

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

**CARACTERIZACION DE PLANTAS DE Eucalyptus nitens Y
DETERMINACION DE FUNCIONES DE CRECIMIENTO RADICULAR DESPUES
DE UN AÑO DE ESTABLECIDAS.**



RODRIGO JULIAN FUENZALIDA AVILA

**MEMORIA DE TITULO PRESENTADA
A LA FACULTAD DE CIENCIAS
FORESTALES DE LA UNIVERSIDAD
DE CONCEPCION PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO FORESTAL**

CONCEPCION - CHILE

1996

**CARACTERIZACION DE PLANTAS DE Eucalytus nitens Y
DETERMINACION DE FUNCIONES DE CRECIMIENTO RADICULAR DESPUES
DE UN AÑO DE ESTABLECIDAS.**

Profesor Asesor



Fernando Drake Aranda.
Profesor Asociado.
Ingeniero Forestal.

Profesor Asesor



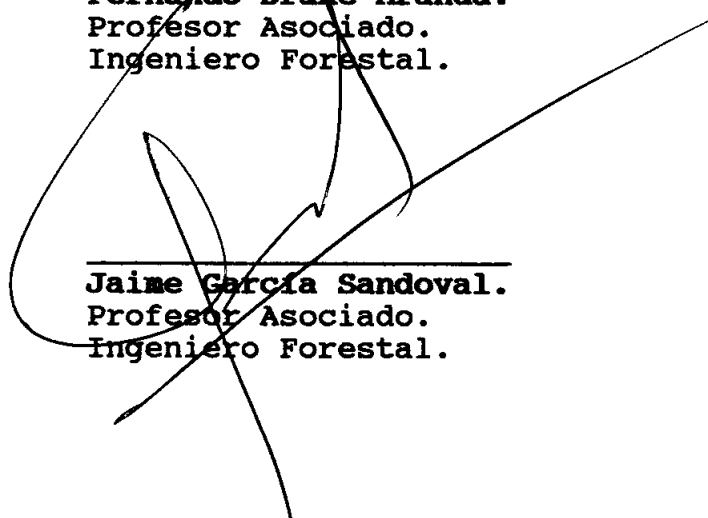
Miguel Espinosa Bancalari.
Profesor Asociado.
Ingeniero Forestal, Ph. D.

Director Departamento
Manejo de Bosques y
Medio Ambiente.



Fernando Drake Aranda.
Profesor Asociado.
Ingeniero Forestal.

Decano Facultad de
Ciencias Forestales



Jaime García Sandoval.
Profesor Asociado.
Ingeniero Forestal.



A AIDA Y ANGEL ... MIS PADRES

A JULIETA ... MI TIA

A ANGEL ... MI HERMANO



A MINEDY ... POR SU AMOR

A MIS HIJAS ... MINEDY Y CAMILA

AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer a aquellos que de alguna manera participaron en la realización de éste trabajo:

- En primer lugar a Dios por darme la oportunidad de desarrollo y superación.
- A la Empresa Forestal Angol S.A, por el financiamiento de éste trabajo.
- A Eduardo Moncada M. y esposa, por ayuda y acogida en su casa durante el proceso de toma de datos en terreno.
- A mis profesores asesores, Fernando Drake y Miguel Espinosa por la constancia y paciencia en la realización de este trabajo.
- A Jorge Cancino, por la desinteresada ayuda en el proceso de ajuste de los modelos matemáticos utilizados.
- A mis familiares por las palabras de aliento y constante apoyo durante todo el proceso de formación.

- A mis amigos Lidia Sandoval, Juan Carlos Cruz, Ceferino Albornoz y Gonzalo López, por su ayuda y palabras de ánimo en los momentos difíciles.



INDICE DE MATERIAS

CAPITULO	<u>PAGINA</u>
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION BIBLIOGRAFICA	2
2.1 Descripción y morfología de la raíz	2
2.2 Crecimiento de la raíz	4
2.2.1 Crecimiento lateral y vertical	6
2.2.2 Peso seco y volumen de la raíz	11
2.3 Correlación entre crecimiento de la raíz y variables de la planta	14
2.4 Modelos Matemáticos	16
III. MATERIALES Y METODOS	18
3.1 Antecedentes del área de estudio	18
3.1.1 Ubicación de los ensayos	18
3.1.2 Suelo y topografía	18
3.1.3 Clima	18
3.2 Materiales y métodos	18
3.2.1 Medición de plantas	19
3.3 Períodos de extracción y medición de plantas	21
3.4 Variables de crecimiento medidas	22

3.5	Estadísticos utilizados para evaluar la caracterización de las plantas y modelos de crecimiento radicular	22
3.5.1	Caracterización de las plantas	23
3.5.2	Modelos de crecimiento probados	24
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION	26
4.1	Caracterización de las plantas	26
4.1.1	Diámetro y altura	26
4.1.2	Peso seco aéreo	28
4.1.3	Peso seco de la raíz	30
4.1.4	Peso seco total	32
4.1.5	Area Foliar	33
4.1.6	Longitud lateral y vertical de la raíz	34
4.1.7	Volumen radicular	36
4.1.8	Relación peso seco tallo/raíz	38
4.2	Modelos de crecimiento seleccionados	40
4.2.1	Peso seco raíz	40
4.2.2	Volumen radicular	43
4.2.3	Longitud raíz vertical	46
4.2.4	Longitud raíz lateral	49
V.	CONCLUSIONES	53
VI.	RESUMEN	54

SUMMARY 56

VII. BIBLIOGRAFIA 57

VIII. APENDICE 64



INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	PAGINA
<u>En el Texto</u>	
1	Crecimiento en diámetro y altura según fechas de medición 26
2	Incremento del diámetro y altura entre períodos de medición 27
3	Peso seco de las hojas, tallo, ramas y total según fechas de medición 28
4	Incrementos de los pesos secos de las hojas, tallo, ramas y total entre períodos de medición 30
5	Pesos secos de las raíces menores, mayores a 2 mm y total según fechas de medición 31
6	Incremento para las raíces menores, mayores a 2 mm y total entre períodos de medición 32
7	Crecimiento del área foliar según fechas de medición 33
8	Incremento del área foliar entre períodos de medición 34
9	Longitud raíces laterales y verticales según fechas de medición 35
10	Incremento en longitud, raíces laterales y verticales entre períodos de medición 36
11	Crecimiento del volumen radicular según fechas de medición 37
12	Incremento del volumen radicular entre períodos de medición 38

13	Relación tallo / raíz según fechas de medición ..	39
14	Modelo de crecimiento Logístico seleccionado para la variable dependiente peso seco de la raíz. Valores estimados versus valores reales ...	41
15	Residuos del modelo Logístico seleccionado, antes de ponderar (A) y después de realizado este proceso de homogeneización (B)	42
16	Modelo de crecimiento de Weibull seleccionado para la variable dependiente volumen radicular. Valores estimados versus valores reales	44
17	Residuos del modelo de Weibull seleccionado, antes de ponderar (A) y después de realizado este proceso de homogeneización (B)	45
18	Modelo de crecimiento de Weibull seleccionado para la variable dependiente longitud raíz vertical. Valores estimados versus valores reales	47
19	Residuos del modelo de Weibull seleccionado, antes de ponderar (A) y después de realizado este proceso de homogeneización (B)	48
20	Modelo de crecimiento de Weibull seleccionado para la variable dependiente longitud raíz lateral. Valores estimados versus valores reales	50
21	Residuos del modelo de Weibull seleccionado, antes de ponderar (A) y después de realizado este proceso de homogeneización (B)	51

INDICE DE TABLAS

TABLA N°	PAGINA
<u>En el Texto</u>	
1A	Crecimiento raíces laterales y verticales para <u>Pinus radiata</u> D. Don a diferentes edades 9
2A	Crecimiento vertical y radial para raíces, de diferentes especies y edades 10
3A	Modelos matemáticos probados para diferentes especies 16
1	Valores de $M.S^{1/2}$, E.E.E y E.C.M, para los modelos probados en la variable dependiente peso seco raíz 40
2	Valores de $M.S^{1/2}$, E.E.E y E.C.M, para los modelos probados en la variable dependiente volumen radicular 43
3	Valores de $M.S^{1/2}$, E.E.E y E.C.M, para los modelos probados en la variable dependiente longitud raíz vertical 46
4	Valores de $M.S^{1/2}$, E.E.E y E.C.M, para los modelos probados en la variable dependiente longitud raíz lateral 49
<u>En el Apéndice</u>	
1B	Modelos utilizados para calcular función de ponderación de las varianzas 65
2B	Valores promedio, desviación estandard y tamaño de la muestra (n), de las variables medidas para cada fecha de medición 65

3B. Valor de las constantes por variable para los modelos de crecimiento antes y después de ponderar 67

4B. Errores estandar de estimación (E.E.E) de las constantes antes y después de homogenizar las varianzas 67



I. INTRODUCCION

La biomasa de un árbol está compuesta por dos zonas, una parte aérea formada por el follaje y el tronco y la subterránea compuesta por las raíces. La parte aérea por su ubicación es de fácil medición, no así la subterránea, ya que la extracción del sistema radicular completo y su posterior medición implica un proceso complejo.

El presente trabajo pretende determinar y cuantificar la biomasa aérea y radicular en un período de ocho meses. La investigación se realizó con plantas de Eucalyptus nitens, que fueron plantadas y que se extrajeron en forma manual.

El ensayo consistió en la caracterización aérea y radicular de las plantas de Eucalyptus nitens y determinación de relaciones matemáticas que expliquen el crecimiento radicular, relacionando como variable independiente el diámetro del cuello de la planta y como dependientes el peso seco, volumen y longitudes vertical y lateral de las raíces.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Descripción y morfología de la raíz.

La raíz constituye la parte subterránea del eje de la planta, especializado en la absorción de sustancias y como órgano de sostén (Esau, 1985).

Las raíces presentan generalmente simetría radiada; al principio tienen aspecto filamentosos; viven generalmente enterradas (raíces hipógeas) y siempre carecen de hojas; para almacenar productos; por regla general realizan simultáneamente varias de las características anteriores (Strasburger et al., 1988).

Las características de las raíces varían mucho según la especie (Daniel et al., 1982; Langlois et al., 1983), entre individuos de la misma especie e incluso entre las diferentes raíces del mismo árbol (Daniel et al., 1982).

Una raíz joven tiene cuatro zonas de características anatómicas diferentes (Kuntz, 1973, citado por Daniel et al., 1982): i) El casquete de la raíz, que es una capa protectora de parénquima mucilaginoso de paredes delgadas. ii) El meristema subapical que es el punto de crecimiento que origina las células de todos los demás tejidos primarios de

la raíz. iii) La zona de elongación y iv) La zona de maduración, que se diferencia para formar los tejidos permanentes de la epidermis, la corteza y la estela.

