

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

DEPARTAMENTO MANEJO DE BOSQUES Y MEDIO AMBIENTE



**EFFECTO DE LAS PLANTACIONES
EN LA REACCION DEL SUELO**

POR

LEONARDO ALBERTO FLORES HINOJOSA

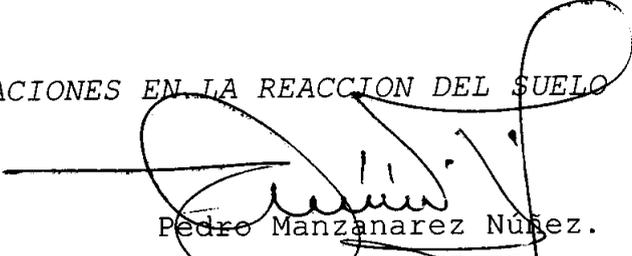
**MEMORIA PARA OPTAR
AL TITULO DE INGENIERO
FORESTAL.**

CONCEPCION - CHILE

1998

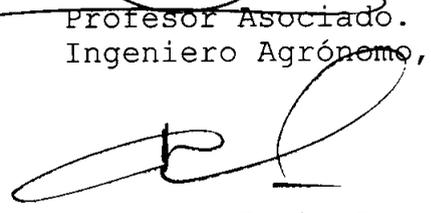
EFFECTO DE LAS PLANTACIONES EN LA REACCION DEL SUELO

Profesor Asesor


Pedro Manzanarez Nuñez.

Profesor Asociado.
Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

Profesor Asesor


Fernando Drake Aranda.

Profesor Asociado.
Ingeniero Forestal.

Director Departamento

Manejo de Bosques y

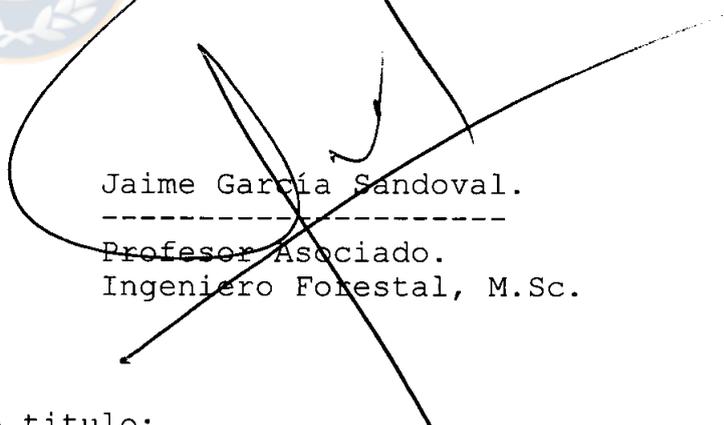
Medio Ambiente


Pedro Real Hermosilla.

Profesor Asociado.
Ingeniero Forestal, Ph.D.

Decano Facultad de

Ciencias Forestales


Jaime García Sandoval.

Profesor Asociado.
Ingeniero Forestal, M.Sc.

Calificación de memoria de título:

Sr. Pedro Manzanarez :Ochenta y seis puntos.
Sr. Fernando Drake Aranda :Ochenta y seis puntos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por haberme concedido llegar hasta el fin de esta carrera, lo cual no había podido concluir sin su ayuda.

A mis padres y familiares los cuales se esforzaron para que pudiera terminar esta carrera, su apoyo moral y económico extendido hacia mi favor.

También estoy muy agradecido de mis profesores asesores, porque gracias al esfuerzo de ellos, este trabajo a llegado al término, por su ayuda y apoyo en todo lo realizado. Además estoy muy agradecido de todos los profesores de las distintas asignaturas que tuve en estos años de estudio.



INDICE DE MATERIAS

CAPITULOS	PAGINA
I INTRODUCCION.....	1
1.1 Desarrollo de la acidificación de los suelos.....	3
1.1.1 Procesos generales.....	3
1.1.2 Acidificación en el ecosistema forestal.....	4
1.1.2.1 El mantillo.....	4
1.1.2.2 La materia orgánica.....	4
1.1.2.3 Actividad radicular.....	5
1.1.2.4 Precipitación y lixiviación.....	5
1.1.2.5 Hidrólisis del aluminio.....	5
1.2 Efecto de la acidez sobre las propiedades del suelo.....	6
1.2.1 Propiedades químicas.....	6
1.2.1.1 Capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases y acidez intercambiable.....	6
1.2.1.2 Acidez y capacidad de intercambio aniónico.....	8
1.3 Efecto de las plantaciones exóticas sobre las propiedades del suelo.....	8
1.3.1 Propiedades químicas.....	8
1.3.1.1 Reacción del suelo.....	8
1.3.1.2 Acidez y aluminio de intercambio	10
1.3.1.3 Capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases.	11

II	MATERIALES Y METODOS.....	12
	2.1 Descripción del área de estudio.....	12
	2.1.1 Clima.....	12
	2.1.2 Vegetación.....	12
	2.1.3 Suelos.....	13
	2.2 Selección de rodales.....	13
	2.3 Selección de sitios, muestreo y análisis estadístico.....	14
	2.3.2 Unidades muestrales y muestreo....	14
	2.3.3 Análisis estadístico.....	15
	2.4 Preparación de muestra	17
III	RESULTADOS Y DISCUSION.....	19
	3.1 Efecto de las plantaciones sobre las propiedades químicas del suelo.....	19
	3.1.1 Reacción del suelo.....	19
	3.1.2 Capacidad de intercambio catiónico y los cationes de intercambio.....	22
	3.1.3 Aluminio de intercambio.....	25
	3.1.4 Materia orgánica.....	28
	3.2 Relación entre propiedades químicas del suelo y la edad de plantaciones.	31
IV	CONCLUSIONES.....	35
V	RESUMEN.....	39
	SUMMARY.....	41
VI	BIBLIOGRAFIA.....	43
VII	APENDICE.....	48
VIII	ANEXOS.....	50
	ANEXO 1.....	50
	ANEXO 2.....	55

INDICE DE TABLAS

TABLA N°		PAGINA
<u>En el texto</u>		
1	Características de los rodales seleccionados.....	14
2	Número de unidades muestrales por rodal.....	15
3	Grados de interacción dados por la probabilidad.....	16
4	Determinaciones químicas y metodologías empleadas en el análisis de suelo.....	17
5	Resultados de los análisis químicos. Valores promedios por rodales, a edades de 6, 11, 18 y 25 años y profundidades de 0-15 cm y 15-30cm...	19

En el apéndice

1 A	Tabla Anova, análisis estadístico para un diseño experimental de dos factores (edad y profundidad), para valores de pH al agua.....	48
2 A	Tabla Anova, análisis estadístico para un diseño experimental de dos factores (edad y profundidad), para la capacidad de intercambio catiónico	48
3 A	Tabla Anova, análisis estadístico para un diseño experimental de dos factores (edad y profundidad), para las cantidades de calcio.....	48
4 A	Tabla Anova, análisis estadístico para un diseño experimental de dos factores (edad y profundidad), para las cantidades de aluminio de intercambio.....	49
5 A	Tabla Anova, análisis estadístico para un diseño experimental de dos factores (edad y profundidad), para los porcentajes de materia orgánica..	49

En el anexo

1 B	Vegetación encontrada en el rodal de 6 años.....	50
2 B	Vegetación encontrada en el rodal de 11 años.....	52
3 B	Vegetación encontrada en el rodal de 18 años.....	53
4 B	Vegetación encontrada en el rodal de 25 años.....	54
5 B	Determinaciones físicas de la serie San Esteban.....	60
6 B	Determinaciones químicas de la serie San Esteban.....	60

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		PAGINA
<u>En el texto</u>		
1	Variación del pH del suelo en función de la edad de los rodales a dos profundidades.....	20
2	Variación de las bases intercambiables en la función de la edad de los rodales a dos profundidades.....	22
3	Variación del contenido de calcio en el suelo en función de la edad de los rodales a dos profundidades.....	24
4	Variación del aluminio de intercambio en función de la edad de los rodales para dos profundidades.....	26
5	Variación del porcentaje de materia orgánica en función de la edad a dos profundidades.....	29
6	Relación entre pH y capacidad de intercambio catiónico entre 15- 30 cm de profundidad.....	31

7	Relación entre pH y calcio de intercambio entre 15- 30 cm de profundidad.....	32
8	Relación entre pH y aluminio de intercambio a la profundidad de 15 - 30 cm	33
9	Relación entre pH y materia orgánica a la profundidad de 15 - 30 cm	34



I INTRODUCCION

Las especies forestales en forma natural imprimen determinadas características a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Esta acción de la vegetación sobre las propiedades del suelo se conjuga con la acción del clima; la precipitación y la temperatura tienen particular importancia al respecto.

Debido al rápido crecimiento de las especies del género Pinus se han masificado las plantaciones en rodales puros. En nuestro país existe una superficie, aproximada, de 1.7 millones de hectáreas plantadas, con la especie Pinus radiata D.don, en sitios moderadamente o severamente erosionados y de baja fertilidad. Esta masificación del cultivo de pino y la perspectiva de su extensión hacia suelos de aptitud agrícola y ganadera, ha atizado la polémica en torno a los impactos del monocultivo de pino sobre las propiedades químicas del suelo.

Los resultados de algunas investigaciones parecen indicar que los suelos forestales tienden a ser más ácidos especialmente cuando en ellos crecen coníferas, de las cuales se dice que poseen sustancias acidificadoras del suelo como resinas, que son muy difíciles de descomponer, y que tienen bajo contenido de calcio (Donoso, 1992).

Otras investigaciones no confirman lo anterior, según estudios realizados por el Instituto Forestal para la Corporación Chilena de la Madera.

Las plantaciones exóticas sobre suelos degradados habrían mejorado el suelo, al subir el pH y posibilitar la reintroducción de formaciones vegetales de especies nativas (Unda, 1994).

Ambas aseveraciones pueden ser verdaderas, ya que, la acidificación de los suelos depende de varios factores, como por ejemplo: tipo de material parental del suelo, el clima, la topografía, la actividad biológica en el suelo y la vegetación misma.

En la VIII Región las plantaciones exóticas se establecen sobre una amplia variedad de grupos de suelos; desde los arenosos a los rojos arcillosos de origen volcánico y de origen granítico, pasando por suelos metamórficos, sedimentarios y volcánicos recientes. A pesar de ello no se ha estudiado sistemáticamente los efectos de las plantaciones exóticas sobre las propiedades químicas del suelo. Esos efectos suelen ser muy importantes, respecto de la productividad de suelos, particularmente en aquellos cuya fertilidad natural depende mucho de las propiedades químicas, como es el caso de los suelos rojos graníticos. Estos antecedentes parecen justificar la realización de investigaciones referente a la reacción del suelo en sitios con especies forestales de rápido crecimiento, en suelos arcillosos graníticos que son de la mayor importancia en la producción forestal en la VIII región.

La presente tesis tiene como objetivo general estudiar el efecto de rodales de Pinus radiata de diferentes edades sobre la reacción del suelo, evaluada a través del

comportamiento del pH en el perfil del suelo. Como objetivo específico se propone evaluar propiedades edáficas que tienen una relación causal con la reacción del suelo como son la Capacidad de Intercambio Catiónico(CIC), el Porcentaje de Saturación Bases, Acidez de Cambio y el Contenido de Materia Orgánica.

