

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

DEPARTAMENTO SILVICULTURA



**EFFECTO DE PLANTACIONES DE *Pinus radiata* D.DON CON
DIFERENTES EDADES EN LA REACCION DEL SUELO Y SU
IMPACTO SOBRE LAS POBLACIONES DE MICORRIZAS**

POR

ALEX IVAN ITURRA VERGARA

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

CONCEPCION - CHILE

1998

**EFECTO DE PLANTACIONES DE Pinus radiata D.DON CON
DIFERENTES EDADES EN LA REACCION DEL SUELO Y SU
IMPACTO SOBRE LAS POBLACIONES DE MICORRIZAS**

Profesor Asesor

Pedro Manzanarez Núñez

Profesor Asistente;
Ingeniero Agrónomo; M.Sc.

Profesor Asesor

Manuel González Vargas

Profesor Titular;
Ingeniero Agrónomo; M.Sc.

Director de Departamento
Silvicultura

Eduardo Peña Fernández

Profesor Asistente;
Ingeniero Forestal; M.Sc.

Decano de la Facultad
Ciencias Forestales

Jaime García Sandoval

Profesor Asociado;
Ingeniero Forestal; M.Sc.

CALIFICACION DE LA MEMORIA DE TITULO

Pedro Manzanarez Núñez : 86 puntos (Ochenta y seis)

Manuel González Vargas : 84 puntos (Ochenta y cuatro)

Dedicatorias



A mi familia.

INDICE DE MATERIAS

CAPITULOS	PAGINA
I INTRODUCCIÓN	10
II METODOLOGIA	15
2.1 AREA DE ESTUDIO	15
2.1.1 UBICACIÓN	15
2.1.2 CLIMA	15
2.1.3 VEGETACIÓN	15
2.1.4 SUELO	16
2.2.5 SELECCIÓN DE LOS SITIOS	17
2.2 MUESTREO	17
2.2.1 DETERMINACIÓN PROPIEDADES QUÍMICAS	17
2.2.2 METODOS ANALISIS QUÍMICO	19
2.2.2.1 REACCIÓN DEL SUELO	19
2.2.2.2 MATERIA ORGÁNICA	19
2.2.2.3 ALUMINIO DE INTERCAMBIO	19
2.2.4 MUESTREO DE MICORRIZAS	20
2.2.4 GRADO DE MICORRIZACIÓN	21
III RESULTADOS Y DISCUSION	23
3.1 pH DEL SUELO	23
3.2 ALUMINIO DE INTERCAMBIO	28
3.3 MATERIA ORGÁNICA	30
3.4 INTERACCIÓN EDAD V/S PH, M.O., Y AL.	33
3.5 GRADO DE MICORRIZACIÓN	37
IV CONCLUSIONES	45
V RESUMEN	47
VI SUMARY	48
VII BIBLIOGRAFIA	49
VIII APENDICE (S)	52
VIII ANEXOS	56

INDICE DE TABLAS

TABLA N°	PAGINA
----------	--------

En el texto

- | | |
|--|----|
| <p>1. Valores de pH (al agua 1:2.5) promedios y varianza para profundidades, de 0 a 15 cm (profundidad 1), y 15 a 30 cm, (Profundidad 2) para rodales de 6, 11, 18 y 24 años.</p> | 23 |
| <p>2. Valores de pH (CaCl₂), varianza, para profundidades 1 y 2, para rodales de 6, 11, 18 y 24 años.</p> | 26 |
| <p>3. Valores promedios de pH al agua, y en cloruro de calcio, materia orgánica (%), y aluminio de intercambio (%), determinado a una sola profundidad (de 0 a 30 cm), para los rodales de edad 6, 11, 18 y 24 años.</p> | 33 |
| <p>4. Cantidad de micorrizas (N° micorrizas), longitud de raíces (en cm.), y porcentaje de micorrización para los arboles muestreados en cada rodal estudiado.</p> | 37 |

En el Apéndice

- | | |
|---|----|
| <p>1. Vegetación acompañante en las áreas de estudio.</p> | 53 |
| <p>3.1. Valores de aluminio de intercambio (ppm) promedios y varianza, profundidades 1 y 2, para rodales de 6, 11, 18 y 24 años</p> | 55 |

TABLA N°	PAGINA	
3.2	Valores de M.O. (%) promedios y varianza, profundidades 1 y 2, para rodales de 6, 11, 18 y 24 años.	55

En el Anexo

1	Tabla Anova, análisis estadístico para un diseño experimental factorial de 2 factores (edad y profundidad), para los valores de pH al agua.	58
2	Tabla Anova, análisis estadístico para un un diseño experimental factorial de 2 factores (edad y profundidad), para los valores de pH en cloruro de calcio.	59
3	Tabla Anova, el análisis estadístico para un diseño experimental factorial de 2 factores (edad y profundidad), para los valores de de aluminio de intercambio.	59
4	Tabla Anova, el análisis estadístico para un diseño experimental factorial de 2 factores (edad y profundidad) para los valores de materia orgánica.	59
5	Características dendrométricas de los rodales muestreados	62

TABLA N°		PAGINA
6	Valores de medias, varianzas, tamaño de los estratos, proporciones para cada estrato en la investigación.	66



INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	PAGINA	
<u>En el texto</u>		
1	Valores de aluminio de intercambio (ppm) promedios, para profundidades 1 y 2 en, rodales de 6, 11, 18 y 24 años.	28
2	Valor promedio de M.O. (%), para la profundidad 1 y 2, para suelos bajo rodales de 6, 11, 18 y 24 años.	30
3	Valor promedio de pH al agua (pH1), pH en cloruro de calcio (pH2) y porcentaje de materia orgánica (%), determinados a una sola profundidad (0 a 30 cm), para los rodales de 6, 11, 18 y 24 años.	34
4	Valor promedio de pH al agua (pH1), pH en cloruro de calcio (pH2) y aluminio de intercambio (%), determinados a una sola profundidad, (0 a 30 cm), para los rodales de 6,11, 18 y 24 años.	35
5	Cantidad de micorrizas (N°) y grado de micorrización (% de infección) totales, para los rodales de 6, 11, 18 y 24 años.	38
6	Grado de micorrización (% infección), pH al agua (pH1), y pH en cloruro de calcio (pH2) promedios, considerados como una sola profundidad (0 a 30 cm.), para las distintas edades en estudio.	40

FIGURA N°		PAGINA
7	Cantidad de micorrizas (N°), pH al agua (pH1), y pH en cloruro de calcio (pH2), para los rodales de 6, 11, 18 y 24 años.	41
8	Grado de micorrización (% infección) y materia orgánica (%), para los rodales de 6, 11, 18 y 24 años.	42
9	Cantidad de micorrizas (N°) y materia orgánica (%), para los rodales de 6, 11, 18 y 24 años.	43

En el Apéndice

2.1	Valor promedio de pH, (al agua, 1:2,5), para los distintas edades de los rodales, profundidad 1 y 2.	54
2.2	Valor promedio de pH en cloruro de calcio (1:2,5), para las distintas edades de los rodales, profundidad 1 y 2.	54

I INTRODUCCION

Entre la cubierta vegetal, el suelo y el clima existe una estrecha relación, de la cual resultan las características más evidentes del ecosistema forestal. Se considera que la vegetación es el componente que mejor integra y expresa la interacción entre las diferentes componentes del ecosistema, dado su carácter dinámico, su influencia sobre la biota, su participación en el ciclo biogeoquímico de los nutrientes y en el ciclo hidrológico.

La vegetación modifica ciertas características del suelo, tal que se puede hablar de suelos de praderas, suelos agrícolas, suelos forestales, etc. Los cambios que induce la vegetación sobre las propiedades del suelo puede afectar a la reacción del suelo (pH), su contenido de materia orgánica y capacidad de intercambio iónico, entre otras. El efecto de la vegetación sobre la reacción, tiene a su vez efectos sobre la biota del suelo, los que se ejercen por vía del pH y su contenido de materia orgánica, principalmente.

El creciente desarrollo forestal en Chile, sobre todo en términos de grandes superficies plantadas con *Pinus radiata*, ha hecho que se sustituya la cubierta existente, induciendo cambios en las propiedades iniciales del suelo, como señalado precedentemente, afectando en definitiva la fertilidad natural de los suelos.

Existen muchas críticas con respecto a que *Pinus radiata* sería un cultivo acidificante y empobrecedor del suelo. A este respecto hay estudios que señalan que sí produciría una disminución del pH, pero también existen estudios que demuestran lo contrario.

Lo que realmente es cierto es que existe muy poca información respecto al tema, sobretodo en suelos de bajo estatus nutricional, como lo son los suelos rojos graníticos de la VIIIª Región.

Schlatter (1977), señala que al reemplazar la vegetación natural por plantaciones de *Pinus radiata* se cambia la variedad y composición de los desechos orgánicos sobre el suelo.

Bocic et. al. (1976), encontraron un menor valor de pH en suelos bajo un rodal de 24 años de *Pinus radiata*, en comparación con suelos bajo un rodal de 12 años y otro bajo cubierta de bosque natural. Determinó que la litera de *Pinus* de 24 años presentaba 0,1 unidad de pH más baja que la litera del rodal de 12 años. En concordancia con estos resultados, Franz, 1971 citado por Schlatter (1977), encontró que bajo *Pinus radiata* las condiciones de pH fueron significativamente más ácidas que bajo el bosque natural, con valores de, respectivamente: 3,6 - 3,9 y 4,2 - 4,4.

Turner y Lambert (1987), en un estudio realizado en Australia, encontró que suelos bajo plantaciones de *Pinus radiata* comparados con suelos adyacentes de *Eucaliptus* presentaban un pH menor cuando la fertilidad del suelo era baja.

En otro estudio similar realizado por Hopmann et.al.(1980), encontraron que los valores de pH bajo plantaciones de *Pinus radiata* son menores que bajo *Eucaliptus*, debido a que la acidez en el limite A1 (0 - 25 cm.) se vio favorecida por la acumulación de elementos como aluminio y fósforo.

En general, si bien hay evidencias que indican que *Pinus radiata* tiende a acidificar los suelos, no hay indicaciones respecto de la eventual influencia de este efecto sobre la biota del suelo, en particular, sobre ectomicorrizas, que es la forma que comúnmente se presenta en *Pinus radiata*.

