

U N I V E R S I D A D D E C O N C E P C I O N
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente

CRECIMIENTO AEREO Y RADICULAR
DE PLANTAS DE *Pinus radiata* D. Don. AL CABO DE SIETE
MESES DE ESTABLECIDAS



RODRIGO EDGARDO GUAJARDO SAAVEDRA

MEMORIA PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO
FORESTAL.

CONCEPCION - CHILE

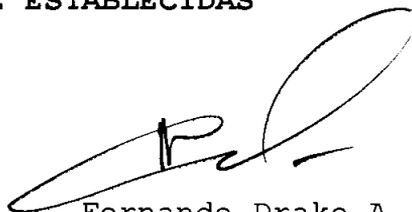
1998

CRECIMIENTO AEREO Y RADICULAR

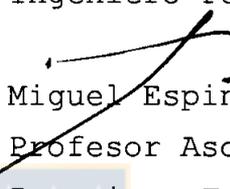
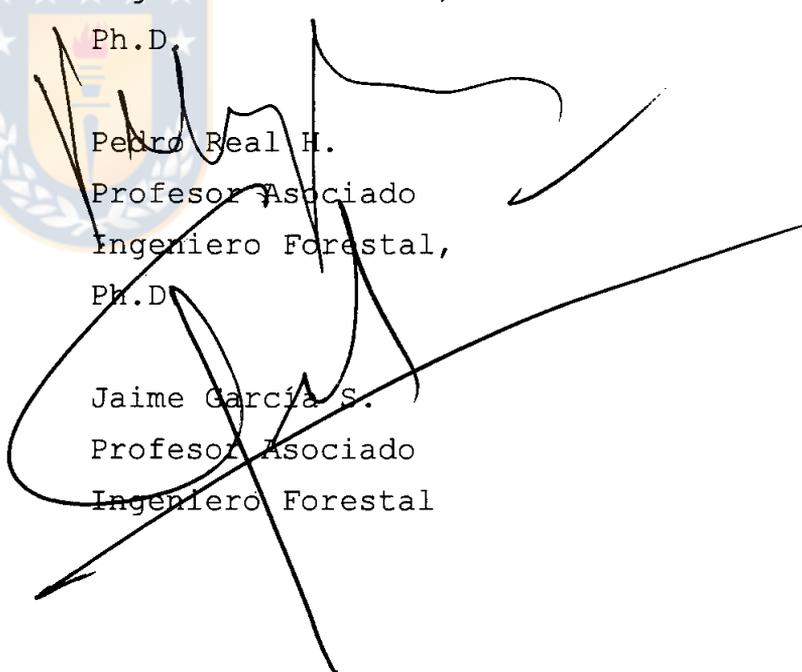
DE PLANTAS DE *Pinus radiata* D. Don. AL CABO DE SIETE

MESES DE ESTABLECIDAS

Profesor Asesor

Fernando Drake A.
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal

Profesor Asesor


Miguel Espinosa B.
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal,
Ph.D.Director Departamento
Manejo de Bosques y
Medio Ambiente
Pedro Real H.
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal,
Ph.D.Decano Facultad de
Ciencias Forestales
Jaime García S.
Profesor Asociado
Ingeniero ForestalCalificación de la memoria de título:

Fernando Drake A. : Noventa puntos.

Miguel Espinosa B.: Ochenta y Siete puntos.

DEDICATORIAS

El presente documento va dedicado a todas aquellas personas que colaboraron a lo largo de toda mi carrera universitaria, especialmente a mis padres Bladimiro Guajardo M. y María Saavedra Q. que me apoyaron tanto moral como económicamente, a mi tía Regina Saavedra Q. que siempre estuvo alentándome en los momentos de flaqueza, a mi esposa Susana Torres A. que supo comprender y esperar pacientemente todo el tiempo que dedicaba para el término de mi memoria de título. Además, doy gracias a mi abuelo Evaristo Saavedra Q. (Q.E.P.D.) por el aliento espiritual que me brindó durante todo mi pasar por la Universidad de Concepción.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis profesores por la formación profesional que me brindaron durante mi estadía en la Universidad, a Forestal Angol Ltda. que facilitó los recursos para la ejecución de este proyecto, y a todas aquellas personas que colaboraron e hicieron posible la confección de este documento.



INDICE DE MATERIAS

CAPITULOS	PAGINA
I	INTRODUCCION..... 1
II	MATERIALES Y METODOS..... 3
	2.1 Descripción del área de estudio..... 3
	2.2 Establecimiento del ensayo..... 3
	2.3 Mediciones de laboratorio..... 6
	2.4 Funciones de biomasa radicular..... 11
III	RESULTADOS..... 12
	3.1 Crecimiento de las plantas..... 12
	3.2 Distribución de la biomasa de las plantas en cada control..... 13
	3.2.1Biomasa total por componente de las plantas 13
	3.2.2Comportamiento de los nutrientes..... 15
	3.3 Funciones de biomasa para el peso seco radicular 16
IV	DISCUSION..... 22
V	CONCLUSIONES 25
VI	RESUMEN 26
	SUMMARY..... 26
VII	BIBLIOGRAFIA..... 28
VIII	APENDICE..... 30
IX	ANEXO..... 31

INDICE DE TABLAS

TABLA N°	PAGINA
<u>En el Texto</u>	
1 Variables controladas en el estudio.....	5
2 Cronograma de los trabajos realizados en terreno....	6
3 Media y coeficiente de variación de las variables medidas en el estudio.....	12
4 Incremento de las variables medidas en el estudio.....	13
5 Cantidad de nutrientes por componente de las plantas al inicio y al final del estudio.....	15
6 Valores estimados y significancias de los parámetros para cada modelo ajustado	17
7 Valores muestrales para la prueba F en cada modelo ..	17
8 Estadísticas asociadas a cada modelo ajustado	18
9 Ajuste del modelo exponencial por M.C.O y M.C.P.....	20
10 Estadísticas asociadas a los ajustes del modelo exponencial	20
<u>En el Apéndice</u>	
1-A Análisis raíz, tallo y acículas para el control C1.	30
2-A Análisis raíz, tallo y acículas para el control C4.	30
<u>En el Anexo</u>	
1-B Valores de referencia para análisis foliar de <i>Pinus radiata</i> D.Don., según Will (1985) citado por Schlatter (1989).....	31