1.1 Desarrollo de la acidificación de los suelos.

1.1.1 Procesos generales. Según Donoso (1992), la acidez del suelo es producida por exceso de cationes de hidrógeno (H^+), aluminio y los ácidos presentes en el suelo. Entre las fuentes de acidificación se menciona:

- a) El tipo de material parental, las rocas ígneas de colores claros (grandiorita) tienden a producir suelos ácidos, por intemperización.
- b) Lluvias ácidas que resultan de la solubilización de óxidos de carbono, de nitrógeno y de azufre presentes en la atmósfera.
- c) Ácidos orgánicos que resultan del metabolismo de los organismos del suelo.
- d) El ácido carbónico y los ácidos orgánicos, que son exudados por las raíces y otros que resultan de la descomposición de materia orgánica y los ácidos húmicos y fúlvicos asociados al humus.

Los ácidos producen abundantes protones (H^+), los cuales son fuertemente adsorvidos por las partículas coloidales (micelas orgánicas e inorgánicas), desplazando las bases desde el complejo de adsorción hacia la solución del suelo, las que pueden lixiviar rápidamente, dependiendo de la cuantía de precipitación pluvial. Este proceso contribuye a intensificar la acidez.

1.1.2 Acidificación en el ecosistema forestal. La biota está directamente involucrada en la acidificación del ecosistema forestal. Entre los procesos más importante se mencionan los siguientes.

1.1.2.1 El mantillo. El aporte de esta vía a la acidificación del suelo se concreta a través de la descomposición, fermentación y humificación de la biomasa acumulada en el piso del bosque. A través de estos procesos se liberan ácidos orgánicos que ingresan al perfil del suelo (Toro, 1995).

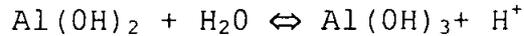
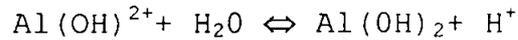
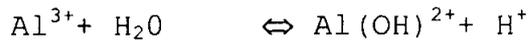
1.1.2.2 La materia orgánica. Según Calvo de Anta y Diaz - Fierros (1981), la acidificación del suelo esta controlada fundamentalmente por los ácidos orgánicos, provenientes de la descomposición de la materia orgánica del suelo, de los exudados radiculares. Los que actuan, de forma directa al incrementar la concentración de iones hidrógenos en la solución del suelo, e indirectamente favoreciendo la lixiviación de bases.

1.1.2.3 Actividad radicular. La actividad radicular tiende a provocar acidez a través de dos mecanismos : La absorción de bases de la solución del suelo y el aporte de ácidos orgánicos a través de los exudados (Honorato, 1993; Porta et al., 1994).

Según Alban (1982), la influencia de los árboles sobre el suelo se ejerce, principalmente, a través de la oxidación de biomasa acumulada sobre éste y de la actividad radicular. Sin embargo, sostiene que esta influencia es sólo superficial, afectando los primeros 25-30 cm de profundidad.

1.1.2.4 Precipitación y lixiviación. La precipitación pluvial contribuye a la acidificación del suelo al favorecer la lixiviación de las bases en el agua de percolación, especialmente bajo régimen de pluviométricos abundantes y suelos desprovistos de vegetación (Toro, 1995). Foth (1990), Considera la lixiviación de carbonatos como un importante factor de acidificación.

1.1.2.5 Hidrólisis del aluminio. Las partículas de arcillas interactúan con iones H^+ . Un complejo hidrógeno-arcilla saturado experimenta una descomposición espontánea. Al penetrar el H^+ las láminas de arcilla y reemplazar el aluminio estructural. El aluminio liberado es después absorbido por el complejo arcilla, formando rápidamente un complejo H^+ -Al-arcilla. El ion Al^{3+} interactúa con la solución del suelo e hidroliza con producción de H^+ , conforme a las siguientes ecuaciones (Howard, 1993):



Según Foth (1990), estos procesos ocurren a rangos de pH que oscilan entre 4.0 - 7.0 aproximadamente.

1.2 Efecto de la acidez sobre las propiedades del suelo.

1.2.1 Propiedades químicas.

1.2.1.1 Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y Saturación de bases (Sb). Acidez intercambiable (AI) y saturación de aluminio.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y saturación de bases (Sb). La capacidad de intercambio catiónico de un suelo puede ser satisfecha mediante los cationes H^+ , o bien por las así llamadas bases intercambiables (Ca, K, Mg y Na). Cuando estas bases representan la totalidad de la CIC se dice que el suelo está saturado de bases. La saturación de bases (Sb). Se expresa como la proporción de la capacidad de intercambio catiónico ocupada por cationes intercambiables, según la relación:

$$\% \text{Sb} = \frac{\sum (\text{cationes intercambiables})}{\text{CIC}} * 100 \quad (\text{Donoso, 1992}).$$

Cuando ocurre que el H^+ desplaza a las bases de los coloides del suelo, se dice que el suelo está saturado de hidrógeno. Por lo tanto el suelo se torna muy ácido.

El Al^{+3} contribuye también a la acidificación y saturación del suelo con H^+ , al hidrolizar (Donoso, 1992).

Acidez de intercambio(AI) y saturación de aluminio. La capacidad de intercambio catiónico no siempre está completamente saturada con bases; una fracción de ella puede estar ocupada por los cationes que son agentes de acidez (H^+ y Al^{+3}); tal es la acidez de intercambio. Este parámetro aumenta con la acidez del suelo. La acidez de intercambio se expresa como un porcentaje de la capacidad de intercambio catiónico, según la siguiente expresión (Cobertera, 1993):

$$\text{A.i} = \frac{\sum (\text{H}^+ + \text{Al}^{+3})}{\text{CIC}}$$

Al^{+3} :Miliequivalentes por 100 gramos de suelo

H^+ : Miliequivalentes por 100 gramos de suelo

De estas relaciones fluye que:

-El pH influye sobre la magnitud de la CIC, dependiendo del tipo de arcilla presente en el suelo.

-El pH influencia el porcentaje de saturación bases. A mayor acidez menor el porcentaje de saturación bases, a mayor Acidez de intercambio menor es el porcentaje de saturación bases.

La importancia de estas relaciones entre CIC, acidez y porcentaje de saturación de bases reside en que controlan la fertilidad del suelo. En general la acidez en el ecosistema forestal, está asociado a situaciones de baja disponibilidad de nutrientes vitales como el Ca, K y el Mg.

1.2.1.2 Acidez y capacidad de intercambio aniónico (CIA).

En algunos tipos de coloides también se pueden desarrollar cargas positivas en su superficie, particularmente los óxidos hidratados de Fe y Al, las coalinitas y el alofán. El intercambio aniónico se produce aquí entre los diferentes aniones que se encuentran adsorbidos y en la solución, compitiendo a las especies: OH^- , $\text{PO}_4^{=}$, H_2PO_4^- , $\text{SO}_4^{=}$, NO_3^- , Cl^- , F^- , CO_3^- , HCO_3^- . El fosfato, nitrato y sulfato son los aniones más importantes para nutrición vegetal involucrados en este intercambio. El proceso de desarrollo de cargas positivas, y por tanto de inducción de la capacidad de intercambio aniónico, es un fenómeno completamente dependiente del pH (Donoso, 1992).

Según Honorato (1993), la capacidad de intercambio aniónico (CIA) es dependiente del pH; las cargas positivas aumentan al disminuir el pH. Efecto opuesto a la CIC.

1.3 Efecto de las plantaciones exóticas sobre las propiedades del suelo.

1.3.1 Propiedades químicas.

1.3.1.1 Reacción del suelo (pH). La acidificación es un fenómeno natural que ocurre muy lentamente en los suelos con alta pluviometría como consecuencia de la pérdida de la lenta pero constante de bases (calcio, magnesio, potasio y sodio) y una acumulación de cationes ácidos (aluminio e hidrógeno). Sin embargo, este proceso se ha visto fuertemente acelerado gracias al hombre, que en su accionar productivo no ha tomado en cuenta los costos ecológicos (Sazwacka y Campillo, 1993).

La acidificación de los suelos limita el crecimiento de las plantas debido a una combinación de factores que incluyen la toxicidad del aluminio, manganeso y la deficiencia de nutrientes esenciales, especialmente el calcio, magnesio, fósforo y molibdeno. Pero el factor mas importante es sin duda el aluminio soluble(Baer, 1996).

En Galicia, España, no se registraron diferencias significativas entre los valores de pH de suelos bajo Roble y plantaciones de eucalipto o pino(Unda, 1994).

En sur este de Island(E.E.U.U) fueron seleccionados 8 suelos plantados con coníferas exóticas y una pradera nativa. Los suelos fueron analizados químicamente con el fin de examinar los efectos de plantaciones de coníferas sobre la disponibilidad de nutrientes en los suelos.

Los resultados revelaron que hubo acidificación en los suelos bajo coníferas. La disminución del pH fue acompañada por un incremento en cantidad de aluminio intercambiable(Murray, 1992).

Las propiedades del suelo bajo plantaciones de *Pinus radiata* y rodales adyacentes de *Eucalyptus ssp* fueron comparados en dos sitios diferentes en New South Wales(Australia). En el sitio de baja fertilidad plantado con *Pinus radiata* el contenido de nitrógeno, magnesio intercambiable y el pH fueron menores que el bosque nativo de eucalipto.

Sin embargo, en el sitio de alta fertilidad esos parámetros no mostraron diferencias significativas (Turner, 1987).

Estudios similares se realizaron con rodales puros de alamo, abeto y pinos en suelos de Minnesota (E.E.U.U), para determinar el efecto de las especies sobre las propiedades del suelo. En el piso forestal, el pH bajo pinos fue menor que bajo alamo y abeto; sin embargo, en el suelo mineral el pH fue menor bajo Alamo y Abeto, que bajo Pino (Alban, 1982).

En Inglaterra, Ovington se encontró que plantaciones de latifoliadas, tuvieron generalmente niveles más altos de calcio en el suelo mineral y pHs más altos, que en plantaciones de coníferas.

1.3.1.2 Acidez y aluminio de intercambio. Francke (1993), informa que en plantaciones de coníferas (*Pinus silvestris* y *Picea abies*), la disminución del pH o acidificación del suelo, se debe a la formación de ácidos orgánicos que resultan de la descomposición de la hojarasca, y que favorecen la solubilización de elementos de carácter ácido, como el Al^{+3} , Fe y Mn.

Otros estudios dan cuenta de plantaciones exóticas sobre suelos degradados que han permitido mejorar el suelo, subir el pH del suelo y reintroducir formaciones vegetales de especies nativas (Davidson, 1985; citado por Unda, 1994).

La influencia que la vegetación puede ejercer sobre la acidificación del suelo debe ser estudiada teniendo en cuenta varios aspectos relacionados no sólo con las características propias de las especie vegetal, sino a través de su incidencia sobre determinadas propiedades del suelo. La acidificación depende en último extremo de la resistencia al cambio de valor del pH opuesta por el suelo, la que está controlada en gran medida por el efecto amortiguador del suelo(Calvo de anta y diaz - Fierro, 1981).

