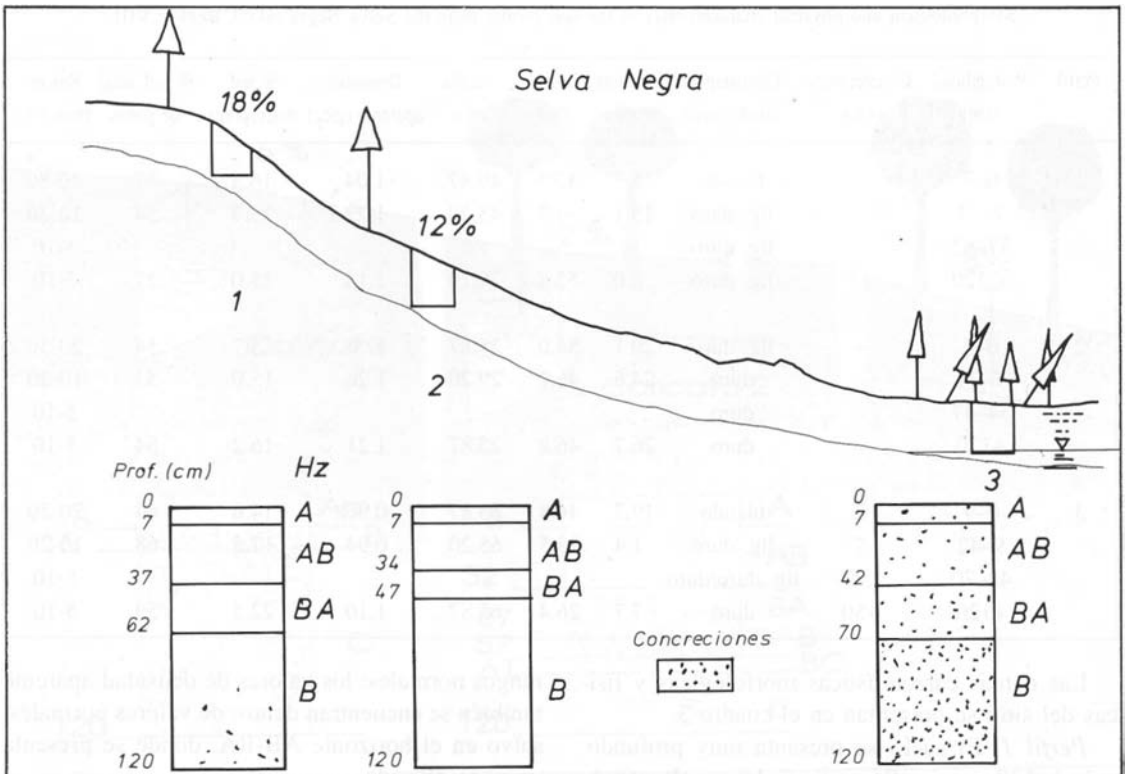


Figura 1. El suelo en secuencia catenaria, predio Selva Negra, provincia de Bío-Bío, VIII Región.
Catena soil sequence from the Selva Negra estate, Bío-Bío Province, Región VIII.

CUADRO 2

Características morfológicas y químicas de los suelos en un transecto en el predio Selva Negra, VIII Región.
Morphological and chemical characteristics of soils in the transect within the Selva Negra estate, Region VIII.

Perfil	Horizonte	Profundidad (cm)	Materia orgánica (%)	Estructura	Reacción del suelo (pH)	
					H ₂ O	KCl
1	A	0-7	7.2	grumosa	5.2	4.7
	AB-BA	7-62	1.9	subangular	5.1	4.0
	B	62->120	0.9	subangular	5.2	4.0
2	A	0-7	5.5	subangular	5.2	4.4
	AB-BA	7-47	2.6	subangular	4.9	4.0
	B	47->120	1.0	subangular	5.2	4.4
3	A	0-9	7.1	grumosa	5.3	4.6
	AB-BA	9-70	3.1	subangular	5.2	4.3
	B	70->120	2.8	subangular	5.3	4.3

CUADRO 3

Características morfológicas y físicas del perfil del suelo rojo arcilloso, predio Selva Negra.
Morphological and physical characteristics of the soil profile from the Selva Negra estate, Region VIII.

Perfil	Profundidad (cm)	Concreciones (%)	Consistencia (suelo seco)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Densidad aparente (g/cc)	% vol. macroporos	% vol. total de poros	Raíces finas (%)
1	0-7	—	blando	8.1	42.5	49.87	1.04	16.3	57	20-50
	7-37	-	lig. duro	15.1	39.7	45.20	1.23	15.4	54	10-20
	37-62	-	lig. duro							5-10
	+ 120	13	lig. duro	8.0	52.8	39.20	1.14	15.0	57	5-10
2	0-7	—	lig. duro	20.1	54.0	25.87	1.10	15.7	54	20-50
	7-34	-	duro	24.6	46.2	29.20	1.26	15.0	53	10-20
	34-47	-	duro							5-10
	+120	-	duro	26.7	46.8	25.87	1.21	16.2	54	5-10
3	0-9	7	blando	19.7	46.8	35.87	0.96	14.6	64	20-50
	9-42	7	lig. duro	1.4	33.5	65.20	0.94	17.5	68	10-20
	42-70	35	lig. duro/duro							5-10
	+120	+50	duro	7.7	26.4	65.87	1.10	22.5	59	5-10

Las demás características morfológicas y físicas del sitio se presentan en el cuadro 3.

Perfil 1. El suelo se presenta muy profundo, más de 120 cm sin afloramiento del conglomerado volcánico. Los valores de consistencia, textura, estructura y porosidad se encuentran dentro de

rangos normales; los valores de densidad aparente también se encuentran dentro de valores normales, salvo en el horizonte AB-BA, donde se presenta un poco elevado.

Este suelo no presenta problemas mayores de drenaje interno ya que las concreciones observa-

das en el perfil son de baja cantidad; sin embargo, indican saturación temporal del suelo en el horizonte B, lo que podría afectar a especies susceptibles.