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	PAGINA
<u>En el texto</u>	
1 Esquema de distribución espacial de las plantas (f) dentro del área del ensayo	4
2 Distribución de la biomasa de las plantas por Control.....	14
3 Peso seco radicular versus diámetro de cuello	16
4 Ajuste modelo exponencial	18
5 Residuos modelo exponencial	19
6 Ajuste modelo exponencial por mínimos cuadrados ponderados.....	21
7 Residuos y modelo exponencial ponderados	21

I. - INTRODUCCION

Desde el momento que se inicia el proceso de germinación, una planta comienza su etapa de crecimiento. El crecimiento es el incremento gradual de tamaño de un organismo en un determinado período de tiempo. En sentido longitudinal el árbol experimenta un crecimiento primario, debido a la acción de los meristemas apicales ubicados en tallos y raíces. También en la planta se inicia el crecimiento secundario, que es el aumento en el diámetro del tallo y raíz, el cual se origina en el cambium.

Por lo general, las investigaciones de crecimiento y productividad contemplan el estudio de la parte aérea de la planta, sin considerar la zona radicular; esto debido a las dificultades inherentes al estudio de las raíces, que generalmente consideran la extracción de este órgano. Sin embargo, es importante conocer el comportamiento del sistema radicular desde el inicio, debido a la estrecha relación existente con el crecimiento y desarrollo futuro de los árboles. Las raíces no solo constituyen el sostén mecánico de la parte aérea del árbol sino que son las vías de absorción de agua y nutrientes del suelo. De hecho, la salud y el vigor del sistema radicular es fundamental para la salud y el vigor general del árbol, de modo que, en una situación ideal, los tratamientos silvícolas deben fundamentarse tanto en las características de la copa como de las raíces (Daniel et al., 1982). Entre los investigadores que han realizado estudios acerca de las raíces, Sutton (1969), citado por Ares y Peinemman (1992), relaciona el crecimiento aéreo de los

árboles con el desarrollo y la actividad de la raíz; Weaver (1926), citado por Esau (1985), estudia la morfología del sistema radicular; Gholz et al., (1986), investigan la estacionalidad del crecimiento respecto a la biomasa de las raíces finas y Watson y O'Loughlin (1990), determinaron una función para estimar el peso seco radicular total a partir del diámetro a la altura del pecho (dap) para la especie pino radiata.

Sin embargo, son escasos los estudios acerca del crecimiento inicial de plantas que relacionan tanto la producción aérea como de la raíz. En el presente estudio, se analizó el crecimiento aéreo y radicular de plantas de pino radiata extraídas a los dos, cuatro y siete meses de establecidas, con el objeto de determinar una función que estime adecuadamente el peso seco radicular a partir del diámetro de cuello como variable predictora. El ensayo fue instalado en el predio Santa Catalina, Octava región, propiedad de Forestal Angol Limitada.

II.-MATERIALES Y METODOS

2.1 Descripción del área de estudio.

El predio Santa Catalina en el cual fue instalado el ensayo para estudiar el crecimiento aéreo y radicular de plantas de pino radiata, se localiza al sur de la comuna de Mulchén a una latitud de 37° 45' y a una longitud de 72° 15'. El clima de la zona es del tipo mediterráneo temperado; el régimen térmico se caracteriza por una temperatura media anual de 14 °C, con una media del mes más cálido (enero) de 28 °C y una media del mes más frío (julio) de 3,5 °C. El período libre de heladas se extiende desde noviembre a marzo. El régimen hídrico se caracteriza por una precipitación anual de 1025 mm siendo el mes de junio el más lluvioso con 217 mm (INIA, 1989).

El suelo donde fueron establecidas las plantas pertenece a la serie Collipulli; presenta una textura arcillo limosa, un pH de 5,8 y una profundidad mayor a dos metros. Topográficamente se caracteriza por ser plano a ligeramente ondulado (Descripción de Suelos VIII Región, 1979).

2.2 Establecimiento del ensayo.

Se destinó una superficie de 0,5 ha para instalar el ensayo. La plantación fue realizada por personal a cargo de la empresa a una densidad de 1667 plantas por hectárea (2x3 m) (Figura 1). Cada planta fue fertilizada con 80 g de Super Fostato Triple, 50 g de Sulfato de Potasio y 50 g de Urea, aplicados en dos puntos a 15 cm de la base de la planta y a 10 cm de profundidad.

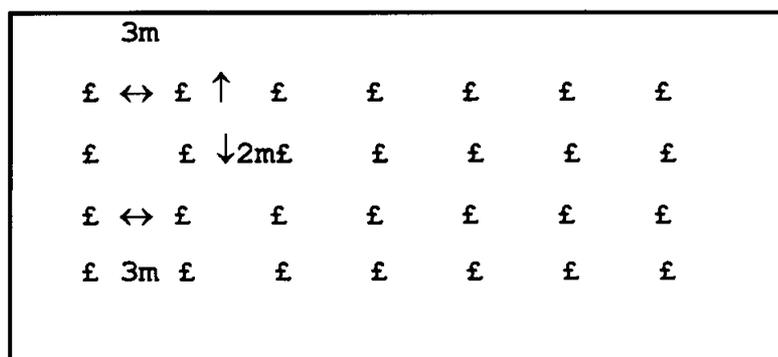


Figura 1.- Esquema de distribución espacial de las plantas(£) dentro del área del ensayo.

La plantación fue establecida el día primero de septiembre de 1994 con plantas de pino radiata 1:0 producidas bajo invernadero en contenedores plásticos de 60 cm cúbicos de capacidad de sustrato, provenientes del vivero San Isidro propiedad de Forestal Angol Ltda. Las plantas se caracterizaban por tener una altura superior a 15 cm y un diámetro de cuello mayor a 2 mm.

Las variables medidas a las plantas en el estudio fueron la altura total, el diámetro de cuello, el peso seco radicular, el peso seco del tallo, el peso seco de las acículas y el peso seco total. La simbología y las unidades de medidas de cada variable se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.- Variables controladas en el estudio

Variablen	Simbología	Unidad de medida
Altura Total	H	cm
Diámetro de cuello	Dc	mm
Peso seco raíz	PSR	g
Peso seco tallo	PST	g
Peso seco acículas	PSAc	g
Peso seco total	PSTot	g

Las variables fueron medidas en cuatro ocasiones (Tabla 2), con lo cual se obtuvo la información necesaria para ajustar un modelo para estimar el peso seco radicular a partir del diámetro de cuello y para conocer el comportamiento respecto al crecimiento de las variables en cada control.