La caliptra también llamada pilorriza, es comúnmente considerada como una estructura que protege al meristema y ayuda a la raíz en su penetración al suelo durante el crecimiento. Esta última función, ocurre por la consistencia mucilaginoso de las membranas de las células más externas de la caliptra, característica que probablemente reduce la fricción entre la extremidad de la raíz en crecimiento y la tierra (Esau, 1985).

Meristemas apicales, son los que están localizados en los ápices de los tallos y raíces, mientras que los meristemas laterales son los que están situados en forma paralela a los lados del órgano en el cuál se encuentran.

El meristema apical de la raíz ocupa una posición subterminal y da origen a los tejidos tanto hacia afuera - la pilorriza - como hacia el interior de ella. Por la actividad de los meristemas laterales se produce el crecimiento en grosor de las raíces y los tallos (Sivori et al., 1980).

2.2 Crecimiento de la raíz.

Podemos definir crecimiento como el "aumento irreversible" de volumen de una célula, órgano o individuo, generalmente acompañado de un aumento de masa. Para que exista crecimiento no basta con que se haya producido división celular, dado que la simple división de una célula no constituye aumento de volumen o masa. Por desarrollo, se entiende la serie de cambios cualitativos por los cuales pasa un organismo durante su ciclo ontogénico. El proceso de crecimiento incluye tres fases: división celular, expansión de las células resultantes y diferenciación (Sivori et al., 1980).

Según Wilcox (1962) citado por Daniel et al. (1982), el crecimiento de las raíces no es necesariamente continuo, sino que puede ser de naturaleza cíclica. En Abies procera el crecimiento de la raíz se hace más lento periódicamente; el lugar de maduración de las células se acerca al ápice; en el cortex y la caliptra se depositan materiales grasos, probablemente suberina, y la raíz queda en vida latente. Exteriormente esos ápices radicales son de color pardo. Cuando se reanuda el crecimiento la caperuza parda se rompe y la punta de la raíz la sobrepasa (Wilcox, 1954, citado por Esau, 1985).

La periodicidad estacional del crecimiento de la raíz está determinada por el crecimiento de la copa y por las condiciones de suelo; si las condiciones son favorables el sistema radicular puede desarrollarse durante todo el año. Entonces las raíces, a diferencia de los tallos de muchas plantas, carecen de un período inherente de latencia (Kramer y Kozlowski, 1960, citados por Daniel et al., 1982). La fase más activa del crecimiento de la raíz ocurre después de la elongación del tallo (Leaf et al., 1978) y antes de la expansión del fuste (Langlois et al., 1983).

El ritmo de crecimiento radicular es diferente según las especies y varía de acuerdo a las condiciones ambientales, pero el máximo desarrollo con respecto al número total de raíces en crecimiento y la elongación total ocurre, en la mayoría de las especies, a principios del verano (Daniel et al., 1982).

Las raíces de las dicotiledóneas pueden mostrar una alternancia similar de períodos de crecimiento y descanso (Zgurouskaia, 1982, citado por Esau, 1985). Ford y Deans (1977), señalan que existen muchas indicaciones que el crecimiento de las raíces en coníferas puede ser claramente periódico; en regiones templadas del norte los incrementos parecen estar restringidos a los meses de verano, aunque

algunos autores plantean que existe uno o más períodos de actividad (Lyr y Hoffman, 1967) y que esta periodicidad estaría relacionada con condiciones ambientales favorables para el proceso fotosintético (Krueger et al., 1967; Loach et al., 1973).

Las raíces de los árboles tienen por lo general una tasa máxima de crecimiento a principios del verano, la que puede continuar hasta después de la abscisión o caída de las hojas. El crecimiento de las raíces de las coníferas tiende a ser más uniforme a lo largo del período vegetativo (Lyr y Hoffman, 1967, citados por Daniel et al., 1982). Armson, 1960; Kramer y Kozlowski, 1960; Ladelodged, 1939; Leaf et al., 1978; Marx, 1977, citados por Langlois et al. (1983), señalan que la actividad de crecimiento de la raíz puede potencialmente incrementarse más durante el período vegetativo. Sin embargo, según Wilcox (1954), citado por Esau (1985), son los factores fisiológicos internos los que determinan los cambios de crecimiento, más bien que los fenómenos estacionales.

2.2.1 Crecimiento lateral y vertical. La distribución vertical de las raíces es marcadamente modificada, por ejemplo; por el tipo de suelo (Roberts, 1976); no está influenciada por la edad (Sadanandan, 1983) y también puede

ser influenciado por los cultivos del suelo previos a la plantación (Yeatman, 1955, citado por Ford y Deans, 1977).

Las raíces de los árboles y arbustos crecen en general más lentamente y con menos profusión que las especies herbáceas, (Bonner y Galston, 1961). Para Douglas-fir y Hemlock con una altura media de 25 m, Eis, (1974), encontró que la longitud total de las raíces finas era de 13 y 17 kilómetros respectivamente, con una edad que variaba de 19 a 35 años y en un suelo arcilloso con un 25% de piedras. Y disminuía de 6 a 9 km a medida que la profundidad del suelo era menor.

Sainju y Good (1993), señalan que en New Jersey, U.S.A, para pinos y quercus ubicados en suelos cuyo material geológico eran arenas cuarzosas, el 39% de la longitud de la raíz ocurre a una profundidad de 0 a 10 cm, 35% a una profundidad de 10 a 50 cm y 15% de 50 a 100 cm.

A pesar del hecho que las raíces laterales de Pinus radiata D. Don en el Suroeste de Australia, están confinadas mayormente en los 30 cm superiores del perfil, igual los árboles de 16 meses de edad, retiran el agua de una profundidad mínima de 2 m, cuando la superficie del suelo está muy seca (Nambiar, 1981, citado por Sadanandan, 1983) y a 6 m, en suelos arenosos secos (Fogel y Hunt 1979, citados

por Eis, 1987).

Las raíces se extienden más allá del perímetro de las copas (Bonner y Galston, 1961; Hermann y Petersen, 1969; Eis, 1987). Eis (1974), determinó para Western hemlock, Western red cedar y Douglas-fir que el área ocupada por las raíces era estimada en 3 a 5 veces la proyección de la copa. Pritchett (1991), señala que las raíces de coníferas a menudo se extienden a grandes distancias, pueden poseer hasta 20 o más raíces laterales de primer orden, de manera más o menos espaciadas extendiéndose a una distancia de 15 m o más.

Para Manuka (Leptospernum scoparium J.R et. G. Forst.), arbusto que crece en Nueva Zelandia, Watson y O'Loughlin (1985), determinaron que el crecimiento de las raíces laterales superficiales era de 2.75 m. Estos autores (1990), determinaron en Pinus radiata D. Don, con edades de 8 a 25 años, excavados hidráulicamente, midieron crecimientos de las raíces laterales y verticales que incrementaban con la edad (Tabla 1A).

TABLA 1A. CRECIMIENTO RAICES LATERALES Y VERTICALES PARA Pinus radiata D. Don A DIFERENTES EDADES.

		Edad (Años)		
		8	16	25
Raíces Laterales	(m)	4,7	6,0	10,4
Raíces Verticales	(m)	2,1	2,6	10,4

FUENTE: Watson y O'Loughlin (1990).

Brown et al. (1991), en plántulas de Douglas-fir, determinaron que las raíces laterales tenían un crecimiento estimado de 1 mm/día. Para la misma especie Bloomberg y Hall (1986), encontraron que el tamaño medio de la longitud del sistema radicular de árboles de 30 - 40 años, variaba de 24,85 a 53,16 m.

En Alberta Canadá, Strong y La Roi (1983) excavaron seis especies pertenecientes al bosque boreal y midieron crecimiento vertical y radial de las raíces para árboles de diferentes edades (Tabla 2A).

TABLA 2A. CRECIMIENTO VERTICAL Y RADIAL DE RAICES, PARA DIFERENTES ESPECIES Y EDADES.

Especie	Edad (Años)	Crecimiento (m)	
		Vertical	Radial.
Jack pine	57	2,0	14
Larch	34	0,3	9
White spruce	43	0,5	7
Black spruce	40	0,3	3
Balsam-fir	33	1,3	2
Aspen	45	1,5	2

FUENTE: Strong y La Roi (1983)

Las raíces de algunas especies de Oak en California pueden alcanzar bajo condiciones favorables una profundidad de 26 m; las raíces de Eucalyptus marginata en el oeste de Australia alcanzan profundidades mayores a 40 m (Lewis y Burghy, 1964; Abbot et al., 1989, citados por Canadell y Roda, 1991). Sistemas radiculares de 45 m en profundidad se han medidos en Eucalyptus calophilla (Ghosh et al., 1978, citados por Rosales, 1993). Champion, (1926) y Phillips, (1963) citados por Sutton (1991), señalan que excepcionalmente las raíces vivas de los árboles pueden penetrar a 45 m o a 53 m , bajo la superficie del suelo.

Eis (1974), señala que el patrón de crecimiento del sistema radicular difiere del de tallo y de la copa; inicialmente todas las raíces principales crecen en una proporción similar pero cuando el rápido crecimiento del tallo comienza

- aproximadamente entre los 10 - 15 años - la extensión de las raíces laterales disminuye.

El crecimiento de la raíz puede reducirse sin aparente daño del ápice de la raíz, en tal caso, una o varias raíces secundarias - las cuales con el tiempo tienen un crecimiento de sólo 5 a 10 cm/año - incrementan a valores a 50 cm/año o más (Eis, 1986).

Pritchett (1991), señala que la ventaja de un sistema radical lateral extensivo, permite mayor flexibilidad a un árbol para aprovechar las condiciones favorables del microhabitat.

2.2.2 Peso seco y volumen de la raíz. La proporción de biomasa distribuida en los tejidos bajo el suelo por las plantas perennes, usualmente aumenta cuando el medio ambiente llega a ser mas severo, de esta forma el sistema radicular puede ocupar sobre el 90% de la biomasa total en muchas plantas árticas y algunos arbustos desérticos (Rundel, 1980; Bliss, 1988, Caldewell y Fernández 1975, Rodin y Bazilevich 1967, citados por Canadell et al., 1991).

Santantonio et al.(1977) y Fogel (1983); Johnstone (1971), citados por Comeau y Kimmins (1989), señalan que los sistemas radiculares representan entre 10 y 45% de la biomasa total

del árbol. En rodales de Lodgepole pine pueden representar un 20%; para esta especie con edades de 70 a 78 años su biomasa radicular variaba de 20 a 28% de la biomasa total.