Perfil 2. Este perfil presenta similares características morfológicas y físicas que la calicata 1, pero con diferencias substanciales como son el menor contenido de arcilla y la ausencia de concreciones en todos los horizontes. Las plantas en este sector no presentaban ningún síntoma de desarrollo restringido y/o perturbado. Cabe destacar que en este sector del transecto se pudo observar erosión del tipo zanjas, de moderada intensidad.

Perfil 3. El perfil se ubicó en una hondonada, donde el suelo es inundado periódicamente; en el momento de la toma de datos el nivel freático se encontraba a 120 cm de profundidad. Una plantación de pino fue establecida en el año 1984, pudiéndose observar árboles caídos y/o inclinados como así también la ausencia de algunos individuos. En general, el rodal presentaba un bajo e irregular desarrollo.

Si bien el suelo del perfil 3 es muy profundo y presenta características morfológicas y físicas fa-

vorables, su posición topográfica y su alto contenido de arcilla inciden en la acumulación de agua en el perfil; presenta concreciones en todos sus horizontes. Es decir, el nivel freático sube hasta la superficie en los meses invernales. El menor volumen de macroporos del horizonte A, en proporción a su baja densidad aparente y alto volumen total de poros, indica el efecto del uso ganadero que tuvo el suelo anteriormente.

3.1.2. *Quilamalven.* El predio se presenta en terrenos intermedios planos a ligeramente ondulados, con pendientes suaves. Dentro del área se analizó un transecto catenario compuesto por dos calicatas, complementándose la información con bastón pedológico, según la secuencia. En este sitio se estableció eucalipto, plantado en el año 1990 (figura 2).

En el cuadro 4 se sintetizan las características morfológicas y químicas de los suelos del predio. El cuadro 5 muestra las características morfológicas y físicas del perfil.

Perfil 1. Se ubicó en la cumbre de una loma baja con una pendiente del 6% y un drenaje externo moderado. El suelo es muy delgado (15 cm),

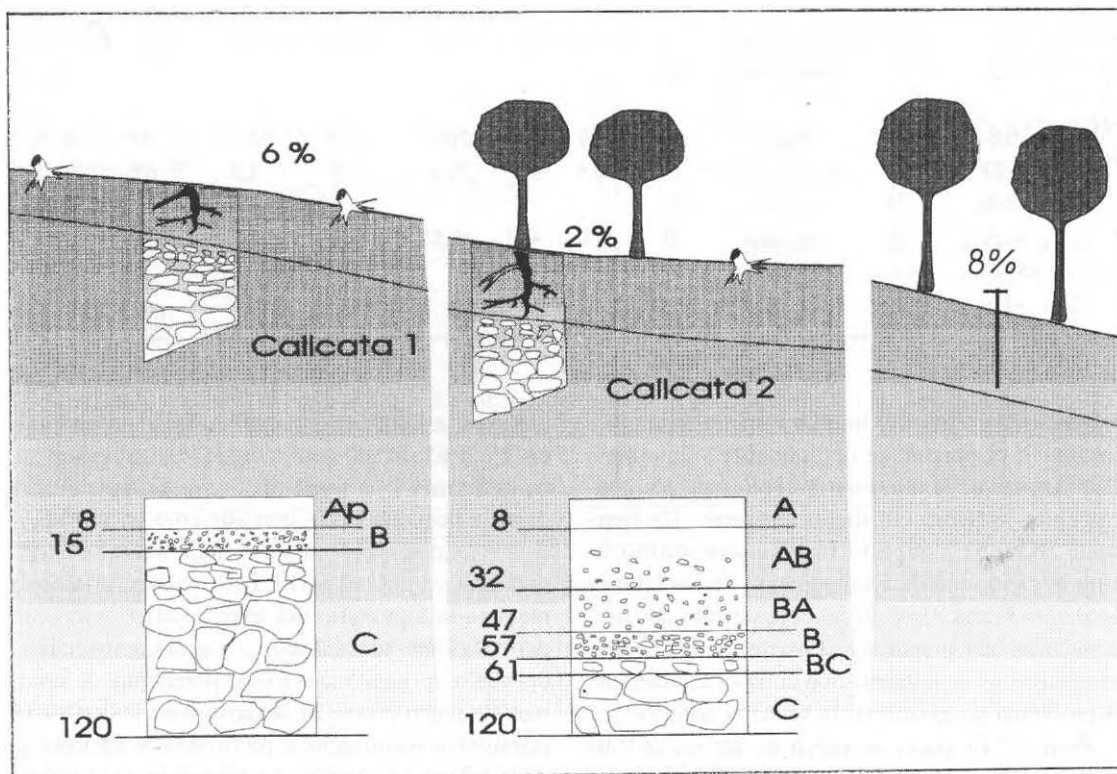


Figura 2. El suelo en secuencia catenaria, predio Quilamalven, Provincia Bio-Bio, VIII Región.

Soil variation depending on topographic position, Quilamalven estate, Region VIII.

CUADRO 4

Características morfológicas de los suelos, predio Quilamalven, VIII Región.
Morphological characteristics of soils from the Quilamalven estate, Region VIII.

Perfil	Horizonte	Profundidad (cm)	Materia orgánica (%)	Estructura	Reacción del suelo (pH)	
					H ₂ O	KCl
1	A	0-8	12.2	grumosa	5.0	4.7
	B	8-15	5.9	subangular	5.2	4.2
2	A	0-8	8.2	grumosa	5.3	4.5
	AB-BA	8-43	3.5	subangular	4.9	3.9
	B	43-57	2.1	subangular	4.9	3.9

CUADRO 5

Características morfológicas y físicas del perfil del suelo rojo arcilloso, predio Quilamalven
Morphological and physical characteristics from the Quilamalven estate, Region VIII.