Ipinza (1985), señala que *Pinus radiata* presenta en Chile alrededor de 30 especies micorrícicas, pudiendo aumentar esta cifra en la medida que se compruebe el traspaso de la micota del bosque nativo a *Pinus*. Señala además, que plántulas de *Pinus radiata* micorrizadas absorben más fosfato que plantas no micorrizadas, especialmente en suelos pobres en nutrientes, ya que el hongo contribuye a solubilizar el fosfato insoluble del suelo y sus hifas externas ayudarían a una mejor traslocación.

Bjorkman, 1942, Shemak, 1962 citados por Ipinza (1985), señalan que las propiedades nutricionales del suelo son determinantes de la relación simbiótica.

La carencia de elementos nutritivos especialmente nitrógeno y fósforo es considerada como factor clave para la formación de ectomicorriza; se ha observado que en suelos pobres las ectomicorrizas son más abundantes, en cambio en suelos fértiles la cantidad detectada es menor.

La literatura revisada sobre el tema es escasa y proporciona información contradictoria; a via de ejemplos, Marx (1965), refiere que valores de pH que oscilan entre 4,5 y 5,7 no afectan aparentemente el desarrollo de micorrizas en plántulas de *Pinus* y *Picea*.

Tesic, 1958 citado por Marx (1965), señala que los hongos micorrizante crecen mejor en suelos ácidos, en pH de 4 a 5, pero sin embargo, Shemakhanova 1960, también citado por Marx (1965), encontró que *Boletus luteus* forma más micorrización en raíces de plántulas de conífera a pH 5,4 que a pH más bajos (4,8 a 4,1).

Marx y Zakb (1965), mostraron que el número de micorrizas por centímetro de raíz lateral en plántulas de *Pinus ellioti*, que crecieron con *Cenococum graniforme* (micorriza que está presente también en *Pinus radiata*), permaneció constante a diferentes niveles de pH, pero que las plántulas fueron más grande y tenían una longitud lateral de raíces mayor a pH 4 y 4,6 que aquellas que crecieron a pH 5,6 y 6,6.

En Chile, son escasos los estudios realizados en relación a la acidez del suelo y más aun sobre el posible efecto de ésta sobre micorrizas, por lo tanto el objetivo de esta investigación es relacionar la variación del pH, en función de la edad de las plantaciones de *Pinus radiata* con la posible variación en el porcentaje de micorrización en las raíces.



II METODOLOGIA

2.1 AREA DE ESTUDIO.

2.1.1 UBICACION El área de estudio se ubica en la VIII Región, provincia del Ñuble, comuna de Coelemu, a 80 kilómetros al Noroeste de Concepción. El predio mismo lleva por nombre las " Raíces de Guarilhue ", y tiene como coordenadas; $36^{\circ} 29'$, de latitud y $72^{\circ}41'$, de longitud, a una altitud de 30 msnm.

2.1.2 CLIMA El sector presenta un régimen hídrico que observa una precipitación media anual de 1029 mm, un déficit hídrico de 685 mm y un período seco de 6 meses. El régimen térmico se caracteriza por temperaturas que varían en promedio entre una máxima de $27,6^{\circ}\text{C}$. en Enero y una mínima de $5,3^{\circ}\text{C}$. en Julio. El período libre de heladas es de 274 días con un promedio de 4 heladas por año. Registra anualmente 1567 días-grados y 827 horas de frío. Dado que ocupa valles costeros, la influencia oceánica se manifiesta por una atenuación de las condiciones térmicas. Según la clasificación de Santibañes y Uribe (1993), el sector presentaría un clima Templado Mediterráneo Subhúmedo.

2.1.3 VEGETACION La vegetación representada por bosque nativo de la Cordillera de la Costa, donde predominaba el *Nothofagus oblicua* (Roble), *Quillaja saponaria* (Quillay), y *Litrea caustica* (Litre) fue eliminada drásticamente y

el suelo dedicado a usos agrícolas, principalmente el cultivo de trigo y viñas en régimen extensivo sin fertilizante ni abonos.

Tras décadas de uso agrícola los suelos están siendo destinados a plantaciones de exóticas, principalmente el *Pinus radiata*. Hoy existe solo vegetación acompañante que se encuentra principalmente limitada a las quebradas y cárcavas que existen en los rodales. Las especies presentes se muestran en la tabla N°1 del Apéndice.

2.1.4 SUELO En el área de estudio se presenta la serie de suelo San Esteban, la que de acuerdo al Instituto de Investigación de Recursos Naturales (IREN), presenta las siguientes características:

Es de origen intrusivo, material rico en cuarzo, granítico a diorita cuarzosa. Se trata de un suelo de posición alta y montañosa, de superficie rocosa con comienzo de sedimentación. La vegetación natural está constituida por matorral costero arborecente a bosque de transición. Sus variaciones han determinado clase de IV, VI, VIII, de Capacidad de Uso.

Estos suelos han experimentado una fuerte erosión laminar y de cárcavas, causada por intensas lluvias invernales, fuerte pendiente, deforestación y baja infiltración.

Una descripción detallada de la serie San Esteban se presenta en el anexo 3.

2.1.5 SELECCION DE LOS SITIOS La selección de los sitios de estudio se hizo sobre la base de uniformar ciertas características como pendiente, exposición y suelo, para así poder aislar el efecto de las diferentes edades de las plantaciones sobre las variables dependientes: acidez y grado de micorrización.

Los rodales seleccionados son plantaciones de *Pinus radiata* de Don. de 6, 11, 18, 24 años de edad, establecidos en una superficie de 9,38 hectáreas.

Con el fin de contrastar los resultados, se incluyó un sector del área de estudio sin plantación, es decir un sector pradera natural, en la cual no ha existido plantación de *Pinus* ni otra intervención agrícola.

Una descripción detallada de los rodales seleccionados, en cuanto a su historia, vegetación, y características edáficas y dendrométricas se encuentran en el anexo 4.

2.2 MUESTREO

2.2.1 DETERMINACION DE PROPIEDADES QUIMICA. Con el objeto de determinar propiedades tales como pH, materia orgánica (M.O.), y aluminio de intercambio (%), se extrajeron muestras de suelo a dos profundidades.

a-. De 0 a 15 centímetros de profundidad.

b-. De 15 a 30 centímetros de profundidad.

No se muestreó a mayor profundidad, debido a que la literatura pertinente informa que el efecto de las plantaciones sobre la reacción del suelo son insignificantes más allá de los 30 centímetros (Francke, 1991 .)

Para la obtención de las muestras de suelo necesarias para el análisis químico se estableció parcelas de 0,5 m², en la que se abrió una calicata para extraer una muestra consistente en 750 cm³ de material de suelo. La muestra misma fue embalada en bolsas herméticas de polietileno, debidamente identificadas y enviadas al laboratorio para su análisis. La distribución de la parcelas dentro de los rodales obedece a criterios de homogeneización de exposición, pendiente, vegetación y presencia de mantillo.

Para la determinación de la cantidad óptima de muestras se realizó un **muestreo estratificado con restricción de costo y mínima varianza**, ya que la población en estudio se encuentra dividida en edades distintas, lo que permite agruparlas en estratos.

Para el desarrollo del muestreo se realizó un pre-muestreo en terreno con la toma de 2 muestras por cada sitio.

Con los datos obtenido se determinó la cantidad precisa de muestras a tomar, es decir, el " n " óptimo, a través de la siguiente formula estadística:

$$n = \frac{(C - A) * \sum (P_i * s_i / \sqrt{C_i})}{\sum P_i * s_i * \sqrt{C_i}}$$

Donde :

n = Tamaño de muestra óptimo o número de unidades a medir.

C = Costo total.

A = Monto fijo.

C_i = Costo variable para cada unidad muestral.

P_i = proporción del estrato i .

s_i = Varianza muestral del estrato i .

El detalle de los cálculos del " n " óptimo y el proceso estadístico se encuentra detallado en el anexo 5.

2.2.2 DESCRIPCION DE LOS METODOS DE ANALISIS QUIMICO La determinación de las propiedades químicas del suelo fueron realizada según las técnicas empleadas por el Departamento de Suelo de la Facultad de Agronomía en la Universidad de Concepción, Campus Chillan, como se indica a continuación.

2.2.2.1 REACCION DEL SUELO Para el pH al agua, se utilizó una relación suelo agua de 1:2,5, Para el pH en CaCl_2 , se utilizó una relación 1:2,5. En ambos casos se usó un potenciómetro dotado con electrodos de vidrio y calomelano como referencia.

2.2.2.2 MATERIA ORGANICA Para la determinación de materia orgánica se utilizó el método de Springer y Klee, el cual consiste en una combustión húmeda que aprovecha el poder oxidante de una mezcla de dicromato de potasio ($\text{Cr}_2\text{K}_2\text{O}_7$, 2N) y ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado.

2.2.2.3 ALUMINIO DE INTERCAMBIO El método usado consulta la extracción del aluminio con KCl, 2N y su determinación misma mediante espectroscopía atómica.

2.2.3 MUESTREO DE MICORRIZA Para el muestreo de micorrizas se realizó en un volumen de 1000 cm³ de suelo, ya que según lo señalado por Noordwijk (1993), el volumen mínimo debiera ser superior a 400 cm³. Para obtener la muestra se utilizó un barreno de tarro.

Además, Noordwijk (1993), señala que la profundidad para el muestreo de micorrizas es relativa, debido a la intensidad y variabilidad con que se presentan las raíces. Para la presente investigación, la observación visual de la distribución de las raíces en el perfil del suelo, en los distintos rodales en estudio, permitió determinar que la profundidad de muestreo no debiera superar los 30 cm, de éste modo el volumen de tierra se extrajo en el intervalo que va de los 10 a 30 cm. de profundidad, ya que en esta profundidad presentaba el mayor número de raíces.

Se seleccionaron 2 arboles por rodal, en forma aleatoria, excluyendo a los arboles que se encuentren en el límite de los rodales ya que las condiciones de luz, temperatura y humedad son distintas a las del interior, pudiendo aumentar la variabilidad y con ella el error de las estimaciones.

A una distancia de 0,5 m. del fuste del árbol y para los efectos de variabilidad espacial de las raíces se tomaran 4 muestras por árbol, dispuestas en las 4 posiciones indicadas por los puntos cardinales.

Las muestra de cada punto seleccionado fueron almacenadas en bolsas de polietileno y posteriormente sometida a refrigeración hasta su análisis.

2.2.4 DETERMINACION DEL GRADO DE MICORRIZACION Las muestras se fueron analizando individualmente para lo cual eran retirada de la refrigeración y puesta en un recipiente de 6000 cm³ con agua, por 1 hora. Posteriormente para que el agua actuara como dispersante se realizó una ligera agitación quedando así las raíces suspendidas en la fase líquida del recipiente y luego fueron colectadas al vaciar el líquido a través de un colador de aluminio con una malla de 4 mm².