Newton y Cole (1991), excavando con explosivos raíces de Douglas-fir (Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco var. menziesii) de 5 años de edad, encontraron que en general, los árboles tenían cerca de 4/5 de su biomasa sobre el suelo y disminuía cerca de 1/5 bajo él. Para ésta misma especie, Bloomberg y Hall (1986), midieron 5 rodales de entre 30 y 40 años de edad, encontrando que su volumen radicular fluctuaba entre 0,728 a 0,251 m³.

La proporción de la biomasa de lodgepole pine (Pinus contorta var. latifolia Engelm.) representada por los sistemas radiculares incrementa con el aumento de la densidad del rodal; en rodales de 110 años en Wyoming, Pearson et al. (1984) citados por Comeau y Kimmins (1989), determinaron que las raíces en un rodal con 1850 árboles/hectárea, representaban 22% de la biomasa del árbol y 33% con 15000 árboles/hectárea.

Canadell y Roda (1991), midieron para los árboles más grandes de Quercus ilex L., un sistema radicular de 317 kg, señalando que un peso tal nunca ha sido reportado para la raíz de un

individuo; determinaron también que la biomasa total de las raíces mayores a 1 cm de diámetro, era de 46.6 t/ha, de las cuales 30 t/ha eran raíces mayores a 5 cm y 16.6 t/ha raíces entre 1 y 5 cm de diámetro.

En un rodal de Douglas-fir de 40 años de edad, Keyes y Grier (1981), determinaron que la producción neta sobre el suelo era 13.7 t/ha en un sitio de alta productividad y 7.3 t/ha en uno de baja productividad. La producción de materia seca bajo el suelo, en el sitio de alta productividad, fue de 4.1 t/ha comparado con 8.1 t/ha para el sitio pobre. En el sitio de alta productividad, el 8% de la producción de materia seca del rodal correspondía a raíces finas, en contraste con un 36% en el sitio pobre.

Eis (1987), excavando hidráulicamente los sistemas radiculares de especies como Hemlock, Cedar y Douglas-fir, determinó valores de 36 y 14 t/ha para los pesos frescos y secos respectivamente, siendo estos valores similares para las tres especies mencionadas. Strong y La Roi (1983), en Alberta, Canadá, extrayendo raíces de Black spruce de 40 años, con una longitud de 4 m, su biomasa total era de 5 kg, de los cuales 69% correspondía a la parte aérea y 31% a la subterránea.

2.3 Correlación entre crecimiento de la raíz y variables de la planta.

La biomasa de la raíz puede ser estimada como función del diámetro a la altura del pecho (1.30 m) o del diámetro a la altura del tocón, de la altura total, o mejor quizás del tamaño de la copa. Además Crow (1978) citado por Parde (1980), demostró el valor de la regresión d^2h para la estimación de sistemas radiculares en bosques tropicales.

Ralston (1973); Johnstone (1971), citado por Clark (1980), señala que el Dap está altamente correlacionado con el peso del tocón y el peso de la raíz principal. Y que el Dap y la altura total estaban altamente correlacionados con el peso del tocón y de la raíz principal en Pinus contorta.

Para Quercus ilex L., Canadell y Roda (1991), determinaron que la mejor predicción de la biomasa radicular era obtenida usando como variable independiente la biomasa total sobre el suelo, descartando el diámetro a la altura del pecho y a 50 cm del suelo.

Bloomberg y Hall (1986), determinaron en cinco rodales de Douglas-fir de 40 años de edad, que el Dap estaba altamente correlacionado con el tamaño total del sistema radicular y

que en cuatro de ellos la altura total se correlacionó con el tamaño del sistema radicular. Newton y Cole (1991), encontraron una fuerte relación entre la raíz y el peso seco del tallo de esta especie.

La longitud total de la raíz en árboles vigorosos de Douglas-fir, mostraba alta correlación con la altura total del árbol (Eis, 1974) y el tamaño de la copa (Mc Minn, 1963, citado por Bloomberg y Hall, 1986).

Vogt et al. (1985), señalan para Douglas-fir una relación directa entre el contenido de almidón de una banda de 1 cm de ancho de la corteza viva, medido a la altura del pecho y la biomasa de las raíces finas.

En Loblolly pine, Johnson et al. (1985), encontraron que el volumen de la raíz al igual que el área foliar estaban significativamente correlacionados con el área de la sección transversal del tronco. Drew y Ledin (1980) citados por Johnson et al. (1985), encontraron una relación lineal entre la transformación logarítmica de la forma de la hoja y la biomasa de la raíz.

Wu et al. (1988), excavando raíces de diferentes especies en el Suroeste de Alaska y en el campus de la Universidad del

Estado de Ohio, encontraron que el dap estaba relacionado con el número y longitud lateral de las raíces.

2.4 Modelos Matemáticos.

Modelos matemáticos probados por diferentes autores y para distintas especies, para determinar la biomasa radicular (Tabla 3A).

TABLA 3A. MODELOS MATEMATICOS PROBADOS PARA DIFERENTES ESPECIES.

Modelo	Especie	Fuente
1 $y = - a + b * ab$	<u>Leptospernum scoparium</u> J.R.et. G. Forst.	Watson y O'Loughlin (1985)
2 $w = - a + b * Ba$	Douglas - fir	Vogt et al, (1985)
3 $v = b * ab$	<u>Loblolly pine</u>	Johnson et al. (1985)
4 $N = a + b * dap$ $Do = a + d * dap$	<u>Acer saccharinum,</u> <u>Picea sitchensis,</u> <u>Tsuga heterophyla,</u> <u>Chamaecyparis</u>	Wu et al. (1988)

- 5 $y = - a + b * dap$ Pinus radiata D.Don Heth y Donald (1978), citados por Watson y O'Loughlin (1990)
- 6 $\ln y = - a + b * \ln dap$ Pinus radiata D.Don Jackson y Chittenden (1981), citados por Watson y O'Loughlin (1990)
- 7 $\ln y = - a + b * \ln dap$ Pinus radiata D.Don Watson y O'Loughlin (1990)
- 8 $y = a + b * psa$ Douglas - fir Newton y Cole (1991)
- 9 $\log y = a + b \log psa$ Quercus ilex Canadell y Roda (1991)

y = Peso seco de la raíz.
 ab = Area basal.
 w = Biomasa de las raíces finas.
 Ba = Banda de almidón, de 1 cm de ancho al Dap.
 v = Volumen radicular.
 N = Número de raíces laterales.
 Do = Diámetro inicial de la raíz lateral.
 psa = Peso seco aéreo.
 Dap = Diámetro a la altura del pecho.
 a, b = constantes.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Antecedentes del área de estudio.

3.1.1 Ubicación de los ensayos. Este estudio se llevó a cabo en el Fundo Las Acacias, de propiedad de Forestal Angol S.A; ubicado a 30 kilómetros al sur de la Comuna de Mulchén, Octava Región.

3.1.2 Suelo y topografía. El suelo en el área de estudio pertenece la serie Santa Bárbara, cuyo material de origen está compuesto por cenizas volcánicas modernas y antiguas, con buen drenaje. La topografía es ondulada con una pendiente que no supera el 10% (Gutiérrez y Vega 1991).

3.1.3 Clima. Se clasifica como mediterráneo templado; el régimen térmico de ésta zona se caracteriza por una temperatura media anual del mes más cálido (enero) de 28.8 °C y una mínima media del mes más frío (Julio) de 3.5 °C. Con una precipitación anual de 1025 mm, siendo el mes de Julio el más lluvioso, con 217 mm (Inia, 1989).

3.2 Materiales y métodos.

Las plantas utilizadas en el estudio, Eucalyptus nitens producidas en speedling, fueron adquiridas por la empresa

Forestal Angol, al vivero de propiedad de Forestal J.C.E, ubicado en la comuna de San Carlos, provincia de Bío-Bío.

Fueron seleccionadas 205 plantas en el rango de 3 a 4.5 mm en diámetro y 20 a 25 cm en altura.

El material seleccionado, se distribuyó de la forma siguiente:

a.- Ciento setenta y cinco plantas fueron llevadas a terreno y plantadas, el 20 de Julio de 1993. Esta faena fue ejecutada en forma mecanizada, a una densidad de 1100 plantas por hectárea (3 m x 3 m). Las plantas se distribuyeron en seis parcelas de 25 plantas cada una; dejando entre cada parcela una hilera de cinco plantas.

b.- Las 30 plantas restantes, fueron embaladas en cajas de cartón y transportadas al laboratorio de Silvicultura de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción.

3.2.1 Medición de plantas. En laboratorio se procedió a limpiar las raíces de las 30 plantas trasladadas de terreno eliminando todo elemento ajeno al sistema radicular, como tierra, piedras, corteza. Para ello se utilizó pinzas y

punzones.

Realizada la limpieza, se procedió a medir las plantas, determinándose su altura total, diámetro de cuello y copa (para estas variables se efectuaron dos mediciones perpendiculares entre sí), además de la longitud de la raíz (lateral y vertical). Para esto se utilizó una regla de 60 cm y un pie de metro, según fuera el caso. El diámetro de cuello se midió a 1 cm del nivel del sustrato del speedling.

Todas las plantas fueron sometidas a análisis destructivo, separando en sus componentes hojas, tallo y raíz; posteriormente se midió el área foliar de cada planta, mediante un medidor de área foliar, Marca Li-Cor, modelo Li-3000.

El volumen radicular de las plantas se determinó mediante desplazamiento volumétrico; para ello se introdujo la raíz en un recipiente con un volumen de agua conocido, el cuál se ubicó sobre una balanza, que registraba el volumen de agua desplazado por la raíz.

El peso seco se determinó separadamente, al colocar las hojas, tallo y raíces en bolsas de papel, en horno a temperatura de 75° celcius, por 48 horas.

Con esta muestra de plantas se caracterizó el material biológico establecido en terreno.

3.3 Períodos de extracción y medición de plantas.

Las mediciones se efectuaron el 21 de septiembre y 21 de diciembre de 1993 y el 21 de marzo de 1994, fechas que corresponden al período de término e inicio de las estaciones invierno, primavera y verano.

En cada una de estas fechas se extrajo todas las plantas pertenecientes a una parcela de las seis que se encontraban en terreno. La elección de la parcela se realizó en forma aleatoria.

La extracción de cada planta en terreno, fue realizada en forma manual, cavando y tratando en lo posible de extraer el sistema radicular completo. Se ocuparon para ello palas punta de huevo y punzones.

Para la extracción de las plantas, la profundidad y distancia a la cual se realizó la excavación fue variable. Inicialmente se realizó un hoyo de 50 cm de profundidad por 100 cm de diámetro, para finalizar en el último período de extracción, con un hoyo de 3 m de ancho por 2.5 m de profundidad.

Cada planta extraída de terreno fue guardada en una bolsa plástica, con su sistema radicular cubierto con tierra y regadas en forma manual, para evitar que las raíces se deshidrataran y se provocara la muerte de la planta. Estas plantas fueron embaladas en cajas de cartón y transportadas al laboratorio para realizar las mediciones, de la misma forma como fue señalado en la sección 3.2.1.

