

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
Departamento Silvicultura

EFFECTO DE TRES CUBIERTAS VEGETALES SOBRE ALGUNAS  
PROPIEDADES QUIMICAS DE UN SUELO GRANITICO EN LA PROVINCIA  
DE CONCEPCION



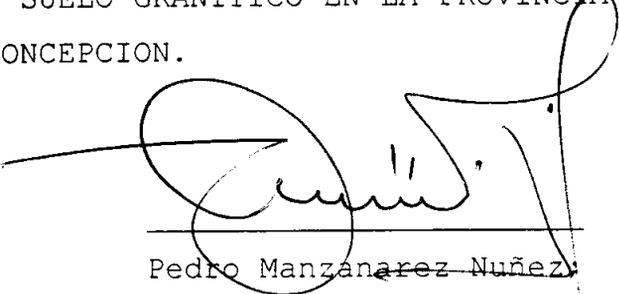
MEMORIA PARA OPTAR  
AL TITULO DE  
INGENIERO FORESTAL

CONCEPCION - CHILE

1999

EFFECTO DE TRES CUBIERTAS VEGETALES SOBRE ALGUNAS  
PROPIEDADES QUIMICAS DE UN SUELO GRANITICO EN LA PROVINCIA  
DE CONCEPCION.

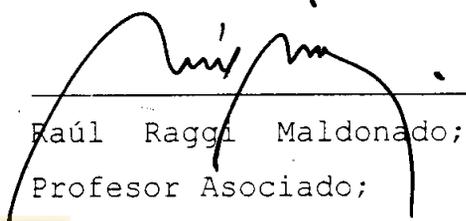
Profesor Asesor



Pedro Manzanarez Nuñez;  
Profesor Asociado;

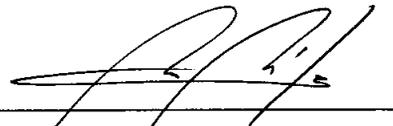
Ingeniero Agrónomo M.Sc.

Profesor Asesor



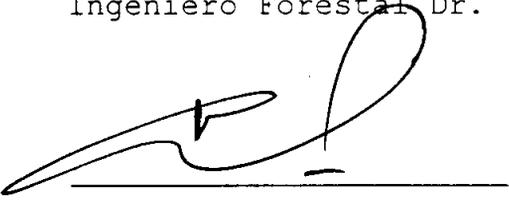
Raúl Raggi Maldonado;  
Profesor Asociado;  
Ingeniero Agrónomo Dr.

Director Departamento  
Silvicultura



Manuel Sánchez Olate;  
Profesor Asistente;  
Ingeniero Forestal Dr.

Decano Facultad de Ciencias  
Forestales



Fernando Drake Aranda;  
Profesor Asociado;  
Ingeniero Forestal.

Calificación de la memoria de título

Pedro Manzanarez Nuñez: 95 puntos (noventa y cinco).

Raúl Raggi Maldonado : 95 puntos (noventa y cinco)

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, gracias por darme fuerzas cada instante para llegar al final de la carrera.

A mi familia, especialmente a mi Madre y Pamela por su gran cariño, confianza y a su apoyo incondicional.

A mis profesores asesores, don Pedro Manzanarez y don Raúl Raggi por ser quienes permitieron la ejecución de esta memoria.

Y a mis compañeros, gracias por siempre.



## INDICE DE MATERIAS

CAPITULOS	PAGINA	
I	INTRODUCCION.....	1
	1.1 Factores que influyen en la reacción del suelo.....	4
	1.1.1 Clima.....	4
	1.1.1.1 Temperatura.....	4
	1.1.1.2 Precipitación.....	4
	1.1.1.3 Lluvias ácidas.....	4
	1.1.2 Material parental.....	5
	1.1.3 Vegetación.....	5
	1.1.3.1 Materia orgánica y actividad radicular..	6
	1.2 Efecto de las plantaciones sobre las propiedades químicas del suelo.....	7
	1.2.1 Reacción del suelo (pH).....	7
	1.2.2 Capacidad de intercambio catiónico y porcentaje de saturación de bases.....	9
	1.2.3 Aluminio de intercambio.....	11
	1.2.4 Materia orgánica.....	12
II	METODOLOGIA.....	14
	2.1 Descripción del área de estudio.....	14
	2.1.1 Ubicación.....	14
	2.1.2 Vegetación.....	14
	2.1.2.1 Bosque nativo.....	14
	2.1.2.2 <i>Pinus radiata</i> .....	14
	2.1.2.3 <i>Eucalyptus globulus</i> .....	15
	2.1.3 Clima.....	15
	2.1.4 Suelos.....	16

2.2	Selección de áreas de estudio.....	17
2.3	Muestreo y análisis estadístico.....	17
2.3.1	Obtención de la muestra y método de muestreo.....	17
2.3.2	Análisis estadístico.....	18
2.4	Método de análisis químico.....	18
2.4.1	Reacción del suelo(pH).....	19
2.4.2	Materia orgánica.....	19
2.4.3	Cationes de intercambio.....	19
2.4.4	Capacidad de intercambio catiónico.....	19
2.4.5	Aluminio de intercambio.....	19
2.4.6	Porcentaje de saturación del aluminio.....	19
III	RESULTADOS Y DISCUSION.....	20
3.1	Efecto del cambio de cubierta sobre las propiedades químicas del suelo.....	20
3.1.1	Reacción del suelo(pH).....	20
3.1.2	Materia orgánica.....	23
3.1.3	Capacidad de intercambio catiónico efectiva.....	26
3.1.4	Cationes de intercambio.....	29
3.1.5	Aluminio de intercambio.....	31
3.2	Relación entre el pH y algunas propiedades químicas del suelo bajo las cubiertas en estudio .....	33
IV	CONCLUSIONES.....	38
V	RESUMEN.....	41
VI	SUMMARY.....	43
VII	BIBLIOGRAFIA.....	44
VIII	APENDICE (S).....	50
IX	ANEXO (S).....	61

## INDICE DE TABLAS

TABLA N°	PAGINA
<u>En el texto</u>	
1 Distribución de la precipitación (Pp) media mensual (mm) y de temperaturas medias ( $T^{\circ}m$ ), mínimas ( $T^{\circ}mín$ ) y máximas ( $T^{\circ}máx$ ) mensuales.....	15
2 Resultados promedio de los análisis químicos, por tipo de cubierta y profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.....	20
3 Resultados promedio de los análisis químicos de muestras por tipo de cubierta y profundidad 0-30 cm.....	34
<u>En el Apéndice</u>	
1A Tabla Anova, análisis estadístico para un diseño experimental de dos factores (tipo de cubierta y profundidad), para los valores de pH al agua....	51
2A Tabla Anova, análisis estadístico para un diseño experimental de dos factores (tipo de cubierta y profundidad), para el contenido de materia orgánica.....	51

3A	Tabla Anova, análisis estadístico para un diseño experimental de dos factores (tipo de cubierta y profundidad), para la capacidad de intercambio catiónico efectiva.....	51
4A	Tabla Anova, análisis estadístico para un diseño experimental de dos factores (tipo de cubierta y profundidad), para el contenido de calcio.....	52
5A	Tabla Anova, análisis estadístico para un diseño experimental de dos factores (tipo de cubierta y profundidad), para el contenido de aluminio de intercambio.....	52
6A	Análisis de diferencia significativa, mediante la prueba Tukey para el valor de pH, bajo tres cubiertas vegetales.....	53
7A	Análisis de diferencia significativa, mediante la prueba Tukey para el contenido de materia orgánica, bajo tres cubiertas vegetales.....	53
8A	Análisis de diferencia significativa, mediante la prueba Tukey para la capacidad de intercambio catiónico efectiva, bajo tres cubiertas vegetales.....	54
9A	Análisis de diferencia significativa, mediante la prueba Tukey para el contenido de calcio, bajo tres cubiertas vegetales.....	54

10A	Análisis de diferencia significativa, mediante la prueba Tukey para el contenido de aluminio de intercambio, bajo tres cubiertas vegetales.....	55
11A	Análisis de diferencia significativa, mediante la prueba Tukey, para el valor de pH a profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.....	55
12A	Análisis de diferencia significativa, mediante la prueba Tukey, para el contenido de materia orgánica a profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.....	56
13A	Análisis de diferencia significativa, mediante la prueba Tukey, para la capacidad de intercambio catiónico efectiva a profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.....	56
14A	Análisis de diferencia significativa, mediante la prueba Tukey, para el contenido de calcio a profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.....	56
15A	Análisis de diferencia significativa, mediante la prueba Tukey, para el contenido de aluminio de intercambio a profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.....	57
16A	Valores para comprobar homogeneidad de varianzas, mediante el Test Bartlett.....	57

En el anexo

1B	Vegetación bajo cubierta de bosque natural.....	62
2B	Sotobosque bajo el rodal de <i>Pinus radiata</i> .....	63
3B	Sotobosque bajo el rodal de <i>Eucalyptus globulus</i> ..	63
4B	Precipitación mensual (mm).....	64
5B	Temperatura máxima media (°C).....	64
6B	Temperatura mínima media (°C).....	64
7B	Temperatura media (°C).....	64
8B	Reacción del suelo, encontrada bajo diversas especies forestales chilenas y <i>Pinus radiata</i> , en distintos lugares de Chile.....	68

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	PAGINA
<u>En el texto</u>	
1 Variación del pH en el suelo en función de la cubierta vegetal a profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.....	21
2 Variación del contenido de materia orgánica del suelo en función de la cubierta vegetal a profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.....	24
3 Variación de la capacidad de intercambio catiónico efectiva del suelo en función de la cubierta vegetal a profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.....	27
4 Variación del contenido de calcio en el suelo en función de la cubierta vegetal a profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.....	30
5 Variación del aluminio de intercambio en el suelo en función de la cubierta vegetal a profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.....	31
6 Relación entre el pH y el contenido de materia orgánica a 0-30 cm de profundidad.....	35

7	Relación entre pH y la capacidad de intercambio catiónico efectiva a 0-30 cm de profundidad.....	36
8	Relación entre el pH y el contenido de calcio a 0-30 cm de profundidad.....	36
9	Relación entre el pH y el aluminio de intercambio a 0-30 cm de profundidad.....	37

En el Apéndice

1A	Relación entre el pH y el contenido de materia orgánica entre 0-15 cm de profundidad.....	58
2A	Relación entre el pH y la capacidad de intercambio catiónico efectiva entre 0-15 cm de profundidad.....	58
3A	Relación entre el pH y el contenido de calcio entre 0-15 cm de profundidad.....	59
4A	Relación entre el pH y el aluminio de intercambio entre 0-15 cm de profundidad.....	59
5A	Relación entre el pH y el contenido de magnesio entre 0-15 cm de profundidad.....	60

## I INTRODUCCION

El suelo resulta de la interacción de factores que actúan sobre la roca madre, entre los cuales el clima y la vegetación son los factores de formación más directos. La vegetación interfiere la acción del clima localmente, alterando la temperatura, humedad y la luminosidad que alcanza el piso del bosque.

La vegetación a través del sistema radicular y aporte de residuos vegetales, influencia las características químicas, físicas y biológicas del suelo. Así, toda comunidad vegetal introducida (cultivo agrícola, plantación forestal), será ecológicamente diferente a la comunidad vegetal natural que reemplaza, en consecuencia, cambiarán las propiedades tanto en el suelo superficial como el suelo subsuperficial (Vichenzo 1997).

La importancia que han alcanzado en las últimas décadas las plantaciones en rodales puros de especies forestales de rápido crecimiento como el *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*, sustituyendo otras especies y ocupando grandes extensiones de territorio, ha planteado una serie de interrogantes, en particular sobre su influencia en las propiedades químicas del suelo, el contenido de nutrientes, de materia orgánica y en forma especial la reacción del suelo (pH), variables que incidirán en forma directa en la productividad de los suelos.

Algunas investigaciones indican que el tipo de cubierta arbórea influye notablemente sobre la acidez del suelo, así los suelos que sostienen bosques de coníferas tienden a ser más ácidos que aquellos en que crecen latifoliadas; en parte debido a que las hojas de coníferas y su litera aportan un menor contenido de bases (Pritchett 1991).

Por otro lado, estudios realizados por el Instituto Forestal (CORMA 1994) no son concluyentes respecto de esta afirmación, ya que los resultados encontrados no revelan una tendencia definida entre los promedios de pH de la capa superficial (0-5 cm) bajo *Pinus radiata* y bajo bosque nativo. En la región del Bio-Bio, el pH bajo *P. radiata* fue más bajo que en el bosque natural, mientras que lo contrario ocurrió en la región de Los Lagos. El estudio también señala que las plantaciones de eucalipto se adaptan extremadamente bien a los suelos ácidos, lo que no significaría que ellas acidifiquen el suelo.

El suelo es un medio dinámico, en donde se experimentan cambios permanentemente en el tiempo, por efecto de los factores de formación como el material generador, topografía, clima y la vegetación, especialmente el horizonte superficial, que está expuesto a su acción. Considerando el hecho que las plantaciones forestales forman parte de este dinamismo y además que ocupan vastas superficies en amplias condiciones de suelo, particularmente en la octava región, se plantea la necesidad de realizar estudios para dar a conocer como influyen éstas en algunas propiedades químicas del suelo.

En atención a los antecedentes anteriores, se realizó un estudio para determinar la modificación en la acidez y en otras propiedades químicas del suelo, provocado por las plantaciones de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* al contrastarlo con una cubierta de bosque nativo, en un suelo perteneciente a la serie San Esteban, en el fundo "La Cantera y el Guindo", de propiedad de la Universidad de Concepción, ubicado en la ciudad de Concepción.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

El objetivo general del estudio es determinar el efecto de tres cubiertas vegetales sobre ciertas propiedades químicas de un suelo granítico en la provincia de Concepción.

### **Objetivos específicos**

- Determinar la variación de la acidez de un suelo sometido a cambios en la cubierta forestal entre los rangos de profundidad de 0-15 cm y 15-30 cm.
- Determinar la variación en el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico efectiva, bases de intercambio y aluminio de intercambio, propiedades químicas del suelo relacionadas con las variaciones de pH, bajo las cubiertas en estudio y a profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.