Perfil	Profundidad (cm)	Concreciones (*)	Consistencia (suelo seco)	Pedregosidad (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Densidad aparente (g/cc)	% vol. macroporos	% vol. total de poros	Raíces finas (%)
1	0-8	—	blando		25.9	48.9	25.20	0.89	18.0	66	20-50
	8-15	3	duro/lig. duro	2	15.0	43.8	41.20	1.08	11.2	55	10-20
	+ 120	-	duro/lig. duro	60							5-10
2	0-8	—	blando		42.0	35.4	22.53	0.63	18.7	70	20-50
	8-22	3	duro/lig. duro	3	30.8	40.0	29.20	1.05	8.9	60	10-20
	22-43	23	lig. duro	23							5-10
	43-57	40	lig. duro	35	39.0	41.1	19.87	1.08	8.6	59	2-5
	57-61	-	lig. duro	70							2-5
	+120	-	lig. duro								

presentando en general buenas características físicas, salvo el porcentaje de macroporos que tiene el horizonte B, el que estaría explicando las concreciones presentes en dicho horizonte. Un horizonte BC muy compacto (macroporos <10%) limita la capacidad de arraigamiento de los árboles desde los 15 cm. Esto afecta el desarrollo que presenta la actual plantación. Los restos de tocones desarraigados de la plantación anterior indican que el problema ya existía en la rotación anterior.

Perfil 2. El perfil se ubicó en un sector casi plano, en la parte media, presentando una pendiente del 2% y un drenaje externo moderado a lento. El suelo es moderadamente profundo (57

cm), con afloramiento del conglomerado volcánico a los 65 cm de profundidad. La presencia de concreciones a partir de los 8 cm, de tamaño mediano a pequeño (3%), con aumento en profundidad, refleja el problema de drenaje interno restringido en casi todo el perfil. Esto se debe principalmente a la topografía del terreno, al afloramiento del conglomerado volcánico, y a la compactación del suelo, reflejado en su bajo porcentaje de volumen de macroporos. El desarrollo de las raíces es claramente restringido a partir de los 22 cm. Se pudo observar también la presencia de tocones desarraigados de la plantación anterior, muestra elocuente del problema físico que el suelo tiene.

Complementariamente se efectuaron observaciones con bastón pedológico en puntos cercanos, pero en posiciones de una mayor pendiente (8%); en esta posición el suelo se presentó más profundo, sin aparición del conglomerado volcánico dentro del metro de profundidad. Las concreciones se observaron a partir de los 60 cm y en menor grado que en el perfil 2.

3.2. VARIABILIDAD DE LAS CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS Y FISICAS DE LOS SUELOS. Los cuadros 6a, 6b y 6c muestran la variabilidad que presentan las características morfológicas y físicas de

los suelos analizados, en general y por horizontes.

En general, se puede destacar que la profundidad de desarrollo del suelo presenta un amplio rango de variación (15-120 cm), con un valor promedio de 77 cm de profundidad. Por su parte, la capacidad de agua aprovechable presenta un comportamiento similar, ya que existe una relación directa con la profundidad de desarrollo del suelo (cuadro 6b).

El drenaje externo presenta un rango de situaciones que va desde sitios inundados hasta moderadamente drenados, con un drenaje moderado a lento como situación promedio. El drenaje inter-

CUADRO 6a

Variación de las características morfológicas y físicas de los suelos rojo arcillosos, serie Collipulli.
Morphological and physical characteristics of red-clay soils, Collipulli serie.

Características	Horizontes					
	A		AB-BA		B	
	Promedio	rango	Promedio	rango	Promedio	rango
Profundidad de desarrollo (cm)	7.3	3-11	32.7	13-70	37.3	10-120
Concreciones (%)	-	-	15	0-60	17.5	0-50
Consistencia*	1	1-4	2	2-4	3	2-4
Estructura*	1	1-2	2	2-3	2	2-4
Densidad aparente (g/cm ³)	1.05	0.82-1.21	1.20	0.94-1.33	1.19	1.02-1.35
Volumen de macroporos (%)	17.3	13.3-24.8	13.9	5.0-18.3	13.3	8.6-22.5
Volumen de poros total (%)	61.9	54-71	55.3	48-68	55.2	48-66
% arena	11.7	4-21	8.3	0.6-15.3	7.4	3.4-19.4
% limo	20	13-27	19	15-24	18	12-27
% arcilla	34	19-50	45	29-65	47	20-69
% pedregosidad	-	-	5.6	0-23	14	0-35
Materia orgánica (%)	7.4	4.5-10.3	3.1	1.3-4.5	2.3	0.9-7.1
pH (H ₂ O)	5.2	4.7-5.3	5.1	4.7-5.3	5.2	4.8-5.6
pH (KC1)	4.4	4.0-4.7	3.9	3.9-4.5	4.2	3.8-4.5
Color*	3	1-5	4	1-6	5	2-6

	Perfil	
	X	rango
Profundidad total	77.3	15-20
CAA (1m) (mm)	91	30-142
CAA (mm prof, arraig.)	103	30-170
Drenaje* externo	4	1-6
Drenaje* interno	3	1-5

* Ver tabla referencial (cuadro 6b).

CUADRO 6b

Tabla referencial para cuantificar propiedades de carácter cualitativo.
Reference table of quantify soil properties.

Características	Valores referenciales						
	1	2	3	4	5	6	7
Consistencia	blando	lig. duro	duro	muy duro			
Estructura	granular	subpoliéd.	subprism.	prismat.			
Color	5YR 2/2	5YR 2/3	5YR 2/4	5YR 3/2	5YR 3/3	5YR 3/4	5YR 3/6
Drenaje externo	inundado	muy lento	lento	mod.-lento	lento-mod.	moderado	
Drenaje interno	muy lento	lent.-muy lent.	lento	lento-mod.	moderado		

no, por su parte, presenta un rango que va desde muy lento a moderado, con un valor promedio para todos los sitios, de lento (cuadros 6b y 6c).

Con respecto a la variación de las características por horizonte, las mismas varían en profundidad, desde una situación favorable en el horizonte superior a menos favorable en los inferiores. Este comportamiento obedece a la relación funcional que existe entre las variables. Por ejemplo, la consistencia presenta valores promedios de blando en el horizonte A, ligeramente duro en los horizontes AB-BA y duro en el B. Esto se debe principalmente a que los factores que están relacionados a ella, como la estructura, la textura, la densidad aparente, el volumen de macroporos y la materia orgánica, presentan igual comportamiento (cuadros 6a y 6c).