3.4 Variables de crecimiento medidas.

Las variables de crecimiento medidas fueron:

- a. Parte aérea: Diámetro de cuello y copa, altura total, área foliar; peso seco hojas, ramas y tallo.
- b. Parte Subterránea: Longitud lateral y vertical de las raíces, volumen radicular, peso seco raíces mayores y menores a 2 mm de diámetro y total.

3.5 Estadísticos utilizados para evaluar la caracterización de las plantas y modelos de crecimiento radicular.

Fueron probados los supuestos de homogeneidad de varianzas a través de la prueba de Bartlett y de normalidad por medio de la prueba de Kormogrov y Smirnov, para el nivel de

significancia del 5%.

Debido a que no existía homogeneidad de las varianzas, fue necesario realizar un ajuste de los valores, aplicando dos formas de corrección, la primera fue usada para la caracterización de las plantas y la segunda para la determinación de los modelos de crecimiento.

3.5.1 Caracterización de las plantas. Fue aplicado análisis de varianzas, y la prueba de Tukey para comparaciones múltiples.

Los datos fueron transformados para homogenizar sus varianzas, según Montgomery (1991).

Este proceso consistió en determinar una función, en la cuál se utilizó la desviación estándar como variable dependiente y la media como independiente. El modelo que se empleó fue el siguiente:

$$\text{Log } Y = \text{Log } a + b * \text{Log } X.$$

Para corregir cada valor de cada variable, se utilizó la pendiente (b) de la función y esta se empleó de la forma siguiente:

Valor corregido = (Valor real)^(1 - b)

3.5.2 Modelos de crecimiento probados. Se probaron los siguientes modelos de crecimiento (Zeide (1993):

Weibull : $Y = a * (1 - e^{(-b*Q)})$, $Q = (t^c)$

Logística : $Y = a / (1 + c*e^{(-b*t)})$

En donde Y es la variable independiente, t es el diámetro del cuello de la planta; a, b y c son parámetros de localización, escala y forma respectivamente (Seber y Wild 1989).

Las funciones de crecimiento señaladas se ajustaron a través del programa computacional SAS (Statistical analysis system).

Para seleccionar la mejor función de crecimiento para las variables dependientes: peso seco, volumen, longitud lateral y vertical de las raíces, se utilizaron los parámetros estadísticos siguientes: error de la media del cuadrado de la medición ($M_s^{1/2}$), el cuál combina sesgo y precisión (Arabatzis y Burkhart, 1992), además del error estándar de estimación (E.E.E), error cuadrático medio (E.C.M) y análisis de residuos. Además fueron probados los supuestos de homogeneidad de varianzas y distribución normal de los

residuos.

Para la obtención de estos modelos de crecimiento fue necesario realizar una ponderación de la variable independiente, diámetro del cuello de la planta, con la finalidad de corregir la heterogeneidad de varianza.

La corrección se realizó según lo señalado por Moser y Beers, (1969); para ello fue necesario calcular una función de varianza, la cual dependía del diámetro del cuello de la planta.

El modelo lineal utilizado (Tabla 1B; Apéndice), fue el de mayor R^2 ; con este modelo se determinó un factor de ponderación, $W_i = 1/\text{Var}$, el cual fue introducido en todos los modelos de crecimiento.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Caracterización de las plantas.

4.1.1 Diámetro y altura. La prueba de Bartlett aplicada a ambas variables, indica homogeneidad de varianzas. Sólo para la altura total no existen diferencias entre las medias de las fechas de medición julio y septiembre (Figura 1).

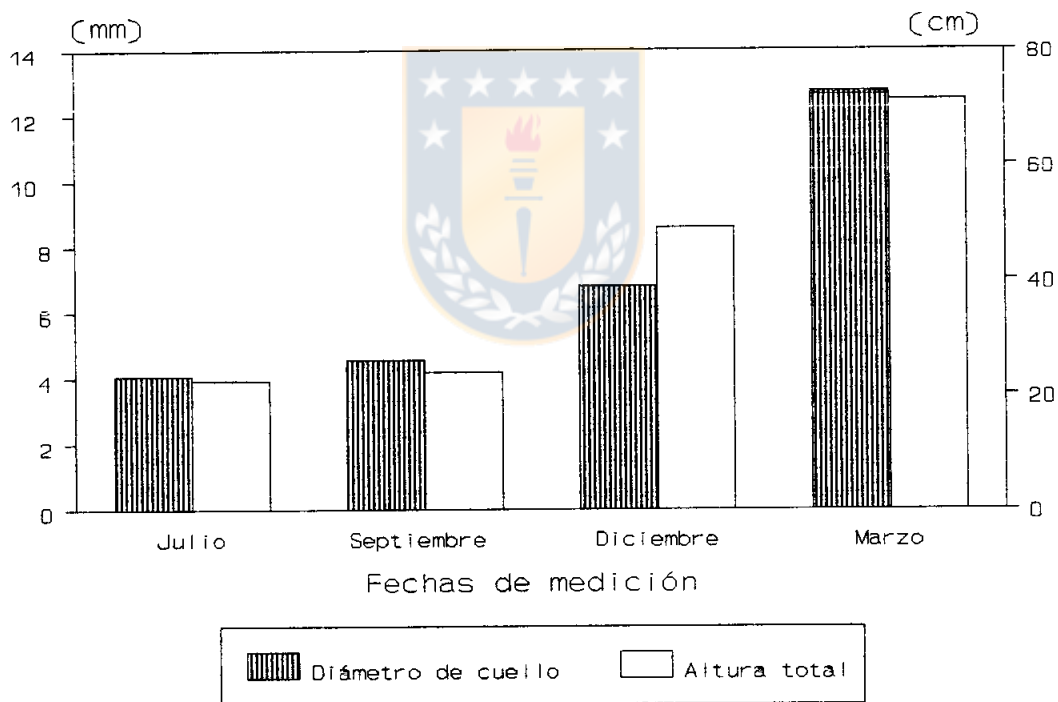


FIGURA 1. Crecimiento en diámetro y altura según fechas de medición.

Los mayores valores fueron obtenidos en marzo, siendo de 12.6 mm para el diámetro de cuello y 71,2 cm para la altura (Tabla 2B; Apéndice). El porcentaje de aumento con respecto a la fecha de medición anterior fue para el diámetro de 12, 49 y 87% para el ultimo período. Para la altura, en diciembre ocurre el mayor aumento, con un valor porcentual de 105%.

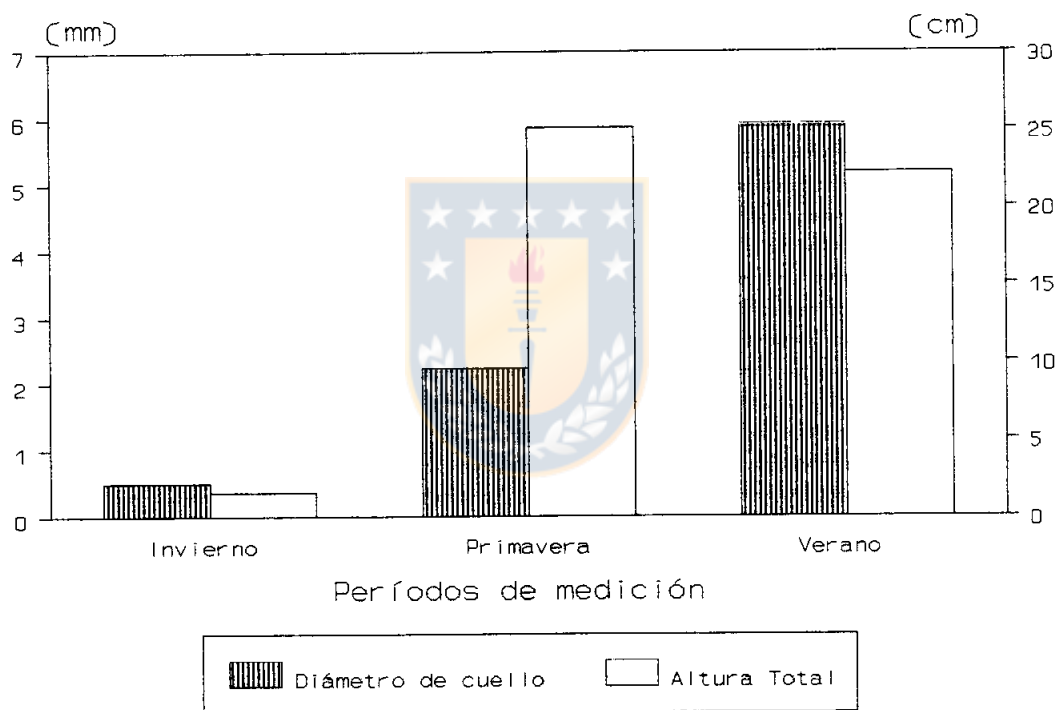


FIGURA 2. Incremento del diámetro y altura entre períodos de medición.

Los incrementos para estas variables señalan diferencias significativas entre períodos estacionales. Sólo para la variable diámetro del cuello no existen diferencias entre los incrementos de primavera - verano.

En primavera (Figura 2), culmina el crecimiento en altura, y en verano el crecimiento en diámetro; ocurriendo lo mismo que en árboles de mayor edad (Espinosa 1992).

4.1.2 Peso seco aéreo. La prueba de Bartlett aplicada a las variables que conforman el peso seco aéreo de las plantas indica homogeneidad de varianza. Sólo para el peso seco aéreo total entre julio y septiembre no existen diferencias entre las medias para las fechas de medición (Figura 3).