## **1.1 Factores que influyen en la reacción del suelo.**

### **1.1.1 Clima.**

**1.1.1.1 Temperatura.** El efecto de las bajas temperaturas se ve reflejado en la disminución de la velocidad con que se descompone el material orgánico realizado por el ataque de los organismos del suelo, teniendo como consecuencia la disminución de los ácidos orgánicos originados en la metabolización de la materia orgánica.

**1.1.1.2 Precipitación.** Garrido (1993) señala que el pH está muy relacionado con otros factores del suelo que modifican la acidez. Por ejemplo, las precipitaciones elevadas tienden a lixiviar las bases del suelo, especialmente el calcio y por lo tanto, contribuyen a generar suelos ácidos.

Bajo condiciones de alta precipitación pluvial la percolación de agua a través del perfil es bastante intensa; de esta manera se lixivian gran cantidad de iones Ca, Mg, K y Na que se encuentran disueltos en la fase líquida del suelo. Estas bases son reemplazadas por iones hidrógenos  $H^+$  en el complejo de intercambio catiónico, produciéndose una paulatina acidificación (Millar et al. 1975).

**1.1.1.3 Lluvias ácidas.** Estas Generan el proceso de acidificación por deposición de ácidos fuertes, disueltos en la lluvia (Porta et al. 1994). El  $SO_2$  y  $NO_2$  liberados de la combustión del petróleo y de la industria del acero, en un momento dado pueden aumentar la acidez atmosférica dado que estos gases se oxidan en la atmósfera a  $HNO_3$  y  $H_2SO_4$ . En

regiones industriales es muy común lo que se conoce como lluvia ácida con valores de pH 3,5 o menos (Bornemisza 1982).

**1.1.2 Material parental.** La litología del material parental, como rocas pobres en bases; sedimentos con sulfuros, así como también los componentes del suelo (silicatos, óxidos de aluminio, fierro y ácidos solubles) contribuyen a la acidificación progresiva del suelo (Porta et al. 1994).

A medida que transcurre el tiempo y debido a procesos de lixiviación, el suelo va perdiendo elementos minerales que provienen de las rocas y son reemplazados por otro elemento químico llamado hidrógeno, el cual se acumula y produce un grado de acidez que variará según sea el clima (LIGNUM 1994).

Las reservas de nutrientes contenidos en el suelo dependen de la naturaleza de los materiales de origen. Al respecto puede producirse modificaciones en los nutrientes disponibles, tanto directamente, mediante su extracción por los árboles, como indirectamente a través de variaciones en el pH y de la inmovilización de ellos (Chijioke 1984).

**1.1.3 Vegetación.** La cubierta vegetal juega un papel relevante sobre la variación de la acidez del suelo, a través de la descomposición de la biomasa desprendida como consecuencia de los residuos de cosecha y restos de plantas que cumplen sus ciclos vegetativos al ser depositados en el

suelo, como también a través de la descomposición de la materia orgánica (humificación) y la actividad radicular.

Los suelos bajo cubierta forestal tienden a ser ácidos por naturaleza, en ellos se produce una gran acumulación de hojarasca y residuos vegetales, lo que se conoce como "mantillo". Este al descomponerse libera gran cantidad de ácidos orgánicos, causando una disminución en el pH del suelo, especialmente cuando en ellos crecen coníferas, las que en general crecen bien a pH más bajo que el adecuado para la mayoría de las latifoliadas, especialmente caducifolias (Donoso 1994).

**1.1.3.1 Materia orgánica y actividad radicular.** La acidificación del suelo está controlada fundamentalmente por dos variables importantes, la descomposición de la materia orgánica (humificación) y por la exudación de las raíces.

Durante la época de crecimiento, existe una constante liberación de iones  $H^+$  en el suelo, el mecanismo consiste en la producción de  $CO_2$  por la descomposición de la materia orgánica y la respiración de las raíces, en donde a partir del  $CO_2 + H_2O$  se forma productos como el  $HCO_3^- + H^+$  y  $COOH^- + H^+$  (Anderson et al. 1993). Este ion  $H^+$  liberado es el más activo en la sustitución catiónica, por lo tanto su formación ocasionaría el reemplazo de otros cationes del complejo coloidal (Millar et al. 1975). Los iones básicos (Ca, Mg, K, Na) al ser desplazados de las superficies de las arcillas quedarían disponibles para ser extraídos por las raíces y contribuir a alimentar a la planta o ser

lixiviados en el perfil, propiciando un ambiente más ácido (Toro 1994).

Pero aún así, después de cientos de años las especies forestales solo alteran en gran medida los horizontes superficiales del suelo, con poco impacto por debajo de los 25 cm de profundidad (Alban 1969).

## **1.2 Efecto de las plantaciones sobre las propiedades químicas del suelo.**

Las plantaciones forestales pueden afectar las propiedades químicas del suelo de dos formas, primero mediante el flujo de nutrientes desde el suelo hacia los árboles, a medida que crecen, y segundo, al producirse un cambio en las propiedades químicas como son el pH, las bases intercambiables y las características del piso forestal debido a la hojarasca y materia orgánica acumulada (Alban 1982).

**1.2.1 El pH.** En general las plantaciones de eucalipto se adaptan bien a los suelos ácidos, lo que no significa que éstas acidifiquen el suelo, ya que ello depende de las condiciones edafoclimáticas del sitio, las que determinan la tasa de mineralización de la materia orgánica acumulada en el piso y a su vez el pH del suelo. A mayores tasas de mineralización, mayor será el pH del suelo (CORMA 1995). En consecuencia, una misma especie tendrá efectos diferentes sobre el pH del suelo, dependiendo del sitio donde se establezca. Existen plantaciones de eucalipto que en suelos ácidos degradados han permitido mejorar el suelo, subir el

pH y reintroducir formaciones vegetales de especies nativas.

En Nueva Zelanda, el establecimiento de las plantaciones de *P. radiata* se ha realizado sobre suelos cuyo pH original fluctuaba entre 4,8 y 5,5. Después de dos rotaciones, el pH no ha variado a lo largo de 80 años (Toro 1994). No obstante se observa, en general, que las plantaciones de coníferas (*P. silvestris*, *Picea abies*) generan una disminución del pH debido a la formación de ácidos orgánicos que se producen por la lenta descomposición de la hojarasca de tipo Moor y Moor-Moder (ambos biológicamente inactivos), ocurriendo por consiguiente una lixiviación de bases de calcio y magnesio, favoreciendo el aumento y solubilización de compuestos de carácter ácido como el aluminio, fierro y manganeso (Francke 1993).

En rodales de *P. radiata* y bosque nativo, en suelos rojo arcillosos de Valdivia, Chile, Schlatter y Otero (1995), detectaron diferencias en el pH (en agua) del suelo mineral a una profundidad de 2 cm, los valores de pH en agua fueron de 5,3 bajo pino y 5,7 bajo bosque nativo. En cambio, tales diferencias no fueron detectadas en suelos derivados de cenizas volcánicas antiguas, tal como la serie Collipulli (Sadzawka y Carrasco 1985).

En Nueva Zelanda, Davis (1995) observó diferencias significativas en las propiedades químicas del suelo asociado con las especies. En muestras tomadas a 10 cm de profundidad de suelos de *P. radiata*, el pH medio fue de 4,8, más bajo respecto de suelos con cobertura de pradera.

Garrido(1993) señala que la acidez de los suelos con *P. radiata* no es muy diferente de las reacciones presentadas por los suelos cubiertos con bosque nativo, ya que todos los tipos de coníferas presentan suelos más o menos igualmente ácidos que los cubiertos con pino.

**1.2.2 Capacidad de intercambio catiónico y porcentaje de saturación de bases.** La reacción de la solución suelo, depende de tres factores muy diferentes entre sí: % saturación de bases, tipo de material coloidal y tipo de base dominante entre las bases intercambiables (Donoso 1994).

La reacción del suelo produce un efecto múltiple sobre los procesos de intercambio catiónico. Además de determinar las características de las cargas + o -, que se presentan en el complejo coloidal de cambio anfótero, determina la cantidad de cargas denominadas dependientes del pH; a mayor pH aumenta el número de cargas negativas.

La distribución de las bases cambiables y del Al y Mn de intercambio depende también del pH. A mayor acidez, mayor es la participación de Al y Mn dentro del complejo de cambio; su participación decrece en forma exponencial con el aumento del pH. La participación de las bases (Ca, Mg, K, Na) por lo contrario es más alta a valores más altos de pH (Fassbender 1987).

La suma de las bases cambiables (Ca, Mg, K, Na) expresadas como porcentaje de la capacidad total de intercambio

catiónico, constituye el porcentaje de saturación de bases. El porcentaje de acidez cambiante (Al e H y otros cationes en menor proporción) sería el complemento hasta 100. De esto se deriva que existe una correlación directa entre pH y porcentaje de saturación de bases (Fassbender 1987).

En suelos de Nueva Zelandia, se determinó que la conversión del bosque de *Eucalyptus* Spp, a *P. radiata* no causó variación alguna en los contenidos de los cationes de intercambio (Ca, Mg, K, Na), sin embargo, el aluminio de intercambio presentó valores significativamente más altos bajo los rodales de pino (Turner and Lambert 1988).

En suelos arenosos del sudeste de Australia, se encontró que en el horizonte A1 (0-25cm) los elementos fósforo, aluminio y fierro total son significativamente mayores bajo cubierta de *P. radiata* que de *E. globulus*, favoreciéndose una acidificación (Francke 1993). El mismo autor también menciona que la tendencia de los cationes intercambiables  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$ , bajo pino y eucalipto sugieren una lixiviación de estos elementos desde el horizonte A1 hacia los horizontes inferiores del perfil del suelo, especialmente en el suelo cubierto con *P. radiata* en el horizonte A3.

Algunas especies de eucalipto devuelven más nutrientes al suelo que plantaciones de especies nativas, en especial calcio, magnesio y potasio (CORMA 1995). Cuando son estas bases las que adsorben las micelas coloidales, se dice que el suelo está saturado de bases. En los suelos forestales, que son propios de regiones húmedas, se ha visto que las bases están siendo siempre reemplazadas por  $H^+$ , de modo que

prácticamente nunca en ellos se produce saturación de bases. Cuando ocurre que el  $H^+$  desplaza a todas las bases coloidales del suelo, se dice que el suelo está saturado de hidrógeno y se trata aquí de un suelo muy ácido (Donoso 1994).

**1.2.3 Aluminio de Intercambio.** Chaernot (1947), citado por Ortega (1987), reconoció que los minerales saturados con hidrógeno eran muy inestables y que rápidamente se descomponían, liberando Al, Mg y Fe. La concentración total de aluminio es fuertemente dependiente del pH y es mínima a pH cercanos a 7,0.

En general, la relación entre la reacción del suelo y la actividad del aluminio, hierro y manganeso, se ve cuando el pH de un suelo mineral es bajo, en estas condiciones apreciables cantidades de estos elementos son solubles, tanto más que pueden resultar tóxicas para ciertas plantas, no obstante, al aumentar el pH se produce la precipitación y los iones en solución resultan en menor cantidad (Buckman y Brady 1993).

La acidez intercambiable consiste de cualquier aluminio o hierro monoméricos, así como de cualquier hidrógeno intercambiable que pudiera estar presente en la solución. En forma gruesa o empírica se pueden separar el aluminio e hidrógeno intercambiable en función del pH del suelo, ya que el hidrógeno intercambiable se encuentra presente solamente a valores de pH menores a 4,0. En una forma semejante, el aluminio intercambiable se presenta en cantidades altas solamente a valores de pH cercanos a 5,5,

en tanto que en el rango de valores de pH de 5,5-7,0 la acidez intercambiable está virtualmente ausente (Bornemizza 1982).

**1.2.4 Materia orgánica.** La composición química de los residuos vegetales ejerce una gran influencia en el suelo, por ejemplo, los residuos de algunas coníferas ocasionan una reacción ácida, (a través del mantillo) mientras que los residuos de ciertas gramíneas o leguminosas, impiden que el suelo adquiriera una reacción fuertemente ácida (Raggi 1994)

Según Ortega (1987), la acidez del suelo puede ser producida por el residuo de las plantas o residuos orgánicos que al descomponerse generan ácidos orgánicos. Esto es de importancia en muchos suelos forestales, dado que los ácidos orgánicos son los responsables, en parte, de la disolución y movimiento del Fe, Al y Mn a través del perfil del suelo por debajo de las capas de vegetación forestal.

En un área de estudio realizados sobre los suelos de la serie Santa Bárbara, se encontró que la reaparición de la regeneración de especies latifoliadas, una vez que se rozó el bosque nativo, es muy fuerte y su consecuencia es que en un rodal de 12 años de *P. radiata* aún persistan especies acompañantes que hace que la litera sea menos ácida (Bosic et al. 1976). Los mismos autores señalan que el piso y la litera bajo bosque nativo presentan el valor más elevado de pH respecto de la plantación de *P. radiata*, lo que está de acuerdo a lo expresado por diversos autores que señalan que

los bosques de latifoliadas tienen mayor capacidad de acumular bases. También explican que las maderas duras, y más aún las coníferas, degradan el suelo por la remoción de nutrientes que se acumulan en el piso forestal inmovilizándolos en el humus y por ende empobreciendo el sitio (Haro et al. 1973), contrario a lo que pasa con especies como el eucalipto, donde la humificación del material retornado por esta especie es más fácil y rápida (Rosales 1993).



## II METODOLOGIA

### 2.1 Descripción del área de estudio.

**2.1.1 Ubicación.** El área de estudio se ubica en la octava región, provincia de Concepción, comuna de Concepción, ciudad de Concepción, en el predio "La Cantero y el Guindo" de propiedad de la Corporación de la Universidad de Concepción, cuyas coordenadas son 36° 50'S de latitud y 73°3'W de longitud.

**2.1.2 Vegetación.** Se encuentra representada por bosque nativo, plantaciones exóticas de *P. radiata* y *E. globulus* destinadas a la producción.

**2.1.2.1 Bosque nativo:** En su mayoría el bosque nativo del predio ha sido reemplazado por las plantaciones, encontrándose principalmente en zonas de protección de quebradas, y está constituido por especies como: *Peumus boldus* (Boldo), *Cryptocaria alba* (Peumo), *Quillaja saponaria* (Quillay), *Persea lingue* (Lingue), *Embothrium coccineum* (Notro), *Nothofagus obliqua* (Roble), (Anexo 1).