3.3. FACTORES LIMITANTES Y FERTILIDAD DE LOS SUELOS. El cuadro 7, con los sitios ordenados según posición topográfica, muestra que la mayoría de los sitios analizados presentan limitaciones en las características morfológicas y físicas para el desarrollo de las plantaciones.

La capacidad de agua disponible en el suelo, hasta 1 m de profundidad, es el factor restrictivo más difundido. Esto se debe principalmente a que los factores que definen la capacidad de agua aprovechable en estos suelos se presentan en general limitados; dentro de éstos, los que mayor incidencia tienen son profundidad del suelo, textura y estructura. Si se considera la capacidad de agua aprovechable hasta la profundidad arraigable, disminuyen las limitaciones, principalmente porque se consideró todo el perfil arraigable. Pero esa mejoría se circunscribe a perfiles ubicados en ladera media y alta, de mejor profundidad.

La mayoría de los sitios también presenta limitaciones en el drenaje interno, con saturación de agua en el suelo en cierta época del año, como consecuencia de las características estructurales y texturales de los suelos y otras características del sitio, como ser la ubicación en el relieve. Esto provoca una limitación en el desarrollo de las raíces; en consecuencia, la cantidad de agua aprovechable para las plantas y los elementos nutritivos se ven restringidos. En efecto, la saturación del suelo, durante algunas semanas, reduce en parte importante la masa radicular absorbente de los árboles, la que debe recuperarse nuevamente en la primavera siguiente.

En general, se puede decir que el régimen de agua en el suelo es el factor restrictivo más común en los sitios estudiados; esto se refleja en la baja capacidad de agua aprovechable y el drenaje interno restringido. Sin embargo, son las demás características morfológicas y físicas del suelo las que definen el mayor o menor grado de limitación de cada sitio, ya que el comportamiento del agua en el suelo depende de dichas características.

La presencia de concreciones en el perfil es un indicador de las condiciones de drenaje y aireación de un suelo. El cuadro 7 evidencia esa relación; es decir, en la práctica se puede tomar la presencia de concreciones como un indicador de las condiciones restrictivas del drenaje del suelo.

En cuanto a la relación entre ubicación topográfica y limitantes, se puede observar que los sitios ubicados en posición de ladera media presentan menos limitaciones que los de ladera alta, y aun menos que los ubicados en planos y en hondonadas.

El drenaje externo evidencia su variación con la posición en el relieve porque está relacionada

CUADRO 7

Factores limitantes, agrupados según su ubicación, correspondientes a suelos rojo arcillosos, serie Collipulli.
Limiting factors grouped according to their location.

	Drenaje externo	Profund. del suelo	Estructura	Textora	Consistencia	Densidad aparente	Volumen macrop. (%)	Volumen total (ft)	Concreciones	Drenaje interno	CAA (hasta 1 m)	CAA (prof. arraig.)	Materia orgánica
Ladera media													
2			(X)	(X)	X	X		(X)			X	X	
4				X		X			(X)	(X)	(X)		
8					X						(X)		
11		(X)	XAB	(X)	X	(X)	X		X	X	X	X	(X)
13			(X)	X	X	X	X			(X)			
Ladera alta													
7				(X)		(X)			(X)	(X)	(X)		
10		(X)		X			X		(X)	(X)	X	X	
12			(X)B	(X)		(X)	X		(X)	(X)	X	(X)	
18			(X)	X	(X)	X	(X)		X	X	(X)		
15		(X)	(X)B		(X)		(X)		(X)	X	X	X	
Plano													
1	X	(X)	XB	(X)	(X)				X	X	X	X	
3				X	X	X			(X)	(X)	X	X	(X)
5	X	(X)					X		X	X	(X)	(X)	
6	X	(X)	XA		X	(X)	X		X	X	X	X	
16	(X)	X	XB				X		X	X	X	X	
17	X		X	X		(X)	X		X	X	X	(X)	
Hondonada													
9	X		X(A)	X			X		X	X	X	X	
14	X	X							X	X	X	X	

X: Limitante
(X): Limitación moderada
(X)B: Corresponde limitación en el horizonte

SITIO	PREDIO	SITIO	PREDIO	SITIO	PREDIO	SITIO	PREDIO
1	Invernada/cal.1	6	Parlamento/cal.3	11	Micaucuen/cal.2	16	Quilamalven/cal.2
2	Invernada/cal.2	7	Selva Negra/cal.1	12	San Luis/cal.1	17	Las Viñas/cal.1
3	Invernada/cal.3	8	Selva Negra/cal.2	13	San Luis/cal.2	18	Buena Vista/cal.1
4	Parlamento/cal.1	9	Selva Negra/cal.3	14	San Luis/cal.3		
5	Parlamento/cal.2	10	Micaucuen/cal.1	15	Quilamalven/cal.1		

fundamentalmente con la inclinación que presenta el terreno. De esta manera los sitios ubicados en la ladera media y alta no presentan limitaciones, ya que su pendiente varía en un rango de 5% a 16%; los ubicados en planos y hondonadas sí presentan

limitaciones, variando su pendiente entre menos de 1% y 4%.

La profundidad del suelo también responde en su variación a la topografía. En suelos planos y hondonadas, se presentan, en general, suelos del-

gados a profundos en que añora el conglomerado volcánico, característico de la serie Collipulli. En cambio, en laderas media y alta, el suelo es generalmente más profundo, a menudo sin presencia del conglomerado. A pesar de esto, se puede observar que algunos sitios ubicados en ladera alta presentan una moderada limitación en su profundidad. Esto se debe principalmente a que son áreas más erosionadas por su posición en el relieve o porque originalmente eran poco profundos.

Los factores propios del suelo: estructura, textura, consistencia, densidad aparente, volumen de macroporos y materia orgánica, no presentan una variación clara con la topografía, probablemente sus limitaciones se deban principalmente a las condiciones de manejo a que fueron sometidos los suelos, originando horizontes mal estructurados y densos.