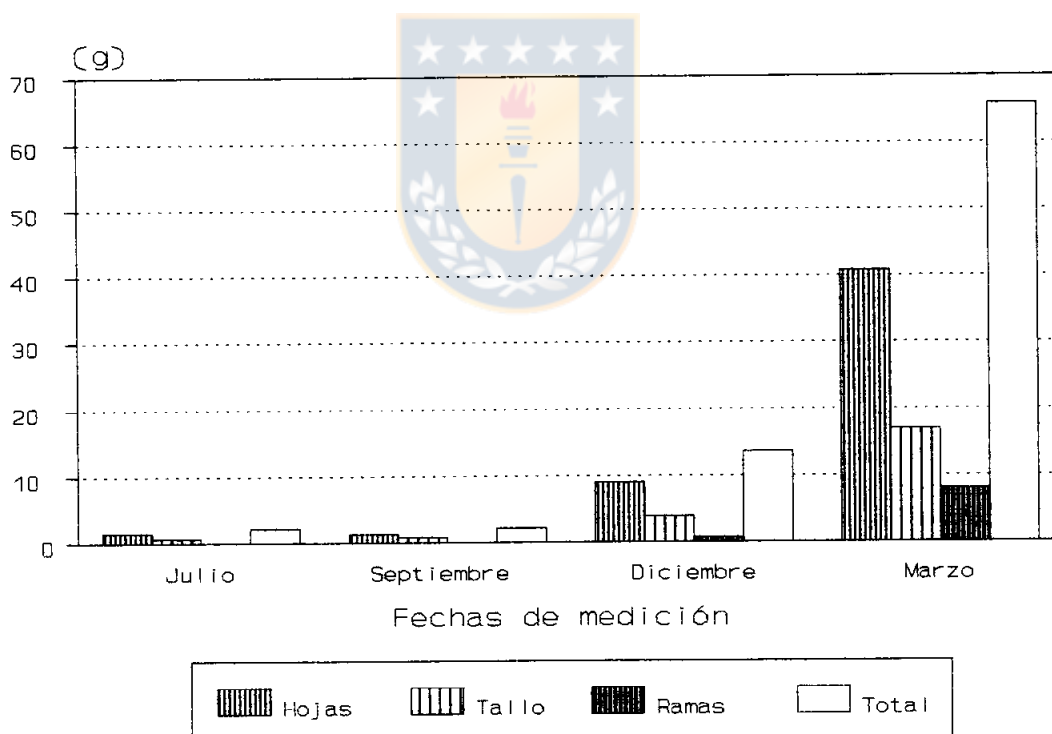


FIGURA 3. Peso seco de las hojas, tallo, ramas y total según fechas de medición.

El mayor aporte al peso seco aéreo, lo constituyen las hojas, en todas las fechas de medición. En marzo el peso seco de las hojas es 2,4 veces mayor al del tallo. Por el contrario, el peso seco de las ramas, representa sólo el 5% a 12% del peso seco aéreo total (Figura 3).

En verano (Figura 4), se produce el mayor incremento para los pesos secos de las hojas, tallo, ramas y total. El valor negativo (-0,138 g) que se produce en invierno para el peso seco de la hoja, es debido a que no todas las plantas fueron enterradas a la misma profundidad por la máquina plantadora, lo que provocó que al menos el primer par de hojas quedaran bajo el suelo.

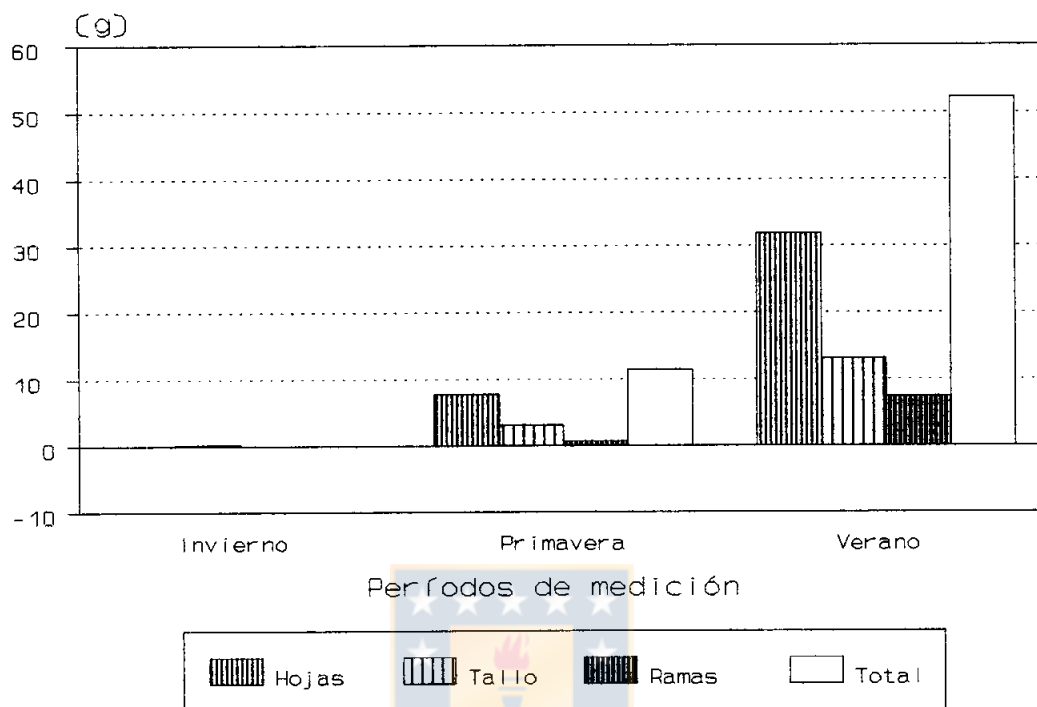


FIGURA 4. Incrementos de los pesos secos de las hojas, tallo, ramas y total entre períodos de medición.

4.1.3 Peso seco de la raíz. Para la división del peso seco de las raíces mayores, menores a 2 mm y total, la prueba de Bartlett indica homogeneidad de sus varianzas.

Sólo para las raíces mayores a 2 mm y el total, no se encontraron diferencias significativas entre julio y septiembre.

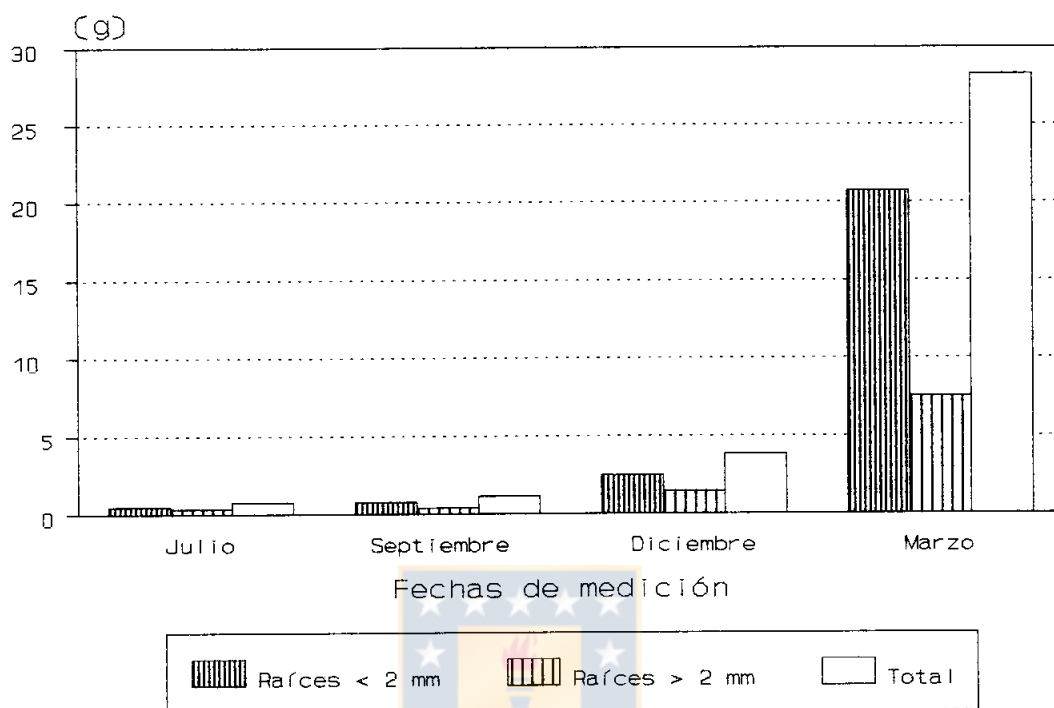


FIGURA 5. Pesos secos de las raíces menores, mayores a 2 mm y total según fechas de medición.

En la última fecha de medición (marzo), las raíces finas superan en 2.8 veces a las de diámetro mayor a 2 mm y aportan un 73% al peso seco total del sistema radicular. Sólo en la primera fecha de medición (Julio) el aporte de las raíces finas fue inferior a un 60% del total (Figura 5).

Solamente para las raíces mayores a 2 mm no se encontraron diferencias entre los incrementos de primavera - verano. El mayor incremento radicular se produjo en verano y corresponde a las raíces de diámetro menor a 2 mm, alcanzando valores de

18,3 gramos y representa un 75% del incremento total (Figura 6).

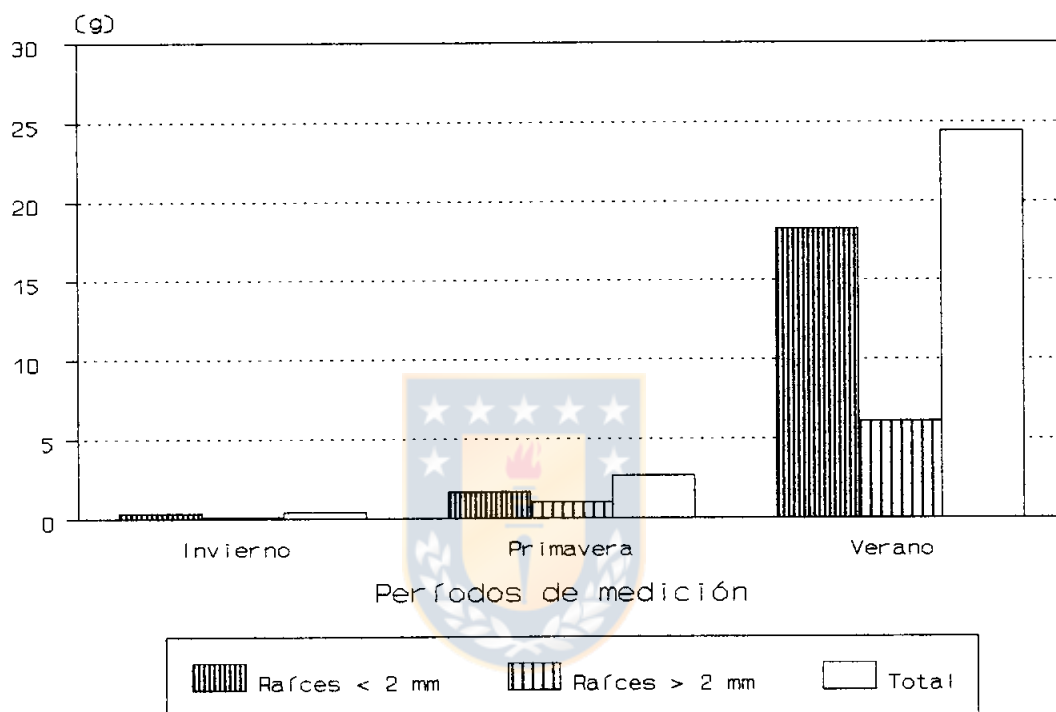


FIGURA 6. Incremento para las raíces menores, mayores a 2 mm y total entre períodos de medición.

4.1.4 Peso seco total. Para esta variable, existe homogeneidad de las varianzas. Sólo entre julio y septiembre no se encontraron diferencias significativas para las medias de las fechas de medición.