El día del establecimiento de la plantación se obtuvo una muestra de 20 plantas, de las cuales 15 fueron trasladadas al Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Facultad Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción para la medición de las variables señaladas en la Tabla 1. Las restantes se enviaron al Laboratorio de Suelos de la misma Universidad, donde se efectuó un análisis foliar, de tallo y raíces, lo cual permitió conocer la incidencia de los nutrientes en el peso seco de las plantas establecidas en el ensayo.

Posteriormente, cada 70 días, se seleccionó en forma aleatoria una muestra compuesta por 10 plantas, las cuales fueron excavadas y recuperadas con herramientas manuales (pala hoyera, palilla jardinera y ponsón) teniendo especial cuidado en el manejo del sistema radicular debido a la

fragilidad de éste. Cada planta fue etiquetada y el sistema radicular protegido con una bolsa nylon para luego ser trasladada al laboratorio y almacenada en una cámara de frío evitando así su descomposición. Después de cada fecha de control (Tabla 2) se procedió a la medición de las variables señaladas en la Tabla 1. Además, en el último control se obtuvo una submuestra de cinco plantas, las cuales fueron enviadas al Laboratorio de Suelos para el análisis nutricional de acículas, tallo y raíz, lo que permitió conocer el estado de las plantas una vez concluido el estudio y el aporte de los nutrientes al peso seco de las mismas.

La Tabla 2 muestra el cronograma de las actividades realizadas en terreno, las fechas de control del estudio y la simbología empleada. El primer control (C1) de las variables medidas corresponde a la temporada de viverización de las plantas y los posteriores controles (C2, C3 y C4) al término de cada período de crecimiento de las plantas en terreno.

Tabla 2.- Cronograma de los trabajos realizados en terreno

Fecha de control	Simbología	Actividad
01-Septiembre-1994	C1	- Plantación - Muestra 20 Plantas
10-Noviembre-1994	C2	- Muestra 10 Plantas
19-Enero-1995	C3	- Muestra 10 Plantas
30-Marzo-1995	C4	- Muestra 10 Plantas - Submuestra 5 Plantas

2.3 Mediciones de laboratorio.

En el laboratorio cada planta fue seccionada y clasificada en

los siguientes componentes:

Raíz: Considera la parte subterránea de la planta, tomando como límite superior la marca dejada por el sustrato (corteza descompuesta) adherido al sistema radicular. El resto fue considerado como parte aérea.

Tallo: Es la parte aérea de la planta exceptuando las acículas.

Acículas: Son las hojas de la planta propiamente tal.

La tierra adherida a las raíces fue removida en forma manual y posteriormente tamizada para recuperar las raicillas desprendidas. Luego se aplicó sobre ellas un chorro de agua con presión débil para desprender la corteza y cualquier otro elemento ajeno al sistema radicular.

El diámetro de cuello fue medido con un pie de metro a dos centímetros desde la base de la planta y la altura se registró con una regla de 50 cm graduada al milímetro. Posteriormente cada componente de la planta fue introducido en un horno y secado a 70° C hasta alcanzar el peso seco o peso constante, lo cual se determinó con una balanza electrónica con una resolución de décima de gramo.

2.4 Funciones de biomasa radicular.

Se ajustaron distintos modelos para estudiar el peso seco de la raíz a partir del diámetro de cuello como variable predictora. Además se calcularon las estadísticas descriptivas (media; \bar{x} y coeficiente de variación en

porcentaje; $(s/\bar{x}) \cdot 100$) de las variables medidas en cada fecha de control (Ci) y el incremento de las mismas respecto al control C4, ya que éste considera el último período de crecimiento de las plantas. Ello con el propósito de conocer el comportamiento y crecimiento de las plantas a través del tiempo. También se analizó la distribución de la biomasa de cada componente de la planta (raíz, tallo y acículas) para cada período de crecimiento.

Para seleccionar las funciones se utilizaron los siguientes modelos, los cuales fueron ajustados con el Software estadístico S.A.S. (Statistical Analysis System):

Modelo 1: Modelo de Crecimiento Weibull

$$PSR = a \cdot (1 - \exp(-b \cdot Dc^c))$$

Modelo 2 : Modelo de Crecimiento Chapman - Richards (CH-RI)

$$PSR = a \cdot (1 - \exp(-b \cdot Dc))^c$$

Modelo 3 : Modelo Alométrico

$$PSR = a \cdot Dc^b$$

Modelo 4 : Modelo Exponencial

$$PSR = a \cdot \exp(b \cdot Dc)$$

Los modelos 3 y 4 fueron transformados en base a logaritmo natural:

Modelo 3: Alométrico

$$\ln PSR = \ln a + b \cdot \ln Dc$$

Modelo 4: Exponencial

$$\ln \text{PSR} = \ln a + b \cdot Dc$$

Donde a, b, c = Parámetro estimado
 PSR = Peso seco de la raíz
 Dc = Diámetro de cuello

Para el ajuste de los modelos se utilizó el criterio de los Mínimos Cuadrados Ordinarios (M.C.O.), el cual consiste en minimizar la expresión:

$$\sum (\text{PSR} - \text{PSRe})^2$$

La selección del mejor modelo se basó en los estadísticos error estándar de estimación, la desviación estándar de los desvíos y R^2 ajustado cuando corresponde (Zeide, 1993). Además, se utilizaron gráficos de análisis de residuos para conocer el comportamiento de la varianza .