Una relación estrecha existe entre la estructura y el volumen de poros. El hinchamiento y contracción de los coloides, causado por el continuo humedecimiento y secado del suelo, es el que provoca un cambio en la estructura del suelo, con disminución del volumen de macroporos cuando el suelo se humedece. En general, los suelos presentan una baja estabilidad en su estructura, especialmente en los horizontes inferiores; el horizonte A, por su parte, conserva una muy buena estabilidad en su estructura, debido principalmente a la materia orgánica presente en ese horizonte (Bonelli, 1994).

Los factores drenaje interno y capacidad de agua aprovechable varían con la ubicación en el relieve. En los sectores de ladera media estos factores se presentan en condiciones de limitaciones menores; en ladera alta aumentan moderadamente las limitantes; en los planos, la mayoría de los suelos tienen mal drenaje y en las hondonadas siempre; parecido es el caso de la capacidad de agua aprovechable.

Si bien casi todos los sitios presentan limitaciones (en mayor o menor grado), los valores de capacidad de agua aprovechable y drenaje interno se vuelven más restrictivos cuando el drenaje externo y la profundidad del suelo se hacen más críticos.

3.4. DIAGNOSTICO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO. El diagnóstico de la fertilidad que presentan los suelos de la serie Collipulli se realizó en base al análisis interpretativo de los factores que limitan el desarrollo de la vegetación, los cuales fueron agrupados según los factores que definen la fertilidad del suelo (Schlatter, 1991), obteniéndose como resultado lo indicado en el cuadro 8.

CUADRO 8

Diagnósticos de fertilidad del suelo, serie Collipulli, agrupados según su ubicación.

Diagnostics of soil fertility, grouped according to location.

Ubicación	Predio/Sitio	Fertilidad		
		moderada	baja	muy baja
Ladera media	Invernada/cal.2	X		
	Parlamento/cal.1	+X		
	Selva Negra/cal.2	+X		
	Micaquén/cal.2		X	
	San Luis/cal.2	+X		
Ladera alta	Selva Negra/cal.1	X		
	Micaquén/cal.1		X	
	San Luis/cal.1	X		
	Buena Vista/cal.1	X		
	Quilamalven/cal.1		X	
Planos (altos y bajos)	Invernada/cal.1		X	
	Invernada/cal.3	+X		
	Parlamento/cal.3			X
	Parlamento/cal.2		X	
	Quilamalven/cal.2		X	
	Las Viñas/cal.1		X	
Hondonada	Selva Negra/cal.3			X
	San Luis/cal.3			X

Se observa que los sitios ubicados en la ladera media, presentan una fertilidad moderada, tendiendo a alta; los ubicados en la ladera alta, una fertilidad moderada con algunos sitios de baja fertilidad; los planos (altos-bajos), una baja fertilidad en general, mientras que la hondonada, una muy baja fertilidad. El 45% de los sitios presentan una fertilidad moderada, el 45% una fertilidad baja y sólo el 10% muy baja. Dentro de los primeros también se puede destacar que la mitad de los sitios presentan una tendencia a una fertilidad alta.

Algunos sitios no presentan una fertilidad acorde al resto del grupo; son éstas las llamadas excepciones: el perfil 2 de Micaquén presenta una baja fertilidad debido principalmente al efecto del nivel freático de una hondonada colindante que provoca, en invierno, un drenaje interno restringido; los perfiles 1 de Micaquén y Quilamalven presentan una baja fertilidad debido a la poca profundidad del suelo, provocada principalmente por pro-

cesos erosivos; el perfil 3 de Invernada representa una excepción favorable, ya que a pesar de estar ubicada en un plano alto, su fertilidad es moderada a alta. Seguramente que estos suelos no han sufrido alteraciones importantes por el uso anterior.

4. DISCUSION

4.1. ANALISIS DE LOS RESULTADOS. De manera general podemos señalar que la profundidad del suelo presenta un amplio rango de variación (15- >150 cm), similar a lo indicado por Mella y Kühne (1985), con excepción del límite inferior. En este estudio se encontraron profundidades menores que las descritas por esos autores, que indican como suelos más delgados los de 40 cm.

La capacidad de agua aprovechable también presenta un amplio rango de variación; esto responde a la relación directa que hay con la profundidad del suelo. Destaca un valor promedio de 91 mm, que indica una capacidad menor a la considerada necesaria para un rendimiento adecuado (Clase II y I) para las plantaciones (> 110 mm). Sólo un 44% está sobre ese valor, que equivale a los suelos de al menos 85 cm de profundidad arraigable.

Según Mella y Kühne (1985), el drenaje que presenta la serie es bueno y ocasionalmente moderado. En este estudio, sin embargo, se pudo determinar que el drenaje varía de muy lento a moderado, con una proporción dominante de lento. Es decir, las condiciones son considerablemente más restrictivas que las determinadas en el sector bajo uso agrícola.

El análisis granulométrico muestra valores similares a lo indicado por Besoáin (1985) y Mella y Kühne (1985). El primero destaca que en los rojo arcillosos la fracción arena raramente sobrepasa el 10%; dentro de la serie estudiada se pudo observar horizontes cuyos valores superaban a éste (21%), pero los valores promedio no superaban el 11%. Mella y Kühne (1985) presentan un perfil tipo de la serie Collipulli, con proporciones granulométricas de limo y arcilla un poco mayores a las obtenidas en el presente estudio. En general, las demás características morfológicas y físicas observadas coinciden con las presentadas por los autores anteriormente mencionados.

El análisis e interpretación de los resultados obtenidos confirma la existencia de una asociación de algunas características morfológicas y físicas del suelo con la topografía. Esta asociación queda expresada a través de la variabilidad de las

propiedades del suelo con la ubicación del sitio en el relieve.

Las características y propiedades que varían con el relieve son: el drenaje externo, asociado a la pendiente y a la configuración topografía de cada lugar en particular, y la profundidad de desarrollo de suelo, definida durante su formación, pero también por el desgaste que sufrieron a través del tiempo.

Las características: estructura, textura, consistencia, densidad aparente y volumen de macroporos, no presentan una relación clara con los cambios topográficos. La textura del suelo responde a una evolución natural del suelo. La consistencia también es producto básicamente de la evolución propia del suelo, pero a su vez es afectada por un desecamiento excesivo del suelo (barbechado agrícola continuo) o por compactación, debido al tránsito, especialmente cuando el suelo tuvo exceso de agua. La densidad aparente y la estructura responden a una evolución natural del suelo y/o a procesos de desecamiento y humedecimiento excesivos, agravado por el tránsito animal y de maquinaria pesada.