Las raíces colectadas fueron inmersas nuevamente en agua; para éste efecto se uso una bandeja plástica de color rosado de 780 cm², con una profundidad 3,5 centímetros, la cual estaba graduada en uno de sus bordes con una regla de 20 centímetros.

El color rosado se explica, ya que mejora la visibilidad de las raíces y con ello de las micorrizas. La operación se realiza hasta lograr la separación de la totalidad de las raíces de la muestra de suelo.

Posteriormente, con las raíces aislada en la bandeja con una altura de agua de 2 centímetros, y con la ayuda de pinzas y lupa (10X), se procedió a la medición de todas las raíces.

Las raíces que presentan características evidente de asociación con ectomicorrizas, como son raicillas monopódicas, raicillas bifurcadas, raíces secundaria coraloides y raíces secundarias con un manto fungoso evidente, fueron separadas y se cuantificó el número de ectomicorrizas.

El grado de micorrización se cuantificó mediante la fórmula.

$$GM = (LRE / LRT) * 100$$

Donde:

GM = Grado de micorrización

LRE = Longitud de raíces formando asociación ectomicorrízica

LRT = Longitud total de raíces en el volumen de tierra.

III RESULTADO Y DISCUSIÓN

3.1 PH DEL SUELO

El efecto de la edad de los rodales sobre la reacción del suelo se presenta en la tabla 1. Los resultados muestran que el pH varia con la edad, y que esta variación se presenta tanto a la profundidades 1, como a profundidad 2.

TABLA N°1. Valores de pH (al agua 1:2,5) promedios y varianza, a profundidades, de 0 - 15 cm, (profundidad 1), y de 15 - 30 cm, (Profundidad 2) para rodales de 6, 11, 18 y 24 años.

EDAD	PROFUNDIDAD 1		PROFUNDIDAD 2	
	pH al H ₂ O	Varianza	pH al H ₂ O	Varianza
Pradera	5,900	0,0032	5,715	0,042
6	6,076	0,0003	5,756	0,028
11	5,685	0,0162	5,555	0,048
18	5,895	0,1200	5,565	0,018
24	5,712	0,0032	5,615	0,015

La variación que presentan los valores promedios de pH está dentro del rango de reacción levemente ácida, oscilando entre 1 y 3 centésimas de unidad, lo que sugiere la existencia de una tendencia a la acidificación para las dos profundidades. En función de la edad, para la profundidad 1, desde los 6 a los 25 años se aprecia una tendencia general a la disminución del valor de pH, que oscila desde 6,076 a 5,712. Este efecto se ilustra gráficamente en la figura 2.1, apéndice 2.

Desde los 6 a los 11 años, para la profundidad 1, se advierte una caída fuerte del valor de pH (6,076 a 5,685), cabe señalar que el valor de 5,685 a los 11 años es el más bajo para la profundidad 1, lo que podría explicarse debido a que los suelos de este rodal presenta los valores más alto de aluminio de intercambio, al igual que el contenido más bajo de materia orgánica, como se puede verificar en la tabla 3 y en la tabla 3.1 del apéndice 3, respectivamente. A partir de los 11 años la acidez disminuye 0,2 décimas de unidad, para llegar a un valor pH de 5,895, volviéndose a intensificarse desde los 18 a los 24 años, bajando el pH a valores próximos a 5,7.

Los valores promedios de pH al agua para la primera profundidad, contrastados con sus edades correspondientes, muestran una correlación negativa y significativa , $r = -0,578$, es decir que el 58% de la variación en pH está relacionada con la variación en edad de los rodales.

Para la profundidad 2, se puede apreciar que los suelos de los distintos rodales presentan una condición más ácida, en promedio presentan 0,2124 décimas de unidad más baja que para la profundidad 1. Desde los 6 hasta los 11 años como lo muestra la figura 2.1 del apéndice 2, se aprecia una caída en el valor de pH de 5,756 a 5,555, para luego aumentar levemente 0,01 décimas de unidad a los 18 años, y así finalmente llegar al valor 5,615, a la edad de 24 años. La tabla 1, nos muestra que el valor más bajo de pH para la profundidad 2, al igual que la profundidad 1 se encuentra a la edad de 11 años.

Normalmente el pH tiende a aumentar con la profundidad, pero para este caso el valor fue más bajo, 5,555, lo cual podría explicarse debido a que el aluminio tiende a aumentar con la profundidad, y para la edad de 11 años el aluminio de intercambio presentan los valores promedio más alto, como lo muestra la tabla 3.1 de apéndice 3.

Al efectuar el análisis estadístico (considerando el muestreo como un diseño experimental factorial), se encontró que la edad como factor significativo en la variación de pH, siendo la profundidad el factor más relevante, ya que el valor F encontrado ($F = 11,11$) es mayor que el valor F para la edad ($F = 3,161$). Además mostró que el efecto de interacción edad versus profundidad no fue significativo. En el anexo 1, se muestra el procedimiento en detalle del análisis estadístico.

Para el pH en cloruro de calcio los resultados muestran que existe una variación del valor con la edad, al igual que para el pH al agua.

Según la tabla 2, existe una diferencia promedio de 1 unidad de pH más bajo entre el pH al agua y el pH en cloruro de calcio, para la primera profundidad. Esto ratificaría lo investigado por Haro (1971), quien encontró una diferencia de 1,1 unidad de pH, entre pH al agua y pH en CaCl_2 , estudiando la variación de pH en *Pinus radiata*.

Para la profundidad 1, de los 6 a los 11 años se aprecia una disminución del valor de pH de 0,513 décimas de unidad (de 5,103 a 4,590), para continuar con un disminución de la acidez de 0,327 décimas de unidad de los 11 hasta los 24 años (valores de pH de 4,590 a 4,917).

TABLA N°2. Valores de pH (CaCl_2) y varianza, para profundidad 1 y 2, para rodales de edad 6, 11, 18 y 24 años.

EDAD	PROFUNDIDAD 1		PROFUNDIDAD 2	
	pH en CaCl_2	Varianza	pH en CaCl_2	Varianza
Pradera	4,800	0,00720	4,650	0,0449
6	5,103	0,1306	4,893	0,1346
11	4,590	0,0287	4,810	0,0800
18	4,690	0,0162	4,585	0,0156
24	4,917	0,0538	4,702	0,0218

La figura 2.2. del apéndice 2, nos muestra que para la profundidad 1, al igual que para el pH al agua, el rodal de 11 años presenta el valor más bajo de pH CaCl_2 , a pesar que los contenidos de materia orgánica son bajos, lo que influiría en la disminución del valor de pH debido formación de ácidos producto de su descomposición, sin embargo, esta contrariedad podría explicarse debido al alto contenido aluminio de intercambio que presenta el suelo. Los valores promedios de pH en CaCl_2 para la profundidad 1, contrastados con sus edades, muestran una correlación negativa ($r = -0,20835$), indicando que no existe asociación entre edad y pH en cloruro de calcio.

Para la segunda profundidad, la figura 2 nos muestra que existe una tendencia general a la disminución del valor del pH en función de la edad, desde los 6 años hasta los 18 se advierte una caída significativa en el valor, (4,89 a 4,58), pero vuelve a reducirse levemente a la edad de 24 años, (4,70).

Los valores promedios de pH en CaCl_2 para la profundidad 2, contrastados con sus edades correspondientes muestran una correlación negativa ($r = -0,7758$), la cual es altamente significativa, corroborando la tendencia observada en la figura 2.2 del apéndice 2. Estos resultados sugieren que se produce una leve acidificación, pero que esta tiende a moderarse con la edad.

Los valores obtenidos del análisis estadístico para el pH CaCl_2 , tal como nos muestra la tabla 2 del anexo 1, nos indican que el factor profundidad, y la interacción edad versus profundidad no son significativos, es decir no hay una evidencia suficiente para explicar la variación de pH. Pero para el factor edad, aunque la evidencia también no fue significativa el valor de la relación F obtenido fue mayor (1,716) al de los de profundidad e interacción (1,241 y 0,697 respectivamente), lo que explicaría en parte la tendencia a la disminución del pH para la profundidad 2.

3.2 ALUMINIO

En la figura 1 se puede apreciar que, en función de la edad, la curva de aluminio intercambiable para la profundidad 1, alcanza el mínimo valor a la edad de 6 años (16,6 ppm.), luego aumenta hasta alcanzar un máximo a los 11 años (29,6 ppm.), para disminuir suavemente hasta los 24 años.

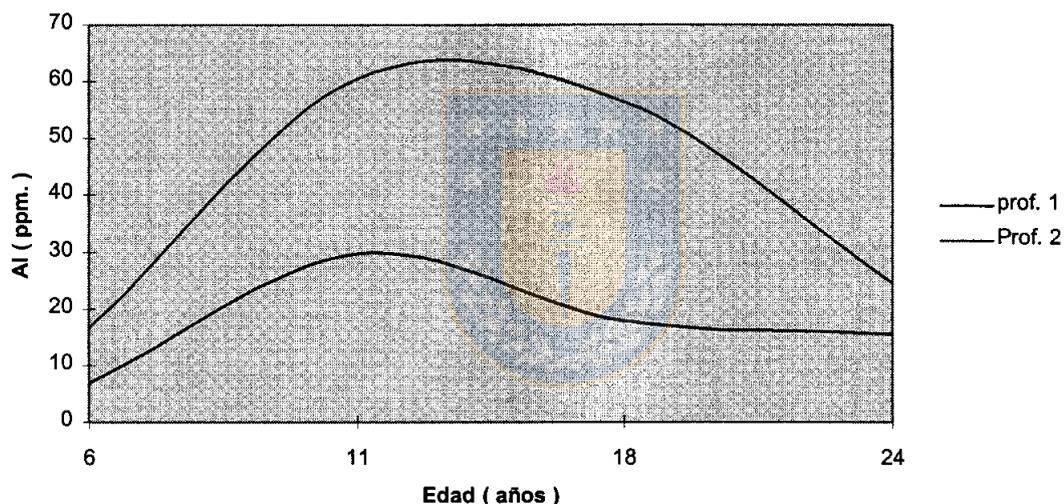


FIGURA 1. Valores de aluminio de intercambio (ppm) promedios, para profundidades 1 y 2, en rodales de 6, 11, 18 y 24 años.