**2.1.2.2 Pinus radiata:** Plantación establecida el año 1985 en una superficie de 4,9 ha, sometida a poda que actualmente alcanza a los 6 metros, la densidad actual de la plantación es de 1225 árb/ha, hecho que ha permitido la aparición de un variado sotobosque que pudiera influir sobre las propiedades del suelo constituido principalmente por *Teline monspessulana* (Retamillo), *Rubus ulmifolius* (Zarzamora), *Aristotelia chilensis* (Maqui), *Cryptocaria alba* (Peumo) y otras, (Anexo 1).

**2.1.2.3 Eucalyptus globulus:** plantación establecida el año 1985 en una superficie de 3,9 ha, sin información de manejo silvícola. La densidad actual de la plantación es de 1520 árb/ha. El sotobosque se encuentra constituido por *T. monspessulana* (Retamillo), *R. ulmifolius* (Zarzamora) y *Acacia melanoxylon* (Aromo australiano). Las especies fueron identificadas por un inventario realizado en terreno, (Anexo 1).

**2.1.3 Clima.** El predio se encuentra ubicado en la zona de clima templado cálido, de la cordillera de la costa, con una amplitud térmica moderada. El sector presenta un régimen pluviométrico medio anual de 1197,3 mm con una distribución estacional marcada por un invierno lluvioso (50% pp) y verano seco (6% pp). La temperatura media anual es de 12,2°C, con una media máxima de 18,3°C en enero y una media mínima de 7,18°C en julio, según datos proporcionados por la estación experimental Bellavista de la Universidad de Concepción.

Tabla 1. Distribución de la precipitación (Pp) media mensual (mm) y de temperaturas medias (T°m), mínimas (T°mín) y máximas (T°máx) mensuales (°C).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Pp Media	18,8	16,3	25,1	73,2	207,7	245,2	229,5	148,5	86,4	71,7	41,7	33,9
T° Media	16,4	15,7	14,1	11,9	10,6	9,2	8,6	8,7	9,8	11,5	13,5	15,4
T° Mín Media	9,3	9,2	8,3	7,3	7,2	6,2	5,4	5,2	5,5	6,3	7,5	8,9
T° Máx Media	23,2	22,9	21,3	18,7	15,7	13,7	13,2	14,0	15,5	17,1	19,5	21,6

Fuente: Estación meteorológica Bellavista, Universidad de Concepción (36.47°S, 73.07°W), período 1965-1997.

**2.1.4 Suelos.** Los suelos del área sujeta a estudio se encuentran clasificados, según la clasificación taxonómica de suelos U.S.D.A. (United States Department of Agriculture), en el orden Alfisols, suborden Xeralfs, grupo de los suelos Graníticos, de la serie San Esteban (Carrasco et al. 1993).

Los materiales que han originado estos suelos son rocas graníticas, dioritas cuarzosas o material intrusivo muy rico en cuarzo (Carrasco et al. 1993). Estos son suelos de posición media a alta, su topografía es montañosa con perfiles profundos, pendientes variables y complejas disectadas por quebradas. La Capacidad de Uso del suelo es VII, que corresponde a uso preferentemente forestal.

Los suelos que pertenecen a este grupo presentan colores pardo oscuro en los horizontes superiores, estructuras granulares a bloques subangulares, ligeramente plásticos y adhesivos en mojado, duros y compactos en seco. Los horizontes más profundos tienen texturas arcillosas con presencia de grava cuarzosa; estructura de bloques subangulares a prismáticas. Estos son suelos profundos, con perfiles arcillosos densos muy compactos, con fuerte proceso erosivo laminar y zanjas, lo que limita su calidad (Anexo 3).

La VIII región presenta una gran superficie de plantaciones forestales las que a su vez están ubicadas sobre una gran variedad de condiciones de suelo. Fundamentalmente son suelos derivados de materiales graníticos y metamórficos, que conforman la cordillera de la costa. En este grupo de

suelos graníticos se destacan dos series de importancia forestal, la serie San Esteban(ET) que se ubica en la parte superior de la cordillera de la costa y la serie Cauquenes(CQ) que se ubica en la vertiente interior de la misma unidad geomorfológica. En gran parte de ellas se han establecido plantaciones, de ahí la importancia respecto de la productividad de los suelos particularmente en aquellos en que la fertilidad depende de las propiedades químicas(Anexo 3).

El pH de estos suelos es moderadamente ácidos 5,81 y 5,90 con escasos cambios en profundidad. El contenido de materia orgánica fluctúa entre bajo y medio(2,41%) decayendo en profundidad (1,43% y 1,04%); El potasio y el calcio presentan niveles bajos, es decir, inferiores a 0,3 y 5 meq/100g de suelo respectivamente, decayendo levemente hacia los horizontes inferiores del suelo.

**2.2 Selección de áreas de estudio.** La selección de los sitios de estudio se hizo tomando en cuenta un rodal de pino, eucalipto y vegetación nativa. Estos sitios son homogéneos en ciertas características como exposición, pendiente y posición en la pendiente, para minimizar la influencia de variables ajenas al estudio. El área seleccionada se ubica en la parte media de la pendiente para evitar el efecto de arrastre y acumulación de materiales que ocurren en la cima y parte baja del cerro.

**2.3 Muestreo y análisis estadístico.**

**2.3.1 Obtención de la muestra y método de muestreo.** Se tomaron muestras de suelo con el fin de realizar los

análisis químicos de las variables para cumplir con los objetivos del estudio. Para ello se extrajeron muestras compuestas (tres por profundidad) de tres sub-unidades de suelo de aproximadamente 250 gramos tomadas entre 0-15 cm y 15-30 cm de profundidad por cubierta, que luego fueron llevados al laboratorio para su análisis. Para este estudio se aplicó un muestreo aleatorio simple a cada especie.

**2.3.2 Análisis estadístico.** Para la interpretación de los resultados se utilizó, la Prueba F de Fisher (tabla Anova) y la Prueba de Tukey, con un nivel de significancia de 95%.

- Prueba de F ( $p < 5\%$ ), comparación de medias para determinar si existe diferencia significativa entre los tipos de cubierta.
- Prueba de F ( $p < 5\%$ ), comparación de medias para determinar si existe diferencia significativa entre las profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.
- Prueba de Tukey ( $p < 5\%$ ), para determinar cual es la variación entre los tipos de cubierta.
- Prueba de Tukey ( $p < 5\%$ ), para determinar cual es la variación entre las profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.

**2.4 Método de análisis químico.** El análisis de las propiedades químicas del suelo fueron realizados:

- En el laboratorio de suelo de la Facultad de ciencias Forestales, Concepción.
- En el Departamento de suelos de la Facultad de Agronomía, Chillán.

**2.4.1 Reacción del suelo.** El pH del suelo se determinó con un pH-metro (método Potenciométrico), usando la proporción de suelo:agua de 1:2,5 (Anexo 4).

**2.4.2 Materia orgánica.** Se determinó mediante combustión húmeda y colorimetría en dicromato de potasio (Anexo 4).

**2.4.3 Cationes de intercambio.** El calcio y magnesio se determinaron mediante espectroscopia de absorción atómica. El potasio y sodio mediante espectroscopia de emisión atómica. La unidad de medida utilizada es miliequivalentes en 100 gramos de suelo seco al aire (Anexo 4).

**2.4.4 La Capacidad de intercambio catiónico.** Se calculó con los datos obtenidos del análisis químico de suelo (cationes de intercambio), obteniendo la capacidad de intercambio catiónico efectiva.

Fórmula utilizada:  $C.I.C.E. = \Sigma [ Ca^{2+}, Na^+, K^+, Mg^{2+} ]$   
(meq/100g).

(CICE: capacidad de intercambio catiónico efectiva).

**2.4.5 Aluminio de intercambio.** Se determinó a través de la extracción del aluminio con cloruro de potasio (KCl) 1N. (espectroscopia atómica). La unidad de medida utilizada es (ppm) y (meq/100g).

**2.4.6 Porcentaje de saturación del aluminio.** Se calculó usando los datos de los cationes y aluminio de intercambio.

% de sat. del aluminio =  $Al(meq) * 100 / \Sigma [Ca, Mg, K, Na, Al]$ .

### III RESULTADOS Y DISCUSION

#### 3.1 Efecto del cambio de cubierta vegetal sobre las propiedades químicas del suelo.

Tabla 2. Resultado promedio de los análisis químicos, por tipo de cubierta y profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.

PROPIEDADES QUÍMICAS	B. NATIVO		PINO		EUCALIPTO	
	0-15	15-30	0-15	15-30	0-15	15-30
Reacción del suelo (pH)	5,15	4,99	5,86	5,77	5,82	5,49
Capacidad de intercambio catiónico efectiva (meq/100g)	3,77	2,17	10,29	7,91	4,53	3,34
Aluminio de intercambio (ppm)	143,24	218,95	19,48	41,95	66,82	124,96
Saturación del aluminio (%)	29,66	52,92	2,09	5,60	14,04	29,44
Materia orgánica (%)	7,55	4,37	5,85	3,51	5,42	4,11
Cationes de intercambio (meq/100g)						
Ca	2,17	0,84	6,59	4,46	2,41	1,33
Mg	1,12	0,92	2,77	2,70	1,33	1,23
K	0,21	0,14	0,50	0,42	0,47	0,38
Na	0,27	0,27	0,42	0,33	0,32	0,39

##### 3.1.1 Reacción del suelo (pH) .

En la tabla 2 se presentan los valores de pH al agua para cada sitio y profundidades 0-15 cm y 15-30 cm en estudio. Al observar esta tabla, en general se puede apreciar que los suelos bajo las tres cubiertas vegetales son ácidos, así también se observa variación en el pH entre las cubiertas. Los valores oscilan en un rango que va desde

5,86 a 5,15 en la profundidad 0-15 cm, tendencia que se mantiene a la profundidad 15-30 cm, ver figura 1.

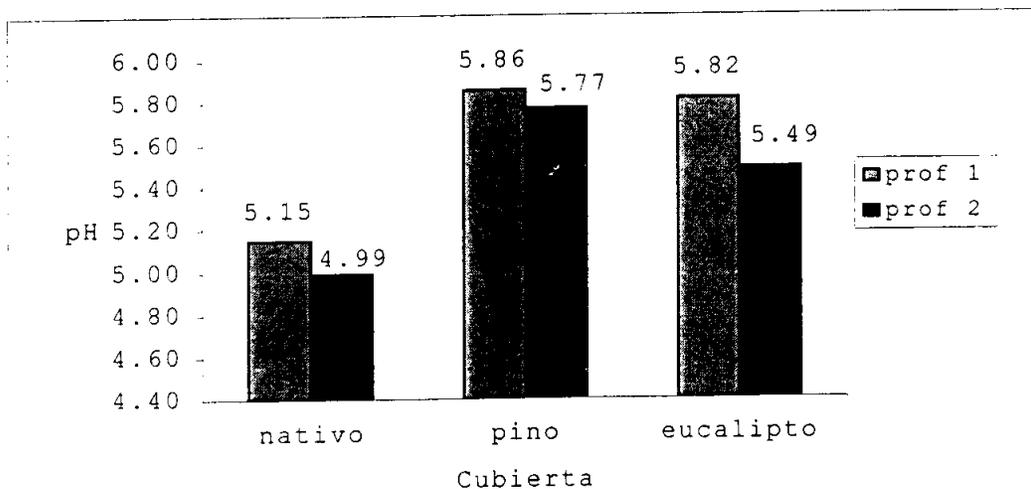


Figura 1. Variación del pH en función de la cubierta vegetal a profundidades de 0-15 cm y 15-30 cm.

Al ver la figura 1 se aprecia que la plantación de *P. radiata* presenta un valor de pH 5,86 unidades, que es más alto respecto del valor de pH de 5,15 encontrado en el bosque natural, similar situación se encontró en suelo cubierto con *E. globulus* con un valor de pH 5,82 unidades, que es levemente inferior a la encontrada en la otra plantación. La tendencia del pH en el suelo también es evidente a 15-30 cm, a esta profundidad las plantaciones de pino y eucalipto presentan nuevamente los valores más altos de pH, 5,77 y 5,49 unidades respectivamente, en tanto bajo bosque natural disminuye en 0,16 unidades y alcanza un valor pH promedio de 4,99 unidades en la profundidad 15-30 cm.

El suelo cubierto con la plantación de *P. radiata* presenta los valores más altos de pH en la profundidad 0-15 cm, lo

que se explicaría por el efecto protector de la cubierta sobre los primeros centímetros del suelo, la vegetación acompañante y la gran cantidad de litera que existe en la superficie del suelo que impide el escurrimiento y lavado de las bases del estrato superficial de suelo (tabla 2B del Anexo 1). Haro et al. (1973), señalan que al comparar varios rodales de pino, encontraron que la plantación de pino que presenta una litera de naturaleza menos ácida es aquella que proviene desde otras especies diferentes y abundantes, cuyo establecimiento obedece a la abertura del dosel.

El valor de pH encontrado en el suelo cubierto con vegetación nativa se debe en parte a acumulación de materia orgánica no mineralizada y a la baja capacidad de intercepción de la precipitación por parte de la cubierta, esto permitiría que llegara más agua al suelo y contribuiría a mantener una alta tasa de acidificación por la mayor lixiviación de las bases en el perfil, estos valores concuerdan con los datos por Toro (1986), citado por Toro (1994), (tabla 10B del Anexo 3).

El valor de pH encontrado bajo la plantación de eucalipto se debería al aporte de la hojarasca, mediante la cual se liberan nutrientes, mejorando estas características químicas del suelo. Pritchett (1991), señala que las latifoliadas aumentarían el pH del suelo por contener una mayor cantidad de bases en sus hojas, además como informa un estudio realizado por Madeira (1989), citado por Carrasco (1995), que señala que después de 2 años de descomposición in "situ" de las hojas de eucalipto, hubo un aumento de la

suma de las bases principalmente debido a una acumulación de calcio sobre la roca madre a 15 cm de profundidad, lo que produjo un aumento en la saturación de las bases y en el valor del pH.