1.3.1.3 Capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases. Según Contreras *et al.* (1975), la CIC de los suelos forestales varía ampliamente en función de factores como el material parental y el tipo de Coloide (arcilla) que constituyen el suelo mineral.

La vegetación (contenidos de materia orgánica) también influencia la CIC y el porcentaje de saturación de bases, puesto que hay especies que aportan poco Ca al suelo, como son la mayoría de las coníferas, en tanto que muchas latifoliadas producen un mantillo con abundante Ca, que se descompone más fácilmente y permite mayor saturación bases(Donoso, 1992).

Estudios realizados en Minesota (E.E.U.U) en suelos adyacentes con plantaciones de Alamo, abetos y pinos, revelaron que en el suelo mineral, el pH y la capacidad de intercambio de cationes fueron mayores bajos pinos, esto fue directamente relacionado con los contenidos de calcio del suelo(Alban, 1982).

II MATERIAL Y METODOS

2.1 Descripción del área de estudio.

El sitio de estudio esta ubicado en los 36° 29' de latitud y 72° 41' de longitud, en el predio "Las Raíces" de Guarilihue, distante a 80 kilómetros al Noreste de Concepción.

El área en que realizó el estudio, presenta las siguientes características:

2.1.1 Clima: clima templado mesotermal estenotérmico, mediterráneo subhúmedo. La temperatura promedio anual es de 13.50°C y varía, en promedio, entre una máxima de 27,60 °C en enero y una mínima de 5,30°C en julio. El período libre de heladas es de 274 días y el promedio de heladas es de 4 por año. El régimen de lluvias observa una media anual de 1029 mm, un déficit hídrico de 685 mm con un período seco de 6 meses (Noviembre- Abril) (Santibañez, 1993).

2.1.2 Vegetación: En el pasado, esta zona estaba cubierta por bosque nativo arborecente (litre, quillay y roble), el cual fue explotado por el hombre, para el uso del suelo en cultivos agrícolas, destinándola a la producción de cereales, principalmente trigo, y vid. Actualmente sólo quedan pequeños manchones de árboles nativos ubicados en las quebradas. Los terrenos dedicados al cultivo de trigo, han sido ocupados por plantaciones de *Pinus radiata*, las que en este momento cubren casi toda la zona.

2.1.3 Suelos: Pertenecen a la serie San Esteban. Esta ocupa un área dentro de la cordillera de la costa que abarca las provincias de Linares, Ñuble y Concepción. Se trata de suelos de textura media a fina; franco arcillosa en los horizontes superficiales y arcillosa en los inferiores, desarrollados a partir de material intrusivo, rico en cuarzo de origen granítico o diorita cuarzosa.

Los suelos son regularmente profundos y configuran un paisaje montañoso, con una topografía de lomajes ondulados a inclinados y quebrados con pendiente que fluctúan desde 15 a 25% y más.

La estructura es de bloques subangulares en la parte superior del perfil cambiando a bloques angulares y prismáticos en profundidad. El color es pardo rojizo, uniforme en todo el perfil (Anexo 2).

El drenaje externo de estos suelos es rápido y el interno es moderado. La erosión es generalizada y se presenta bajo forma laminar, de surcos y cárcavas, pudiéndose distinguir fases de erosión; moderada, fuerte y severa. Consecuentemente la Capacidad de Uso de los suelos varía entre las clases IV, VI y VIII.

2.2 Selección de rodales.

Los sitios de estudio fueron seleccionados con el fin de uniformar una serie de variables tales como suelo, topografía, exposición y manejo del suelo, a fin de poder compararlos, en relación a los efectos de edades (variable independiente) sobre la reacción del suelo (variable dependiente).

Las plantaciones seleccionadas para esta investigación presentan las siguientes características generales:

Tabla 1. Característica de los rodales seleccionados

Rodal (N°)	Edad (años)	DAP. (cm)	Altura (m)	Densidad (Arb/Ha)	Pendiente (%)	Exposición
1	6	14.31	12.34	825	18	Sudeste
2	11	18.74	18.70	1150	12	Sur
3	18	22.88	24.79	800	9	Sudoeste
4	25	29.19	24.74	375	30	Sudoeste

2.3 Selección de Sitios, Muestreo y Análisis Estadístico.

2.3.1 Selección de sitios. Con el fin de medir el efecto de la edad de la plantación de *Pinus radiata* sobre la reacción del suelo y sus propiedades químicas se identifican 4 rodales de 5 diferentes edades (6, 11, 18 y 25 años), establecidos sobre la misma serie de suelos, distribuidos en una superficie de aproximadamente 40 Ha.

2.3.2 Unidades muestrales y muestreo. Se realizó un premuestreo aleatorio, con el fin de conocer la variable que más varía, en cada rodal, para así diseñar el muestreo definitivo (Cancino, 1995). El número de unidades muestrales, por rodal, se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 2. Número de unidades muestrales por rodal.

Rodal N°	N° unidades muestrales
1 (6 años)	6
2 (11 años)	4
3 (18 años)	4
4 (25 años)	8

La unidad muestral consistió en una parcela de 0,5 metros cuadrados. Para cada rodal estas fueron distribuidas aleatoriamente. En cada unidad se procedió a muestrear a dos profundidades ; profundidad 1, 0- 15 cm y profundidad 2, 15-30 cm. Se abrió una calicata y en cada estrato se tomó una muestra (1 kg de suelo aproximadamente), en la que se practicaron análisis químicos, como se indica más adelante.

2.3.3 Análisis estadístico. En esta investigación la variable de interés es el pH, el cual se relaciona con dos variables que son la edad y la profundidad. Se considera el muestreo como un diseño experimental factorial, para lo cual la edad ,la profundidad y el complejo edad-profundidad(Apendice) son considerados como factores. Mientras que el pH, las bases intercambiables, el calcio, el aluminio de intercambio y la materia orgánica como variable respuesta. El análisis del experimento factorial se hace formulando un modelo de regresión lineal donde la respuesta **Y** (pH), está en función de la edad(x_1) y la profundidad(x_2) y del complejo edad-profundidad($x_1 * x_2$).

Se establece como supuesto que todas las combinaciones de factor tienen distribución normal independiente, con varianzas iguales. El modelo de regresión lineal que se utilizó para el análisis, está dado por:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_1 x_2$$

Se prueba la hipótesis $H_0 = \beta_3 = 0$. Si se rechaza la hipótesis, se establece que existe evidencia de interacción entre algún factor y la variable respuesta, luego se prosigue con pruebas de β_1 y β_2 , para ver cual factor es el que posee mayor grado de interacción con la variable respuesta. Si se acepta la hipótesis $H_0 = \beta_3 = 0$ esto implica que no existe interacción entre los factores y la respuesta. Por lo tanto será necesario probar algún otro factor (β_1 o β_2).

A continuación se da una escala donde se indican los distintos grados de interacción dados por la probabilidad de Fischer entregados por el programa estadístico Star Graffic ($Pr > F$) (Apendice).

Tabla 3. Grados de interacción dados por la probabilidad $Pr > F$.

$Pr \leq 0,01$	Interacción muy fuerte (rechaza hipótesis)
$0,01 < Pr \leq 0,05$	Interacción fuerte (rechaza hipótesis)
$0,05 < Pr \leq 0,1$	Interacción débil (rechaza hipótesis)
$Pr > 0,1$	No existe interacción (se acepta hipótesis)

2.4 Preparación de muestras y análisis químicos.

Las muestras de suelo fueron secadas al aire durante 48 horas, trituradas con morteros, tamizadas a 2 mm y conservadas en bolsas plástica.

Las determinaciones de las propiedades químicas del suelo fueron realizadas según los métodos empleados por el laboratorio del Departamento de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción. Las determinaciones realizadas y la metodología empleadas en cada caso se presentan resumiendose en la tabla siguiente.

Tabla 4. Determinaciones químicas y metodología empleada en el análisis de suelo.

Propiedad	Unidad de medida	Método utilizado
Reacción del suelo	pH al agua	Suspension suelo-agua 1:2,5. Se uso un potenciómetro dotado con electrodos de vidrio y calomelano como referencia.
Materia orgánica	(%)	Combustión húmeda oxidado por una mezcla Cr_2K (2N) y H_2SO_4 concentrado. se asumió que el 58% del porcentaje de carbono corresponde a materia orgánica.

Cationes de intercambio	(meq/100 g) de suelo seco al aire	Ca y Mg se determinan por espectroscopía de absorción atómica. K y Na mediante espectroscopía de emisión atómica. Solución desplazante de acetato de amonio 1N a pH 7 y HCl 0,1 N como solución remplazante del amonio(NH ₄).
Aluminio de intercambio	(ppm)	Método de absorción atómica, extraído con cloruro de potasio (KCl) 2N.

Capacidad de intercambio Catiónico y porcentaje saturación de aluminio: Cálculos realizados con datos del análisis de suelos.

Fórmulas utilizadas:

Capacidad de intercambio catiónico: $\Sigma(\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Mg}^{2+})$
meq/100g

Porcentaje saturación de aluminio: $\text{Al (meq)} * 100 / \text{C.I.C.e.}$
(CICE: Capacidad de intercambio catiónico efectiva).

III RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Efecto de las plantaciones sobre las propiedades químicas del suelo.

3.1.1 Reacción del suelo(pH) .

Tabla 5. Resultados de los análisis químicos. Valores promedios por muestras, a edades de 6, 11, 18 y 25 años y profundidades de 0-15 y 15-30 cm.

Propiedades químicas	pradera		6 años		11 años		18 años		25 años	
	0-15	15-30	0-15	15-30	0-15	15-30	0-15	15-30	0-15	15-30
Reacción de suelo(pH)	5,90	5,72	6,08	5,76	5,68	5,55	5,90	5,57	5,72	5,62
capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	4,02	2,93	5,44	5,02	2,76	2,03	3,06	2,49	5,18	3,82
Aluminio de intercambio (ppm)	11,05	22,90	6,77	16,60	29,6	60,40	17,80	56,50	15,40	24,42
Saturación de aluminio (%)	2,97	8,19	1,62	4,14	10,53	23,68	6,23	20,59	3,41	6,88
Materia orgánica (%)	3,96	2,29	4,58	3,19	3,55	3,47	4,07	2,19	5,60	3,13
Cationes de intercambio (meq/100 g)										
Ca	2,60	1,71	3,56	3,04	1,93	1,28	1,97	1,60	3,38	2,21
Mg	0,96	0,76	1,27	1,42	0,46	0,33	0,56	0,40	1,25	1,12
K	0,28	0,28	0,42	0,38	0,20	0,26	0,35	0,30	0,36	0,30
Na	0,18	0,18	0,19	0,18	0,17	0,16	0,18	0,19	0,19	0,19

En función de la edad se aprecia una tendencia general a la disminución del valor de pH, desde 6,08 a 5,72 , desde los 6 hasta los 25 años de edad, en la estrata superficial (0-15 cm). Tendencia que se visualiza con mayor claridad figura 1.