Para profundidad 2, la curva tiende a comportarse de forma similar a la profundidad 1, sin embargo los valores son mayores al igual que su variación. Los valores mínimos y máximos (16,6 y 60,4 ppm.) se encuentra en los rodales de 6 y 11 años respectivamente, tal como lo muestra la tabla 3.1 del apéndice 3.

La más baja cantidad de aluminio intercambiable para las profundidades 1 y 2, se presenta en el rodal de 6 años, y están asociados a altos valores de pH (6,076 y 5,756), respectivamente. Según Foth (1990), solamente cuando la declinación del pH es menor a 5,5, el aluminio empieza a ocupar los sitios de intercambio de cationes y existe como cation de intercambio.

Al establecer las relaciones entre el aluminio de intercambio y los factores edad y profundidad, el análisis estadístico mostró que para la interacción edad versus profundidad, no fue significativo ya que el valor F encontrado ($F = 1,146$) es menor que para los valores de la edad y profundidad ($F = 4,760$ y $F = 12,412$, respectivamente), esto nos indica que la variación de aluminio está explicada íntegramente por el factor profundidad y satisfactoriamente por el factor edad. En el anexo 1, tabla 3 se muestran los valores del análisis de varianza para el aluminio.

3.3 MATERIA ORGÁNICA

Los resultados muestran que la materia orgánica varía con la edad. Para la profundidad 1, en función de la edad se aprecia una tendencia general al aumento del valor, conforme la figura 2.

Desde los 6 a los 11 años se produce una disminución del valor aproximadamente en 1% (4,58% - 3,55%), ésto obedecería a los factores sobredensidad, pH más bajo y mayor cantidad de aluminio del suelo correspondientes al rodal de 11 años, que estarían creando limitantes para el normal funcionamiento de la biología del suelo responsable de la humificación de la litera aportada por el rodal.

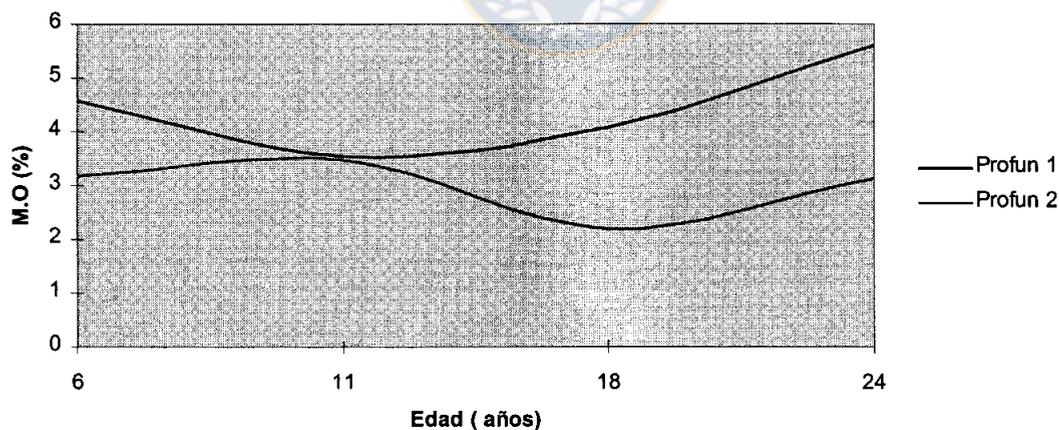


FIGURA 2. Valor promedio de M.O.(%), profundidad 1 y 2, para suelos bajo los rodales de 6, 11, 18 y 24 años.

Desde los 11 hasta los 18 años se produce un incremento de 0,52% (3,55% - 4,07%), para finalmente aumentar significativamente 1,5%, desde los 18 a los 24 años, tal como lo muestra la tabla 3.2 del apéndice 3.

Este aumento se debería a que el contenido de materia orgánica se incrementa a medida que aumenta la frecuencia con que se depositan los residuos vegetales.

El porcentaje de materia orgánica más alto corresponde al rodal de 24 años, además este rodal no presentaba gran cantidad de litera, ambos hechos podrían explicarse por las constantes intervenciones a que fue sometido (raleos por lo alto), lo que influyó sobre las condiciones de luminosidad, temperatura y humedad en el sitio, estimulando la descomposición de la hojarasca y con ello la humificación.

Para la profundidad 2, se aprecia un comportamiento errático, siendo la disminución en el valor una característica relevante, tal como lo muestra la figura 2. Según la cual a la edad de 11 años se produce un acercamiento en el contenido de materia orgánica para ambas profundidades, además de una disminución con respecto a la edad anterior, lo cual es contrario a la variación que debería presentar con respecto a profundidad y edad, esta disminución podría explicarse a la sobredensidad del rodal, lo que implica una acumulación de material orgánico pero no a su descomposición, como resultado de las condiciones limitantes de luz y humedad.

En función de la edad, para la profundidad 1, se aprecia una leve tendencia al aumento del contenido de materia orgánica con la edad y se ve reflejado en la correlación positiva y significativa ($r = 0,56$), a diferencia de la segunda profundidad que no presenta una relación positiva y el valor de la correlación no es significativo. ($r = -0,36$).

Al establecer las relaciones entre la materia orgánica y los factores edad y profundidad, el análisis estadístico mostró que para la interacción edad versus profundidad no existe una relación significativa, al igual que para el factor edad. Sin embargo, el valor F para el factor edad (2,25), fue mayor al de la interacción (2,18), ésto explicaría la leve tendencia a profundidad 1, de la materia orgánica a aumentar con la variación de la edad.

Para el factor profundidad, el valor de la relación F encontrado (18,85), indica que existe una alta significancia, es decir la variación de la materia orgánica en función de la edad está explicada por la variación en la profundidad. Los valores del análisis de varianza se encuentra en la tabla 4, anexo 1.

3.4 INTERACCION EDAD VERSUS REACCION DEL SUELOS, MATERIA ORGÁNICA Y ALUMINIO DE INTERCAMBIO.

En la tabla 3 se presentan los valores promedios de pH al agua y en cloruro de calcio, porcentaje de materia orgánica (%), y aluminio de intercambio (%), considerados a una sola profundidad (de 0 a 30 cm), con el objetivo de poder relacionar estos factores en forma conjunta (Fig.3).

Los valores obtenidos muestran que a la edad de 11 y 18 años presentan los valores promedios de pH más bajos y coinciden con los valores más bajos de materia orgánica y los valores más altos de aluminio. Estos resultados parecen indicar que para estos rodales la liberación de ácidos orgánicos que se producen de la descomposición del material orgánico no sería el principal factor que provocaría la disminución del pH, sino que la altas concentraciones de aluminio presentes en dichos sitios.

TABLA N°3 Valores promedios de pH al agua y en cloruro de calcio, materia orgánica (%), y aluminio de intercambio (%), determinados a una sola profundidad (de 0 a 30 cm), para los rodales de edad 6, 11, 18 y 24 años.

EDAD	pH en H ₂ O	pH en CaCl ₂	M.O (%)	Al (%)
6	5,92	4,99	3,82	11,68
11	5,62	4,70	3,50	45,00
18	5,73	4,64	3,13	74,00
24	5,66	4,81	4,37	39,82

En la figura 3, se puede apreciar la variación de la reacción del suelo(pH, al agua y pH, en CaCl_2) y la materia orgánica en función de la edad.

La variación, para el pH al agua esta explicada en un 60% por la variación en la edad, ($r = -0,60$), lo que es significativo. Mientras que para el pH en cloruro de calcio solo un 48% de su variación (promedio de la dos profundidades), es explicada por la variación en la edad. La variación que experimenta la materia orgánica considerada como una sola profundidad, esta relacionada en un 32% con la edad, una relación con una muy débil significancia.

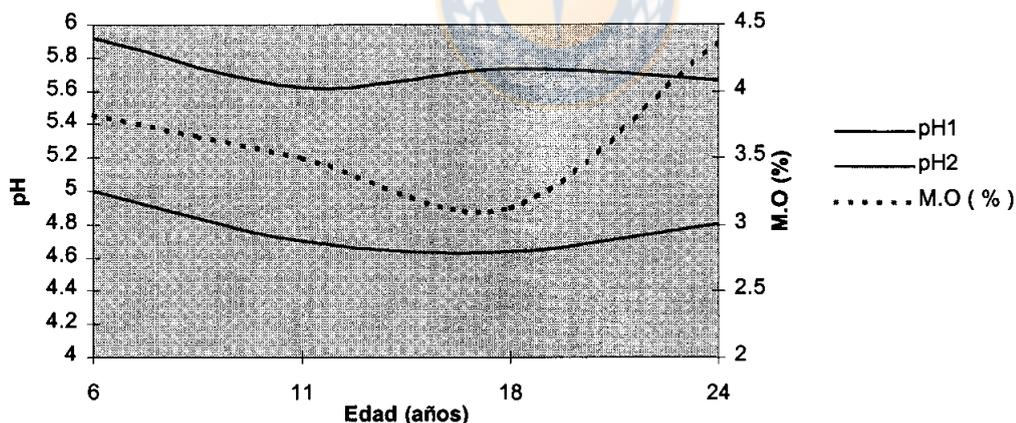


FIGURA 3. Valor promedio de pH al agua (pH1), pH en cloruro de calcio (pH2) y porcentaje de materia orgánica (%), determinados en una sola profundidad (0 a 30 cm), para los rodales de 6, 11, 18 y 24 años.

Por otro lado la materia orgánica no aparece tan claramente relacionada con la reacción del suelo, como lo indican los índices de correlación; $r = -0,01$ para pH al agua y $r = 0,58$ para pH en cloruro de calcio.

Estos resultados indicarían, que la influencia de la materia orgánica sobre la variación del pH del suelo, en función de la edad para los rodales en estudio, no fue determinante.

La variación del aluminio de intercambio se explica en un 55 % por la variación en la edad ($r = 0,55$). Se puede apreciar que existe una estrecha relación con la reacción del suelo, ya que para el pH en cloruro de calcio, los valores más bajos a los 11 y 18 años, coincide con los valores más altos de aluminio de intercambio, y esta tendencia se da también para el pH al agua aunque en menor grado, tal como lo muestra la figura 4.