Las expresiones empleadas son las siguientes:

1.- Error estándar de estimación de la variable peso seco radicular:

$$\text{E.E.E.} = (\text{SCE} / (n-p))^{1/2}$$

2.- Desviación estándar de los desvíos de la variable peso seco radicular

$$s = (\sum e_i^2 - (\sum e_i)^2 / n) / (n-1)$$

$$e_i = (\text{PSR}_i - \text{PSRe}_i)$$

3.- Coeficiente de determinación ajustado

$$R^2_{\text{ajustado}} = 1 - (n-1) * (1 - (1 - \text{SCE}/\text{SCT}) / (n-p))$$

4.- Análisis de residuos (gráficos)

Donde:

SCE = Suma de cuadrados del error ($\sum e_i^2$)

SCT = Suma de cuadrados total

e_i = Error de estimación

p = Número de parámetros del modelo

n = Tamaño de la muestra

PSR = Peso seco de la raíz inicial

PSRe = Peso seco radicular estimado por la función

Para determinar si hay o no relación entre el peso seco radicular y la variable predictora diámetro de cuello se aplicó la prueba F:

$$F = \text{CMR} / \text{CME}$$

$$\text{CMR} = \text{SCR} / (p-1)$$

$$\text{CME} = \text{SCE} / (n-p)$$

También a cada modelo se aplicó la prueba t para determinar si cada coeficiente era útil para la predicción del peso seco radicular.

Donde:

CMR = Cuadrado medio de la regresión

CME = Cuadrado medio del error

SCR = Suma de cuadrados de la regresión

Cuando la varianza de los términos del error no fue

constante, se aplicó el método de los mínimos cuadrados ponderados (M.C.P.), que consiste en que las observaciones reciben ponderaciones diferentes. Las ponderaciones pueden ser consideradas equivalentes a los valores recíprocos de las varianzas de los errores:

$$w_i = 1/\sigma^2_i$$

Como estos valores son desconocidos, si las varianzas son proporcionales con x_i^2 , se tiene que $\sigma^2_i = k \cdot x_i^2$ en que k representa el factor de proporcionalidad; de este modo:

$$w_i = 1/(k \cdot x_i^2)$$

y como la constante de proporcionalidad desaparece en las ecuaciones normales, se obtiene:

$$w_i = 1/x_i^2$$

Esta relación de proporcionalidad con el cuadrado de la variable independiente es la de uso más frecuente en el ajuste por M.C.P. (Cid et al., 1990)

III.-RESULTADOS

3.1 Crecimiento de las plantas.

La media y el coeficiente de variación de las variables medidas en cada fecha de control se muestran en la Tabla 3. Los resultados indican que la mayor variabilidad se registra en C4 siendo el peso seco radicular y el peso seco de las acículas los que presentan un mayor valor. En general la altura y el diámetro de cuello poseen una menor variabilidad en cada control que las variables de peso seco.

Tabla 3.- Media y coeficiente de variación de las variables medidas en cada fecha de control.

Variables	Controles			
	C1	C2	C3	C4
H (cm)	19,10 (8,85)	24,28 (7,87)	42,60 (12,93)	47,78 (13,79)
Dc (mm)	2,62 (11,83)	3,89 (8,74)	8,10 (13,09)	10,57 (16,18)
PSR (g)	0,86 (18,60)	1,32 (18,94)	5,25 (21,52)	11,81 (37,68)
PST (g)	0,38 (15,79)	0,58 (20,69)	4,41 (34,01)	10,08 (34,72)
PSAc (g)	0,82 (18,29)	1,30 (13,82)	9,34 (33,19)	23,11 (42,23)
PSTot (g)	2,06 (16,50)	3,20 (14,70)	19,00 (24,10)	45,00 (36,87)

() = Coeficiente de variación en porcentaje

Los incrementos de cada variable medida en el estudio en cada

control se muestran en la Tabla 4. Las variables altura y diámetro de cuello presentan un mayor incremento (sobre el 38%) en el período transcurrido entre los controles C2 y C3 decreciendo su crecimiento a fines del verano (C4). Por el contrario las variables de peso seco (radicular, tallo, acículas y total) muestran el mayor incremento entre los controles C3 y C4 (sobre el 50%) correspondiente a fines de los meses de verano.

Tabla 4.- Incremento de las variables medidas en el estudio según período de control.

Variables	Controles		
	C1-C2	★ ★ ★ C2-C3	C3-C4
H (cm)	5,18 (10,8)	18,32 (38,4)	5,18 (10,8)
Dc (mm)	1,27 (12,0)	4,21 (39,8)	2,47 (23,4)
PSR (g)	0,46 (3,9)	3,93 (33,3)	6,56 (55,5)
PST (g)	0,20 (2,0)	3,83 (38,0)	5,67 (56,2)
PSAc (g)	0,48 (2,1)	8,04 (34,8)	13,77 (59,6)
PSTot (g)	1,14 (2,5)	15,80 (35,1)	26,00 (57,7)

() = incremento en porcentaje respecto al período C4

3.2 Distribución de la biomasa de las plantas en cada control.

3.2.1 Biomasa total por componente de las plantas. De los resultados expuestos en la Tabla 3 se desprende la distribución de la biomasa de cada componente de las plantas (raíz, tallo y acículas) medidos en cada control. En la primera medición (C1) el 41,8% del peso total de las plantas se encuentra distribuido en la raíz, el 39,8% en las acículas

y el 18,4% en el tallo (Figura 2a). Valores similares alcanza la distribución de la biomasa en el control C2 (Figura 2b). La biomasa de las plantas en los controles C3 y C4 se distribuye aproximadamente de la misma forma, con un 50% de la producción concentrada en las acículas, el 27% en la raíz y un 23% en el tallo (Figuras 2c y 2d, respectivamente).