El máximo incremento alcanzado corresponde al período de verano con un valor medio 77 g y un valor mínimo de 0.39

gramos correspondiente al período de invierno.

4.1.5 Area Foliar. No existe homogeneidad de varianzas al nivel de significancia del 5%.

La prueba de igualdad de medias aplicada, determinó que existen diferencias, siendo en la última fecha de medición el mayor crecimiento (Figura 7) con un valor de 2826,4 cm², 3,28 veces superior al de diciembre y 23,7 veces superior al de julio.

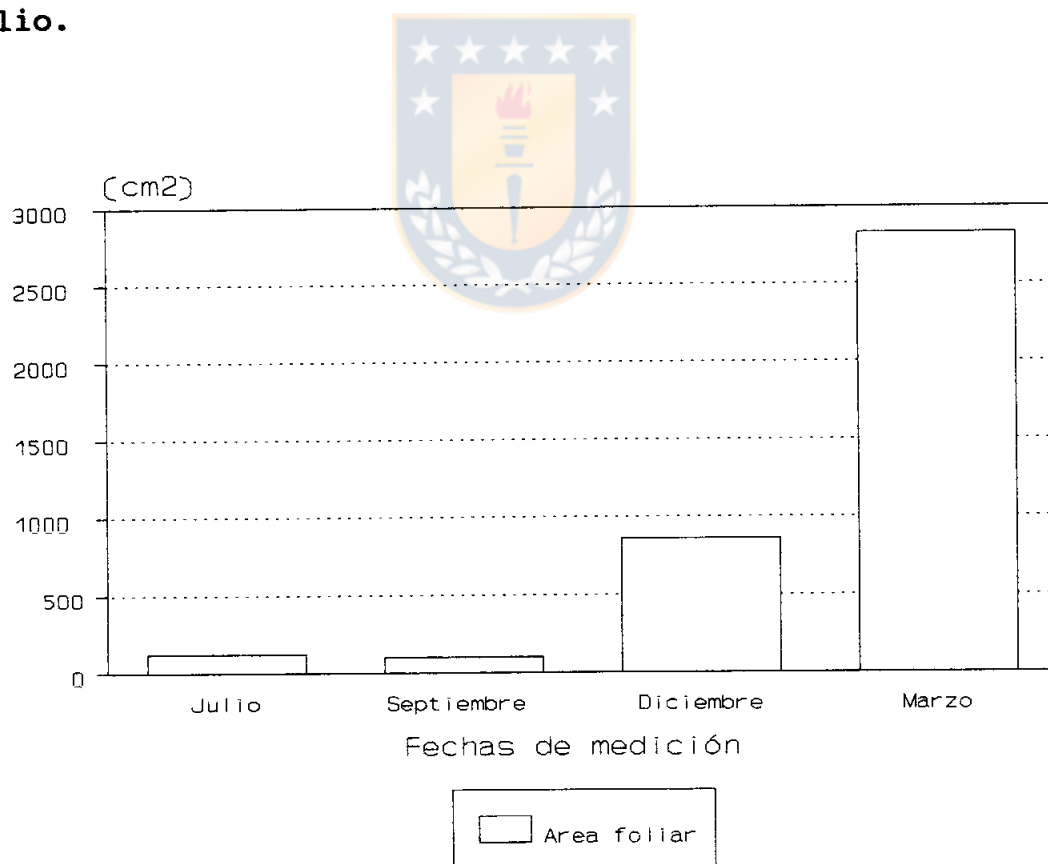


Figura 7. Crecimiento del área foliar según fechas de medición.

El máximo incremento del área foliar se registra en verano con un valor de 1965,7 cm², siendo este incremento superior en 2.6 veces al de primavera (Figura 8).

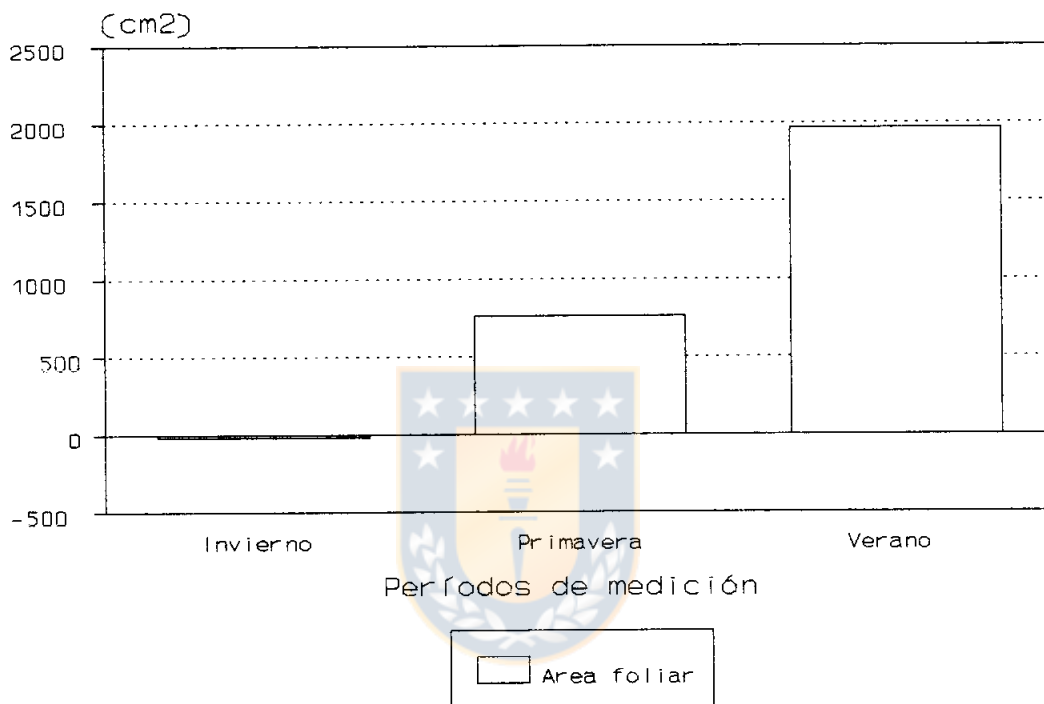


Figura 8. Incremento del área foliar entre períodos de medición.

4.1.6 Longitud lateral y vertical de la raíz. Para éstas variables el análisis de medias señala que existen diferencias significativas. No existe homogeneidad de varianzas.

El crecimiento en longitud de ambas variables (Figura 9) es mayor en la última fecha de extracción siendo de 81,1 y

164,5 cm en promedio para las raíces laterales y verticales (Tabla 2B; Apéndice), respectivamente.

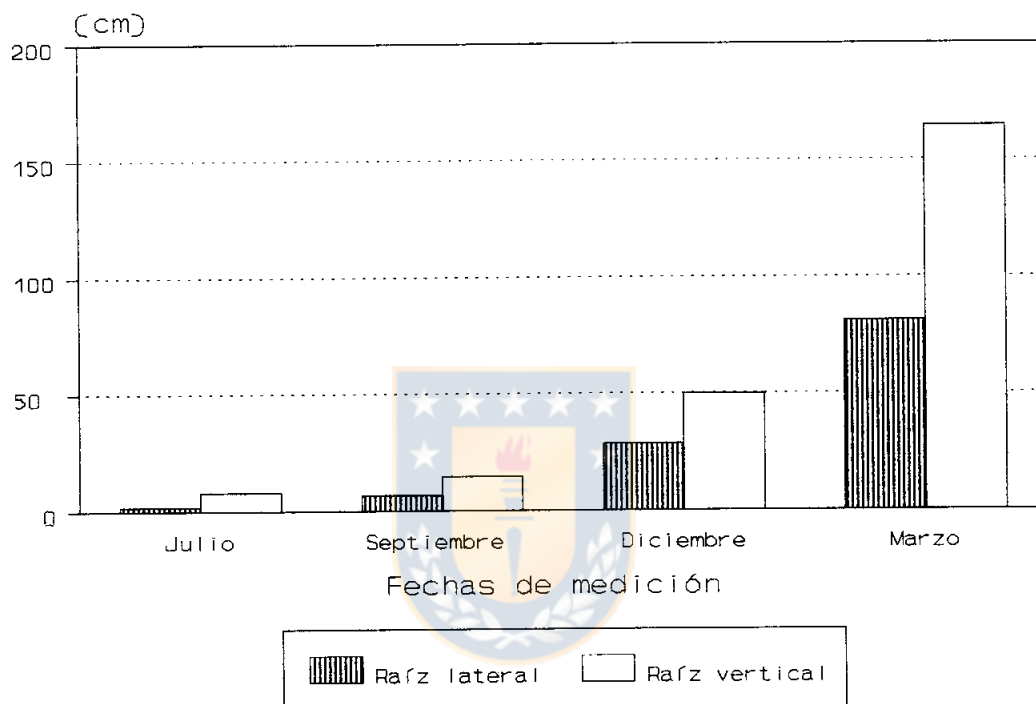


FIGURA 9. Longitud raíces laterales y verticales según fechas de medición

No se encontró homogeneidad de varianzas para el incremento en longitud de la raíz vertical. Además no se detectan diferencias significativas entre incrementos de invierno y primavera e invierno y verano para las raíces laterales y verticales respectivamente. El máximo incremento alcanzado por estas variables ocurre en verano siendo de 52,6 cm para las raíces laterales y de 114,6 cm para las verticales

(Figura 10).