El análisis de varianza ( $p < 5\%$ ) detectó diferencia significativa para los valores de pH entre las cubiertas, también encontró diferencia significativa para los valores de pH entre las profundidades 0-15 cm y 15-30 cm para las tres cubiertas (Tabla 1A del Apéndice).

La prueba de Tukey ( $p < 5\%$ ) indica que existe diferencia significativa para el pH, entre el bosque nativo y la plantación de *P. radiata*, también entre el bosque nativo y la plantación de *E. globulus*, Tukey ( $p < 5\%$ ) también indica que existe diferencias significativas para el pH entre la profundidad 0-15 cm y 15-30 cm para las tres cubiertas (Tablas 6A y 11A del Apéndice).

### **3.1.2 Materia orgánica.**

La tabla 2 presenta los contenidos de materia orgánica (%) para los sitios estudiados, a las profundidades 0-15 cm y 15-30 cm. En la tabla se aprecia que la mayor acumulación de materia orgánica se alcanza en la estrata superficial de suelo mineral y decrece con la profundidad del suelo, bajo las tres cubiertas forestales en estudio. Este hecho concuerda con la bibliografía, la cual cita que en la mayoría de los suelos forestales el material orgánico se encuentra concentrado en los primeros 5 centímetros del suelo (Donoso 1994).

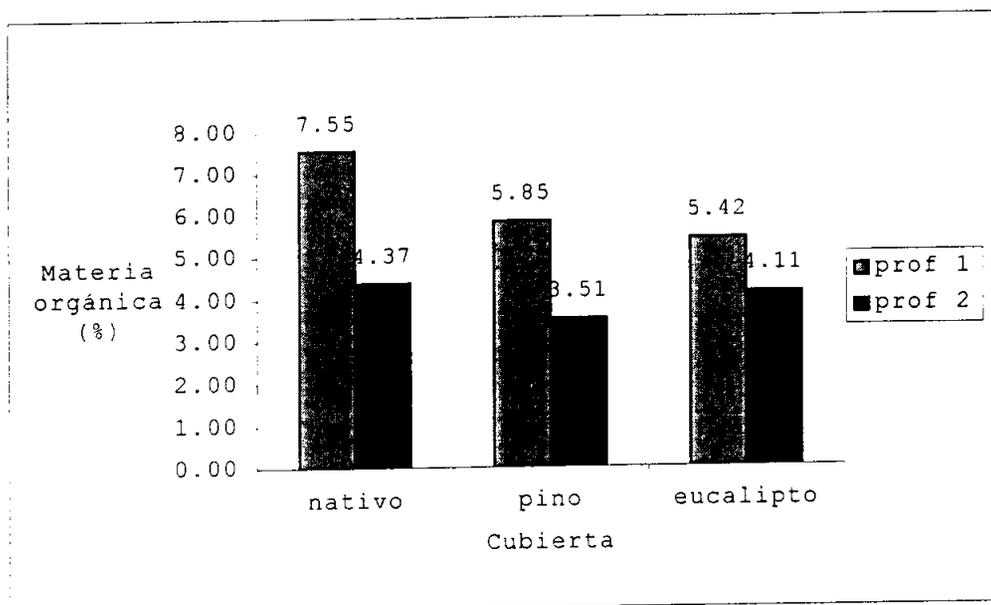


Figura 2. Contenido de materia orgánica del suelo en función de la cubierta vegetal y a profundidad 0-15 cm y 15-30 cm.

En la figura 2, se observa que el contenido de materia orgánica varía con el cambio de la vegetación presente en el sitio, la acumulación de materia orgánica es menor en ambas plantaciones con valores de 5,85(%) bajo pino y 5,42(%) en eucalipto, respecto a lo encontrado en el suelo bajo vegetación natural donde el porcentaje de materia orgánica registrado alcanza el 7,55(%). Entre las plantaciones el suelo con pino registró un valor levemente superior al encontrado bajo eucalipto. En la profundidad 15-30 cm esta tendencia es inversa ya que bajo la plantación de eucalipto se observa un contenido de materia orgánica levemente superior a la de pino. Se puede señalar que a esta profundidad los contenidos de materia orgánica se presentan más constantes variando solo un 11% entre las diferentes cubiertas.

El porcentaje de materia orgánica más alto se encuentra bajo la cubierta de vegetación nativa (7,55%), esto se explicaría por la acumulación de material orgánico humificado e incorporado naturalmente al suelo, proveniente del aporte de una variada vegetación que se encuentra en el sitio, además esta acumulación se explicaría por el tiempo en el cual la vegetación se encuentra presente en el sitio (Anexo 1).

En la plantación de pino se encontró un contenido de materia orgánica de 5,85%. Si bien este valor representa un porcentaje menor que el registrado en la cubierta nativa, es importante y se explicaría por el manejo realizado en el rodal con una alta densidad de plantación inicial que permitió la acumulación de restos orgánicos y la protección del suelo, también actividades tempranas de poda y raleo favorecieron la aparición de vegetación arbustiva que aporta una importante cantidad de material orgánico al suelo (Anexo 1). Esto concuerda con las observaciones de Bosic et al. (1976) quienes encontraron que debido a la abertura del dosel arbóreo favoreció el aumento de materia orgánica.

El contenido de materia orgánica del suelo bajo eucalipto, es similar al encontrado en la plantación de pino con un porcentaje que alcanza el 5.42%, este hecho se explicaría al aporte de restos vegetales y litera por parte de la plantación y de la vegetación acompañante (Anexo 1). Además es característico de la especie que por ser latifoliada tiene una rápida tasa de descomposición e incorporación del material orgánico al suelo mineral, situación que concuerda

con lo encontrado con por Jha y Pande (1980), citados por Rosales (1993) quienes al comparar literas de distintas especies y de eucalipto, determinaron que ésta última se descomponía más rápidamente, facilitando la disponibilidad de nutrientes.

El análisis de varianza y la prueba de Tukey(5%) determinó que no existe diferencia significativa para el contenido de materia orgánica entre la cubierta natural y las plantaciones, tampoco entre ellas. Se encontró diferencias significativas para los contenidos de materia orgánica entre las profundidades estudiadas (tablas 2A, 7A y 12A del Apéndice).

### **3.1.3 Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) .**

La tabla 2 presenta los valores de la capacidad de intercambio catiónico efectiva para los sitios y profundidades en estudio. De la tabla se aprecia que la capacidad de intercambio catiónico disminuye con la profundidad del suelo bajo las tres cubiertas y está de acuerdo al comportamiento del pH a esta misma profundidad (comparar las figuras 1 y 3), la tendencia se mantiene a la profundidad 15-30 cm.

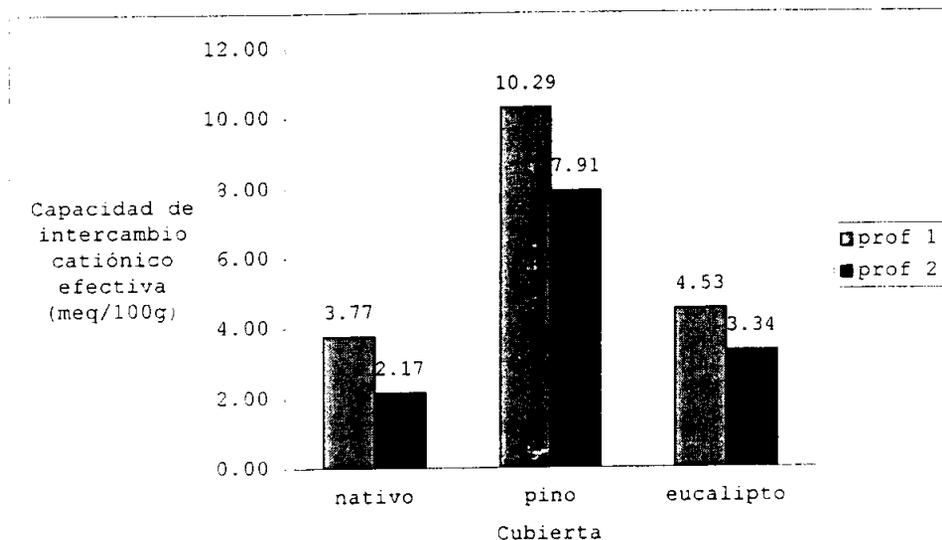


Figura 3. Variación de la capacidad de intercambio catiónico efectiva en función de la cubierta vegetal a profundidades de 0-15 cm y 15-30 cm.

En la plantación de *P. radiata* se observan los valores más altos de la capacidad de intercambio catiónico 10,29 (meq/100g) respecto de lo encontrado en suelo bajo cubierta nativa con 3,77 (meq/100g). El suelo bajo la plantación de *E. globulus* también presenta una mayor capacidad de intercambio, pero de menor magnitud comparado con lo alcanzado bajo *P. radiata*, al registrar 4,53 (meq/100g) de suelo.

El efecto de remplazo de la vegetación sobre la profundidad 15-30 cm, presenta una tendencia similar al estrato superficial, ya que nuevamente la plantación de pino presenta una mayor capacidad de intercambio con un valor de 7,91 (meq/100g). Siguiendo la misma tendencia a aumentar levemente en la plantación de eucalipto con un valor de 3,34 (meq/100g), respecto al bosque nativo.

La mayor capacidad de intercambio catiónico efectiva, bajo la plantación de pino, que se observa en la figura 3, se relaciona directamente con los valores de pH registrados bajo la misma cobertura, la gran cantidad de litera acumulada y el aporte de materia orgánica incorporada al suelo por parte de la vegetación acompañante explicaría el cambio en ésta característica química del suelo (Anexo 1), y estaría de acuerdo con algunos investigadores que señalan que entre 30 y 60% de la capacidad de intercambio catiónico de los suelos proviene de los contenidos de materia orgánica (Flores 1998).

La baja capacidad de intercambio catiónico efectiva en el suelo cubierto con vegetación nativa estaría directamente relacionado al efecto del pH, donde la gran acumulación de materia orgánica y al mayor paso del agua al perfil del suelo debido a la baja capacidad de intercepción de la precipitación por parte de la cubierta, contribuye a mantener una alta tasa de acidificación, sumado a un aumento en la hidrólisis de aluminio y por consecuencia que este ion ocupe los sitios de intercambio, al desplazar las bases del suelo. Este hecho concuerda con lo dicho por Pritchett and Fischer (1987), quienes dijeron que algunos productos de la descomposición de la materia orgánica pueden actuar como quelatos que facilitan la hidrólisis del aluminio, además que el resultado de la liberación de ácidos orgánicos durante la descomposición de la capa litter provoca la consiguiente lixiviación de bases del suelo mineral.

En la plantación de eucalipto la capacidad de intercambio catiónico es levemente mayor respecto al bosque natural. Esto se produce como consecuencia de un pH más alto y también se debería a que esta especie, como se mencionó anteriormente, tiene una rápida tasa de descomposición del material orgánico e incorporación de materia orgánica al suelo, pero también tiene un alto consumo de nutrientes al ser extraídas por la actividad radicular sobre todo en la profundidad 15-30 cm.

El análisis de varianza ( $p < 5\%$ ) determinó que existe diferencia significativa para la capacidad de intercambio catiónico efectiva entre las cubiertas, en cambio no se detectó diferencias significativas entre las profundidades para las cubiertas estudiadas (Tabla 3A del Apéndice).

La prueba de Tukey ( $p < 5\%$ ) indica que existe diferencia altamente significativa para la capacidad de intercambio catiónico efectiva entre la cubierta nativa y la plantación de pino, también existe diferencia significativa entre la plantación de pino y la plantación de eucalipto, en ambas profundidades, (tablas 8A y 13A del Apéndice).

#### **3.1.4 Cationes de intercambio.**

La tabla 2 muestra los valores de algunos cationes de intercambio del suelo, expresados en meq/100g de suelo, para la situación en estudio. Respecto a los valores encontrados se puede observar en la figura 4, que el calcio y el magnesio (figura 5A, Apéndice) son los cationes más abundantes bajo las tres cubiertas vegetales, en ambas profundidades, y concuerda con la literatura que señala que

estas bases son las dominantes en los suelos de regiones templadas (Waring y Schlesinger 1985, citados por Flores 1998).

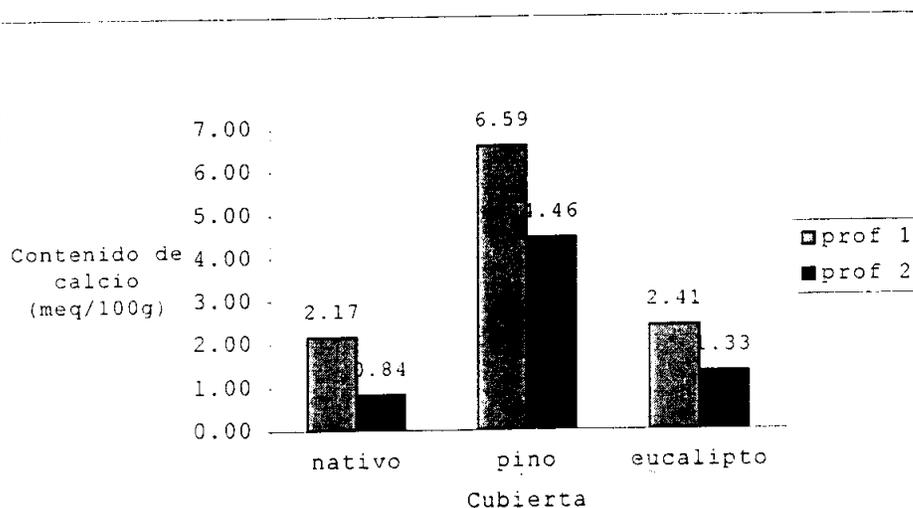


Figura 4. variación del contenido de calcio en el suelo en función de la cubierta vegetal a profundidades de 0-15 cm y 15-30 cm.

Se aprecia un mayor valor del contenido de calcio en el suelo bajo la plantación de *P. radiata* 6,59 (meq/100g) al compararlo con el suelo de la cubierta nativa el cual registra un valor de 2,17 (meq/100g). Esta base también es mayor bajo la cubierta de *E. globulus*, no obstante es inferior al alcanzado bajo *P. radiata*, ya que registra un contenido de 2,41 (meq/100g). El comportamiento es similar en ambas profundidades como muestra la figura 4 y sigue la misma tendencia de la capacidad de intercambio catiónico (figura 3).