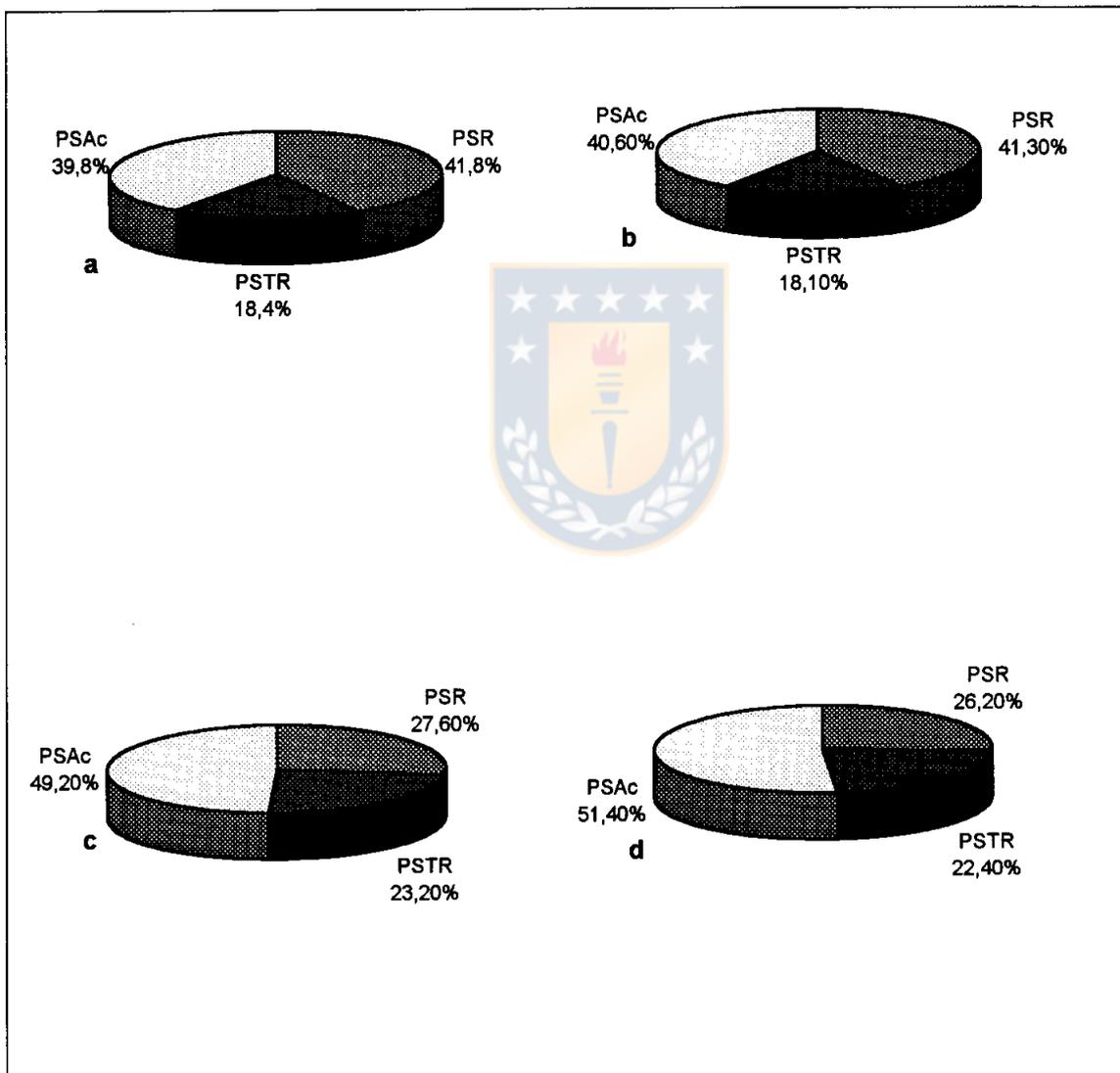


Figura 2.- Distribución de la biomasa de las plantas por control. a-Control C1; b- Control C2; c- Control C3; d- Control C4.

3.2.2 Comportamiento de los nutrientes. De los análisis químicos efectuados al inicio y al final del estudio (Tablas 1-A y 2-A, respectivamente), se obtiene la incidencia de los macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y Na) y de los micronutrientes (Fe, Mn, Zn y Cu) en el peso seco total y en cada componente de las plantas (Tabla 5). Los resultados indican que en ambos controles los nutrientes se concentran principalmente en las hojas, luego en la raíz y finalmente en el tallo.

Tabla 5.- Cantidad de nutrientes por componente de las plantas al inicio y al final del estudio.

	Controles					
	C1			C4		
Component	PS (g)	Nut. Por Comp. (g)	%Nut.c/r al PStot	PS (g)	Nut. por Comp. (g)	%Nut.c/r al PStot
Raíz	0,86	0,025	1,21	11,81	0,342	0,76
Tallo	0,38	0,011	0,53	10,08	0,288	0,64
Acículas	0,82	0,027	1,31	23,11	0,737	1,64
Total	2,06	0,063	3,05	45,00	1,367	3,04

PS = Peso seco inicial y final (g) por componente.

Nut.por Comp. = Cantidad de nutrientes (g) por componente en cada control.

%Nut.c/r al Pstot= Porcentaje de nutrientes respecto al peso seco total en cada control.

Comparando los valores del análisis foliar obtenido en el estudio (Tabla 2-A) con los valores de referencia para pino radiata de Will (1985) citado por Schlatter et al. (1989) (Tabla 1-B), se puede estimar la suficiencia o deficiencia de

algún elemento. En general las plantas al término del estudio se encontraban con un nivel nutricional aceptable, sin presentar ningún tipo de deficiencia.

3.3 Funciones de biomasa para el peso seco radicular.

La Figura 3 muestra la dispersión del peso seco radicular de las plantas al inicio del estudio, respecto a la variable predictora diámetro de cuello.

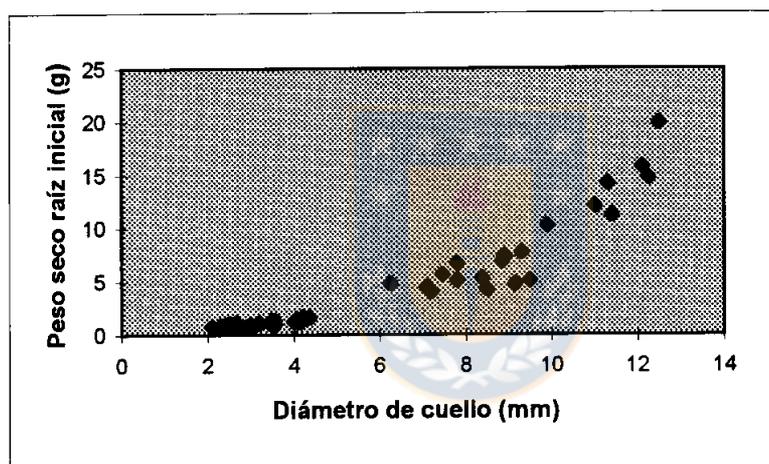


Figura 3: Peso seco radicular v/s diámetro de cuello

La Tabla 6 muestra los resultados de la estimación de los parámetros de los modelos Weibull, Chapman Richards, Alométrico y Exponencial y los resultados de la prueba t para conocer la significancia de los coeficientes de los parámetros de cada modelo. Los modelos Weibull y Chapman Richards presentan coeficientes no significativos, lo que indicaría que no son útiles en la estimación del peso seco radicular. Los coeficientes de los modelos Alométrico y Exponencial son altamente significativos, entregando una

buena estimación de la variable independiente.