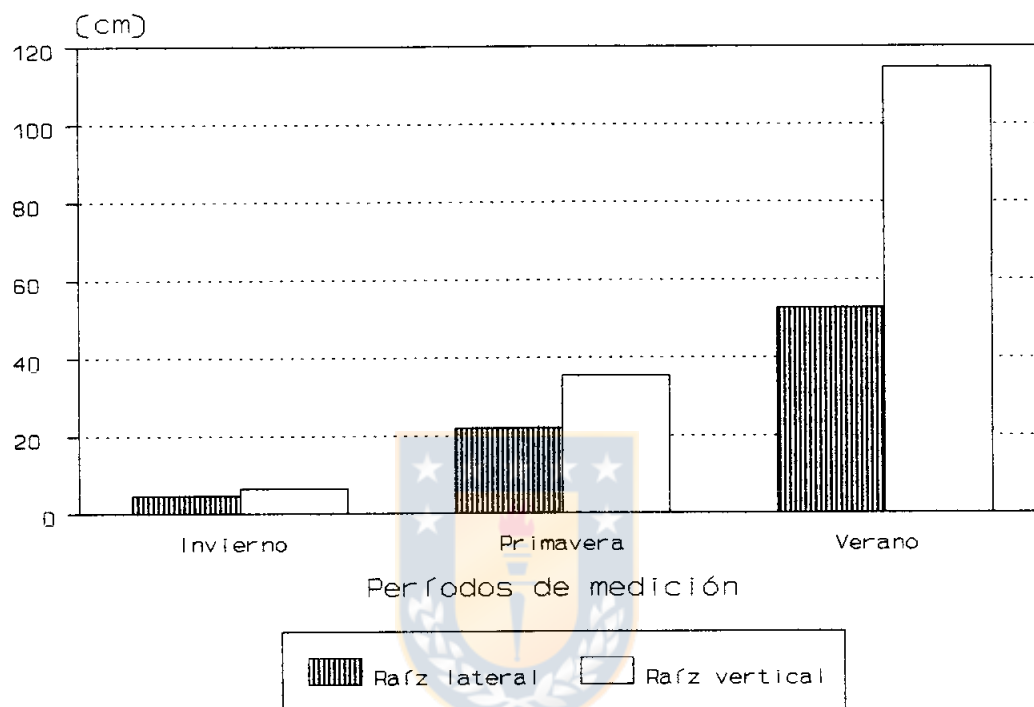


FIGURA 10. Incremento en longitud, raíces laterales y verticales entre períodos de medición

4.1.7 Volumen radicular. La prueba de homogeneidad de varianzas aplicada, indica que no existe homogeneidad.

Según la prueba de medias, existen diferencias significativas; siendo el máximo valor alcanzado en la última fecha de medición, con 85 cm³ (Tabla 2B; Apéndice). Con un aumento de 21,3 veces con respecto a julio y de 5 veces con respecto a diciembre (Figura 11).

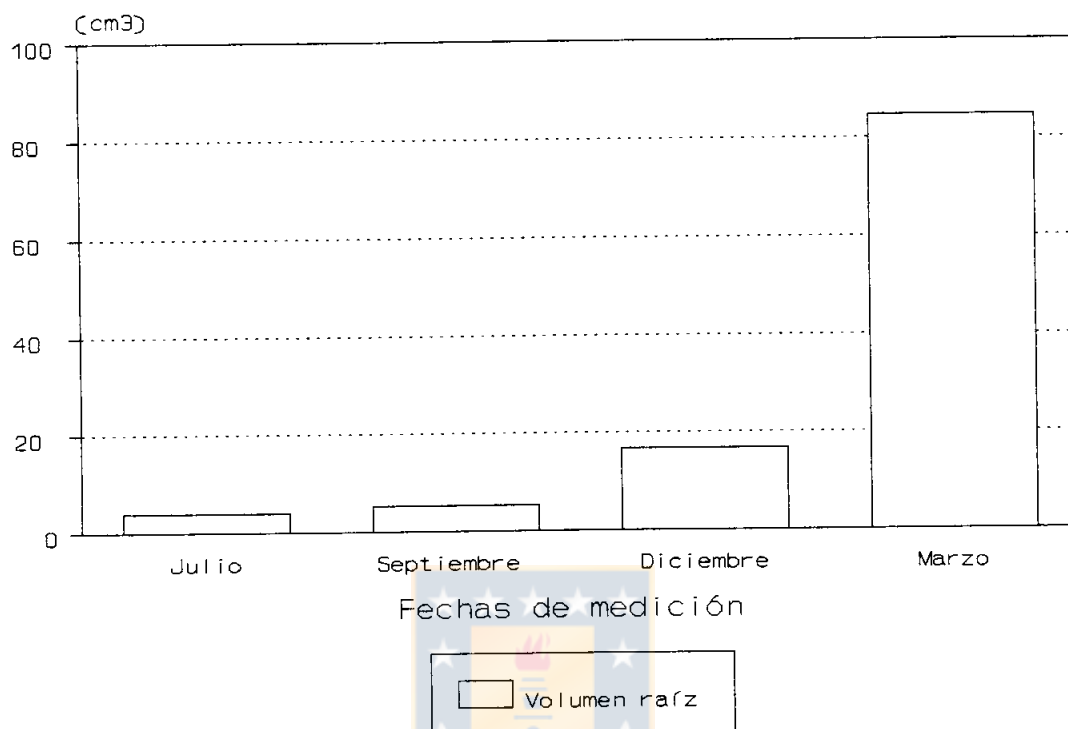


FIGURA 11. Crecimiento del volumen radicular según fechas de medición.

El mayor incremento del volumen radicular fue alcanzado en verano, con $67,9 \text{ cm}^3$ (Figura 12).

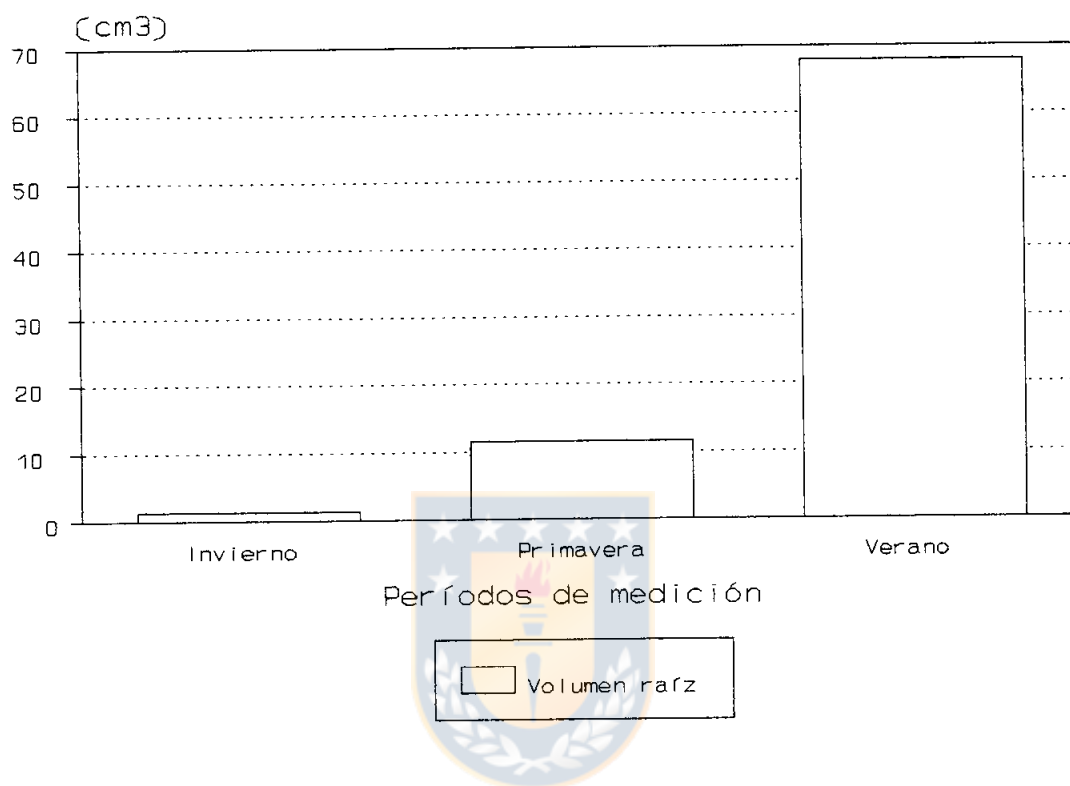


FIGURA 12. Incremento del volumen radicular entre períodos de medición.

4.1.8 Relación peso seco tallo/raíz. No se encontraron diferencias significativas entre las distintas fechas de medición. El mínimo valor ocurre en marzo y el máximo en diciembre, con 0.601 y 1.023, respectivamente (Figura 13).

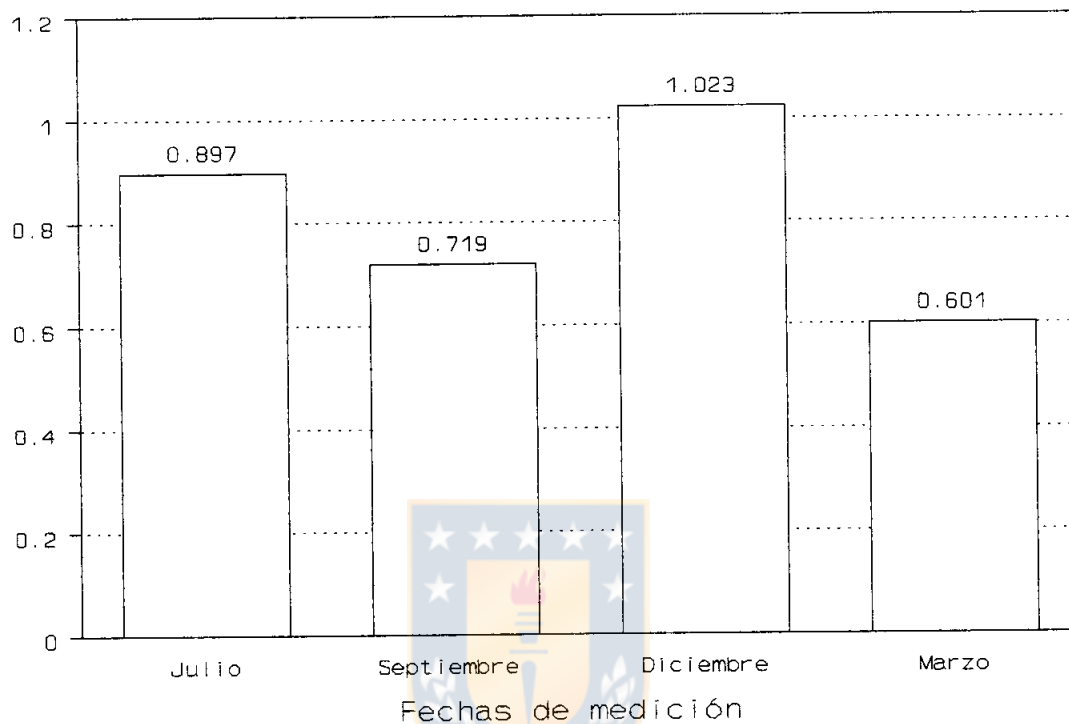


FIGURA 13. Relación tallo/raíz según fechas de medición.

Las plantas al ser establecidas en terreno (invierno) poseen una determinada relación, después de un período de adaptación (invierno-primavera) comienza un mayor crecimiento radicular. En primavera-verano, ocurre un aumento en el crecimiento del tallo. Para llegar a verano con una disminución del crecimiento aéreo y un mayor desarrollo radicular.

4.2 Modelos de crecimiento seleccionados.

4.2.1 Peso seco raíz. De acuerdo a los valores resultantes de las pruebas estadísticas, el modelo que mejor predice esta variable es el modelo Logístico (Tabla 1, Figura 14).

TABLA 1. VALORES DE $M.S^{1/2}$, E.E.E y E.C.M, PARA LOS MODELOS PROBADOS EN LA VARIABLE DEPENDIENTE PESO SECO RAIZ.