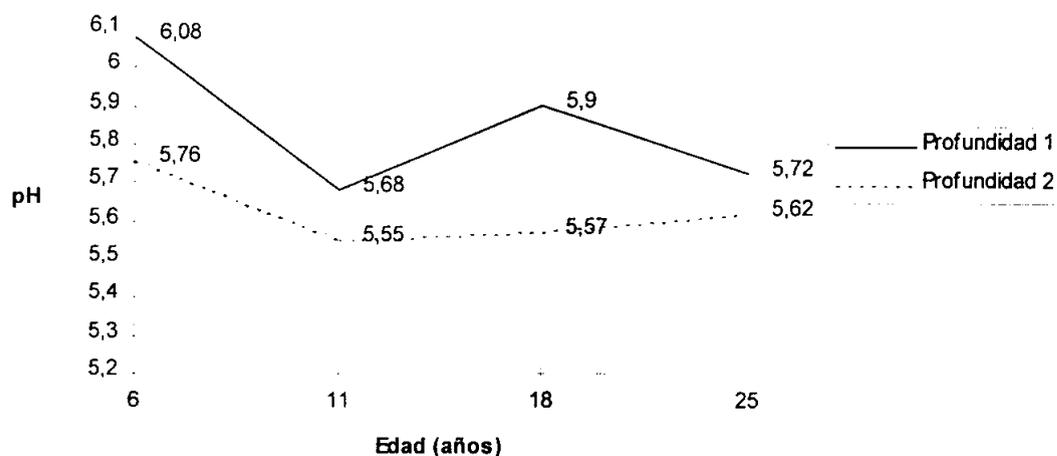


Figura 1. Variación del pH del suelo en función de la edad de los rodales a profundidades de 0-15 y 15-30 cm.

Desde los 6 hasta los 11 años se advierte una caída fuerte en el valor del pH (6,08 a 5,68). Luego la acidez disminuye a partir de los 11 años hasta los 18 años, para aumentar nuevamente desde los 18 a los 25 años, aunque levemente.

El efecto de la edad de plantación sobre la acidez es más claro y consistente en profundidad, entre los 15-30 cm. En efecto, el pH presenta valores más bajos y más constante, oscilando entre 5,76 y 5,62, tendiendo a estabilizarse e incluso a aumentar a partir de los 11 años como lo ilustra la figura 1.

El suelo del rodal de 6 años presenta los valores más altos de pH en el estrato 0-15 cm (profundidad 1), esto se explicaría por el efecto protector de la plantación y vegetación asociada, sobre el escurrimiento y lixiviación de bases (Garrido, 1993).

Los valores menores pH en ambas profundidades, fueron encontrados en el suelo del rodal de 11 años y podrían atribuirse, a la acumulación y fermentación del material orgánico representado por acículas de pino, con liberación de ácidos orgánicos. La fermentación se supone intensiva tras una década de acumulación de material orgánico y unos 6 años de formación del mantillo propiamente tal (Howard, 1993).

En el suelo del rodal de 18 años, los valores de pH se encuentran sobre los valores alcanzados a los 11 años surgiendo una tendencia hacia la disminución de la acidez, en ambas profundidades, hecho que podría estar relacionado con el aporte de bases proveniente de la descomposición y humificación de la hojarasca (Honorato, 1993).

En el suelo del rodal de 25 años también se observa un aumento de la acidez en la estrata superior del suelo mineral (0-15 cm). Parece relevante a este respecto destacar que el rodal se ha raleado intensamente, por lo alto, dejando amplios espacios abiertos, en los que se aprecia erosión laminar intensa. De modo que ese aumento de la acidez en la estrata mineral (0-15 cm) podría explicarse por el efecto combinado de la oxidación de la hojarasca y de la humificación, por un lado y el efecto de la lixiviación de bases resultante de la erosión, por otra parte (Garrido, 1993).

Existe una interacción significativa (muy fuerte) entre la profundidad y el pH y un menor grado de interacción (fuerte) se encontró entre la edad y el pH.

3.1.2 Capacidad de intercambio catiónico(CIC) y cationes de intercambio.

Los resultados muestran que la Capacidad intercambio Catiónico presenta un comportamiento coherente con el comportamiento del pH, como se puede verificar al comparar la figura 1 con la figura 2.

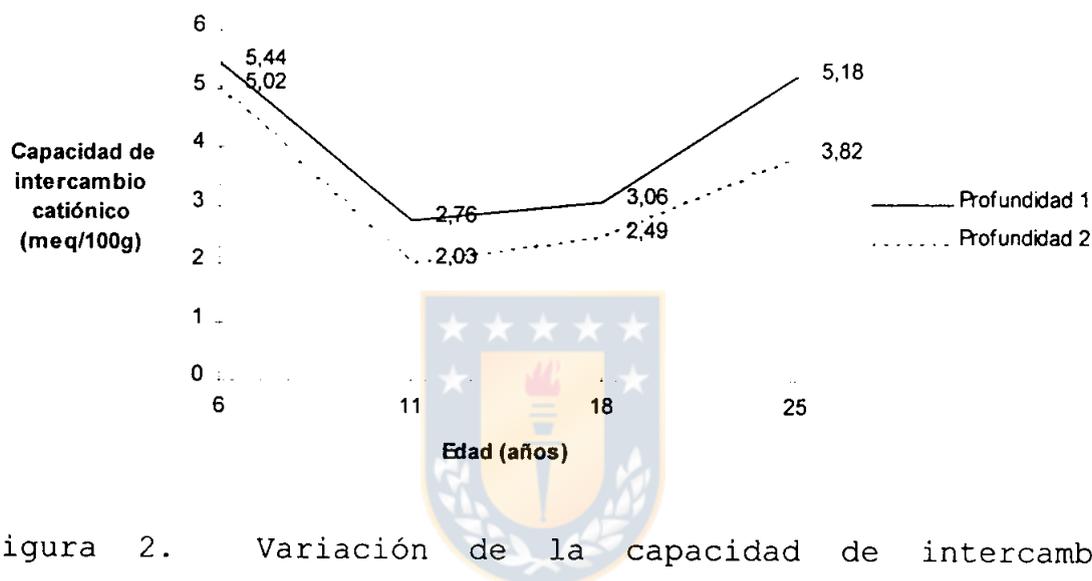


Figura 2. Variación de la capacidad de intercambio catiónico en función de la edad de los rodales a profundidades de 0-15 y 15-30 cm.

Desde los 6 hasta los 11 años se observa un descenso en la capacidad de intercambio catiónico (5,44 a 2,76 meq/100g). Luego la CIC comienza a aumentar levemente a partir de los 11 años hasta los 18 y fuertemente desde los 18 a los 25 años de edad.

Los resultados muestran que el efecto de la edad sobre las profundidades permanece constante, como se puede apreciar el comportamiento de las curvas en la figura 2.

Los valores altos de la capacidad de intercambio catiónico, observado en el suelo bajo plantación de mayor edad, revelarían el cambio que experimenta esta importante característica química en los suelos forestales cuando el rodal ha acumulado una considerable cantidad de litera, al cumplir 25 años edad.

Algunos investigadores señalan que entre 30 y 60 % de la capacidad de intercambio catiónico proviene de la materia orgánica del suelo.

El rodal de 6 años es el que presenta la mas alta capacidad de intercambio catiónico, esto se debería a la gran cantidad y diversidad de sotobosque que este rodal presenta (Anexo 1, tabla 2B), específicamente a su efecto protector respecto de la de la erosión y lixiviación.

La capacidad de intercambio catiónico fue baja en el suelo del rodal de 11 años, esta consecuencia se debe probablemente a efectos combinados de la acidez y lixiviación. La vegetación existente en el piso del rodal resultó ser escasa o nula(Anexo 1, tabla 3B)

Existe una interacción significativa(muy fuerte) entre la edad y las bases intercambiables. Un menor grado de interacción (fuerte) se encontró entre la profundidad y las bases intercambiables.

Cationes de intercambio. Referente a los cationes de intercambio, los resultados (tabla 2, figura 3) indican que en los 4 sitios estudiados el calcio es el catión más abundante, para todos los rodales en ambas profundidades. En segundo lugar, lo dicho vale también respecto del Mg. Este resultado concuerda con el hecho bien conocido de que el calcio y magnesio suelen ser cationes intercambiables dominantes en los suelos de regiones templadas (Waring and Schlesinger, 1985).

En los cuatro rodales el contenido de calcio intercambiable presenta un decrecimiento en relación a la profundidad. En cada profundidad el contenido de calcio intercambiable varía considerablemente en función de la edad del rodal.

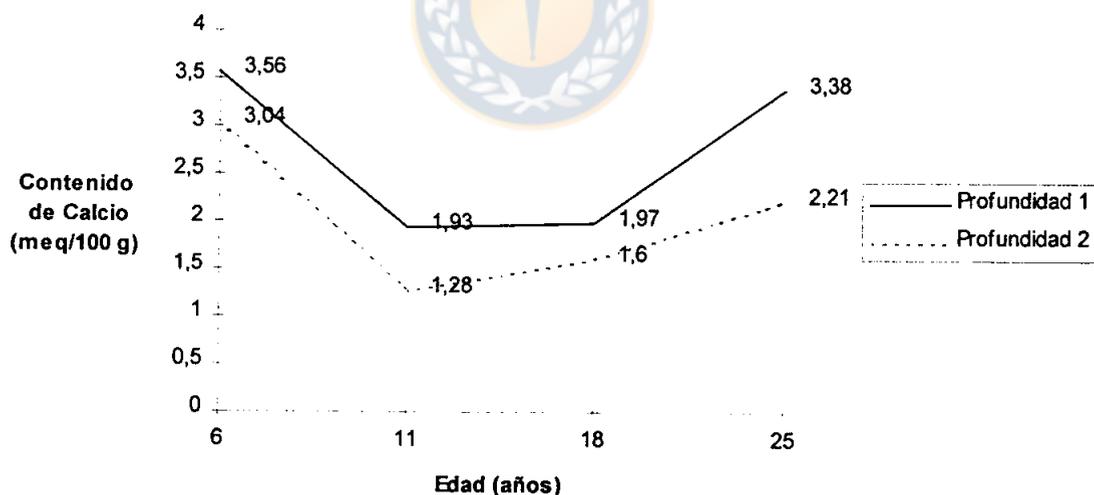


Figura 3. Variación del contenido de calcio en el suelo en función de la edad de los rodales a dos profundidades 0-15 y 15-30 cm.

Desde los 6 hasta los 11 años de edad se observa una descenso fuerte en el contenido de calcio, luego los niveles de calcio aumentan levemente a partir de los 11 hasta los 18 años, para finalmente aumentar fuertemente desde los 18 hasta los 25 años de edad. Este comportamiento del calcio es similar en ambas profundidades como se muestra en la figura 3 y esta de acuerdo con el comportamiento de la CIC.

Los valores de calcio intercambiables más bajos correspondieron al rodal de 11 años en ambas profundidades. Hecho que concuerda con la mayor acidez exhibida por el suelo correspondiente, asociada a procesos intensivos de fermentación de restos vegetales.

Existe un nivel de significancia muy fuerte entre la edad y el contenido de calcio. Sin embargo, el nivel de significancia entre la profundidad y el contenido de calcio fue débil.