Tabla 6: Valores estimados y significancias de los parámetros para cada modelo ajustado.

Modelos	Parámetros		
	a	b	c
Weibull	3593,61 (NS)	0,000008 (NS)	2,5253 (A)
CH-RI	18909,72 (NS)	0,00513 (NS)	2,6220 (S)
Alométrico	-1,975472* (A)	1,790951 (A)	-
Exponencial	-0,952686* (A)	0,314359 (A)	-

A= Altamente Significativo $P|t| < 0,01$

S= Significativo $0,05 > P|t| > 0,01$

NS= No Significativo $P|t| > 0,05$

* = Representa el Ln a

La tabla 7 muestra los valores muestrales de la prueba F. Estos indicarían que para todos los modelos completos, existe relación entre el peso seco radicular y la variable predictora diámetro de cuello con una significancia de 0,01%.

Tabla 7: Valores muestrales para la prueba F en cada modelo.

Modelos	F muestral
Weibull	462 (A)
CH-RI	456 (A)
Alométrico	822 (A)
Exponencial	1147 (A)

A= Altamente Significativo

La Tabla 8 entrega los valores del error estándar de estimación, el R^2 ajustado y la desviación estándar asociado a cada modelo ajustado. Los resultados indican que el modelo exponencial es la función que mejor estima el peso seco radicular a partir del diámetro de cuello.

Tabla 8: Estadísticos asociados a cada modelo ajustado.

Modelos	Estadísticos		
	E.E.E.	R^2 ajustado	s
Weibull	1,15	-	1,21
CH-RI	1,16	-	1,21
Alométrico	0,25	0,94	0,06
Exponencial	0,21	0,96	0,04

La Figura 4 muestra el ajuste del modelo exponencial, seleccionado por ser la función que presenta el menor error estándar de estimación, el mayor coeficiente de determinación ajustado y la menor desviación estándar de los residuos.

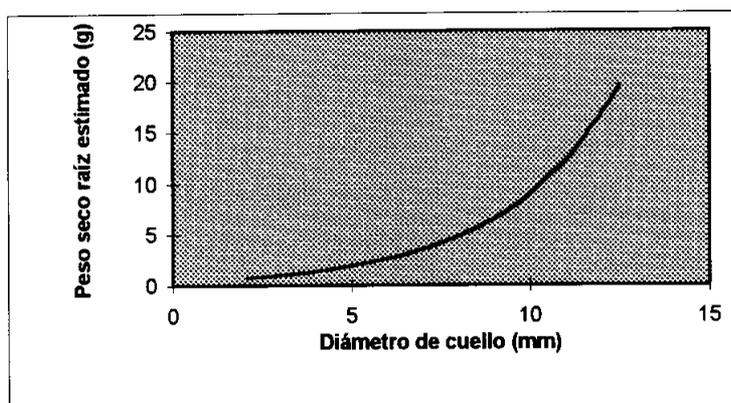


Figura 4: Ajuste modelo exponencial

La Figura 5 muestra el análisis de residuos del modelo exponencial. Este indica que los términos del error (residuos) no presentan varianza constante, por lo cual el modelo seleccionado se ajustó por el método de los M.C.P.

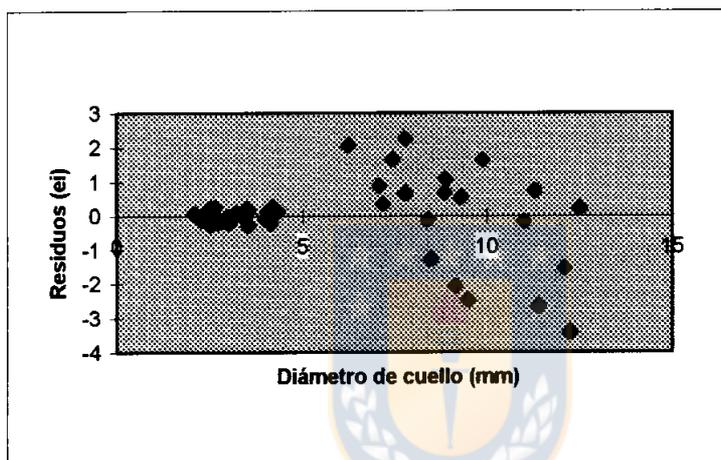


Figura 5: Residuos modelo exponencial

En la Tabla 9 se entregan los resultados del ajuste del modelo exponencial por el método de los M.C.P. y se compara con el ajuste realizado según el método de los mínimos cuadrados ordinarios (M.C.O.). Los estadísticos asociados a estos ajustes se muestran en la Tabla 10. Los resultados indican que los parámetros prácticamente no varían en ambos modelos, sin embargo se diferencian en los E.E.E. y en la s de los residuos. En el caso del modelo exponencial ajustado por M.C.P., el E.E.E. se redujo de 0,21 a 0,05 y la s de 0,04 a 0,0022 con respecto al ajuste por M.C.O.

Tabla 9.- Ajuste del modelo exponencial por M.C.O. y M.C.P.

Modelos	Parámetros	
	Lna	b
Exponencial M.C.O.	-0,952686 (A)	0,314359 (A)
Exponencial M.C.P.	-1,008525 (A)	0,325043 (A)

A = Altamente significativo $P|t| < 0,01$

Tabla 10.- Estadísticos asociados a los ajustes del modelo exponencial

Modelos	Estadísticos			
	E.E.E.	s	R ² ajustado	F
Exponencial M.C.O.	0,21	0,04	0,96	1147 (A)
Exponencial M.C.P.	0,05	0,0022	0,97	4,37 (A)

A = Altamente significativo

La Figura 6 muestra el ajuste del modelo exponencial ocupando el método de los M.C.P. y la Figura 7 el correspondiente análisis de residuos. Los resultados indican que el modelo seleccionado mejora notablemente respecto a la varianza de los residuos.