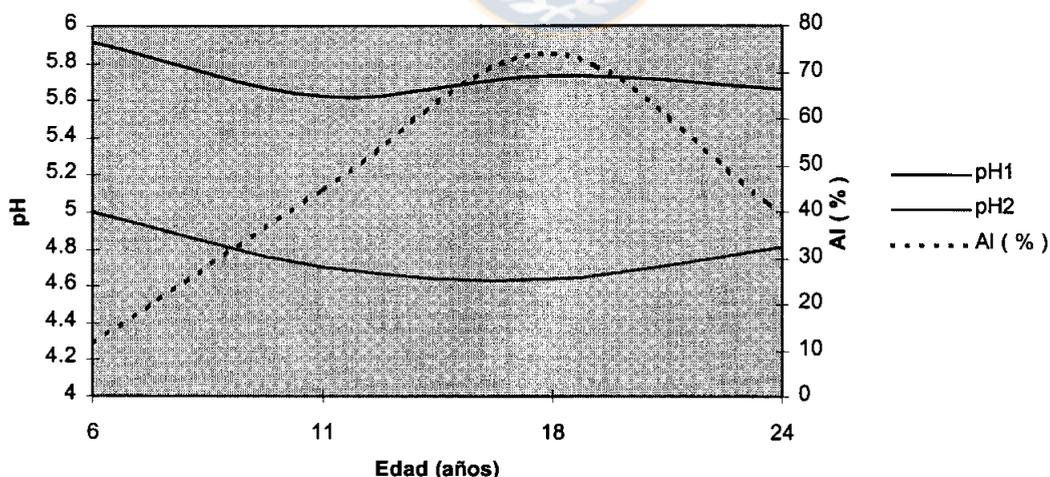


FIGURA 4 Valor promedio de pH al agua (pH1), pH en cloruro de calcio(pH2) y aluminio de intercambio (%), determinados a una sola profundidad (0 a 30 cm), para los rodales de 6, 11, 18 y 24 años.

Al establecer el coeficiente de correlación para la relación entre el aluminio y los valores de pH, se encuentra, para el pH en cloruro de calcio, un valor muy significativo ($r = -0,95$), indicando que la variación del pH en cloruro de calcio, en función de la edad, estaría explicado en un 95% por la variación del aluminio de intercambio. Para el pH al agua relación fue significativa aunque menor ($r = -0,58$).



3.5 GRADO DE MICORRIZACION

En la tabla N°5 se muestran los resultados obtenidos del muestreo de micorrizas. Los valores nos indican que existe una variación en el grado de micorrización en función de la edad.

TABLA N°4. Cantidad de micorrizas (N° micorrizas), longitud de raíces (en cm.), y porcentaje de micorrización, para los arboles muestreados en cada rodal estudiado.

EDAD RODALES (años)	6	11	18	24
N° MICORRIZAS Arb.1	778	614	678	421
RAICES (Cm) Arb.1	1066	1222	1480	839
INFECCION (%) Arb.1	88,9	92,3	92,2	94,1
N° MICORRIZAS Arb.2	803	733	1052	323
RAICES (Cm) Arb.2	1241	1488.5	1215	1361
INFECCION (%) Arb.2	87,1	94,9	97,3	85,7
N° MICORRIZAS TOTAL	1581	1347	1730	744
RAICES TOTAL (Cm)	2307	2710	2695	2200
INFECCION TOTAL (%)	88	94	95	90

La tabla 5, muestra que a la edad de 11 y 18 años se tiene los mayores porcentajes de infección y las mayores longitudes totales de raíces, esto indicaría que las condiciones que se establecen para la simbiosis en esas edades serian las más adecuadas. En el rodal de 24 años presenta el menor número de micorrizas y menor longitud de raíces.

Esto podría explicarse en parte a que ese rodal posee una baja densidad lo que genera claros que hacen que la radiación solar llegue directamente al suelo elevando la temperatura a niveles superiores a 27°C, que no son óptimos para el crecimiento del micelio. (Pritchett y Fisher, 1987).

Para el análisis de los datos del muestreo de micorrizas, en conjuntos con los valores de pH al agua, pH en cloruro de calcio y materia orgánica, estos últimos fueron tratado como una sola profundidad (de 0 a 30 cm), con el objetivo de homogeneizar el contraste que se establece con las micorrizas.

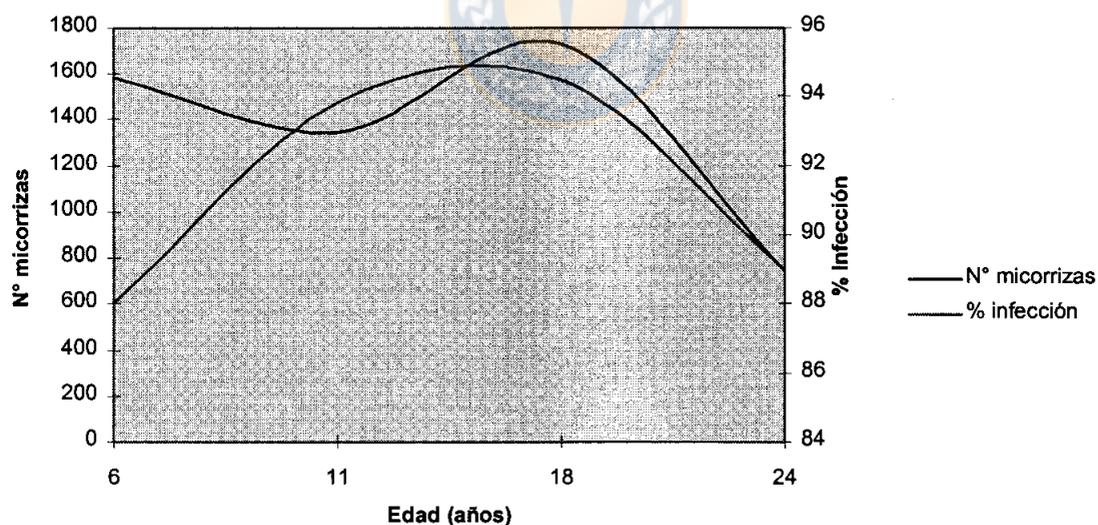


FIGURA 5. Cantidad de micorrizas (N°) y grado de micorrización (% de infección) totales, para los rodales de 6, 11, 18 y 24 años.

En la figura 5, podemos visualizar que el porcentaje de micorrización tiende a distribuirse en forma de campana, es decir se inicia con un porcentaje a los 6 años(88%) para alcanzar el máximo a los 18 años (95%) para finalmente llegar a los 24 años a un porcentaje similar al de 6 años (89%).

Sin embargo, al establecer la correlaciones edad versus porcentaje de micorrización, se encuentra que la variación en el porcentaje de micorrización esta explicado sólo en un 11% por la variación en la edad. ($r = 0,11$).

En cambio la correlación entre edad con el número de micorrizas es significativa y negativa ($r = -0,62$), lo que indicaría que la variación en el numero de micorrizas estaría explicado en un 62% por la variación de la edad, lo que es significativo para establecer que existe una tendencia a la disminución en el numero de micorrizas a medida que avanza la edad de los rodales

En la figura 6, se presenta el porcentaje de micorrización contrastado con la reacción del suelo (pH, al agua y en CaCl_2), se puede observar la estrecha relación que se establece entre el porcentaje de micorrización y pH en cloruro de calcio, y así lo corrobora el coeficiente de correlación obtenido ($r = -0,93$). Para el pH al agua es inferior a del pH en cloruro de calcio, sin embargo significativa. ($r = -0,54$).

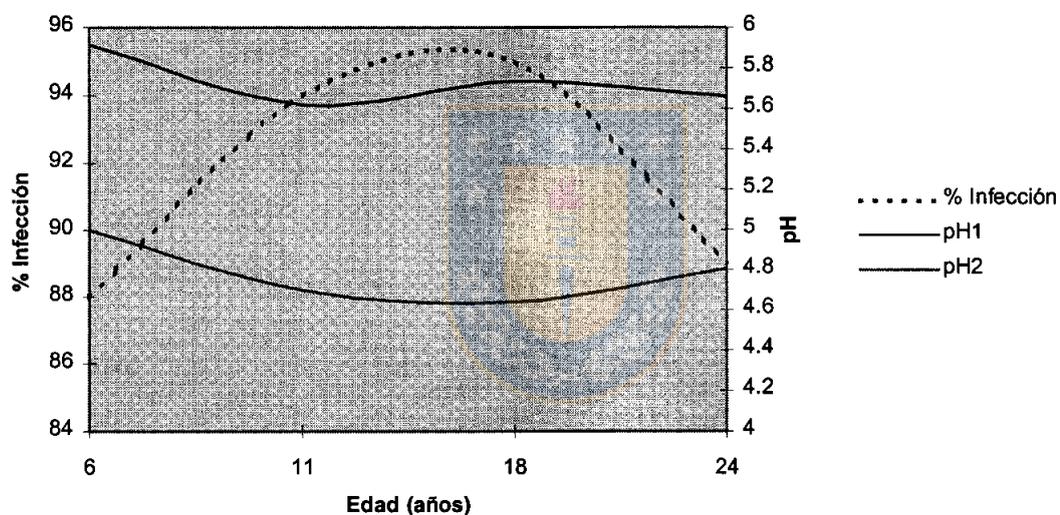


FIGURA 6. Grado de micorrización (% infección), pH al agua (pH1), y pH en cloruro de calcio (pH2) promedios, considerados como una sola profundidad (0 a 30 cm.), para las distintas edades en estudio.

Esto nos indicaría que el porcentaje de micorrización está explicado satisfactoriamente por la variación de pH que se presenta en los distintos rodales, pudiéndose señalar que el grado de micorrización tiende a aumentar a medida que disminuye el pH.

En la figura 7, se puede apreciar que a la edad de 18 años se encuentra el mayor valor en el número de micorrizas, y coincide con el menor valor de pH en cloruro de calcio, sin embargo la correlación que se obtiene entre el número de micorrizas versus pH en cloruro de calcio no es significativa para explicar la variación en el número de micorrizas. ($r = -0,1$). Para el pH al agua existe una leve significancia ($r = 0,50$), que permite señalar que existe una leve tendencia a aumentar el número de micorrizas cuando los pH son altos.

Se puede señalar que la variación en el número de micorrizas para las distintas edades de los rodales no puede ser explicada satisfactoriamente por la variación del pH.