3.1.3 Aluminio de intercambio.

A diferencia del pH, materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico, el aluminio intercambiable y porcentaje de saturación de aluminio aumentan con la profundidad y varían consistentemente en función de la edad del rodal (figura 4).

Para la profundidad de 0-15 cm, se puede apreciar que el aluminio intercambiable alcanza un mínimo a la edad de 6 años (16,6 ppm), luego tiende a aumentar hasta alcanzar un máximo de (60,4 ppm) a la edad de 11 años, para luego disminuir suavemente a los 18 años y finalmente a los 25 años alcanzar una cantidad comparable al mínimo. Este comportamiento se ilustra gráficamente en la figura 4.

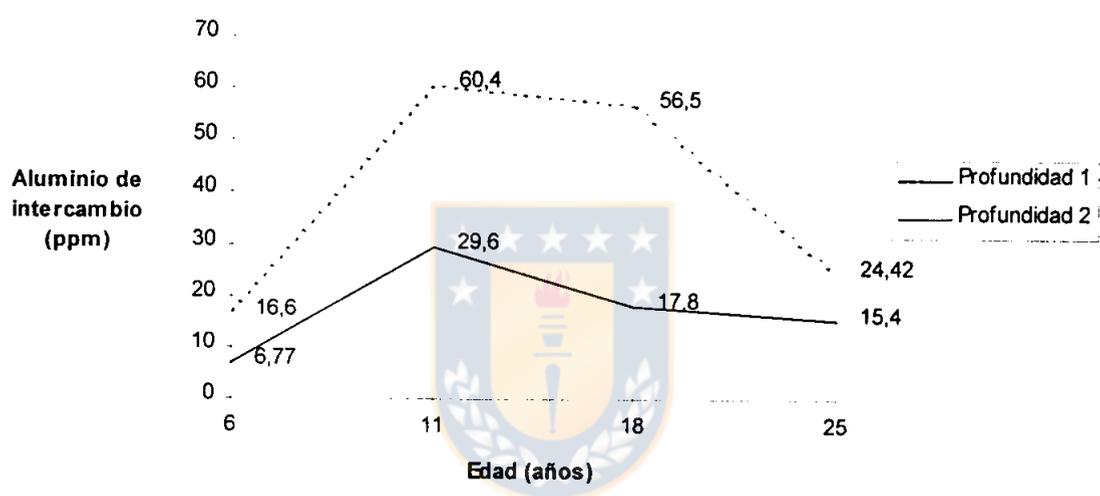


Figura 4. Variación del aluminio de intercambio en función de la edad de los rodales para dos profundidades 0-15 y 15-30 cm.

En el estrato superior del suelo (0-15 cm) la curva tiende a comportarse en forma similar a la estrata inferior, sin embargo, los valores son menores y su variación es menor también. Los valores mínimo y máximo van desde 6,77 - 29,6 ppm, en los suelos de los rodales de 6 y 11 años respectivamente.

En el rodal de 11 años, se encuentran los mayores contenidos de aluminio intercambiable en ambas profundidades, esto se debería a que este rodal presenta un mayor grado de acidez, derivada de la actividad de descomposición del mantillo. La producción de ácidos orgánicos favorece la descomposición de arcilla y consiguiente liberación e hidrólisis del Al^{+3} .

Según Foth (1990), a valores de pH próximos a 5,5 y menores de pH, el aluminio empieza a ocupar los sitios de intercambio, desplazando cationes, predominando como cation intercambiable. Al ser preferido por el complejo de absorción, dado que es adsorbido con mucho más energía que los cationes monovalente y bivalente.

A partir de los 11 años el contenido de aluminio intercambiable decrece consistentemente; fuertemente en la estrata sub-superficial (60,40 - 24,42 ppm) y moderadamente en la estrata superficial (29,6 - 15,4 ppm).

El análisis estadístico muestra que existe una interacción muy fuerte entre la profundidad y el contenido de aluminio de intercambio. Sin embargo, entre la edad y el contenido de aluminio de intercambio hubo una interacción de menor grado (fuerte).

3.1.4 Materia orgánica (M.O).

La materia orgánica disminuye con la profundidad del suelo, en todas las condiciones estudiadas (tabla 5). Esta variación es concordante con el hecho general de que en los suelos forestales la materia orgánica se acumula en la superficie del suelo (Brady, 1990; Donoso, 1992; Honorato, 1993).

En la figura 5, se puede observar que el contenido materia orgánica varía con la edad del rodal, en cada profundidad. Esta variación es más moderada en la estrata 15-30 cm que en la estrata superficial. Por otra parte al comparar el comportamiento de la materia orgánica en función de las edades y entre las estratas se aprecia un cierto desfase, que no se presenta en el caso del pH, los cationes intercambiables y el aluminio.

Ambos hechos, precedentemente consignados, se explican por la dinámica de descomposición de los restos orgánicos en el piso de rodal y la formación y acumulación de materia orgánica en el perfil del suelo. El primero es un proceso intensivo y muy variable; el segundo un proceso más regular, dependiente de factores internos al suelo. Además de los factores climáticos que influyen directamente al proceso de descomposición del mantillo u hojorasca.

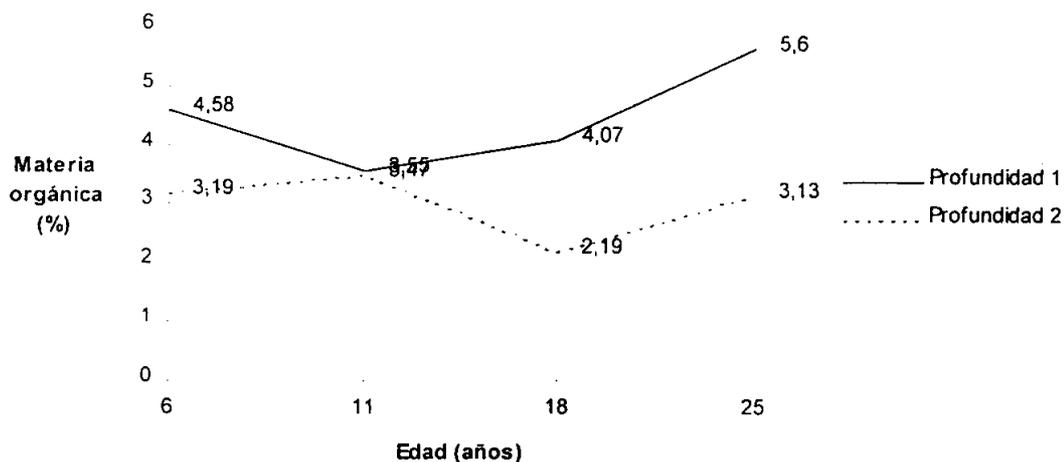


Figura 5. Variación del porcentaje de materia orgánica en función de la edad a dos profundidades 0-15 y 15-30 cm.

En función de la edad se aprecia una tendencia general al incremento del porcentaje de materia orgánica, desde 4,58% a 5,60%, desde los 6 hasta los 25 años de edad en el estrato superficial. Desde los 6 hasta los 11 años se observa un suave descenso (4,58% - 3,55%). Tendiendo a aumentar suavemente hasta los 18 años, para finalmente intensificarse, hasta alcanzar un máximo valor (5,60%) a los 25 años de edad.

El porcentaje más altos de materia orgánica se encontró en el rodal de mayor edad (25 años), lo que podría explicarse por la acumulación de materia orgánica humificada y/o el aporte de la vegetación acompañante que en este rodal es abundante, debido a la baja densidad del bosque, tras haber sido raleado por alto (tabla 5B, anexo 1).

Al observar la figura 5, se verifica que el suelo del rodal de 6 años tiene considerables cantidades de materia orgánica en ambas profundidades. En la profundidad 2 (15 - 30 cm) el bosque de 6 años es que muestra una de los más altos contenidos de materia orgánica. Ello se debería a la baja densidad de plantación, la gran cantidad de hierbas y arbustos que se desarrollo tras el establecimiento y por último, al a protección que esta vegetación significo, respecto de la erosión (Anexo 1, tabla 2B)

Los bajos porcentajes de materia orgánica obtenidos en el estrato superior del suelo del rodal de 11 años, se explican por la sobredensidad (N° arb/Ha), y también por escasa o nula cantidad de vegetación existente en el sotobosque.

El rodal de 18 años alcanzó el más bajo porcentaje de materia orgánica en la profundidad 2 (15 -30 cm), lo que probablemente se debio a una menor tasa de descomposición y humificación del mantillo y a la escasa vegetación presente en el piso del bosque resultante de un raleo tardío(a los 14 años) (Anexo 1 , tabla 4B).

El análisis estadístico muestra que existe una interacción muy fuerte entre la profundidad y el porcentaje de materia orgánica. Sin embargo, entre la edad y el porcentaje de materia orgánica hubo una interacción de menor grado(debil).

3.2 Relación entre pH y las otras propiedades químicas del suelo y la edad de las plantaciones.

Los resultados de este estudio además de mostrar la influencia de la edad de los rodales de *Pinus radiata* sobre la reacción del suelo, revelan que la acidez controla o influencia claramente importantes propiedades químicas, que determinan la fertilidad natural del suelo en sus aspectos químicos y bióticos. En efecto el valor de pH está estrechamente asociado a la capacidad de intercambio catiónico, en particular al calcio de intercambio, aluminio de intercambio y materia orgánica como lo ilustran respectivamente la figuras 6, 7, 8 y 9.

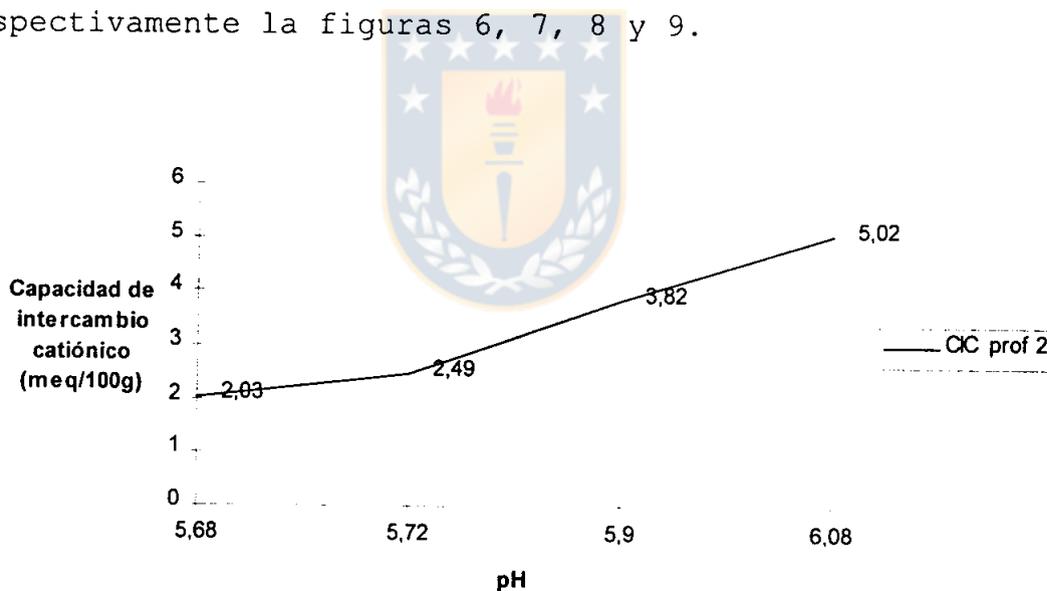


Figura 6. Relación entre pH y capacidad de intercambio catiónico entre (15 - 30) cm de profundidad.