Los valores de calcio intercambiable que se observan bajo las plantaciones de pino y eucalipto, se deberían a los mismos factores que influyen en la capacidad de intercambio catiónico, ya que ambas variables se encuentra muy ligadas.

El análisis de varianza y la prueba de Tukey(5%), indica que existe diferencia altamente significativa para los valores de calcio de intercambio entre el bosque nativo respecto de la plantación de pino y entre esta última y la plantación de eucalipto, en tanto no existe diferencia significativa entre las profundidades para las tres cubiertas estudiadas (tablas 4A, 9A y 14A del Apéndice).

### 3.1.5 Aluminio de intercambio.

La tabla 2 presenta los contenidos de aluminio de intercambio para los sitios y profundidades en estudio. En la tabla se puede observar que el aluminio aumenta con la profundidad, lo mismo ocurre con el porcentaje de saturación del aluminio, situación contraria a lo que se encontró en las otras variables químicas estudiadas, también como se aprecia en la figura 5, el aluminio de intercambio varía fuertemente con el cambio de cubierta en ambas profundidades, (ver figura 5).

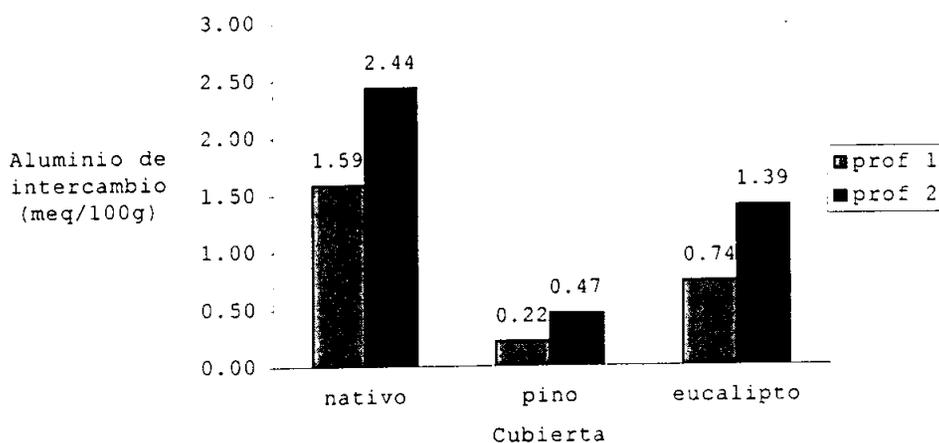


Figura 5. Variación del aluminio de intercambio en función del tipo de cubierta vegetal para profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.

Se aprecia en la figura 5 que el menor contenido de aluminio de intercambio se encuentra bajo la plantación de pino con un valor de 0,22 (meq/100g) en la profundidad 0-15 cm, al compararlo con el encontrado bajo cubierta nativa que registró un contenido de 1,59 (meq/100g), también se observa que el aluminio de intercambio aumenta en la profundidad 15-30 cm en ambas cubiertas, sin embargo, la tendencia se mantiene con un valor de 0,47 (meq/100g) bajo pino y 2,44 (meq/100g) bajo bosque nativo. Este alto contenido de aluminio de intercambio encontrado bajo cubierta nativa se debería a que en esta cubierta se encuentran los valores más altos de acidez, que sería atribuido al mayor paso de agua al perfil del suelo y a la liberación de ácidos orgánicos, estos ácidos producidos son agentes importantes de intemperización y productores de acidez del suelo, y además algunos productos de la descomposición de la materia orgánica pueden actuar como quelatos que facilitan la descomposición de las arcillas y la hidrólisis del aluminio.

El contenido de aluminio de intercambio en la plantación de eucalipto alcanza un valor de 0,74 (meq/100g) en la profundidad 0-15 cm y aumenta a 1,39 (meq/100g) en la profundidad 15-30 cm, como se aprecia el contenido de aluminio de intercambio también es menor con respecto al encontrado en bosque nativo, y es levemente superior a lo encontrado bajo pino, esto se debe también a que la acidez encontrada es levemente más alta que bajo la plantación de pino.

El análisis de varianza ( $p < 5\%$ ) detectó una diferencia altamente significativa para el contenido de aluminio de intercambio entre las cubiertas vegetales, no se encontró diferencia entre las profundidades para las tres cubiertas (Tabla 5A del Apéndice).

La prueba de Tukey ( $p < 5\%$ ) encontró que existe diferencia significativa para el contenido de aluminio de intercambio, entre el bosque natural y la plantación de pino, no ocurre esto con la plantación de eucalipto. Además muestra que no existe diferencia estadística significativa entre las profundidades 0-15 cm y 15-30 cm (tablas 10A y 15A del Apéndice).

### **3.2 Relación entre el pH y algunas propiedades químicas del suelo bajo las cubiertas en estudio.**

Los resultados de la tabla 2, muestra que el cambio de cubierta vegetal influye en el grado de acidificación que adquiere el suelo y que esta diferencia se extiende a las dos profundidades estudiadas. También se puede inferir que la acidez del suelo tiene una influencia importante y está directamente relacionado al comportamiento de otras propiedades del suelo como la acumulación materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico efectiva, el aluminio y las bases de intercambio.

La tendencia general de los valores de pH y las otras propiedades químicas del suelo en las profundidades 0-15 cm y 15-30 cm es similar (Figuras 1A, 2A, 3A, 4A y 5A del

Apéndice), por ello se verá su relación en forma general tomando la profundidad 0-30 cm.

Tabla 3. Resultado promedio de los análisis químicos de muestras, por tipo de cubierta y profundidad 0-30 cm.

PROPIEDADES QUÍMICAS (CM)	B. NATIVO 0-30	PINO 0-30	EUCALIPTO 0-30
Reacción del suelo (pH)	5,07	5,82	5,65
Capacidad de intercambio catiónico efectiva (meq/100g)	2,97	9,10	3,93
Aluminio de intercambio (ppm)	181,09	30,71	95,89
Materia orgánica(%)	5,96	4,68	4,76
Cationes de intercambio (meq/100g) Ca	1,50	5,52	1,87

La figura 6 muestra que no existe una tendencia clara con respecto a la relación entre el pH y el contenido de materia orgánica del suelo ya que al observar los resultados encontrados bajo las plantaciones de pino y eucalipto, un pH mayor no indica un mayor contenido de materia orgánica y viceversa. Esto se debería a otros factores que actuarían como agentes productores de acidez del suelo, que también limitaría la actividad de muchos organismos del suelo, lo que genera a su vez una acumulación o disminución de material incorporado al suelo.

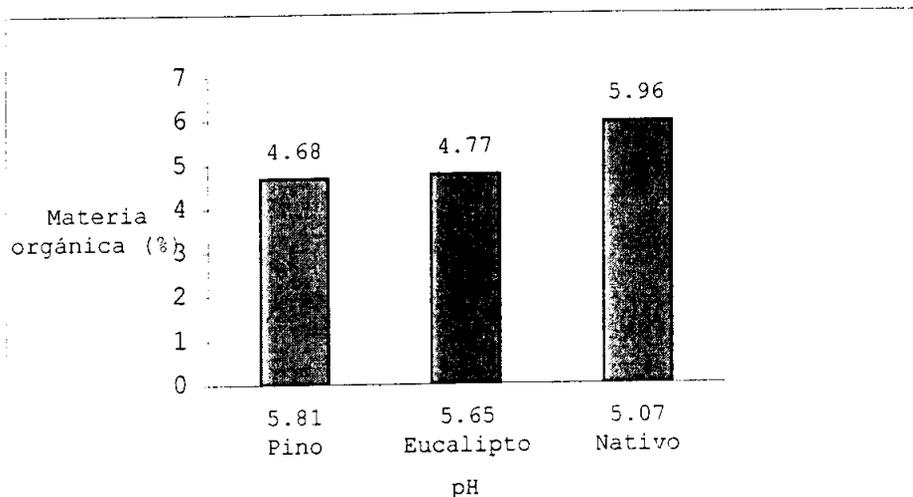


Figura 6. Relación entre pH y contenido de materia orgánica entre (0-30) cm de profundidad.

Respecto de la relación entre la acidez y la capacidad de intercambio (figura 7), se puede ver que existe una relación directa entre ellas, ya que al disminuir el pH la capacidad de intercambio catiónico efectiva también disminuye. Este hecho coincide a lo encontrado por Pritchett (1991), donde la capacidad de intercambio catiónico de los suelos forestales ácidos se componen sobre todo de cargas dependientes del pH, y que estas cargas dependen de los grupos carboxilos y los fenólicos de la materia orgánica del suelo y de la ionización del hidrógeno de los grupos  $\text{OH}^-$  a lo largo de las orillas irregulares de las rejillas de arcilla.

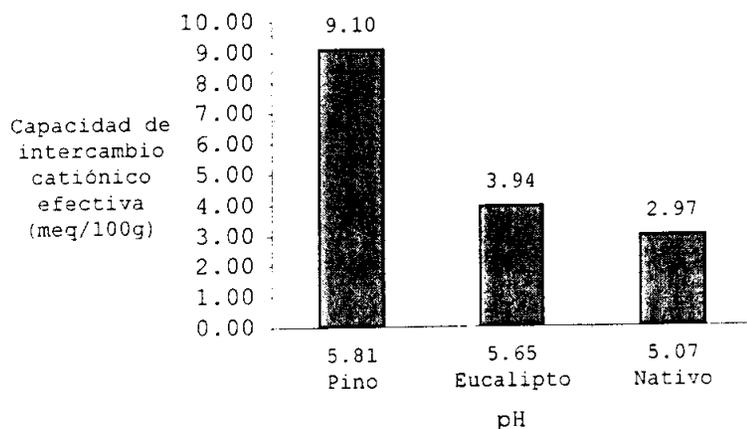


Figura 7. Relación entre pH y capacidad de intercambio catiónico efectiva entre (0 - 30) cm de profundidad.

El mismo hecho ocurre con la relación entre la acidez y las bases de intercambio (figura 8), se puede ver que existe una relación directa entre ellas, ya que al disminuir el pH el calcio de intercambio también disminuye, y la respuesta a la acidez concuerda con lo que ocurre con la capacidad de intercambio catiónico efectiva.

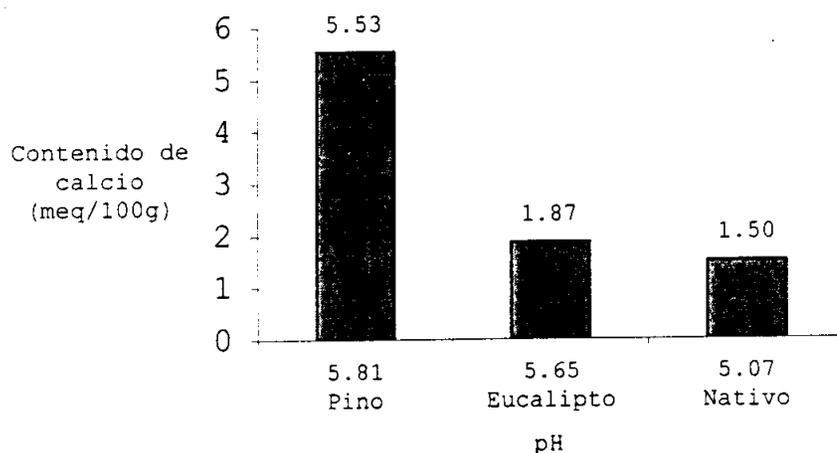


Figura 8. Relación entre pH y el contenido de calcio entre (0 - 30) cm de profundidad.

La tendencia observada está de acuerdo a Anderson and Ingram (1993), que señala que cuando el suelo se acidifica (pH 7 a 3), existen cambios respecto a las siguientes propiedades, disminución de las cantidades de calcio y magnesio intercambiables, esto junto a potasio, sodio y amonio.

La relación entre el pH y el aluminio de intercambio, es diferente a como ocurre con las otras propiedades químicas del suelo, al observar la figura 9 se aprecia que existe una relación inversa entre estos dos factores, al disminuir el pH aumenta el aluminio de intercambio.

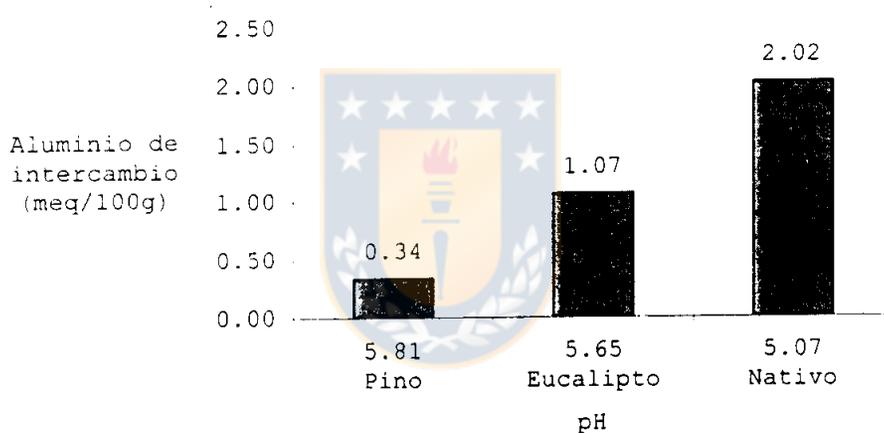


Figura 9. Relación entre pH y aluminio de intercambio entre (0-30) cm de profundidad.

Franke (1993), señala que al ser lixiviadas las bases en el perfil del suelo, las zonas de intercambio son ocupadas por aluminio e hidrógeno y lo que resulta entonces es un suelo más ácido, de modo que la disponibilidad de elementos tóxicos, por ejemplo el aluminio y el manganeso, se hacen más solubles en soluciones ácidas. En un estudio hecho en el sur este de Australia, se determinó que la baja disponibilidad de este elemento se encuentra en rangos de pH del suelo entre 5,5 y 6,5 unidades (Boardman 1988).