El drenaje interno y la capacidad de agua aprovechable, en cambio, son propiedades que presentan una relación funcional con las características propias del suelo y la ubicación en el relieve del sitio. El drenaje interno depende de la pendiente que presenta el terreno, asociada a la posición en el relieve y a la morfología del perfil. Las características morfológicas que mayor influencia tienen sobre el drenaje son la profundidad del suelo (sobre conglomerado) y la estructura (capas compactas, de baja porosidad gruesa). En cuanto a esta última, los suelos rojo arcillosos presentan una baja estabilidad estructural en los horizontes del subsuelo y son muy plásticos con altos contenidos de humedad. Es decir, puede inferirse que cuando el contenido de agua supera la capacidad de campo, el efecto hidratante del agua provoca una desagregación y una expansión coloidal, causando un deterioro del drenaje.

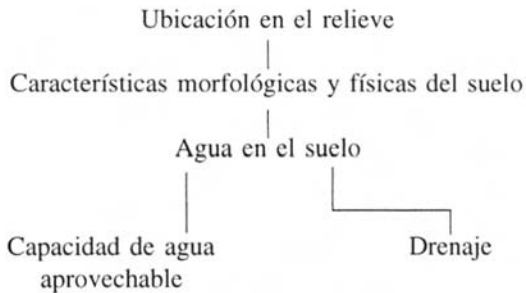
La capacidad de agua aprovechable depende principalmente de la profundidad, de la estructura, la textura, la materia orgánica y la pedregosidad que presenta el suelo. Es decir, ella está principalmente asociada con la ubicación en el relieve a través de su relación funcional con la profundidad del suelo.

Los resultados obtenidos demuestran que entre las características y propiedades analizadas, las que

con mayor ponderación determinan la fertilidad del suelo en los rojo arcillosos son el drenaje interno y la capacidad de agua aprovechable, junto a la profundidad del suelo. De acuerdo a ello, los sitios ubicados en laderas medias presentan mejores condiciones que aquellas en planos y hondonadas; una situación intermedia ocupan los sitios en las laderas altas.

Algunos sitios, sin embargo, escapan a la secuencia anterior. Esto se debe a que en ellos hubo procesos erosivos muy severos, que modificaron substancialmente una de las características del suelo que varía con la ubicación en el relieve, la profundidad. Esto se da principalmente en laderas altas, que son las más expuestas al desgaste; por ello esas posiciones representan una mayor probabilidad de suelos con baja fertilidad, entre aquellos suelos ubicados en terrenos con pendiente. Por otra parte, todo indica que el drenaje es el principal factor limitante, especialmente en sectores bajos.

Se puede afirmar que existe una secuencia causa-efecto que provoca variación de las características morfológicas y físicas del suelo dada de la siguiente manera:



La ubicación en el relieve que ocupan los sitios está asociada a ciertas características morfológicas y físicas del suelo. Estas características definen el régimen de agua en el suelo, afectando principalmente al drenaje interno y a la capacidad de agua aprovechable. Estas dos características definen principalmente la fertilidad del suelo, siendo en consecuencia los factores a considerar en una clasificación del suelo para el uso.

4.2. CLASIFICACION DE LA SERIE COLLIPULLI. La ubicación del sitio en el relieve es una de las primeras consideraciones para la clasificación de los suelos rojo arcillosos para el uso. Ella, junto a la profundidad de desarrollo que presenta el suelo, definen el drenaje interno y la capacidad de agua

aprovechable que puede tener el mismo. Estos criterios coinciden con Spurr y Barnes (1982), quienes destacan que la clasificación del sitio, en base a la ubicación, es frecuentemente uno de los criterios más útiles para determinar las características del sitio.

Pero también algunas características del perfil del suelo facilitan evaluar su fertilidad y precisar una clasificación. La presencia de concreciones es, por ejemplo, un buen indicador de las condiciones de drenaje interno. Para ello hay que tener en cuenta el tamaño de las concreciones, la cantidad y la distribución de ellas en el perfil.

En consecuencia, la distinción y clasificación de sitios, según la posición topográfica del lugar y en base a la profundidad del suelo y sus condiciones de drenaje, es un método rápido y bastante preciso para identificar áreas con similar calidad. De acuerdo a ello pueden agruparse los sitios según los siguientes criterios: a) ubicación en el relieve, b) profundidad de desarrollo del perfil, c) drenaje (concreciones).

Esta agrupación funcional de los suelos es la que permite distinguir, dentro de la serie de Collipulli, las siguientes fases:

1. Hondonadas: terrenos con suelos de drenaje imperfecto.

2. Planos (altos y bajos):

2.1 Terrenos de baja pendiente 0-3%: estos suelos presentan una profundidad de desarrollo del suelo en general limitante y con ello restricciones en el drenaje y la capacidad de agua aprovechable. Son sitios en donde eventuales obras de drenaje tienen efecto limitado, debido a la pendiente que poseen.

2.2 Terrenos con pendiente entre 3-5%: son suelos con las mismas características que las anteriores, la diferencia es que las condiciones de drenaje se pueden mejorar debido a la pendiente que presentan.

3. Laderas con pendientes mayor de 5%.

3.1 Ladera alta: presenta limitaciones moderadas en la profundidad de desarrollo del suelo y la capacidad de agua aprovechable.

3.2 Ladera media: presenta limitaciones moderadas en el drenaje interno, debido principalmente a las características propias del suelo (estructura y textura).

4.3. MEJORAMIENTO. Con respecto a la posibilidad de mejoramiento de las características del suelo, que limitan la supervivencia y el desarrollo de

las plantaciones, los tratamientos físicos son una alternativa para mejorar los regímenes de agua y aire y favorecer así el desarrollo radicular (Schalchli, 1991; Schlatter, 1992; Ponce, 1993).

El presente estudio pudo identificar las características y propiedades del suelo que más inciden en esa fertilidad limitante, de tal forma que en base a esto pueden elaborarse métodos de mejoramiento adecuados a cada sitio.