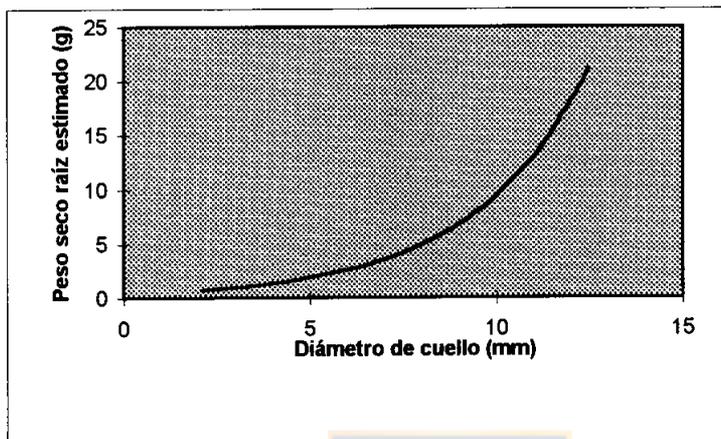


Figura 6: Ajuste modelo exponencial por mínimos cuadrados ponderados

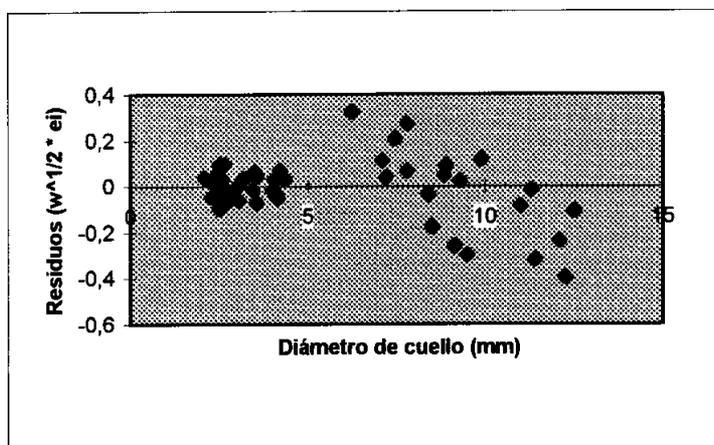


Figura 7: Residuos modelo exponencial ponderado

IV.-DISCUSION

El crecimiento radicular se desarrolló a tasas crecientes a lo largo de todo el periodo en estudio, concordando con lo señalado por Daniel et al., (1982), de que si las condiciones del suelo son favorables el sistema radicular puede desarrollarse durante todo el año. Lewis y Ferguson (1993) señalan que en climas mediterráneos el crecimiento del sistema radicular posee una variación estacional, disminuyendo la tasa de crecimiento en el verano debido a la sequedad del suelo y las bajas temperaturas del invierno; lo cual no sucedió en el presente estudio, ya que por el contrario el mayor incremento en el crecimiento de la raíz se obtuvo en pleno verano (control C4). También estos autores indican que el peak del crecimiento en altura para pino radiata en Chile y Nueva Zelandia se encuentra en la temporada primavera-verano decreciendo hacia el otoño; además, que el crecimiento en diámetro puede ser continuo si las condiciones son favorables, pero las fluctuaciones son normales de estación a estación, y que el descenso en el crecimiento se produce principalmente en la temporada de sequía. Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos en este estudio, ya que el mayor incremento en altura (38,4%) se obtuvo en el período transcurrido entre los meses de Noviembre a Enero y el descenso en el crecimiento del diámetro se produjo a fines del verano.

La distribución de la biomasa de las plantas se comporta de igual forma en los controles C1-C2 y C3-C4. En C2, que corresponde a los primeros 70 días de establecida la

plantación, la biomasa se concentra en la raíz y en las acículas, lo que concuerda con lo señalado por Lewis y Ferguson (1993), que indican que la distribución de la biomasa favorece el follaje y el desarrollo radicular en las primeras etapas de crecimiento de pino radiata. Distinto fue el comportamiento respecto a la distribución de la biomasa en los controles C3 y C4, ya que prácticamente el 50% de la biomasa total se concentró en las acículas. Forrest y Ovington (1970), citados por Lewis y Ferguson (1993), determinaron que sobre el 60% de la biomasa anual en términos de materia seca, se destina al follaje durante los primeros tres años de vida de pino radiata. Respecto a la cantidad de biomasa radicular, el estudio concuerda con lo citado por Daniel et al., (1982), quienes señalan que los sistemas radiculares por lo general alcanzan de 20% a 25% de la producción total del peso seco en árboles mayores a doce años.

La incidencia de los nutrientes de las plantas tanto al inicio como al final del estudio presentan un comportamiento similar, contribuyendo con un 3% aproximadamente al peso seco total. El aumento en la cantidad de nutrientes es proporcional al aumento del peso seco total de las plantas. De esta manera, el peso seco total aumenta desde el control C1 al control C4, 21,8 veces, y los nutrientes 21,7 veces.

Respecto a las funciones de peso seco radicular, Watson y O'Loughlin (1990), determinaron para pino radiata en un suelo de origen volcánico en la zona de Mangatu (Nueva Zelanda) para árboles de 8 y 25 años de edad, que el peso seco total podría ser estimado por la ecuación:

$$\text{Peso radicular total} = (13,7 \pm 2,6) * \text{Dap} - (220 \pm 90)$$

Jackson y Chittenden (1981), determinaron para pino radiata con un rango de 34 a 56 cm de diámetro, que el peso radicular total se expresaría por la función:

$$\text{Ln(Peso radicular total)} = 2,73 * \text{LnDap} - 5,01$$

En el presente estudio, de todos los modelos ajustados, el modelo exponencial resulto ser el que mejor estimó el peso seco radicular a partir del diámetro de cuello. Sin embargo, éste no presentó una varianza constante de los residuos al aumentar el diámetro de cuello, lo cual es fundamental para contar con un buen ajuste. Lo anterior se atribuyó a la pérdida de parte del sistema radicular al aumentar el tamaño de las plantas, ya que manualmente la extracción de éste es complicado. Para dar solución a este inconveniente, el análisis de las observaciones se realizó por el método de los mínimos cuadrados ponderados siguiendo la metodología propuesta por Cid et al., (1990). De esta manera la función seleccionada resulto ser:

$$\text{Ln PSR} = -1,008525 + 0,325043 * \text{Dc}$$

V.-CONCLUSIONES

El mayor incremento del peso seco radicular, el peso seco del tallo y el peso seco de las acículas (sobre el 50%) se produce en el período transcurrido entre el 20 de enero al 30 de marzo de 1995 (C4) y en las variables altura y diámetro de cuello entre el 11 de noviembre al 19 de enero de 1995 (C3).