La lixiviación de las bases aumenta en las regiones húmedas, dando como resultado un mayor desarrollo de la acidez del suelo. La lixiviación de estos cationes da por resultado su reemplazo por Aluminio (Al^{+3}) e hidrogeno (H^+), entonces el suelo se vuelve aun más ácido (Foth, 1990; Pritchett, 1987).

El hidroxido-aluminio se hidroliza produciendo adicionalmente hidrógenos y reduciendo la capacidad de intercambio catiónico, volviéndose una fuente muy importante en el desarrollo de acidez en los suelos, ésta es una razón más por la cual la capacidad de intercambio catiónico dependerá del pH (Foth, 1990; Murray, 1994).

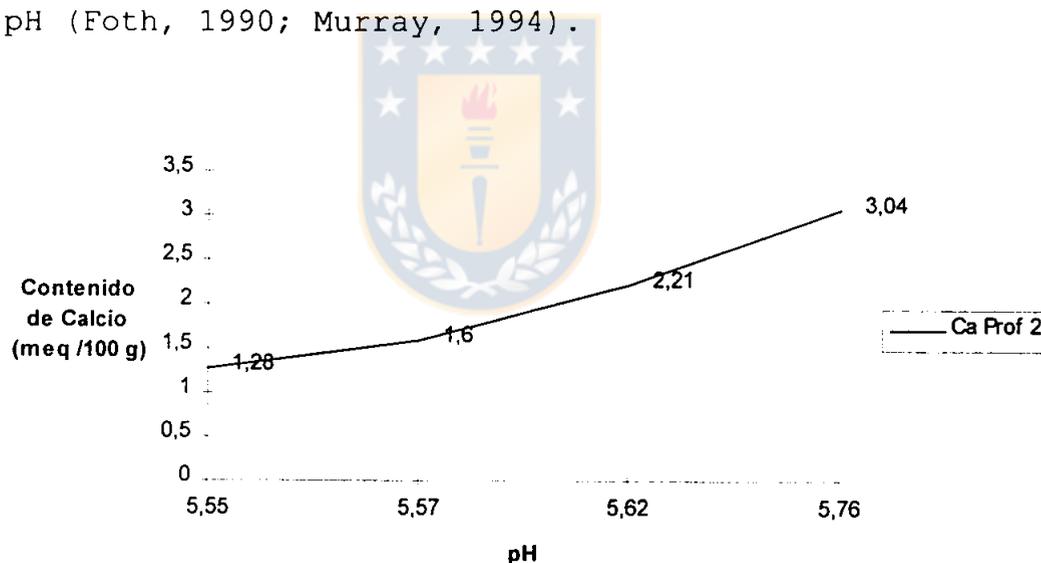


Figura 7. Relación entre pH y calcio de intercambio entre (15 - 30) cm de profundidad.

En la figura 8 muestra que existe una relación inversamente proporcional entre el pH y el aluminio de intercambio. Relación que se mantiene para ambas profundidades.

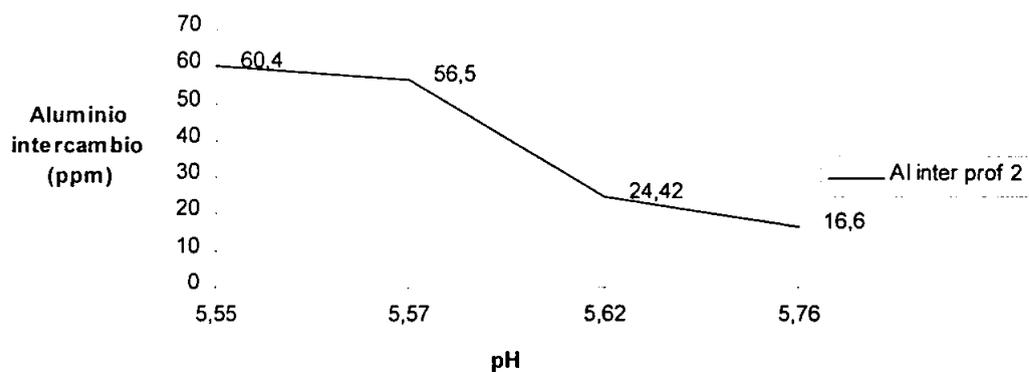


Figura 8. Relación entre pH y aluminio de intercambio desde 15 a 30 cm de profundidad.



Estos resultados no muestran una interrelación clara entre pH y materia orgánica. El comportamiento de la curva (figura 9) sugiere que no existe una relación fuerte entre ambas variables.

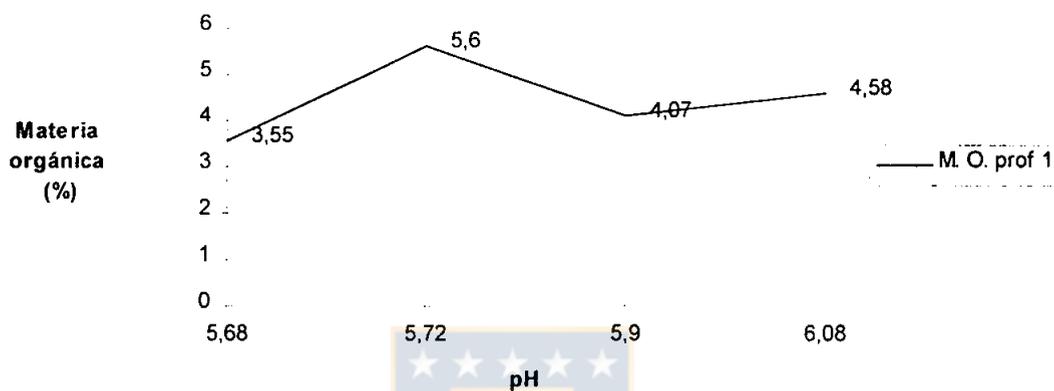


Figura 9. Relación entre pH y materia orgánica desde 15 a 30 cm de profundidad.

IV CONCLUSIONES

A través de la edad se puede apreciar una tendencia general a la disminución de pH desde los 6 hasta los 25 años en el estrato superficial (Profundidad 1, 0-15 cm). Por lo tanto podemos decir que existe efecto de la plantación sobre el estrato superficial causando un descenso del pH o acidificación del suelo.

El suelo del estrato inferior (profundidad 2, 15-30 cm), presenta menores valores de pH, pero más constantes, mostrando una tendencia general a disminuir la acidez con el incremento de la edad a partir de los 11 años.

El suelo del rodal de 6 años es el que posee el mayor valor de pH en ambas profundidades.

Existe una interacción significativa (muy fuerte) entre la profundidad y el pH. Un menor grado de interacción (fuerte) se encontró entre la edad y el pH.

La capacidad de intercambio catiónico y el calcio tienden a incrementarse con la edad, a partir de los 11 años, obteniendo uno de los valores máximos a los 25 años de edad, esta tendencia es similar en ambas profundidades.

Existe una interacción significativa (muy fuerte) entre la edad y capacidad de intercambio catiónico. Un menor grado de interacción (fuerte) se encontró entre la profundidad y las bases intercambiables.

Existe una evidencia muy fuerte entre la edad y el contenido de calcio. Sin embargo, entre la profundidad y el contenido de calcio se encontró una interacción débil.

A diferencia de otras propiedades químicas, el aluminio de intercambio tiende a incrementar con la profundidad.

No se observa una tendencia en el aluminio de intercambio, presenta dos valores máximos a los 11 y 18 años de edad y dos valores mínimos a los 6 y 25 años, la curva tiende a una de distribución normal.

Los mayores valores de aluminio de intercambio se encuentran en el suelo del rodal de 11 años de edad, donde también se observa una mayor acidificación, lo cual nos indica que existe una relación entre estas dos propiedades químicas del suelo.

Existe una interacción muy fuerte entre la profundidad y el contenido de aluminio de intercambio. Sin embargo, entre la edad y el contenido de aluminio de intercambio hubo una interacción de menor grado (fuerte).

En función de la edad se aprecia una tendencia general, al incremento de la materia orgánica, desde los 6 años hasta los 25 años de edad en el estrato superficial (0 - 15 cm).

Los porcentajes más altos de materia orgánica se encuentran en el rodal de mayor edad (25 años), esto indicaría la inconveniencia de explotar prematuramente las plantaciones de *pinus radiata*.

También existe una interacción muy fuerte entre la profundidad y la variable porcentaje de materia orgánica. Sin embargo, para el factor edad se encontró una interacción débil.

Las relaciones entre pH y las distintas propiedades químicas estudiadas, (Capacidad de intercambio catiónico, aluminio de intercambio, calcio de intercambio) son claras y consistentes en el estrato inferior (15-30 cm). Sin embargo, en el estrato superior (0-15 cm), no se encontró relación excepto entre pH - aluminio de intercambio. La variable que más se correlaciona con el pH a través del perfil de suelo estudiado, es el aluminio de intercambio.

Para disminuir el efecto de las plantaciones exóticas sobre las propiedades químicas del suelo es necesario realizar un buen manejo a través de la rotación, es decir, hacer podas y raleos en el tiempo preciso, para abrir el dosel y así mejorar las condiciones de luz y temperatura en el piso del bosque, y también para que puedan crecer diferentes especies arbustivas y herbáceas, mejorando con esto las propiedades biológicas y físicas del suelo.

Recomendaciones para las futuras investigaciones tendientes a evaluar el efecto de la cubierta vegetal sobre las propiedades del suelo deberían incluir:

A) Un mayor número de edades, incluyendo un suelo descubierto, con el objeto de obtener un cuadro mas completo de las variaciones de las propiedades químicas y físicas a través de la rotación de la especie forestal que se estudie.

B) El estudio de los horizontes orgánicos L, F y H que son susceptible a analizarse separadamente.

C) Un mayor número de muestras del suelo por sitio de estudio, con el propósito de aumentar el grado de representatividad de la condición que se investigue.

D) Realizar las investigaciones en sitios cercanos entre si, con condiciones topográficas y climáticas semejantes, para poder compararlos.

E) Medición de propiedades químicas en suelos con plantaciones y distintos grados de fertilidad.

V RESUMEN

Se evaluó los efectos de las plantaciones de *Pinus radiata* D. don de diferentes edades 6, 11, 18 y 25 años sobre la reacción del suelo evaluada a través del pH y de propiedades edáficas estrechamente asociada a ella; principalmente, la capacidad de intercambio catiónico, cationes de intercambio, aluminio intercambiable y contenido de materia orgánica.

El estudio se realizó en un suelo de la Serie San Esteban del grupo de los suelos rojos graníticos (Orden Xeralfs) de aptitud forestal (clase de capacidad de uso VI-VIII). Ubicados en la VIII región, a 80 km. al Noreste de Concepción (36° 29' de latitud y 72° 41' longitud).