#### IV CONCLUSIONES

Del estudio se concluye lo siguiente:

1. Existe variación de la acidez del suelo como consecuencia del cambio de cubierta, es así que bajo las plantaciones de *P. radiata* y *E. globulus*, se presentan los valores más altos de pH respecto del bosque natural.
2. El suelo bajo la plantación de *P. radiata* presenta el valor más alto de pH, en ambas profundidades, y es levemente superior al encontrado bajo la plantación de *E. globulus*.
3. El análisis de varianza y prueba Tukey, muestra que existe diferencia estadística significativa para el valor de pH, entre la cubierta nativa y ambas plantaciones, en las dos profundidades en estudio.
4. Existe variación en el contenido de materia orgánica en el suelo bajo las cubiertas estudiadas. El suelo bajo bosque natural presenta la mayor acumulación de materia orgánica en ambas profundidades respecto a lo encontrado bajo las plantaciones de pino y eucalipto. También se encontró que los mayores contenidos de materia orgánica del suelo se registraron en la profundidad 0-15 cm para las tres cubiertas.

5. El análisis de varianza y prueba Tukey, muestra que no existe diferencia significativa para el contenido de materia orgánica, entre la cubierta nativa y las plantaciones, en cambio si existe diferencia significativa entre las profundidades para las tres cubiertas.
6. Existe variación de la capacidad de intercambio catiónico efectiva y calcio intercambiable en el suelo bajo las tres cubiertas vegetales, los valores más altos se presentaron bajo la plantación de pino y en los primeros centímetros de suelo al igual que el pH, concluyendo de ello la dependencia que existe de ambas variables de la acidez del suelo.
7. El análisis de varianza y la prueba de Tukey, muestra que existe diferencia estadística significativa para la capacidad de intercambio catiónico, entre la cubierta nativa y la plantación de pino. La misma tendencia se encontró al analizar el contenido de calcio bajo las cubiertas.
8. Existe variación del aluminio de intercambio en el suelo al cambiar el tipo de cubierta, el bosque natural presentó los valores más altos en la profundidad 15-30 cm respecto de las plantaciones de pino y eucalipto. Estos valores confirman la fuerte relación que existe entre la variable y la acidez del suelo.

9. El análisis de varianza y la prueba Tukey, muestra que existe diferencia estadística significativa para el valor de aluminio de intercambio, entre la cubierta nativa y la plantación de *P. radiata*.
10. La acidez del suelo influye sobre las propiedades químicas estudiadas, es así que existe relación positiva entre el pH y la capacidad de intercambio catiónico y el calcio intercambiable, también se presenta una relación negativa entre el pH y el aluminio de intercambio.



## V RESUMEN

Se realizó un estudio para determinar el efecto en algunas propiedades químicas del suelo, provocado por las plantaciones de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* al contrastarlo con una cubierta de bosque nativo, en un suelo perteneciente a la serie San Esteban, del grupo de los suelos graníticos en las cercanías de la ciudad de Concepción, Chile ( $36^{\circ}50'S$  de latitud y  $73^{\circ}03'W$  de longitud).

Las propiedades edáficas determinadas fueron la reacción del suelo (pH), contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico efectiva, bases y aluminio de intercambio. Las variables determinadas fueron extraídas a 0-15 cm y 15-30 cm del perfil del suelo en forma aleatoria, se seleccionaron sitios homogéneos en ciertas características como exposición, pendiente y posición en la pendiente.

Los resultados muestran que existe tendencia general a la acidificación bajo las tres cubiertas estudiadas, en ambas profundidades. En tanto se encontró que la plantación de pino presentó los valores de pH más altos respecto a las otras cubiertas.

Se encontró la mayor acumulación de materia orgánica en la estrata superficial 0-15 cm de suelo, bajo las tres cubiertas forestales, siendo la cubierta de bosque nativo la que registró el contenido más alto respecto de las plantaciones, mientras en la profundidad 15-30 cm la

variación de la materia orgánica entre las cubiertas es más moderada.

Bajo la plantación de pino se presentó la mayor capacidad de intercambio catiónico efectiva y el menor contenido de aluminio de intercambio, mientras lo contrario se presentó bajo el bosque natural.



## VI SUMMARY

The effect on some soil chemical properties for the *Pinus radiata* and *Eucalyptus globulus* plantations was determined and was contrasted with a cover of native forest. Soil pertains at San Esteban serie (group of granitic soils) and it is ubicated around Concepción City of Chile ( $36^{\circ}50'S$  latitude and  $73^{\circ}03'W$  longitude).

The soil reaction (pH), organic matter content, interchange base, effective cationic interchange capacity and interchange aluminium were randomly assessed to two depths (0-15 cm and 15-30 cm). Sites were homogeneously selected according to exposition, slope and position on the slope.

The results show that there is a general tendency to the acidification to two depths under three studied covers. Furthermore, *P. Radiata* plantation showed the highest pH values in respect of the other covers.

The superficial stratum of 0-15 cm had the highest accumulation of organic matter under three forestal covers, and cover of native forest showed the highest accumulation of organic matter in respect of the plantations. Whereas the variation of accumulation of organic matter to the 15-30 cm was more moderated.

The effective cationic interchange capacity was the highest and interchange aluminium content was the smallest under *P. Radiata* plantation, whereas under native forest happened the opposite.

**VII BIBLIOGRAFIA**

Anderson, J. y Ingram J. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility a Handbook Methods. Second edition. CAB International.

Alban, D. H. 1969. Effects influence of Western Hemlock and western redcedar on soil properties. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33:453-457.

Alban, D. H. 1982. Effects of nutrient an accumulation by aspen, spruce, and pine on soil properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 46:853-861.

Boardman, R. 1988. Living on the edge. The development of silviculture in South Australian pine plantations. Australian Forestry. The journal of Institute if Forester of Australia. Vol. 51, number 3:135-156.

Bosic, P.; Fernández, B. y Rocuant, T. 1976. Efecto de la cubierta vegetal en las propiedades químicas y físicas de los suelos forestales. Suelos serie Santa Barbara. Boletín Técnico n°59. Universidad de Concepción. Chillan. Chile.

Bornemisza, E. 1982. Introducción a la química de suelos. Secretaría general de la organización de los estados americanos. Programa regional de desarrollo científico y tecnológico. Washington, D.C.

Buckman, H. O. y Brady N. C. 1993. Naturaleza y propiedades de los suelos. Editorial Limusa, S.A. de C.V. grupo Noriega Editores. México.

Carrasco, P.; J, Millán y L. Peña. 1993. Suelos de la cuenca del Bio-Bio, características y problemas de uso. Análisis territorial, volumen 3. Programa interuniversitario de investigación científica aplicada y formación. Eula. Universidad de Concepción. Concepción. Chile.

Carrasco, C. E. 1995. Análisis general del monocultivo Forestal con respecto a su definición y a su efecto sobre la productividad del suelo en el largo plazo. Memoria de título. Universidad de Concepción. Facultad Ciencias Forestales. Concepción. Chile.

Chijioke, E. O. 1984. Suelos de las regiones tropicales húmedas de tierras bajas: efectos causados por las especies de crecimiento rápido. FAO Montes N°21. FAO. Roma. Italia.

CORMA, 1994. Efectos provocados en el sitio por las plantaciones, temas de fondo. CORMA 240: 24 - 32.

Davis, M. 1995. Influence of radiate pine seedling on chemical properties of some New Zealand Montane grassland soils. Plant and Soil 176(2): 255-262

Donoso, Z. C. 1994. Ecología Forestal. El bosque y su medio ambiente. Cuarta edición. Editorial universitaria. Universidad Austral. Chile.

Fassbender, H. 1987. Química de suelos: Con énfasis en suelos de América Latina. Primera edición. Instituto interamericano de ciencias agrícolas. Editorial Turrialba. Costa Rica.

Flores, L. A. 1998. Efecto de las plantaciones en la reacción del suelo. Memoria de Título. Ingeniería Forestal. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Concepción Chile.

Francke, C. S. 1993. Efecto de las plantaciones forestales en el suelo. Chile Forestal, Documento técnico N° 70. CONAF. Santiago, Chile.

Garrido, G. F. 1993. Comentarios sobre la acidez de los suelos forestales. Temas de fondo. Corma 231: 37 - 39.

Haro, F.; Fernández, B. y Rocuant, T. 1973. Efecto de la cubierta vegetal en las propiedades químicas y físicas de los suelos forestales. Suelos Constitución y Complejo Constitución-Curanipe. Boletín técnico n°38. Universidad de Concepción. Chillán. Chile.

Hoffman, A. 1982. Flora silvestre de Chile, Zona Austral. Ediciones Claudio Gay. Santiago. Chile.

LIGNUM, 1994. Desvelan mitos del pino radiata. LIGNUM: Bosque, Madera y Tecnología. Editorial Fundación Chile, depto. Forestal 14:33-34. Chile.

Millar, C.; L, Turk y H. Foth. 1975. Edafología, fundamento de la ciencia suelo. Tercera edición. Compañía editorial Continental. México, D.F.

Ortega, E. 1987. Química de los suelos. Segunda edición. Departamento de imprenta Universitaria. Universidad Autónoma de Chapingo.

Porta, J.; M. López - Acevedo y C. Roquero. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Primera edición. Editorial Mundi prensa. Madrid. España.

Pritchett, W. and Fischer, R. 1987. Properties and Management of forest Soil. Second Edition. John Wiley & Sons. New York. Unites States of America.

Pritchett, W. 1991. Suelos forestales: Propiedades, conservación y mejoramiento. Departamento de ciencias de suelos. Universidad de Florida Gainesville. Segunda edición. editorial Limusa. Estados Unidos.

Raggi, R. 1994. Texto de Edafología. Departamento de Ciencias Forestales. Facultad de ciencias Agronómicas y Forestales. Universidad de Concepción. Chillan.

Rosales, L. J. 1993. Efectos ecológicos del género *Eucalyptus*: Una revisión de literatura con énfasis en la especie *Eucalyptus globulus* Labill. Tesis Ing. Forestal. Chillán, Chile, Universidad de Concepción.

Sadzawka, M. y Carrasco, M. 1985. Química de suelos volcánicos. Suelos volcánicos de Chile. INIA, Ministerio de Agricultura, Santiago. Chile.

Schlatter, J. y Otero, L. 1995. Efecto del *Pinus Radiata* sobre las características químico nutritivas del suelo mineral superficial. In Actas Simposio IUFRO; Manejo nutritivo de plantaciones forestales. Valdivia. Chile.

Spiegel, M. R. 1991. Probabilidad y estadística: Teoría y problemas de probabilidad y estadística. Editorial McGraw-Hill, Serie Schaum. México.

Toro, J. 1994. El Pino radiata y la acidificación del suelo. Fundación Chile; Sociedad Forestal Millalemu S.A. Chile

Turner, J. and Lambert, M. 1988. Soil properties as affected by *Pinus radiata* plantations. New Zealand Journal of Forestry Science. 18(1): 77-91.

Vichenzo, M. 1997. Evaluación del estado nutricional de suelos desarrollados sobre roca metamórfica con tres sistemas de uso (bosque Nativo, pradera Natural y plantaciones exóticas) en la zona sur de Chile. Tesis de grado de la Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago. Chile.



## VIII APENDICE(S)

### **Análisis estadístico para las propiedades químicas del suelo.**

En este estudio se relaciona al pH(variable de interés), con dos factores que influyen sobre este, por lo tanto, para realizar el análisis se considera el muestreo como un diseño experimental factorial de dos factores, se considera factores a las variables cubierta vegetal, profundidad así como la interacción cubierta vegetal-Profundidad, mientras que la variable respuesta a los factores son el pH, la capacidad de intercambio catiónico, el calcio, materia orgánica y el aluminio de intercambio.

La homogeneidad de varianzas fue comprobada mediante el Test de Bartlett(BT), utilizando el estadístico chi-cuadrado, con un 95 % de confianza. Se establece como supuesto, que todas las combinaciones de factor tienen distribución normal independiente. Para detectar que factores difieren significativamente, se realiza análisis de diferencia significativa para el tipo de cubierta vegetal y para la profundidad, mediante el prueba Tukey para comparaciones múltiples, con 95% de confianza.

Se realiza la prueba para la hipótesis  $H_0^3 = \mu = 0$ . Si se acepta se concluye que no existe interacción o que no son demasiado grandes entre los factores (cubierta vegetal - profundidad) y la variable respuesta. Luego se procede de la misma forma para las hipótesis  $H_0^1$  y  $H_0^2$  (Spiegel 1991).

Tabla 1 A. Tabla Anova, análisis estadístico para un diseño experimental de 2 factores (tipo de cubierta y profundidad), para los valores de pH al agua.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	Relación F	Nivel de significación
Cubierta	5.4492	2	2.7246	27.116	0.0000
Profundidad	0.4949	1	0.4949	4.926	0.0312
Cub * Prof	0.1374	2	0.0687	0.684	0.5094
Residual	4.8229	48	0.1004	----	----

Tabla 2 A. Tabla Anova, análisis estadístico para un diseño experimental de 2 factores (tipo de cubierta y profundidad), para el contenido de materia orgánica.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	Relación F	Nivel de significación
Cubierta	6.1838	2	3.0919	2.619	0.1138
Profundidad	23.3244	1	23.3244	19.753	0.0008
Cub * Prof	2.6317	2	1.3158	1.114	0.3598
Residual	14.1696	12	1.1808	----	----

Tabla 3 A. Tabla Anova, análisis estadístico para un diseño experimental de 2 factores (tipo de cubierta y profundidad), para la capacidad de intercambio catiónico efectiva.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	Relación F	Nivel de significación
Cubierta	130.4373	2	65.2186	9.018	0.0041
Profundidad	13.3816	1	13.3816	1.850	0.1988
Cub * Prof	1.0909	2	0.5454	0.075	0.9278
Residual	86.7848	12	7.23204	----	----

Tabla 4 A. Tabla Anova, análisis estadístico para un diseño experimental de 2 factores (tipo de cubierta y profundidad), para el contenido de calcio.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	Relación F	Nivel de significación
Cubierta	59.3126	2	29.6563	7.988	0.0062
Profundidad	10.3360	1	10.3360	2.784	0.1211
Cub * Prof	0.9174	2	0.4587	0.124	0.8849
Residual	44.5520	12	3.7126	----	----

Tabla 5 A. Tabla Anova, análisis estadístico para un diseño experimental de 2 factores (tipo de cubierta y profundidad), para el contenido de aluminio de intercambio.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	Relación F	Nivel de significación
Cubierta	8.4515	2	4.2257	7.432	0.0079
Profundidad	1.5312	1	1.5312	2.693	0.1067
Cub * Prof	0.2800	2	0.1400	0.246	0.7856
Residual	6.8229	12	0.5685	----	----

**Análisis de diferencia significativa para el tipo de cubierta vegetal, mediante la prueba Tukey para comparaciones múltiples, con 95% de confianza.**

Tabla 6 A. Análisis de diferencia significativa mediante la prueba de Tukey para el pH, bajo tres cubiertas vegetales.