4.3.1. *Hondonadas*. En las hondonadas el mejoramiento debe concentrarse en obras de drenaje. Sin embargo, si éstas no son rentables, es preferible destinarlos a otros usos, u ocuparlos con especies aptas para esas condiciones.

4.3.2. *Terrenos planos*. Los terrenos planos, en posición de cumbre y también en bajos, que presentan menos de 3% de pendiente, deben ser en general drenados. Para ello son válidas las mismas consideraciones que para las hondonadas, aún cuando las perspectivas en estos suelos son peores, por su limitada profundidad arraigable. Ellos generalmente están asociados con suelos delgados, lo que disminuye el interés para grandes inversiones. Por lo tanto, también aquí debieran buscarse especies adecuadas al sitio y/o adaptar el manejo forestal a bosques de menor rendimiento. Excepciones serían terrenos con suelos profundos.

En cambio, en terrenos casi planos, de inclinación homogénea, pero sobre 3%, las inversiones de un mejoramiento físico pueden ser atractivas, ya sea en drenaje o en mejoramiento estructural del suelo, favoreciendo de esta manera sus regímenes de agua y aire. En ellos también debe determinarse previamente su profundidad potencialmente arraigable.

4.3.3. *Terrenos inclinados*. En posición de ladera, en general los suelos presentan una adecuada fertilidad para obtener una producción forestal interesante. En ellos, un mejoramiento físico estructural puede tener efecto sobre la fertilidad, sobre todo en terrenos antiguamente bajo uso agrícola o compactados por explotaciones invernales. Especial cuidado merecen los suelos en posición de ladera alta, que en general pueden presentar limitaciones en su profundidad.

Los suelos rojo arcillosos de la serie Collipulli, en general deben responder a un mejoramiento físico del suelo (Schalchli 1991; Ponce, 1993). Sin embargo, debe cuidarse de cuándo aplicar el mejoramiento. Debido a la baja estabilidad estructural que presentan los agregados y al alto contenido de arcillas, el paso de maquinaria pesada durante

un estado saturado del suelo, provoca una acomodación de las partículas del suelo causando un aumento de la densidad y disminución de los macroporos (Ellis, Gayoso y Lamig, 1982; Mihovilovic, 1984; Gayoso, 1981, y Gayoso e Iroumé, 1989).

Es decir, el manejo forestal debería organizar de tal manera sus faenas de explotación, que no sean transitados los suelos durante las épocas invernal y primaveral, por el peligro de compactación. En suelos profundos y bien drenados, el riesgo de compactación es menor entre octubre y abril. En cambio, cuando el suelo está ubicado en relieve plano y/o presenta poca profundidad, el período de riesgo es más prolongado en primavera (Schlatter, 1992).

En resumen, podemos indicar que, a pesar de las limitaciones que presentan estos suelos, es posible mejorar una parte importante de ellos a partir de tratamientos mecánicos. Los sitios en donde no son factibles tales tratamientos, es recomendable destinarlos a otra actividad o establecer en ellos especies que se adapten a tales situaciones.

5. CONCLUSIONES

5.1. *Variabilidad de los rojo arcillosos*. Las características y/o propiedades que se destacan por su alta variabilidad son: profundidad del suelo (15 > 150 cm), capacidad de agua aprovechable (20-140 mm), profundidad arraigable y drenaje interno (muy lento-moderado).

Las características de estructura, textura, consistencia, densidad aparente y volumen de poros, también presentan variación, pero en un grado mucho menor y en general asociadas a las características y propiedades indicadas anteriormente.

5.2. *Asociación con el relieve*. Las características y propiedades que presentaron una relación estadística comprobable con la ubicación del sitio en el relieve son: la profundidad del suelo, la capacidad de agua aprovechable y el drenaje interno. Las últimas dos propiedades también están asociadas funcionalmente con las características propias del suelo, que son producto de su evolución natural o de efectos antropogénicos locales.

5.3. *Fertilidad*. La variabilidad de la fertilidad de los rojo arcillosos es definida principalmente por el drenaje y la capacidad de agua aprovechable del suelo. Esta última, por su alta asociación con la profundidad del suelo, puede ser estimada en terreno a través de ésta.

El 44% de los suelos presentó una capacidad de agua aprovechable crítica menor a 110 mm en profundidad arraigable y el 50% de los perfiles analizados superó los 85 cm de profundidad del suelo, considerada la profundidad mínima para asegurar un abastecimiento de agua suficiente para lograr rendimientos adecuados (Clase II-I), en condiciones de secano.

El drenaje del suelo puede ser determinado a través de la configuración topográfica del terreno (drenaje externo), como también por la presencia y distribución de las concreciones en el perfil del suelo (drenaje interno). Este factor empeora la proporción de suelo con limitaciones por capacidad de agua aprovechable.

La proporción de suelos marginales es mayor a lo hasta ahora indicado en la literatura, probablemente por basarse esta última en los sectores con suelos seleccionados para la agricultura.

5.4. *Clasificación funcional de los rojo arcillosos*. En consideración a los resultados obtenidos se recomienda clasificar funcionalmente a los suelos rojo arcillosos de la serie Collipulli en las siguientes fases:

1. Hondonadas: de mal drenaje y generalmente suelos poco profundos.

2. Planos: ya sea en posición elevada o baja, las que se subdividen en:

2.1 Terrenos planos con pendiente menor a 3%; generalmente de drenaje imperfecto y poca profundidad.

2.2 Terrenos casi planos con pendiente entre 3-5%, de mejor drenaje y mayor profundidad.

3. Inclinaados con pendiente mayor a 5%.

3.1 En posición de ladera alta, generalmente más erosionados y en consecuencia más delgados.

3.2 En posición de ladera media, ocasionalmente con un drenaje interno lento.

5.5. *Manejo del suelo*. La clasificación anterior distingue terrenos de acuerdo a la respuesta a un mejoramiento del suelo. Hondonadas y terrenos planos con menos de 3% de pendiente deben ser considerados de poca respuesta a un mejoramiento físico para el sector forestal, por sus limitaciones pronunciadas. Los suelos restantes presentan un potencial interesante para responder a un mejoramiento físico del suelo, el cual favorezca su estructura, es decir, los regímenes de agua y aire del suelo en beneficio de un mayor espacio arraigable.