La distribución de la biomasa de las plantas a lo largo del estudio presenta dos comportamientos distintos. En los controles C1 y C2 el 41,5% de la biomasa total se concentra en la raíz, el 40,2% en las acículas y el 18,3% en el tallo. En cambio en los controles C3 y C4 el 50,3% se distribuye en las acículas, el 26,9% en la raíz y el 22,8% en el tallo.

El aporte de los nutrientes al peso seco total de las plantas en los controles C1 y C4 es de 3,05% y 3,04%, respectivamente.

Dentro de los modelos estudiados, el que mejor estima el peso seco radicular a partir del diámetro de cuello fue el modelo exponencial transformado en base a logaritmo natural y ajustado por el método de los mínimos cuadrados ponderados. La función seleccionada presentó el menor error estándar de estimación, el mayor coeficiente de determinación ajustado y la menor desviación estándar de los residuos.

$$\ln \text{PSR} = -1,008525 + 0,325043 * Dc$$

VI. -RESUMEN

La altura, diámetro de cuello, peso seco radicular, peso seco del tallo, peso seco de las acículas y el peso seco total de 45 plantas de *Pinus radiata* D. Don fueron recopilados en cuatro períodos de medición durante siete meses desde el momento de plantación, en un ensayo establecido en el predio Santa Catalina, propiedad de Forestal Angol Ltda., ubicado al sur de la localidad de Mulchén, Octava región. El estudio tuvo por objeto investigar el crecimiento de cada componente de la planta (raíz, tallo y acículas) y además, determinar una función que expresara adecuadamente el peso seco radicular a partir del diámetro de cuello. El modelo exponencial, ajustado por el método de los mínimos cuadrados ponderados en base a transformación logarítmica, fue el que mejor estimó el peso seco de la raíz presentando el menor error estándar de estimación de todos los modelos estudiados.

SUMMARY

Height, collar diameter, dry weight of roots, dry weight of stem, dry weight of needles and total dry weight of 45 plants of *Pinus radiata* D. Don, were recorded during seven months in four periods of measuring from the time of planting. This essay took place in the Santa Catalina property, owned by Forestal Angol, situated South of the city of Mulchén, VIII Region. The object of this study was to investigate growth of the components of the plants (root, stem and needles) and also to determine a function that correlates adequately root dry weight and collar diameter. An exponential model adjusted by means of the method of least squares weighed in base of a

logarithmic transformation, is the one that best estimate dry root weight with the lowest standard error of the estimate of all the models studied.



VIII. BIBLIOGRAFIA

- Ares, A., and Peinemmann, N. 1992. Fine-root distribution of coniferous plantations in relation to site in southern Buenos Aires, Argentina. Can J. For. Res. 22: 1575 - 1582.
- Cid, S., Mora, A. y Valenzuela, M. 1990. Inferencia Estadística. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias. Departamento de Matemática. Concepción Chile 305 p.
- Daniel, T.W., Helmes, J. A. y Backer, F.S. 1982. Principios de Silvicultura. Mc.Graw Hill. México.
- Descripción de Suelos VIII Región. 1979. Universidad de Concepción. Escuela de Agronomía. Departamento de Suelos. Chillán, Chile 78 p.
- Esau, K. 1985. Anatomía Vegetal. Omega S.A. Barcelona, España.
- Gholz, H.L., Hendry, L.C., and Cropper, W.P. 1986. Organic matter dynamics of fine roots in plantations of slash pine *Pinus elliottii* in north Florida. Can J. For. Res. 16:529 - 538.
- INIA. 1989. Mapa Agroclimático de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile.

- Jackson, D. S., Chittenden, J. 1981. Estimation of dry matter in ***Pinus radiata*** root systems.
1.- Individual trees. N. Z. J. For. Sci. 11:164-82.
- Lewis, N.B. and Ferguson, I.S. 1993. Management of radiata pine. Reed International Books. Australia.
- Schlatter, J., Grez R. y Gerding V. 1989. El análisis foliar y el análisis de suelos, métodos de diagnóstico en el sector forestal. Chile Forestal. Documento Técnico N° 86. 9 p.
- Watson A. and O'Loughlin O. 1990. Structural root and biomass of three age-classes of ***Pinus radiata*** D.Don. N. Z. J. For. Sci. 20(1): 97-110.
- Zeide B. 1993. Analysis of growth equations. Forest Science 39(3): 594-61.

VIII.- APENDICE

Tabla 1-A.-Análisis raíz, tallo y acículas para el control C1

-----Elemento-----										Identificación muestras
N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu	
----- % -----					-----ppm-----					
0,64	0,22	1,15	0,49	0,16	0,08	1540	100	52,8	13,2	Raíz
0,42	0,29	1,91	0,20	0,10	0,06	156	136	62,8	12,8	Tallo
0,95	0,32	1,70	0,17	0,07	0,05	168	140	67,2	31,6	Acículas

Tabla 2-A.-Análisis raíz, tallo y acículas para el control C4

-----Elemento-----											Identificación muestras
N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu	B	
-----%-----						-----ppm-----					
0,62	0,10	0,85	0,72	0,14	0,18	2688	144	29,2	11,2	15,19	Raíz
0,66	0,14	1,22	0,52	0,11	0,19	492	104	25,6	3,2	10,77	Tallo
1,42	0,15	1,02	0,38	0,09	0,11	284	180	36,4	3,6	8,66	Acículas

IX. -Anexo

Tabla 1-B.- Valores de referencia para análisis foliar de *Pinus radiata* D.Don, según Will (1985) citado por Schlatter et al. (1989)

Elemento Nutritivo	Bajo	Marginal	Alto
	-----%-----		
N	1.20	1.20 - 1.50	1.50
P	0.12	0.12 - 0.14	0.14
K	0.30	0.30 - 0.50	0.50
Ca	0.10	0.10	0.10
Mg	0.07	0.07 - 0.10	0.10
	-----ppm-----		
B	8	8 - 12	12
Cu	2	2 - 4	4
Zn	10	10 - 20	20
Mn	10	10 - 20	20