Nivel	Cantidad	promedio	Grupo homogéneo
Nativo	18	5,0733	<b>X</b>
Eucalipto	18	5,6516	<b>X</b>
pino	18	5,8133	<b>X</b>
contraste		Diferencia + / -	Limites
Na - Pi	*	0,7400	0,25557
Na - Eu	*	0,5783	0,25557
Eu - Pi		-0,1616	0,25557

\*denota una diferencia estadística significativa.

Tabla 7 A. Análisis de diferencia significativa mediante la prueba de Tukey para la materia orgánica, bajo tres cubiertas vegetales.

Nivel	Cantidad	promedio	Grupo homogéneo
Nativo	6	4,6766	<b>X</b>
Eucalipto	6	4,7683	<b>X</b>
pino	6	5,9633	<b>X</b>
contraste		Diferencia + / -	Limites
Na - pi		1,2866	1,67512
Na - eu		1,1950	1,67512
Eu - Pi		-0,0916	1,67512

\* denota una diferencia estadística significativa.

Tabla 8 A. Análisis de diferencia significativa, mediante la prueba de Tukey para la capacidad de intercambio catiónico efectiva, bajo tres cubiertas vegetales.

Nivel	Cantidad	promedio	Grupo homogéneo
Nativo	6	2,9666	<b>X</b>
Eucalipto	6	3,9366	<b>X</b>
pino	6	9,1000	<b>X</b>
contraste		Diferencia + / -	Limites
Na - pi	*	-6,1333	4,14561
Na - eu		-0,9700	4,14561
Eu - Pi	*	5,1633	4,14561

\* denota una diferencia estadística significativa.

Tabla 9 A. Análisis de diferencia significativa, mediante la prueba de Tukey para el contenido de calcio, bajo tres cubiertas vegetales.

Nivel	Cantidad	promedio	Grupo homogéneo
Nativo	6	1,5033	<b>X</b>
Eucalipto	6	1,8716	<b>X</b>
pino	6	5,5225	<b>X</b>
Contraste		Diferencia + / -	Limites
Na - Pi	*	-4,0216	2,9703
Na - Eu		-0,3683	2,9703
Eu - Pi	*	3,6533	2,9703

\*denota una diferencia estadística significativa.

Tabla 10 A. Análisis de diferencia significativa mediante la prueba de Tukey para el aluminio de intercambio, bajo tres cubiertas vegetales.

Nivel	Cantidad	promedio	Grupo homogéneo
Nativo	6	0,3416	<b>X</b>
Eucalipto	6	1,0650	<b>XX</b>
pino	6	2,0150	<b>X</b>
contraste		Diferencia + / -	Limites
Na - Pi	*	1,6733	1,16239
Na - Eu		0,9500	1,16239
Eu - Pi		-0,7233	1,16239

\* denota una diferencia estadística significativa.

Análisis de diferencia significativa para las profundidades 0-15 cm y 15-30 cm, mediante la prueba de Tukey para comparaciones múltiples, con 95% de confianza.

Tabla 11 A. Análisis de diferencia significativa mediante la prueba de Tukey para el pH, a profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.

Nivel	Cantidad	promedio	Grupo homogéneo
Profundidad 2	27	5,4170	<b>X</b>
Profundidad 1	27	5,6085	<b>X</b>
contraste		Diferencia + / -	Limites
Prof 1 - Prof 2	*	0,1914	0,1734

\*denota una diferencia estadística significativa.

Tabla 12 A. Análisis de diferencia significativa, mediante la prueba de Tukey para la materia orgánica, a profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.

Nivel	Cantidad	promedio	Grupo homogéneo
Profundidad 2	9	3,9977	<b>X</b>
Profundidad 1	9	6,2744	<b>X</b>
contraste		Diferencia + / -	Limites
Prof 1 - Prof 2	*	2,2766	1,1172

\*denota una diferencia estadística significativa.

Tabla 13 A. Análisis de diferencia significativa, mediante la prueba de Tukey para la capacidad de intercambio catiónico efectiva, a profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.

Nivel	Cantidad	promedio	Grupo homogéneo
Profundidad 2	9	4,4722	<b>X</b>
Profundidad 1	9	6,1966	<b>X</b>
contraste		Diferencia + / -	Limites
Prof 1 - Prof 2		1,7244	2,7650

\*denota una diferencia estadística significativa.

Tabla 14 A. Análisis de diferencia significativa, mediante la prueba de Tukey para el contenido de calcio, a profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.

Nivel	Cantidad	promedio	Grupo homogéneo
Profundidad 2	9	2,2088	<b>X</b>
Profundidad 1	9	3,7244	<b>X</b>
contraste		Diferencia + / -	Limites
Prof 1 - Prof 2		1,5155	1,9811

\*denota una diferencia estadística significativa.

Tabla 15 A. Análisis de diferencia significativa, mediante la prueba de Tukey para el aluminio de intercambio, a profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.

Nivel	Cantidad	promedio	Grupo homogéneo
Profundidad 2	9	1,4322	<b>X</b>
Profundidad 1	9	0,8488	<b>X</b>
contraste		Diferencia + / -	Limites
Prof 1 - Prof 2		0.5833	0,7752

\*denota una diferencia estadística significativa.

Test de Bartlett(BT), para comprobar la homogeneidad de varianzas, utilizando el estadístico chi-cuadrado ( $X_0^2$ ), con un 95 % de confianza.

Hipótesis ( $H_0$ ): igualdad de varianzas.

( $H_1$ ): al menos dos varianzas son distintas.

Entonces si :  $X_0^2 \text{ tabla} > X_0^2$ , acepta  $H_0$

Donde :  $X_0^2 = 2,3026*(q/C)$

Tabla 16 A. Valores para comprobar la homogeneidad de varianzas.

Variable	q	C	$X_0^2$	$X_0^2 \text{ tabla}$	Varianza iguales
PH	0,593	1,026	1,331	5,99	acepto
Materia orgánica	1,781	1,088	3.769	5,99	acepto
C.I.C.	2,759	1,088	5,835	5,99	acepto
Calcio de inter.	1,819	1,088	3,847	5,99	acepto
Aluminio inter.	0,678	1,088	1,435	5,99	acepto

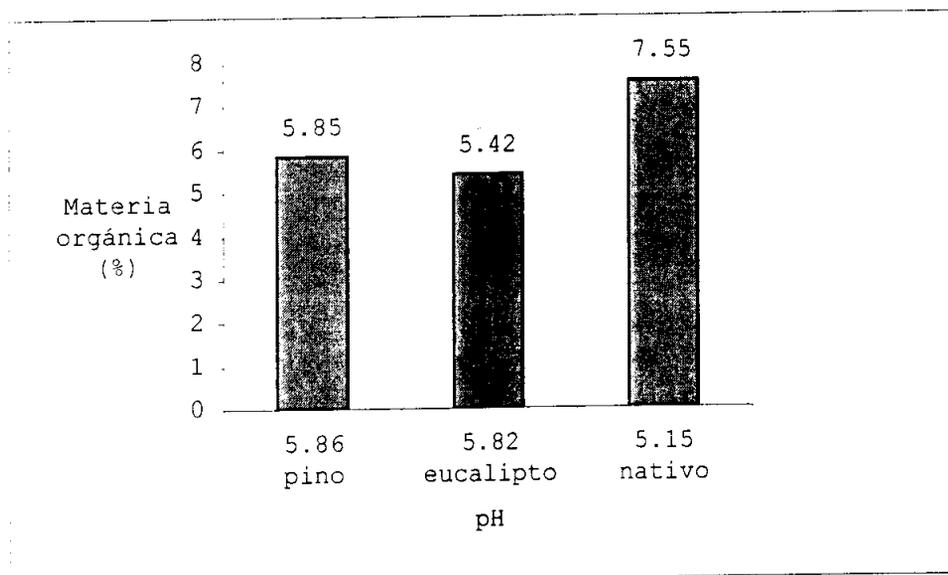


Figura 1 A. Relación entre pH y el contenido de materia orgánica del suelo entre (0-15) cm de profundidad.

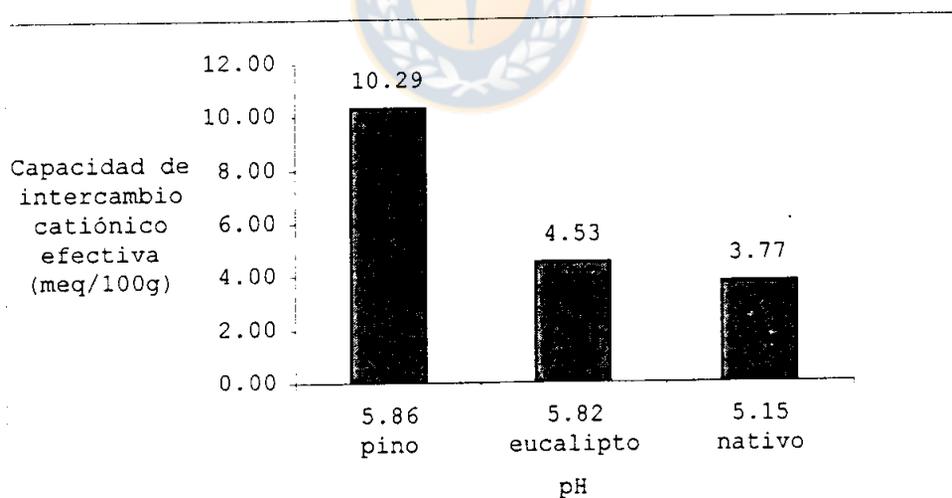


Figura 2 A. Relación entre el pH y la capacidad de intercambio catiónico efectiva del suelo entre (0-15) cm de profundidad.

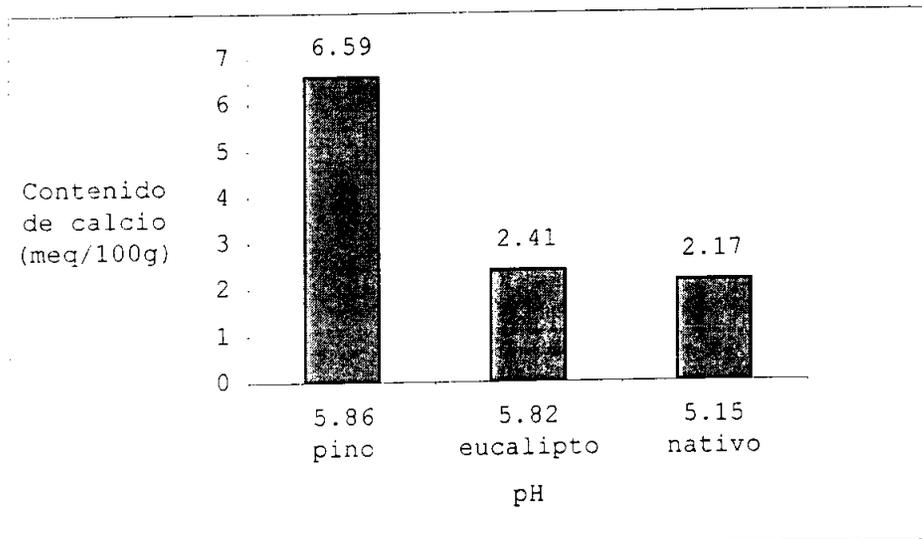


Figura 3 A. Relación entre pH y el calcio de intercambio entre (0-15) cm de profundidad.

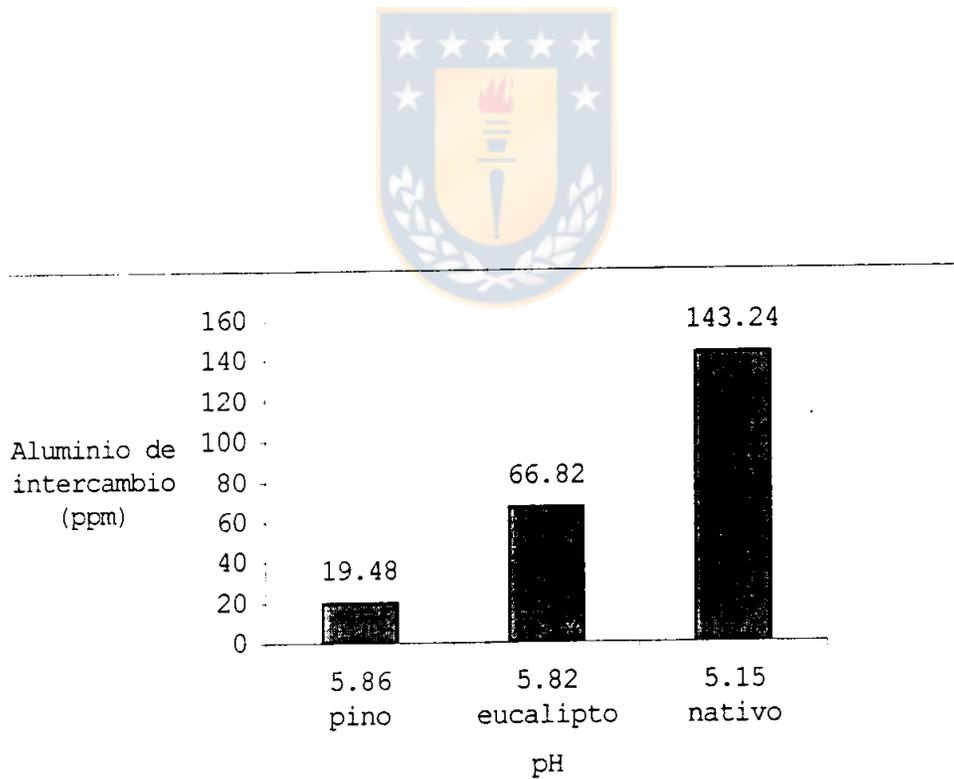


Figura 4 A. Relación entre pH y el aluminio de intercambio entre (0-15) cm de profundidad

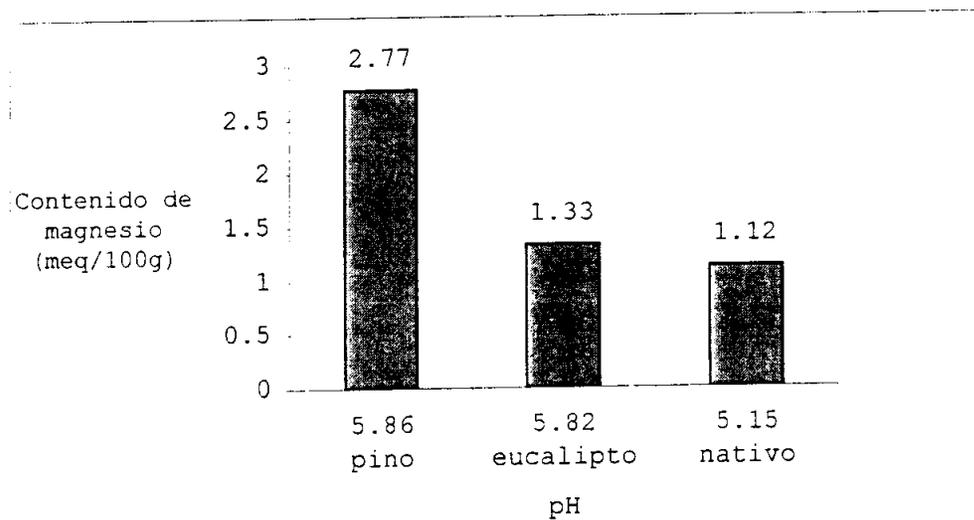


Figura 5 A. Relación entre pH y el contenido de magnesio entre (0-15) cm de profundidad.