La decisión anterior sirve de base para programar el manejo del suelo, debiendo destinar los planos y hondonadas a especies tolerantes y/o con-

tar con un menor rendimiento. También ellos presentan un período muy prolongado con saturación de agua en el subsuelo, lo que acorta el período apto para la explotación maderera y el tránsito con maquinaria pesada.

Los suelos restantes presentan una fertilidad potencial interesante, a través del mejoramiento físico del suelo, salvo aquellos muy erosionados.

6. BIBLIOGRAFIA

- BESOAIN, E.M. 1985. "Los suelos". En: Suelos Volcánicos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile, pp. 23-106.
- BONELLI, C. 1994. *Variación en las características morfológicas y físicas de los suelos rojo arcillosos de la serie Collipulli*. Tesis Postgrado, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 107 pp.
- CARRASCO, P. 1984. "Mejoramiento de la calidad de sitio mediante labores de preparación de suelo en la VII Región". En: *Cuarto Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo*. Valdivia, Chile.
- DONOSO, C. 1981. *Tipos forestales de los bosques nativos de Chile*. Documento de Trabajo N° 38. Proyecto de Investigación y Desarrollo Forestal CONAF/PNUD/FAO-CHI/76/003. Santiago, Chile, 70 pp.
- ELLES, A., J. GAYOSO, J. LAMIG. 1982. "Efecto del manejo y contenido de humedad sobre la preconsolidación en dos suelos del sur de Chile", *Agro Sur* (Chile) 10: 124-130.
- FUENZALIDA, H. 1965. Clima. En: *Geografía económica de Chile*. Texto refundido. Corporación de Fomento de la Producción. Santiago, pp. 99-152.
- GAYOSO, J. 1981. "Pérdida de la productividad del sitio por efecto del maderero". En: *Evaluación de la productividad de sitios forestales*. Actas de reunión de trabajo. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, pp. 284-299.
- GAYOSO, J., A. IROUME. 1989. "Daños en suelos forestales asociados a faenas de maderero", *Medio Ambiente* 10 (1): 70-79.
- GERDING, V. 1991. *Pinus radiata-Plantagen in Zentralchile Standortsfaktoren der Produktivität und Nährstoffverteilung in Beständen*. Tesis Dr., Universidad Georg-August de Göttingen. 182 p.
- INIA. 1985. "Suelos volcánicos de Chile". Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura. Santiago. 723 pp.
- LUZIO, W. 1992. "El suelo como un sistema abierto". En: *Suelos, una visión actualizada del recurso*. Publicaciones Misceláneas Agrícolas N° 38. Santiago, Chile, pp. 1-8.
- MELLA, A.L., A.G. KÜHNE. 1985. "Sistemática y descripción de las familias, asociaciones y series de suelos derivados de materiales piroclásticos de la Zona Centro-Sur de Chile". En: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile, pp. 549-715.
- MIHOVILOVIC, E. 1984. *Ensayos de consolidación de algunos suelos palehomults y dystrandeps de la zona sur de Chile*. Tesis Lic. Agr., Valdivia, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, 43 pp.
- MILETIC, E. 1990. *Aplicación correctiva de fertilizantes potásicos en Pinus radiata D. Don*. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile, 96 pp.
- MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS. 1988. Informe pluviométrico anual de la estación Collipulli, para el período

- do 1980-1988. Dirección General de Aguas, Departamento Hidrología, Santiago, Chile, 9 pp.
- PONCE, V. 1993. *Efecto de diferentes preparaciones físicas del suelo sobre una plantación de Pinus radiata D. Don*. Tesis de grado, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, 74 pp.
- SANTANOGLIA, O., N. FERNANDEZ. 1982. "Modificación del método de De Boodt y De Leenheer para análisis de la distribución de los agregados y efecto del tipo de embalaje y acondicionamiento de las muestras, sobre la estabilidad estructural", *Investigaciones Agrícolas* 17(1): 23-32.
- SCHALCHLI, G. 1991. Daño por viento en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don sobre suelos rojo arcillosos. Causas de suelo y soluciones. Informe Empresa Forestal Mininco S.A., 18 pp.
- SCHLATTER, J.E. 1977. "La relación entre el suelo y plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Chile central. Análisis de la situación actual y planeamientos para su futuro manejo", *Bosque* 2(1): 12-31.
- SCHLATTER, J.E., R. GREZ. 1978. "Diagnóstico de los factores causantes del crecimiento de *Pinus radiata* D. Don, provincias de Malleco y Bío-Bío. En: *II Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo*. Tomo I: 36-63. Santiago de Chile.
- SCHLATTER, J.E., R. GREZ, V. GERDING. 1981. *Manual para el reconocimiento de suelos*. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Valdivia, 81 pp.
- SCHLATTER, J.E., V. GERDING. 1985. "Deficiencia de boro en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Chile. I Distribución y origen", *Bosque* 6(1): 22-61.
- SCHLATTER, J.E. 1987. Evaluación de la calidad de sitio y su relación con la productividad forestal. II Jornadas Forestales Patagónicas, Esquel, Chubut, Argentina, 14 pp.
- SCHLATTER, J.E. 1991. Fertilidad del suelo, concepto y su aplicación a la producción forestal. XII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. S.C. de Bariloche, Argentina, 19 pp.
- SCHLATTER, J.E. 1992. Reconocimiento de suelo y plantaciones forestales correspondiente a predios con suelos rojo arcillosos de Forestal Mininco S.A. Informe confidencial. 10 pp.
- SPURR, S., B. BARNES. 1982. *Ecología Forestal*. Editorial AGT, México, 600 pp.
- TOLLENAAR, H. 1969. "Deficiencias de boro en plantaciones de pino en la zona central de Chile", *Agricultura Técnica* 29(2): 85-88.
- WRIGHT, C. 1965. "The volcanic ash soils of Chile". Report to Government of Chile. FAO. Roma, Rep. N° 2017. 201 pp.