Tras un muestreo aleatorio para determinar la variable que más varía en cada rodal, para así diseñar el muestreo definitivo. Las unidades muestrales consistieron en parcelas de 0.5 m² las que se distribuyeron aleatoriamente en sitios más o menos uniformes respecto de la exposición, de la pendiente y ubicación en ellas. Los efectos de las plantaciones se determinaron en dos estratas del suelo mineral: 0-15 cm y 15-30 cm, de las cuales se procedió a tomar muestras de suelo para el análisis de las propiedades en estudio. Este esquema de muestreo se considera como un diseño experimental factorial en el que la edad de los rodales y las profundidades a las que se determinan los efectos son factores, mientras que las propiedades químicas estudiadas son las variables respuestas, las interacciones

entre las variables y los factores fueron estadísticamente analizadas a través de un programa estadístico.

Los resultados muestran que existe un efecto de la vegetación (plantación) sobre el estrato superficial, en el que se puede formular una tendencia hacia el descenso en valor de pH o acidificación del suelo. Mientras que en la profundidad inferior (15-30 cm) no hubo efecto, al contrario el pH tiende a incrementar a partir de los 11 años de edad. Existe interacción muy fuerte entre el factor profundidad y la variable respuesta (pH).

La capacidad de intercambio catiónico aumenta a partir de los 11 años, obteniéndose uno de los valores máximos a los 25 años esta relación es similar para ambas profundidades.

En función de la edad se aprecia una tendencia general, al aumento del porcentaje de materia orgánica desde los 6 hasta los 25 años de edades en el estrato superficial del suelo (0-15 cm). En el estrato inferior existen fluctuaciones leves a través de los años manteniéndose mas o menos constante.

Las relaciones entre el pH y las diferentes propiedades químicas medidas, siempre son observadas en el estrato inferior (15-30 cm). Las mejores relaciones fueron encontradas entre; pH - aluminio, pH - calcio y pH - capacidad de intercambio catiónico. Sobresaliendo la relación pH - aluminio, la cual es muy fuerte en ambas profundidades.

V SUMMARY

It was evaluated the effects of the *Pinus radiata* D. don plantations of several ages 6, 11, 18 y 25 years on the reaction of the soil evaluated through the pH and of properties edaphics closely associated with them mainly, the capacity cations of exchange, cations of exchange, interchangeable aluminum and content of organic.

The study was carried out in a soil of "san Esteban" series of the red granitics soil groups (Xeralfs order) of forest aptitude (class of capacity of VI-VIII), located in the VIII region, to 80 Km the northeast of Concepcion ($36^{\circ} 29'$ of latitude and $72^{\circ} 41'$ longitude).

After an aleatory sample in order to determine the most changeable variable in each stand so as to design the definitive sample. The sample units consisted of parcels of 0.5 m^2 which were distributed at random in sites more or less uniform, according to the exhibition, the slope and location of them. The effects of the plantations were determined in two strata of the mineral soil: 0-15 cm and 15-30 cm, of which samples of the soil were taken to analyse the properties in study. This sample outline is considered as experimental factorial design in which the age of the stands and the depths to which the effects were determined are factors, while the chemical studied properties are the variable answers, the interactions between the variables and the factors were statistically analyzed through a statistical program.

The result show that there is of the vegetation (plantations) on the superficial stratum, in which one could formulate a tendency toward the decrease of the value of pH or acidification of the soil. While in the lower depth (15-30 cm) there was not any effect, but on the contrary the pH tends to increase from the age of 11. There is a very strong interaction between the depth factor and the variable answer, pH.

The capacity cations of exchange increase at the age of 11 years, obtaining a maximum value at the age of 25 years, this relationship is similar for both depths.

In relation to the age there is a general tendency, to the increase percentage of organic matter, from the age of 6 to the age of 25 in the superficial stratum (0 to 15 centimetre). In the inferior stratum light fluctuations are observed, being more or less constant through the years.

The relations between pH and the different chemical properties measured, in this study were always in the lower stratum. The best relationships were found, between pH - aluminium; pH - calcium; pH - capacity cations of exchange. Being the most outstanding out the relationship between pH - aluminium, which was observed in both depths.

VI BIBLIOGRAFIA

- Alban, D. H. 1982. Effects of nutrient acumulation by Aspen, Spruce and Pine on soil properties. Soil. Sci. Soc. Am. J. 46: 853 - 861.
- Baer, K. V. 1996. Acercamiento económico a la problematica de la acidificación de los suelos de sur de Chile. Tesis de grado de la Pontificia Universidad Catolica de Chile. Facultad de Agronomía. Departamento de economia Agraria. Santiago Chile.
- Brady, N. C. 1990. The nature and properties of soil. Tenth Edition. Macmilan Publishing Company. New York. E.E.U.U.
- Calvo de Anta, R. M. y F. Diaz-Fierros. 1981. Consideraciones acerca de la acidificación de los suelos de la zona húmeda española a través de la vegetación. Anales edafología y agrobiología. 40:411-425.
- Cancino, J. 1995. Métodos de muestreo aplicados a inventarios forestales. Editorial de la Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Concepción. Concepción. Chile.

- Carrasco, P., J, Millan. y L. Peña. 1993. Suelos de la cuenca del Bio-bio, características y problemas de uso. pp. 32-42. En : F. Aranda y O. Parra.(Eds). Análisis territorial, Volumen 3. Programa interuniversitario de investigación científica aplicada y formación. Eula. Universidad de Concepción. Concepción. Chile.
- Cobertera, E. 1993. Edafología aplicada: Suelos, producción agraria, planificación territorial e impactos ambientales. Madrid. España.
- Contreras, H. , R. Borgel ., M. Quezada. , M. Bitterlich. , W. Toro. y O. Giusti. 1975. Informe de la primera etapa del proyecto sobre reforestación de precordillera patagonica. Facultad de Agronomía y Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Santiago.
- Donoso, Z. C. 1992. Ecología forestal. El bosque y su medio ambiente.3ª Edición. Editorial Universitaria. Universidad Austral . Chile.
- Foth, H. D. 1990.Fundamentals of soil Science. Eighth Edition. John Wiley & Sons. New York. E.E.U.U.
- Francke, C. S. 1993. Efectos de las plantaciones forestales en el suelo. Chile Forestal, Documento Técnico N° 70. CONAF. Santiago, Chile.

- Garrido, F. 1993. Comentarios sobre la acidez de los suelos forestales. Corma 231:37- 39.
- Hoffman, A. 1982. Flora silvestre de Chile zona austral. Ediciones fundación Claudio Gay. Santiago. Chile.
- Honorato, R. P. 1993. Manual de edafología. Editorial universitaria S.A. Universidad Católica de Chile. Santiago. Chile.
- Howard, T. 1993. Principles of soil Chemistry. Second Edition. Marcel Decker. New York. E.E.U.U.
- Murray, B. and M. Bride. 1994. Environmental chemistry of soil. First Edition. Oxford university press. New York. E.E.U.U.
- Murray, R. D. and H. Murray. 1991. Increased nutrient availability in Top soils under conifers in the south island high country. New Zealand Journal of Forestry Science 21(2/3):165-179.
- Porta, J. , M. López - Acevedo y C. Roquero. 1994. Edafología para agricultura y el medio ambiente. 1ª Edición. Editorial Mundi - prensa. Madrid. España.
- Pritchett, W. L. and R. F. Fisher. 1987. Properties and management of forest soils .Second edition. John Wiley & Sons. New York. E.E.U.U.

- Rodriguez, G. , R. Rodriguez. y H. L. Barrales. 1995. Plantas ornamentales Chilenas. Editorial Anibal Pinto S.A. Concepción. Chile.
- Rodriguez, R. , O. Mathei. y M. Quezada. 1983. Flora arbórea de Chile. Editorial de la Universidad de Concepción. Chile.
- Santibañez, F. y J, Uribe. 1993. Atlas agroclimático de Chile, regiones sexta, séptima, octava y novena. Corfo. Ministerio de Agricultura, FIA. Santiago. Chile.
- Sazwacka, A. y R, Campillo. 1993. Problemática de la acidez de los suelos de la IX región. Acidez de los suelos en la región de la Araucanía. INIA. Serie Carillanca N° 38.
- Singer, M.J. and D, N. Munns. 1987. Soils an introduction. Second edition. Macmillian Publishing Company. New York. E.E.U.U.
- Toro, J. 1995. En Pino Radiata: Derribando mitos sobre la acidificación de suelos. Corma 241: 25 -27.
- Turner, J. and J. Kelly. 1988. Soil properties as affected by Pinus radiata plantations. New Zealand Journal of Forestry Science 18(1):77-91.

Unda, A. y F. Ravera. 1994. Efectos provocados en el sitio por las plantaciones de Pino radiata y Eucaliptus. Informe final. Instituto Forestal. Unidad de Medio Ambiente. Santiago. Chile.

Waring, R. H. , and W. H. Schlesinger. 1985. Forest Ecosystems Concepts and Management. Academic Press Inc. San Diego. California. E.E.U.U.



VII APENDICE

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

Fuente	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	Relación F	Pr >F
Edad	4	0,308	0,077	3,161	0,043
Prof	1	0,271	0,271	11,111	0,004
Edad* prof	4	0,065	0,016	0,662	0,627
Error	16	0,390	0,024	-	-

R = 0,854

Tabla 2 A. Tabla Anova, muestra el análisis estadístico para un diseño experimental de 2 factores (edad y profundidad), para la capacidad de intercambio catiónico.

Fuente	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	Relación F	Pr >F
Edad	4	28,568	7,142	8,924	0,001
Prof	1	4,207	4,207	5,256	0,036
Edad* prof	4	0,996	0,249	0,311	0,866
Error	16	12,805	0,800	-	-

R = 0,855

Tabla 3 A. Tabla Anova, muestra el análisis estadístico para un diseño experimental de 2 factores (edad y profundidad), para los contenidos de calcio.

Fuente	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	Relación F	Pr >F
Edad	4	10,263	2,566	6,884	0,002
Prof	1	3,128	3,128	8,392	0,011
Edad* prof	4	0,597	0,149	0,401	0,805
Error	16	5,963	0,373	-	-

R = 0,844

Tabla 4 A. Tabla Anova, muestra el análisis estadístico para un diseño experimental de 2 factores (edad y profundidad), para las cantidades de aluminio de intercambio.

Fuente	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	Relación F	Pr >F
Edad	4	3696,817	924,204	4,760	0,010
Prof	1	2410,010	2410,010	14,412	0,003
Edad* prof	4	890,046	222,511	1,146	0,371
Error	16	3106,719	194,170	-	-

$$R = 0,824$$

Tabla 5 A. Tabla Anova, muestra el análisis estadístico para un diseño experimental de 2 factores (edad y profundidad), para los porcentaje de materia orgánica.

Fuente	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	Relación F	Pr >F
Edad	4	4,840	1,212	2,256	0,109
Prof	1	10,130	10,135	18,858	0,001
Edad* prof	4	4,690	1,173	2,182	0,118
Error	16	16,00	0,537	-	-

$$R = 0,857$$

ANEXO 1

Antecedentes y características de los sitios estudiados.

A) Historia del rodal 1.