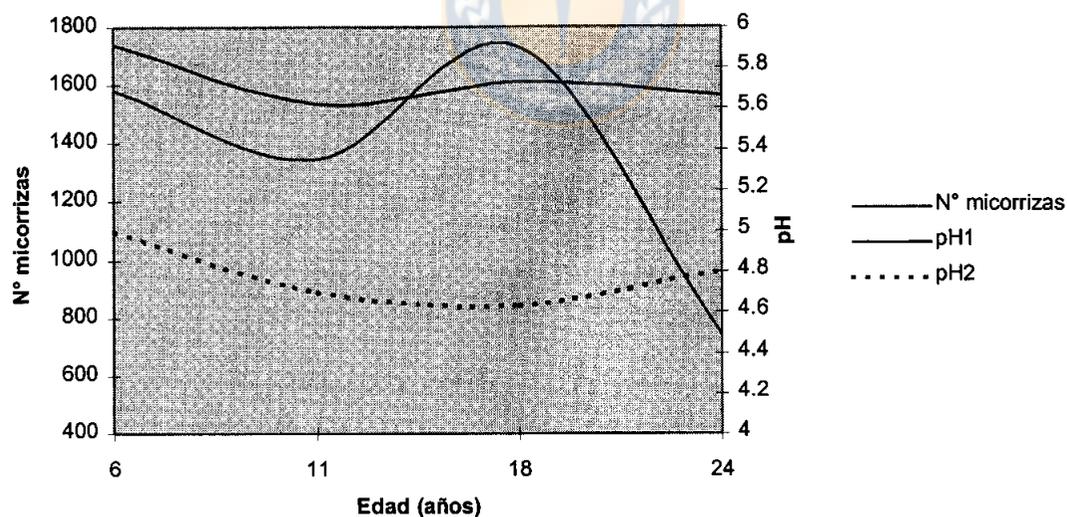


FIGURA 7. Cantidad de micorrizas (N°), pH al agua (pH1), y pH en cloruro de calcio (pH2) para los rodales de 6, 11, 18 y 24 años.

En la figura 8, se muestra el porcentaje de micorrización y el porcentaje de materia orgánica. Se puede apreciar que existe una estrecha relación inversa, cuando aumenta el porcentaje de micorrización disminuye el porcentaje de materia orgánica y viceversa.

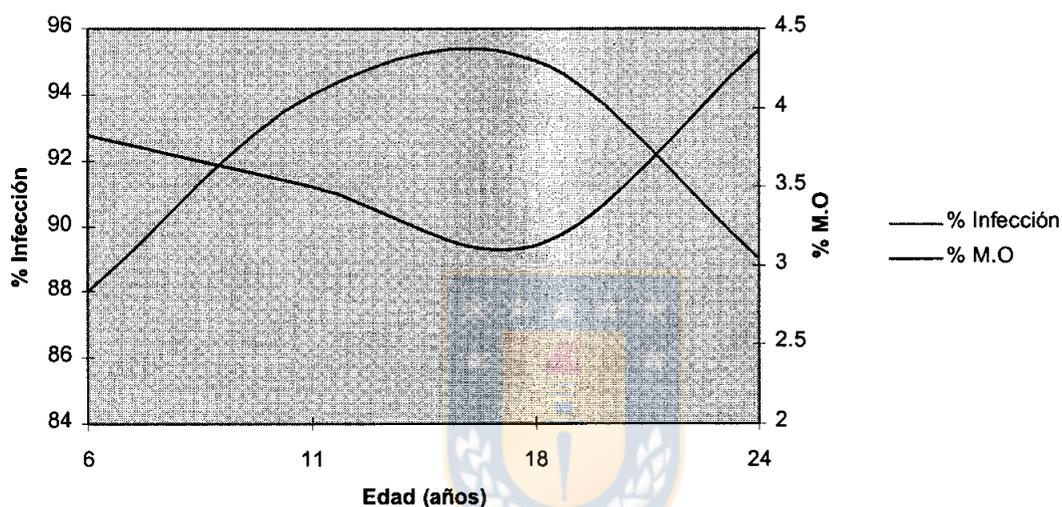


FIGURA 8. Grado de micorrización (% infección) y materia orgánica (%), para los rodales de 6, 11, 18 y 24 años.

Y esto se puede apreciar en el valor del coeficiente de correlación, que muestra un alto valor, muy significativo, ($r = -0,86$), lo que indicaría que la variación en el porcentaje de micorrización de las distintas edades de los rodales, tiene explicación en un 86% por la variación en la materia orgánica.

Para el número de micorrizas, se aprecia una situación similar a la del porcentaje de micorrización, como se aprecia en la figura 9, resulta evidente que para la edad de 18 y 24 años al aumentar el número de micorrizas disminuye el porcentaje de materia orgánica y al disminuir el número de micorrizas aumenta el porcentaje de materia orgánica.

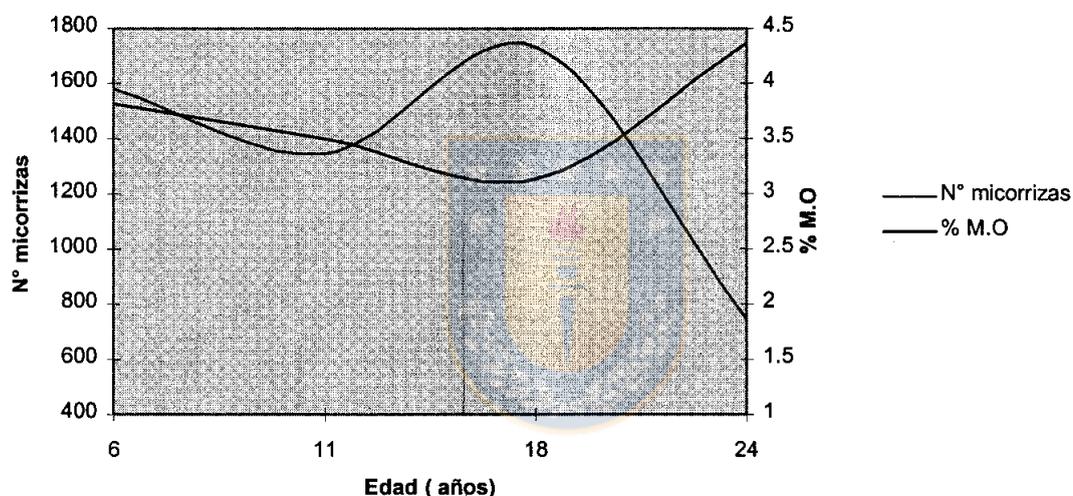


FIGURA 9. Cantidad de micorrizas (N°) y materia orgánica (%), para los rodales de 6, 11, 18 y 24 años.

Al establecer el coeficiente correlación entre número de micorrizas y porcentaje de materia orgánica se puede verificar la estrecha relación que se establece ($r = -0,84$), pudiéndose señalar que la variación en el número de micorrizas es explicada en un 84% por la variación de la materia orgánica.

Pritchett y Fisher, (1987). Señalan que las altas concentraciones de Nitrógeno (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , etc.) y Fósforo (H_2PO_4^- , y HPO_4^{--}), producidas por la descomposición de la materia orgánica, no favorecen la formación de micorrizas, debido a que estos elementos, juntos con los carbohidratos solubles son traslocados por la planta hacia la copa para la formación de nuevos tejidos, lo que implica una disminución de carbohidratos solubles en la raíz ya que estos últimos son asimilados rápidamente durante la formación de las nuevas paredes celulares y protoplasmas, suprimiendo de este modo, la formación de micorrizas. Esto explicaría el menor número de micorrizas y los menores porcentaje de micorrización encontrados de las edades de 6 y 24 años, y los valores más altos en los porcentaje de micorrización y número de micorrizas cuando los valores de materia orgánica son menores.

IV CONCLUSIONES

1-. Las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don., afecta la reacción en suelos de bajo estatus nutricional en la serie San Esteban, del grupo de suelos arcillosos graníticos.

2-. Este efecto se produce en función de la edad de la plantación y se diferencia en cuanto a intensidad según la profundidad, siendo más clara y consistente en la profundidad de 15 a 30 cm.

3-. La reacción del suelo medida como pH (sea al H₂O o en CaCl₂), muestra, en función de la edad un comportamiento dual, en ambas profundidades (0 - 15 y 15 - 30 cm), presentando acidificación a edades que corresponden a pleno crecimiento (6 - 11 años). Y a medida que la plantación avanza en su madurez, el proceso de acidificación tiende a revertirse y estabilizarse, especialmente en el suelo sub-superficial.

4-. Los resultados muestran que la disminución en el valor de pH está explicado por la mayor cantidad de aluminio de intercambio y no a la materia orgánica presente.

5-. El porcentaje de micorrización esta explicado satisfactoriamente por la variación de pH que se presenta en los distintos rodales, pudiéndose señalar que el grado de micorrización tiende a aumentar a medida que disminuye el pH.

6-. La variación en el número de micorrizas no es explicado satisfactoriamente por la variación en el pH.

7-. El porcentaje de micorrización y número de micorrizas aumenta cuando disminuye la materia orgánica.



V RESUMEN

Se estudio los posibles efectos de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. sobre la reacción del suelo y su impacto en las micorrizas. El estudio fue realizado en plantaciones de 6, 11, 18, y 24 años de edad, en un suelo de la serie San Esteban, ubicado al Noroeste de Concepción Chile (Latitud $36^{\circ} 29'$ y Longitud $72^{\circ} 41'$).

Las propiedades químicas estudiadas incluyen pH (al agua 1:2,5 y en CaCl_2), materia orgánica, y aluminio de intercambio. Para las micorrizas se cuantifico su número y porcentaje de infección.

Los resultados mostraron que la variación de pH presenta una tendencia a la acidificación en función de la edad, desde los 6 hasta los 11 años, pero desde los 18 años tiende a moderarse, siendo los resultados más claro y consistente en profundidad.

Para el porcentaje de micorrización se encontró que la variación de pH que presentan los distintos rodales explica satisfactoriamente el aumento en el porcentaje de micorrización, pudiéndose señalar que el grado de micorrización aumenta a medida que disminuye el pH.

VI SUMMARY

The possible effect of *Pinus radiata* D. Don. stands on soil reaction and its impact on mycorrhizas. This study stands of 6, 11, 18, and 24 years old, growing on a Xeralf (San Esteban Serie) soil, located Northwest of Concepción Chile. ($36^{\circ} 29'$ and $72^{\circ} 41'$).

The chemical properties studied include pH (water 1:2,5 and in CaCl_2), exchangeable aluminum and organic matter. The number and percentage infection was quantified for mycorrhizas.

The results suggest that the variation of pH presents a tendency to the acidification in function of the age, from 6 up to 11 years, but from the 18 years has a tendency to moderation, begin the results more clear and consistent in depth.

For the percentage of mycorrhization was found that the variation of pH for different ages explains the increase in the percentage of mycorrhization satisfactorily, could be pointed out that the degree of mycorrhization increases as the pH decreases.