## **IX ANEXO (S)**

### **Anexo 1**

#### **Antecedentes y características de los sitios estudiados.**

##### **A.- Historia del bosque nativo.**

El tipo forestal se caracteriza por ser un bosque de transición entre la zona higromórfica y la zona mesomórfica, en la que se destacan especies como el roble, olivillo, peumo, canelo, arrayán, laurel y otras especies características de este bosque. El estado actual del bosque se encuentra raleado por selección las especies más importantes comercialmente, como el roble, olivillo y boldo que fueron utilizados como insumo de la industria del mueble.

##### **Características del bosque natural.**

Especie dominante(s): Roble, Olivillo, Peumo y Lingue  
Edad : desconocida.  
DAP promedio total : 18,0 cm.  
Altura prom. total : 21,67 m.  
Densidad total : 1945 arb/ha.  
Pendiente media : 24°  
Exposición : W  
Superficie : 8 ha.  
Altitud : 175 msnm.

Tabla 1 B. Vegetación bajo cubierta de bosque natural.

NOMBRE VULGAR	NOMBRE CIENTIFICO
Roble	<i>Nothofagus obliqua</i>
Peumo	<i>Cryptocaria alba</i>
Olivillo	<i>Aextoxicom punctatum</i>
Litre	<i>Lithrea caustica</i>
Avellano	<i>Gevuina avellana</i>
Lingue	<i>Persea lingue</i>
Boldo	<i>Peumus boldus</i>
Canelo	<i>Drimys winterii</i>
Copihue	<i>Lapageria rosea</i>
Quila	<i>Chusquea quila</i>
Avellanillo	<i>Lomatia dentata</i>
Tupa	<i>Lobelia tupa</i>

Hoffman, A. 1982

#### B.- Historia del rodal de *Pinus radiata*.

Rodal de *P. radiata*, de superficie 4,9 ha plantado el año 1985 y sometido a raleo y poda, En general el rodal presenta un variado sotobosque de especies arbustivas, debido al manejo silvícola realizado, la poda actualmente se encuentra a una altura de 6 metros.

#### Características del rodal.

Especie dominante(s): *Pinus radiata*.

Edad : 14 años.

DAP promedio : 20,03 cm.

Altura promedio : 16,50 mt.

Densidad : 1225 arb/ha.

Pendiente media : 20°

Exposición : W

Superficie : 4,9 ha.

Altitud : 150 msnm.

Tabla 2 B. Sotobosque bajo el rodal de *Pinus radiata*.

NOMBRE VULGAR	NOMBRE CIENTIFICO
Retamilla	<i>Teline monspessulana</i>
zarzamora	<i>Rubus ulmifolius</i>
Maqui	<i>Aristotelia chilensis</i>
Aromo australiano	<i>Acacia menaloxilum</i>
Radal	<i>Lomatia hirsuta</i>
Boldo	<i>Peumus boldus</i>
Lingue	<i>Persea lingue</i>
Copihue	<i>Lapageria rosea</i>

Hoffman, A. 1982

### C.- Historia del rodal de *Eucalyptus globulus*.

Plantación de eucalipto de (1985) de superficie 3,9 ha. No ha sido raleado, además a esta especie en particular no se le realiza poda ya que posee poda natural, en general posee un sotobosque menos variado que la plantación de pino.

### Características del rodal.

Especie dominante(s): *Eucalyptus globulus*.

Edad : 14 años.

DAP promedio : 14,41 cm.

Altura promedio : 17,87 mt.

Densidad : 1520 arb/ha.

Pendiente media : 24°

Exposición : SW

Superficie : 3,9 ha.

Altitud : 175 msnm.

Tabla 3 B. Sotobosque bajo el rodal de *Eucalyptus globulus*

NOMBRE VULGAR	NOMBRE CIENTIFICO
Litre	<i>Lithrea caustica</i>
Retamilla	<i>Teline monspessulana</i>
zarzamora	<i>Rubus ulmifolius</i>
Quila	<i>Chusquea quila</i>

Hoffman, A. 1982

## Anexo 2

Estación Bellavista Universidad de Concepción  
Antecedentes climáticos de Concepción  
Período (1965 - 1997)

Tabla 4 B. Precipitación mensual (mm).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
N° Datos	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Máximo	87.2	71.2	125.2	193.0	550.4	555.0	561.0	302.9	203.6	212.0	200.7	102.1	1653.6
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	28.2	70.8	57.3	27.9	12.5	0.0	0.4	0.0	711.4
Media	18.8	16.3	25.1	73.2	207.7	245.2	229.5	148.5	86.4	71.7	41.7	33.9	1197.9
S.D.	25.0	18.9	24.3	51.8	128.6	96.3	103.1	64.7	47.6	54.1	42.2	32.8	235.9

Tabla 5 B. Temperatura máxima media (°C).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
N° Datos	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Máximo	24.8	25.2	23.3	20.0	17.1	15.4	14.6	15.2	16.3	19.2	21.6	23.3
Mínimo	21.3	20.5	19.2	17.0	14.0	11.8	12.0	12.1	14.3	15.4	18.0	20.1
Media	23.2	22.9	21.3	18.7	15.7	13.7	13.2	14.0	15.5	17.1	19.5	21.6
S.D.	0.8	1.1	1.0	0.8	0.7	0.8	0.6	0.7	0.5	0.9	0.9	0.9

Tabla 6 B. Temperatura mínima media (°C).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
N° Datos	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Máximo	12.1	12.6	10.8	9.9	9.9	9.8	9.0	7.8	8.1	9.0	9.5	10.3
Mínimo	7.5	6.9	5.1	3.8	4.2	2.7	2.2	2.9	3.1	4.4	5.5	6.5
Media	9.3	9.2	8.3	7.3	7.2	6.2	5.4	5.2	5.5	6.3	7.5	8.9
S.D.	1.1	1.3	1.4	1.5	1.2	1.5	1.5	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0

Tabla 7 B. Temperatura media (°C).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
N° Datos	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Máximo	18.6	17.4	16.4	13.8	12.4	11.8	12.3	10.3	12.0	13.5	14.6	16.5
Mínimo	14.7	13.8	12.0	8.9	9.0	6.2	6.8	7.1	8.2	10.2	12.4	14.1
Media	16.4	15.7	14.1	11.9	10.6	9.2	8.6	8.7	9.8	11.5	13.5	15.4
S.D.	0.7	1.0	1.0	1.0	0.8	1.2	1.2	0.8	0.8	0.8	0.6	0.6

### Anexo 3

#### Descripción de los suelos graníticos.

Los suelos graníticos se han formado a partir de los materiales generadores como rocas graníticas, dioritas cuarzosas o material intrusivo muy rico en cuarzo.

Las series de este grupo se presentan en la vertiente oriental de la cordillera de la costa. Son suelos de posición media a alta, con una topografía que varía desde lomajes con pendientes variables y complejas disectadas por quebradas, a serranías con fuertes pendientes en la alta cordillera.

El clima es mediterráneo templado cálido, con una gran amplitud térmica, con más de cuatro meses secos en el secano interior a prácticamente uno a dos en las áreas de mayor altura. La caída pluviométrica es muy variable, esta fluctúa de 1000 a 2500 mm/año (Serplac 1976; citado por Carrasco et al. 1993).

La vegetación nativa estaba constituida por un matorral costero arborescente que se extendía desde Chillán hacia el norte, mientras que al sur predominaba una formación de estepa de *Acacia caven*, matorral de transición y parques. En la actualidad estas formaciones se encuentran totalmente alteradas (Carrasco et al. 1993).

En el grupo de los suelos graníticos presenta dos series de importancia forestal: la San Esteban (ET) y Cauquenes (CQ), así como en gran parte de ella se han establecido plantaciones de *P. radiata*.

## Caracterización de la serie San Esteban.

Clasificación	:Orden Alfisols, Sub-orden Xeralfs.
Geomorfología	:zona montañosa disectada por quebradas
Topografía	:pendiente compleja.
Pendiente	:28%.
Material de origen	:rocas graníticas.
Vegetación natural	:bosque de transición.
Erosión	:laminar intensa.
Capacidad de uso	:VII.
Ubicación calicata	:37°22' y 73°6'
Altitud	:700 ms.n.m.

### Horizontes minerales

A1 0-18 cm: color 7,5YR3/2 en húmedo(pardo oscuro), 10YR 4/4 en seco(pardo a amarillento oscuro); textura franco arcillosa; estructura granular bien desarrollada firme; plástico y adhesivo en mojado, duro en seco; gran cantidad de materia orgánica; límite inferior gradual lineal.

B1 18-36 cm: color 10YR3/4 en húmedo(pardo amarillento oscuro); textura franco arcillosa; estructura de bloques subangulares medios firmes; abundancia de grava cuarzosa; muy plástico y adhesivo en mojado; duro y compacto en seco; abundancia de raíces y raicillas, límite inferior lineal.

Bt2 36-71 cm: color 5YR3/3 en húmedo(pardo rojizo oscuro), 7,5YR4/4 en seco (pardo); textura arcillosa; estructura de bloques subangulares medios que se rompen en bloques subangulares finos; abundancia de grava cuarzosa; muy

plástica y adhesivo en mojado, duro en seco; raíces y raicillas escasas; limite inferior difuso.

Esta serie presenta las siguientes fases: moderada a altamente susceptible a la erosión y muy erosionadas; profunda, moderadamente profunda y de escasa profundidad.

Las limitantes para el cultivo forestal son:

Físicas: la erosión severa de manto y cárcavas que afectan extensas superficies, dando origen a perfiles decapitados y de escasa profundidad; la compactación de los horizontes superficiales y alta susceptibilidad a la erosión.

Químicas: bajo porcentaje de nitrógeno en todo el perfil; bajo porcentaje de materia orgánica en horizonte superior y muy bajo en los restantes; bajos niveles de calcio.

Fisiográficas: la altitud, que incluso supera los 1000 ms.n.m. en los que impera un clima frío de altura, no apto para el *P. Radiata*; la exposición este de la cordillera de la costa que presenta una extrema aridez estival.

Tabla 8B. Reacción del suelo, encontrada bajo diversas especies forestales chilenas y *P. radiata* en distintos lugares de Chile.

ESPECIE	SECTOR	RANGO DE PH	FUENTE
Hualo-ruil	Constitución	5,1-5,6	Pedrasa, 1990
Hualo-ruil	Cauquenes	4,9-5,8	Pedrasa, 1990
Hualo	Bullico-Parral	5,0-5,5	Ibarra, Mourgues, 1976
Roble-Raulí	C.Andes-Malleco	4,8-5,6	Toro, 1986
Araucaria	C.Andes-Malleco	4,6-5,3	Toro, 1986
<i>P. araucaria</i>	C. Nahuelbuta	4,8-5,5	Toro, 1987
Nothofagus	Isla de Chiloé	3,6-4,2	Holdgate, 1960
Eucryphia	Isla Navarino	4,4-5,2	Holdgate, 1960
Lenga-Nirre	Skyring XII Región	4,2-5,0	Contreras et al, 1975
<i>Pino radiata</i>	Nacimiento	5,0-6,2	Garrido, 1991
<i>Pino radiata</i>	Collipulli	5,0-5,9	Sáez, 1991
<i>Pino radiata</i>	Reserva Malleco	4,7-5,8	Toro, 1986
<i>Pino radiata</i>	Jauja	4,9-5,7	Toro, 1986
<i>Pino radiata</i>	Angol	4,9-6,1	Garrido, 1991

Fuente: Toro, 1994.



**Anexo 4**

Metodología para determinar los análisis químicos.

**PH:**

Material: pH-metro, electrodo de vidrio y calomelano para el pH-metro, vasos de 50 ml, agitadores cortos de vidrio, piceta (frasco lavador), balanza de precisión.

Reactivo: solución amortiguadora para calibrar el instrumento.

Método: se pesan 10g de suelo, seco al aire, y se ponen en un vaso 50ml. Se añaden 25ml de agua destilada y se revuelve la suspensión y se deja reposar por 24 hr, cumplida ésta se mide inmediatamente su pH introduciendo los electrodos del pH-metro previamente calibrado con las soluciones amortiguadoras.

**Materia orgánica:**

Material: matraces erlenmeyer de 250ml, matraces aforados de 250ml, bureta de 50ml, balanza de torsión, probetas.  
Reactivo: Dicromato de potasio 1N. Acido fosfórico concentrado (85%).

**Cationes de intercambio:**

Reactivo: solución desplazante de acetato de amonio 1N a pH 7 y ácido HCl 0,1 N como solución reemplazante del amonio (NH<sub>4</sub>).