Rodal Pinus radiata de primera rotación plantado en 1991, nunca raleado, sometido a una poda muy suave a dos metros de altura en el año 1995. Antiguamente este suelo era ocupado en labores agrícolas, cultivándose principalmente trigo y otros como lentejas, arvejas.

Características del rodal.

Especie dominante	: Pinus radiata.
Edad	: 6 años.
D.A.P promedio	: 14,31 cm.
Altura promedio	: 12,34 m.
Densidad	: 825 arb / Ha
pendiente media	: 18%
Exposición	: Sureste

Tabla 1 B. Vegetación encontrada en el rodal de 6 años.

Nombre vulgar	Nombre científico
Boldo	Peumus boldus Mol.
Litre	Lithrea caustica (Mol.) H et A.
Maqui	Aristotelia chilensis
Mardoño	Escallonia pulverulenta (R. et P) Pers
Murtilla	Ugni molinae
Quillay	Quillaja saponaria Mol.
Radal	Lomatia hirsuta (Lam.) Diels ex Macor.
Retamillo	Telinus pesinularia
Zarzamora	Rubus ulmiforme

Fuente: Hofman (1982); Rodriguez et al. (1983).

Hierbas

Pimpinela	anapallis arvensis l.
Lechugilla	Taraxacum officinale Weber.
Avenilla	Avena fatua l.
Siete venas	Plantago lanceolata l.

B) Historia del rodal 2.

Rodal de Pinus radiata, de primera rotación, plantado en 1986 y sometido a un raleo liviano en el año 1995. En el año 1991 se realizó la primera poda a 3-4 metros de altura, actualmente en el año 1997 se está realizando la segunda poda.

En general es un rodal que no posee sotobosque, exepctuando el lugar donde existe una quebrada de unos 3-4 metros de profundidad. La vegetación estuvo precedida por cultivos agrícolas principalmente de trigo, el cual fue cultivado por años en estos suelos.

Características del rodal.

Especie dominante	: Pinus radiata.
Edad	: 11 años.
D.A.P promedio	: 18,74 cm.
Altura promedio	: 18,70 m.
Densidad	: 1150 arb / Ha.
Pendiente media	: 12%.
Exposición	: Sur

Tabla 2 B. Vegetación encontrada en el rodal de 11 años.

Nombre vulgar	Nombre científico
Roble	Nothofagus obliqua (Mirb.) oerst.
Maqui	Aristotelia chilensis
Peumo	Criptocaria alba
Rosa mosqueta	Rosa moschata. Herrm.

Fuente: Rodríguez et al. (1983).

Hierbas

Chépica	Aprostis capillans l.
---------	-----------------------

C) Historia del rodal 3.

Rodal de *Pinus radiata*, de primera rotación, plantado en 1980 y sometido a un raleo liviano en el año 1994. En el año 1988 se realizó la primera y única poda. La vegetación estuvo precedida por cultivos agrícolas principalmente de papa, porotos y maíz, los cuales fueron cultivado por varios años en estos suelos.

Características del rodal.

Especie dominante : *Pinus radiata*.
 Edad : 18 años.
 D.A.P promedio : 22,88 cm.
 Altura promedio : 24,79 m.
 Densidad : 800 arb / Ha.
 Exposición : Suroeste
 Pendiente media : 9 %.

Tabla 3 B. Vegetación encontrada en el rodal de 18 años.

Nombre vulgar	Nombre científico
Quillay	Quillaja saponaria
Retamillo	Telinus pesinularia
Rosa mosqueta	Rosa moschata

Fuente: Rodríguez *et al.* (1995).

Hierbas: No se encuentran.

D) Historia del rodal 4.

Rodal de *Pinus radiata* que se estableció por regeneración natural, luego de ser cosechado por primera vez, poseiendo una edad media de 25 años, no ha sido sometido a podas, sin embargo, ha sido sometido a dos raleos muy fuertes en el año 1993 y 1996 respectivamente. El tipo de raleo aplicado fue por lo alto, esto significa que fueron extraído los mejores arboles (Dominante y codominante) , esto explica su condición actual donde su densidad es muy baja. Precedió a la vegetación actual una pradera, ya que, hoy día se encuentra severamente erosionado, encontrándose carcavas de hasta 10 metros de profundidad.

Característica del rodal

Especie dominante : *Pinus radiata*.
 Edad : 25 años.
 D.A.P promedio : 29,19 cm.
 Altura promedio : 24,74 m.
 Densidad : 375 arb / Ha
 Pendiente media : 30%
 Exposición : Suroeste

Tabla 4 B. Vegetación encontrada en el rodal de 25 años.

Nombre vulgar	Nombre científico
Mardoño	Escallonia pulverulenta (R. et P) Pers
Maquí	Aristotelia chilensis
Litre	Lithrea caustica (Mol.) H et A.
Peumo	Criptocaria alba
Huayu	Kagenequia oblonga
Arrayán	Myrceugenella apiculata (D. C.) Kaus
Maitén	Maytenus boaria Mol.

Fuente: Hoffman (1982);Rodriguez et al. (1995).

Hierbas: No se encuentran.



ANEXO 2

Suelos graníticos

Los materiales generadores que han originado estos suelos son rocas graníticas, dioritas cuarzosas o material intrusivo 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 y disectadas por quebradas, a serranías con fuertes pendientes en la alta cordillera.

El clima es mediterráneo templado cálido, con gran amplitud térmica, con más de cuatro meses secos en el secano interior a prácticamente uno o dos en las áreas de mayor altura. la caída pluviométrica es muy variable, esta muy ligada al efecto de la altura de formaciones montañosas y de la posición fisiográfica en que se encuentren ;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 Chillan hacia el norte, mientras que hacia el sur predominaba una formación de estepa de *Acacia caven*, matorral de transición y parques. En la actualidad, estas formaciones se encuentran totalmente alteradas.

De acuerdo con el Proyecto Aerofotogramétrico (1964), se distinguen dos series de importancia forestal y escaso uso agrícola: San Esteban (ET) y Cauquenes (CQ), gran parte de las cuales han sido plantadas en alta proporción con Pino radiata. La serie Santa Sofía (SS), que también se incluye en este grupo, es de aptitud agrícola.

Los suelos de este grupo presentan colores pardo oscuro en los horizontes superiores, estructuras granulares a bloque subangulares, ligeramente plásticos y adhesivos en mojado, duros y compactos en seco. los horizontes más profundos tienen texturas arcillosas con presencia de grava cuarzosa; estructuras de bloques subangulares a prismáticas.

En general se trata de suelos profundos, con perfiles arcillosos densos muy compactos, que han experimentado un fuerte proceso erosivo laminar y de zanjas, en los casos más severos muchas veces se ha forestado el subsuelo. La erosión limita seriamente su calidad. En cambio, constituyen excelentes sitios forestales todas aquellas áreas donde la erosión es mínima (Carrasco et al., 1993).

Descripción de la Serie San Esteban

Clasificación	Orden Alfisols
	Sub-orden Xeralfs
Geomorfología	Zona montañosa disecada por quebradas
Topografía	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°06'
Altitud	700 m.s.n.m.

Descripción del perfil

- Horizontes orgánicos

L (Ol) 1,0 cm: Desechos orgánicos sin cambios morfológicos en relación a su aspecto original en el que predominan: acículas, ramas, ramillas y conos de pino radiata.

F (Of) 0,6 cm: Material vegetal alterado con bajo contenido de sustancia orgánica reconocibles, con alto predominio de sustancia orgánica fina, reconocible a simple vista, difiere en el color del subyacente.

H (Oh) 1,2 cm: Horizonte húmico de color oscuro con escasos residuos orgánicos reconocibles, con alto predominio de sustancias orgánica fina respecto a la mineral del suelo.

- Horizontes minerales

A1 0-18 cm: Color 7,5 YR 3/2 en humedo(pardo oscuro), 10 YR 4/4 en seco(pardo oscuro amarillento);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 10 YR 3/4 en húmedo (pardo oscuro amarillento); 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 5 YR 3/3 en húmedo (pardo rojizo oscuro), 7,5 YR 4/4 en seco(pardo); textura arcillosa; estructura de bloques subangulares medios que se rompen en bloques subangulares finos; abundancia de grava cuarzosa; muy plástico y adhesivo en mojado, duro en seco; raíces y raicillas escasas; límite inferior difuso.

B21 71-101 cm: Color 7,5 YR 4/4 en húmedo (pardo), 7,5 YR 5/4 en seco(pardo); textura franco arcillosa; estructura de bloques subangulares medios y firmes; con presencia de grava cuarzosa; muy plástico y adhesivo en mojado, duro y compacto en seco; raíces y raicillas escasas; límite inferior difuso.

B22 101-135 cm: Color 10 YR 5/6 en húmedo (pardo amarillento), 10 YR 6/6 en seco(amarillento pardusco); textura franco arcillosa; estructura de bloques subangulares medios que se rompen a bloques subangulares finos; abundancia de grava cuarzosa; muy plástico y adhesivo en mojado, duro en seco(Carrasco et al., 1993).

Observaciones

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 afecta extensas superficies, dando origen a perfiles decapitados y de escasa profundidad; la compactación de los horizontes superficiales.

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 m.s.n.m. en los que impera un clima frío de altura, no apto para el pino radiata; la exposición este de la cordillera de la costa presenta una extrema aridez estival, asociada a problemas de erosión (Carrasco et al., 1993).

Calicata modal serie San Esteban:

Latitud 37°22' longitud 73°06'

Tabla 5 B. Determinaciones físicas (sistema U.S.D.A.).

Horizontes	A ₁	B ₂	Bt ₂	B ₃
Profundidad (cm)	0 - 11	11 - 32	32 - 93	93 - 150
Arena (%)	57,3	63,4	51,0	56,9
Limo (%)	23,8	14,6	19,8	18,5
Arcilla (%)	18,9	22,0	29,2	24,6
Textura U.S.D.A.	Franco Arenoso	Franco Arcilloso Arenoso	Franco Arcilloso Arenoso	Franco Arcilloso Arenoso
Esqueleto (%)	3,32	4,20	7,02	13,40
Capacidad de campo (%)	14,00	13,30	15,10	16,40
Punto de marchitez permanente (%)	7,90	10,00	10,80	11,20
Densidad aparente (gr / cc)	1,47	1,47	1,54	1,47
Porosidad capilar (%)	14,00	13,30	15,10	16,40
Porosidad no capilar (%)	30,53	31,23	26,79	28,13
Agua aprovechable (m ³ / ha)	98,64	101,87	403,94	435,71
Porosidad total (%)	44,53	44,53	41,89	44,53

Fuente: Carrasco et al., (1993).

Tabla 6 B. Determinaciones químicas (sistema U.S.D.A.).

Horizontes	A ₁	B ₂	Bt ₂	B ₃
Profundidad (cm)	0 - 11	11 - 32	32 - 93	93 - 150
pH	6,77	6,99	7,00	7,26
Nitrógeno (%)	0,05	0,02	0,02	0,01
Fósforo (ppm)	4,60	1,00	1,00	1,00
Materia orgánica (%)	1,00	0,21	0,17	0,13
Potasio (meq / 100 gr suelo)	0,25	0,10	0,07	0,07
Calcio (meq / 100 gr suelo)	4,16	2,43	4,20	4,74

Fuente: Carrasco et al., (1993).