VI Bibliografía

- 1.- Anderson, J. and Ingram, J. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility, A Handbook of Methods. Second edition. C·A·B International. Oxford.
- 2.- Bosic, W., B. Fernández y L. Rocuant. 1976. Efecto de la cubierta vegetal en las propiedades químicas y físicas de los suelos forestales. III. Suelo serie Santa Barbara. Boletín tecnico-suelo N° 59. Depto. Agronomía. Universidad de Concepción. Chillan.
- 3.- Carrasco, P., J. Millan y L. Peña. 1993. Suelos de la cuenca del Bio-Bio, características y problemas de uso. Análisis territorial, volumen 3. Programa inter-universitario de investigación científica aplicada y formación. Eula. Universidad de Concepción. Concepción. Chile.
- 4.- Donoso, C. 1981. Ecología forestal, El bosque y su medio ambiente. Editorial Universitaria. Chile
- 5.- Dpto. de suelos. 1979. Descripción de suelos VIII región. N°3. Escuela de Agronomía, Dpto. suelos. Universidad de Concepción. Chillan.
- 6.- Foth, H. 1990. Fundamentals of Soil Science. Eighth Edition. John Wiley & Sons. New York. U.S.A.

- 7.- Francke, S. 1993. Efecto de las plantaciones forestales en los suelos forestales. Documento técnico N°70. Chile Forestal. Chile.
- 8.- Hoffmann, A. 1982. Flora Silvestre de Chile, Zona Austral. Ediciones fundación Claudio Gay. Santiago.
- 9.- Honorato, R. 1993. Principles of soil chemistry. Second Edition. Marcel Decker. New York. U.S.A.
- 10.- Hopmann, P., P. Farrel, W. Flind and J.M. James. 1980. Nutrients loss from the burning of *Pinus radiata* loggins residues. For. Comm. Vic., Aust. For. Res. 17-23.
- 11.- Ipinza, R. 1985. Micorrización artificial en plantaciones de *Pinus radiata* de Don. de uno a dos años en VII región. Dpto. de Silvicultura y Manejo. Universidad de Chile.
- 12.- Marx, D., and Zak, B. 1965. Effect of pH on Mycorrhizal formation of Slash pine in aseptic culture. Forest Science. 11(1): 65-74.
- 13.- Obando, M. 1993. Efecto de micorrización en especies forestales. revisión bibliográfica. Dpto de Mejoramiento Genético. Forestal Mininco.

- 14.- Porta, J., M. Lopes-acevedo y C. Roquero. 1994. Edafologia para la agricultura y el medio ambiente. Mundi-Prensa. Madrid.
- 15.- Pritchett, W. and Fisher, R. 1987. Properties and Management of Forest Soils. Second Edition. John Wiley & Sons. U.S.A.
- 16.- Santibañes, F. y J. Uribe. 1993. Atlas Agroclimatico de Chile, Regiones sexta, séptima, octava y novena. Corfo. Min. de Agricultura. FIA. Santiago.
- 17.- Schlatter, J. 1977. La relación entre suelo y plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. en Chile central. Bosque. Vol. 2. N°1.
- 18.- Turner, J. And Lambert, M. 1987. Soil properties as affected by *Pinus radiata*. New Zealand Journal of Forestry Science. 18(1): 77-91.

VII APÉNDICE (S)



APENDICE 1: TABLA 1, Vegetacion acompañante en las áreas de estudio.

Nombre Cientifico	Nombre Comun
<i>Luma apiculata</i> (DC) Burrel	Arrallan
<i>Litrea caustica</i> (Mol) H.et.al	Litre
<i>Lomatia hirsuta</i> (Lam) Diels Macbr	Radal
<i>Maytenus boaria</i> Mol.	Maiten
<i>Nothofagus obliqua</i> (Mirb.) Oerst.	Roble
<i>Peumus boldus</i> Mol.	Boldo
<i>Quillaja saponaria</i>	Quillay
<i>Escallonia pulverulenta</i> (R.et.P) Pers	Mardoño
<i>Kageneckia oblonga</i> R.et.P	Huayo
<i>Colletia espinosum</i>	-----
<i>Plantago lanceolata</i> l.	Siete venas
<i>Agrostis capillans</i> l. (<i>Agrostis tenuis</i>)	Chepica
<i>Cichorium intybus</i> l.	Chicoria
<i>Avena fatua</i> l.	Avenilla
<i>Anagallis arvensis</i> l.	Pinpinela
<i>Rubus ulmifolius</i> Schott	Zarzamora
<i>Rumex acetosella</i> l.	Romazilla
<i>Taraxacum officinale</i> Weber.	Lechugilla
<i>Adiantum chilensis</i> Var. <i>Chilensis</i>	Helecho
<i>Telinus pesinularia</i>	Retamilla
<i>Ugni molinae</i>	Mutilla
<i>Rosa moschata</i> Herrm.	Mosqueta

APENDICE 2: Efecto de la edad de las plantaciones sobre la reacción del suelo.

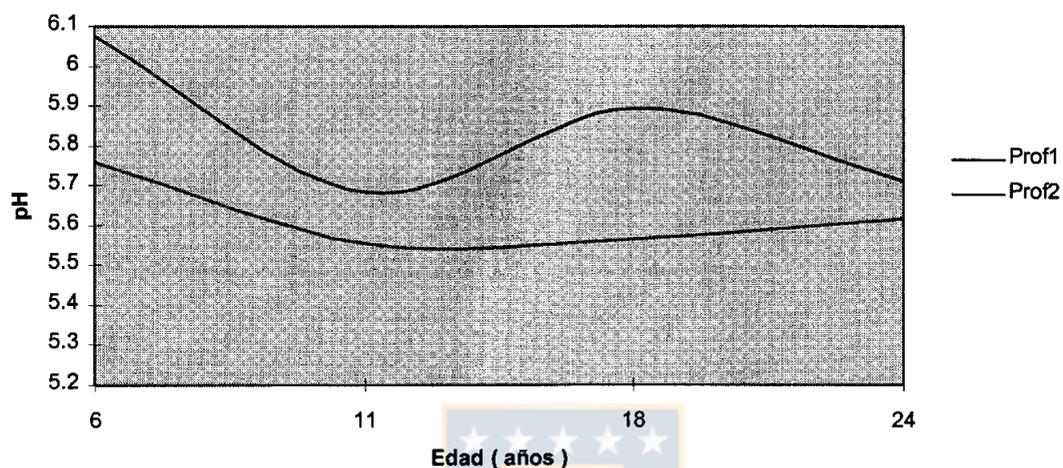


FIGURA 2.1. Valor promedio de pH, (al agua, 1:2,5), para los distintas edades de los rodales, Profundidad 1 y 2.

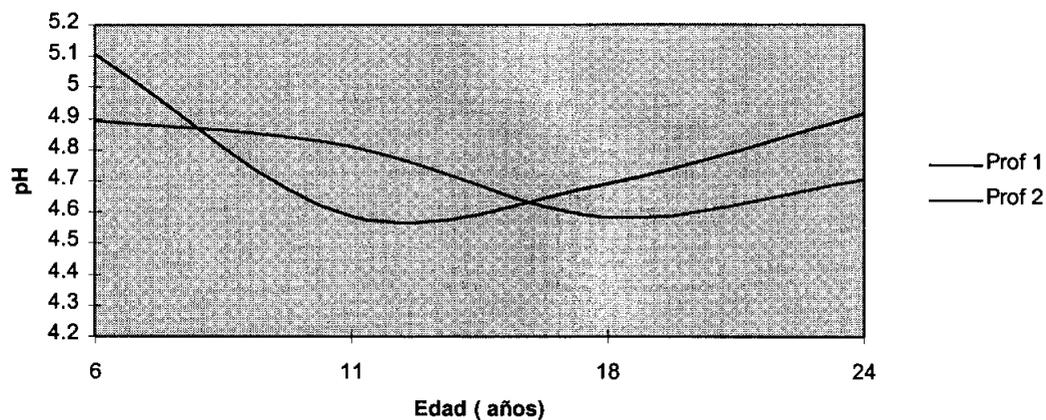


FIGURA 2.2. Valor promedio de pH en cloruro de calcio (1: 2,5), para las distintas edades de los rodales, Profundidad 1 y 2.

APENDICE 3: Aluminio de intercambio y materia orgánica.

TABLA 3.1 Valores de aluminio de intercambio (ppm) promedios y varianza, profundidades 1 y 2, para rodales de 6, 11, 18 y 24 años

EDAD	PROFUNDIDAD 1		PROFUNDIDAD 2	
	Aluminio	Varianza	Aluminio	Varianza
0	11,05	4,171	22,90	20,08
6	6,770	20,08	16,60	19,27
11	29,60	5,374	60,40	9,758
18	17,80	16,82	56,50	25,17
24	15,40	9,845	24,42	13,04

TABLA N°3.2 Valores de M.O. (%) promedios y varianza, profundidad 1 y 2, para rodales de edad 6, 11, 18 y 24 años.

EDAD	PROFUNDIDAD 1		PROFUNDIDAD 2	
	% M.O	Varianza	% M.O.	Varianza
0	3,975	0,516	3,285	0,130
6	4,580	1,091	3,186	0,446
11	3,550	0,028	3,475	0,728
18	4,070	0,494	2,190	0,000
24	5,597	0,705	3,137	1,043



ANEXO 1 : Análisis estadísticos para las propiedades Químicas.

Como en la investigación la respuesta de interés, pH, se relaciona con 2 variables que son Edad y profundidad, se considero el muestreo como un " Diseño Experimental Factorial " para lo cual la edad y las profundidad son considerados como factores y el pH como variable respuesta, entonces, el análisis del experimento factorial se hace formulando un modelo de regresión lineal donde la respuesta Y (pH), esta en función de la edad y profundidad.

Se establece como supuesto que todas las combinaciones de factor tienen distribución normal independiente, con varianzas iguales.

El modelo de regresión lineal que fue utilizado para al análisis, esta dado por la siguiente ecuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1\chi_1 + \beta_2\chi_2 + \beta_3\chi_1\chi_2$$

Lo que se probó fue si la hipótesis $H_0 = \beta_3 = 0$, (donde β_3 representa la interacción Edad versus Profundidades), es decir si existe interacción entre la edad y profundidad, si se rechaza la hipótesis, se establece que existe evidencia de interacción. En la tabla N°1, se muestran los valores obtenidos del análisis estadístico, Tabla Anova, para los valores de pH al agua de las dos profundidades. Se verifica que el valor obtenido mediante el análisis para la relación F, en la interacción edad versus profundidad es de 0,662 y el valor obtenido por tabla es 3,06 es decir:

$F_c < F_t$, lo que indica que el efecto de la interacción no es significativo.

Es decir, la significación de β_3 no es suficiente para establecer que haya alguna diferencia entre los promedios de tratamiento.

Pero para el factor edad tiene importancia ya que el valor F calculado = 3,1612 y el valor tabla es de 3,06, es decir $F_c > F_t_{0.05(4,16)}$, para un 95% de confiabilidad, por lo tanto hay una diferencia significativa entre la respuesta promedio para las edades, comparado con el pH de las profundidades. Para el factor profundidad tiene gran importancia ya que el valor F calculado = 11,111 y el valor tabla es de 4,54, es decir $F_c > F_t_{0.05(1,16)}$, para un 95% de confiabilidad, esto nos indica que hay una alta diferencia significativa para la profundidad

Para el análisis de pH en cloruro de calcio y materia orgánica, para ambas profundidades se procedió de igual manera. Los valores del análisis se muestran en las tabla 2 y 3.

TABLA N°1. Tabla Anova, análisis estadístico para un diseño experimental factorial 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	3,1612	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		

TABLA N°2. Tabla Anova, análisis estadístico para un diseño experimental factorial de 2 factores (edad y profundidad), para los valores de pH en cloruro de calcio.

FUENTE	Grado de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	Relación F	Pr > F
Edad	4	0,387	0,097	1,716	0,196
Prof.	1	0,070	0,070	1,241	0,282
Edad*Prof	4	0,157	0,039	0,697	0,605
Error	16	0,902	0,056		

TABLA N°3. Tabla Anova, análisis estadístico para un diseño experimental factorial de 2 factores (edad y profundidad), para los valores de aluminio de intercambio (%).

FUENTE	Grado de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	Relación F	Pr > F
Edad	4	3696,8	924,20	4,760	0,010
Prof.	1	2410,0	2410,0	12,41	0,003
Edad*Prof	4	890,04	222,51	1,146	0,371
Error	16	3106,7	194,17		

TABLA N°4. Tabla Anova, análisis estadístico para un diseño experimental factorial de 2 factores (edad y profundidad), para los valores de materia orgánica (%).

FUENTE	Grado de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	Relación F	Pr > F
Edad	4	4,849	1,212	2,256	0,109
Prof.	1	10,135	10,135	18,858	0,001
Edad*Prof	4	4,690	1,173	2,182	0,118
Error	16	8,599	0,537		

ANEXO 3 : Descripción de la serie de suelo, San Esteban.

La Serie San Esteban pertenece al grupo de los suelos Graníticos, Los materiales generadores que han originado estos suelos son rocas graníticas, dioritas cuarzosas o material intrusivo muy rico en cuarso.

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

En general se trata de suelos profundos, con perfiles arcillosos densos muy compactos, que han experimentado un fuerte proceso erosivo laminar y zanjas, en los casos más severos. La erosión limita seriamente su calidad. En cambio constituyen un excelente sitios forestales todas aquellas áreas donde la erosión es mínima .

La Serie San Esteban presenta las siguientes Características:

Clasificación	: Orden Alfisols (Sub-orden Xeralfs.)
Geomorfología	: Zona montañosa disectada por quebrada
Topografía	: Pendiente compleja
Material de origen	: Rocas graníticas
Vegetación natural	: Bosque de transición
Erosión	: Laminar intensa
Capacidad de uso	: VII
Altitud	: 700 msnm.
Ubicación calicata	: 37°22' y 73°6'

Esta serie presenta las siguientes fases: moderadamente a altamente susceptible a la erosión y muy erosionada, profunda, moderadamente profunda y de escasa profundidad. Las limitante 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.

Fisiograficas : La altitud que incluso supera los 1000msnm, en los que impera un clima frío de altura, no apto para el *Pino radiata*. La exposición Este de la Cordillera de la Costa que presenta una extrema aridez estival, asociada a problemas de erosión.

ANEXO 4 : Descripción de los rodales muestreados..

TABLA N°5. Características dendrométricas de los rodales muestreados

RODADL (N)°	EDAD (AÑOS)	SUPERF. (ha.)	D.A.P (Cm.)	ALTURA (m)	DENSIDAD (Arb/ha)
0	pradera	0,83	- -	- -	- -
1	6	2,50	14,31	12,34	825
2	11	3,00	18,74	18,70	1150
3	18	1,22	22,88	24,79	800
4	24	2,66	29,19	24,74	375

Las características tales como vegetación, exposición, pendiente y otras características relevantes se presentan a continuación, en forma individual para cada rodal :

Rodal 1 : rodal de *Pinus radiata* de 6 años de edad, posee exposición Oeste, con una pendiente de 32%.

Presenta una primera poda de muy mala ejecución, a 2 metros de altura.

La vegetación acompañante es muy limitada, y esta constituida por maleza y arbustos tales como, *Plantago lanceolata*, *Rosa moschata*, *Rubus ulmifolius*, *Ugni molinae* *Telinus pesinularia*.

Litera presente es muy insignificante, y en cada calicata realizada se encontró lombrices, alcanzado los 15 cm. en algunos casos.

RODAL 2.: rodal de *Pinus radiata* de 11 años de edad, posee exposición Oeste, con una pendiente de 16%.

Presenta una primera poda a 2 Y 2,5 metros de altura, tiene daño por viento.

La vegetación acompañante es limitada y dispersa, está constituida por maleza y arbustos tales como, *Rosa moschata*, *Rubus ulmifolius*, *Telinus pesinularia* y existe regeneración de *Quillaja saponaria* y *Aristotelia chilensis*. La litera presente tiene un grosor de 4,5 cm., con presencia de humus.

Cabe señalar que al igual que en el rodal de 6 años en cada calicata realizada presentaba lombrices de gran tamaño.

RODAL 3.: Rodal de *Pinus radiata* de 18 años de edad, posee exposición Nor-Este, con una pendiente de 10%.

Es un rodal que Presenta un raleo liviano realizado en el año 1994, la primera y única poda se realizó en el año 1988.

La vegetación acompañante es muy escasa y esta constituida por maleza como, *Rosa moschata*, *Rubus ulmifolius*, *Telinus pesinularia*.

La litera presente tiene un grosor variable de 3,5 a 4 cm., existiendo material húmico en ella.

Cabe señalar que al igual que en el rodal de 6 y 11 años en cada calicata realizada presentaba lombrices, de gran tamaño.

RODAL 4.: rodal de *Pinus radiata* de 24 años de edad, posee exposición Oeste, con una pendiente de 40%.

Es un rodal que está ubicado en una zona de cárcavas y quebradas que superan en algunos casos los 10 metros de profundidad, este rodal ha sido constantemente intervenido, es decir ha sido floreado.

La vegetación acompañante es abundante y está constituida por especies arbóreas como *Peumus boldus*, *Maytenus boaria*, *Aristotelia chilensis*, *Quillaja saponaria* y arbustivas como, *Rosa moschata*, *Rubus ulmifolius*, *Ugni molinae* *Telinus pesinularia*.

La litera presente tiene un grosor variable que va de los 3 a 6 cm., existiendo gran cantidad de material húmico en ella. Como en los demás rodales se encontraron lombrices de gran tamaño.

SITIO 5 : El quinto sitio está constituido por una pradera natural, ubicada en el mismo sector de los rodales, presenta una exposición Oeste, con una pendiente del 20%. La vegetación existente está compuesta por malezas como, *Rubus ulmifolius*, *Plantago lanceolata*, *Telinus pesinularia* y existe regeneración natural de *Pinus radiata*.

Cabe señalar que no existen lombrices en las calicatas realizadas.

ANEXO 5 : Descripción del muestreo estratificado con restricción de costos y mínima varianza, para la determinación de las propiedades químicas.

Para la determinación de la cantidad óptima de muestras se realizó un **Muestreo Estratificado con Restricción de Costo y Mínima Varianza**, ya que la población en estudio se encuentra dividida en edades distintas, lo que permite agruparlas en estratos.

Para el desarrollo del muestreo se realizó un pre-muestreo en terreno con la toma de 2 muestras por cada rodal y 2 muestras en la zona testigo.

Con los datos obtenido se determinó la cantidad precisa de muestras a tomar, es decir, el " n " óptimo, a través del siguiente proceso:

1-. Determinación del " n " óptimo según presupuesto para el estudio, mediante la siguiente fórmula:

$$n = \frac{(C - A) * \sum (P_i * s_i / \sqrt{C_i})}{\sum P_i * s_i * \sqrt{C_i}} = \frac{(C - A)}{c_i}$$

$$n = \frac{(170000 - 10000)}{6100}$$

$$n = 26 \quad (\text{unidades muestrales a medir})$$

Donde :

n = Tamaño de muestra óptimo o número de unidades muestrales a medir.

C = Costo total.

A = Monto fijo.

C_i = Costo variable para cada unidad muestral.

P_i = proporción del estrato i .

s_i = Varianza muestral del estrato i

2-. Una vez obtenido el " n " óptimo se procede hacer la asignación de acuerdo a la restricción que establece la varianza:

2.1-. Se calcula los promedios, varianza, tamaño de los estratos y proporciones, los cuales se presentan en la tabla 6.

TABLA N°6 Valores de medias, varianzas, tamaño de los estratos, proporciones para cada estrato en la investigación.

ESTRATO	EDAD	x_i	n_i	s_i	N_i	P_i	$P_i s_i$
1	6	3,325	2	1,1667	40852	0,2	0,2333
2	11	2,895	2	0,516	40852	0,2	0,1032
3	18	4,07	2	0,4949	40852	0,2	0,0989
4	24	2,955	2	1,5202	40852	0,2	0,3040
5	0	4,51	2	0,5656	40852	0,2	0,1131
TOTAL	--	--	10	--	204260	1	0,8525

$$\sum P_i \cdot s_i = 0,8525$$

Entonces la asignación por estrato esta dado por la siguiente formula:

$$n_i = \frac{n * P_i * s_i}{\sum P_i * s_i}$$

Donde : n_i = Tamaño de la muestra del estrato i

3-. Finalmente la asignación por estrato queda de la siguiente forma:

$$n_6 = 2,73 \approx 3$$

$$n_{11} = 1,21 \approx 2$$

$$n_{18} = 1,20 \approx 2$$

$$n_{24} = 3,60 \approx 4$$

$$n_0 = 1,32 \approx 2$$



pero como son dos profundidades, los n_i quedan :

$$n_6 = 6$$

$$n_{11} = 4$$

$$n_{18} = 4$$

$$n_{24} = 8$$

$$n_0 = 4$$