MODELO	$MS^{1/2}$	EEE	ECM
Weibull	0.4165	0.4137	50.6891
Logístico	0.4171	0.4131	50.6177

Como se desprende de la figura 14, la distribución de los valores reales con respecto al modelo estimado, es homogéneo; esto ocurre tanto entre el valor real y el estimado, y a medida que la variable independiente aumenta su valor. Aproximadamente a los 15 mm de diámetro se puede apreciar que existen 2 puntos más alejados o outlinear.

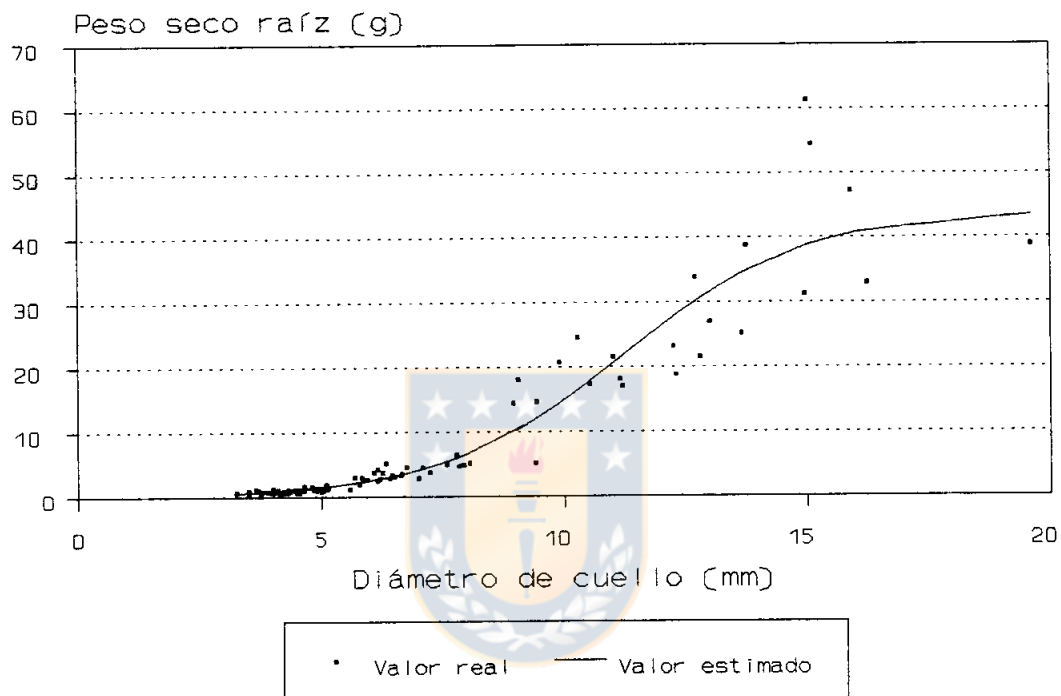


FIGURA 14. Modelo de crecimiento Logístico seleccionado para la variable dependiente peso seco de la raíz. Valores estimados versus valores reales.

La prueba de Bartlett a los residuos ponderados indica que no se corrigió la heterogeneidad de la varianza; sin embargo la representación gráfica muestra una disminución en el rango de dispersión en la variable dependiente (Figura 15 A y B).

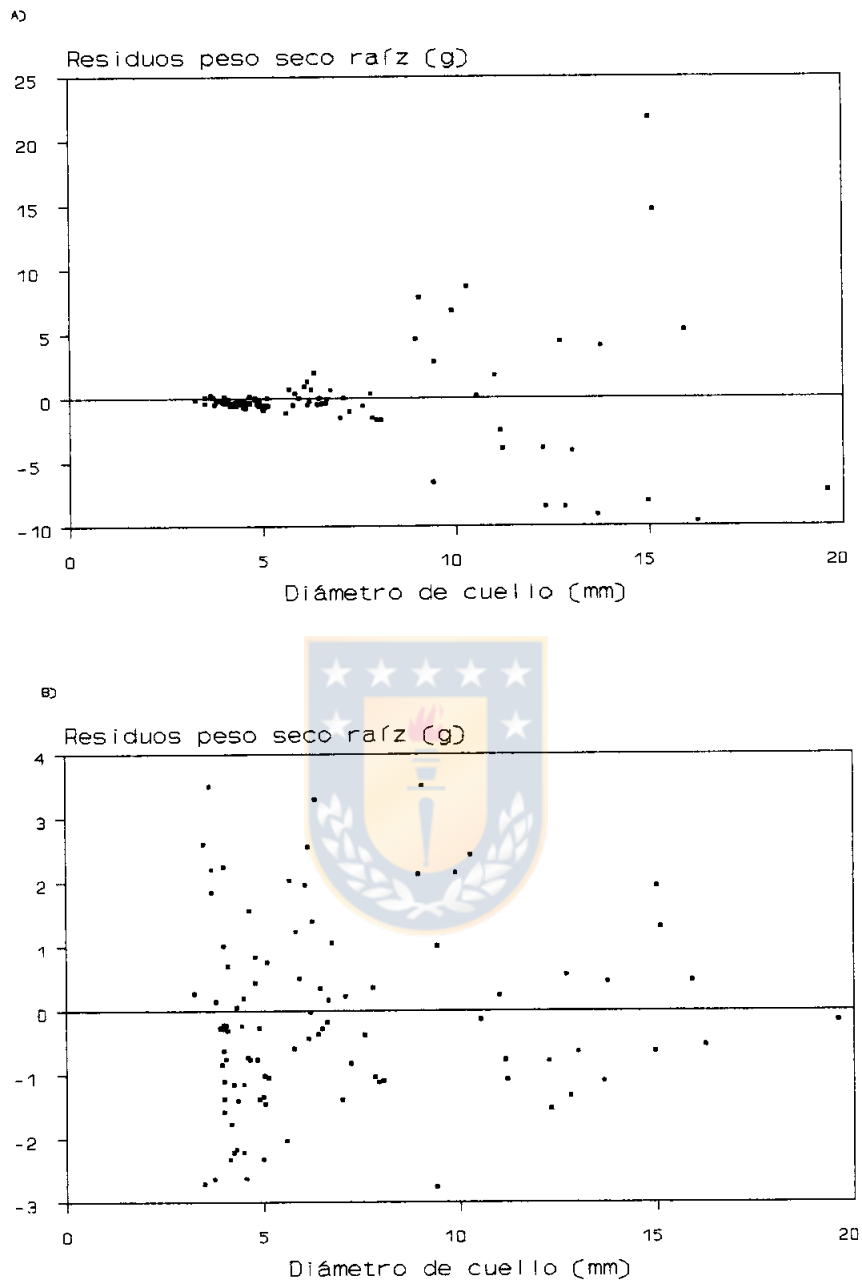


FIGURA 15. Residuos del modelo Logístico seleccionado, antes de ponderar (A) y después de realizado este proceso de homogeneización (B).

Después de realizar la homogeneización de las varianzas, los errores de estimación de las constantes b y c disminuyen con respecto a los errores de las constantes antes de homogenizar las varianzas (Tabla 4B; Apéndice).

4.2.2 Volumen radicular. Para esta variable el mejor modelo de acuerdo al resultado de los estadísticos calculados, fue el modelo de Weibull (Tabla 2, Figura 16).

TABLA 2. VALORES DE $M.S^{1/2}$, E.E.E y E.C.M, PARA LOS MODELOS PROBADOS EN LA VARIABLE DEPENDIENTE VOLUMEN RADICULAR.

MODELO	$MS^{1/2}$	EEE	ECM
Weibull	1.3930	1.3562	50.5150
Logística	1.4378	1.3756	51.2778

La curva generada por el modelo de Weibull seleccionado (Figura 16), muestra una tendencia más plana, sin grandes puntos de inflexión, con una distribución homogénea de los valores reales y una continuidad a medida que el diámetro aumenta.

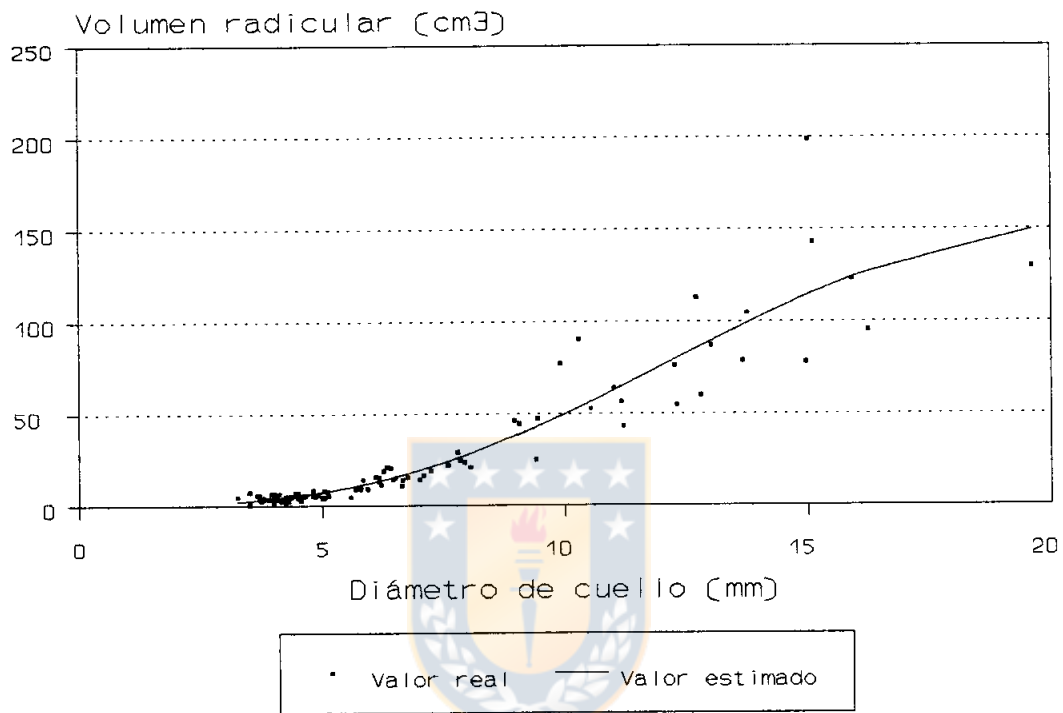


FIGURA 16. Modelo de crecimiento de Weibull seleccionado para la variable dependiente volumen radicular. Valores estimados versus valores reales.

Aplicada la prueba de Bartlett a los residuos ponderados, indica que existe heterogeneidad de las varianzas. Siendo el rango de dispersión de los residuos de la variable dependiente antes de homogenizar (Figura 17 A) mayor y aumentando a medida que el valor de la variable independiente

crece, que aquellos residuos después de haber homogeneizado (Figura 17 B).

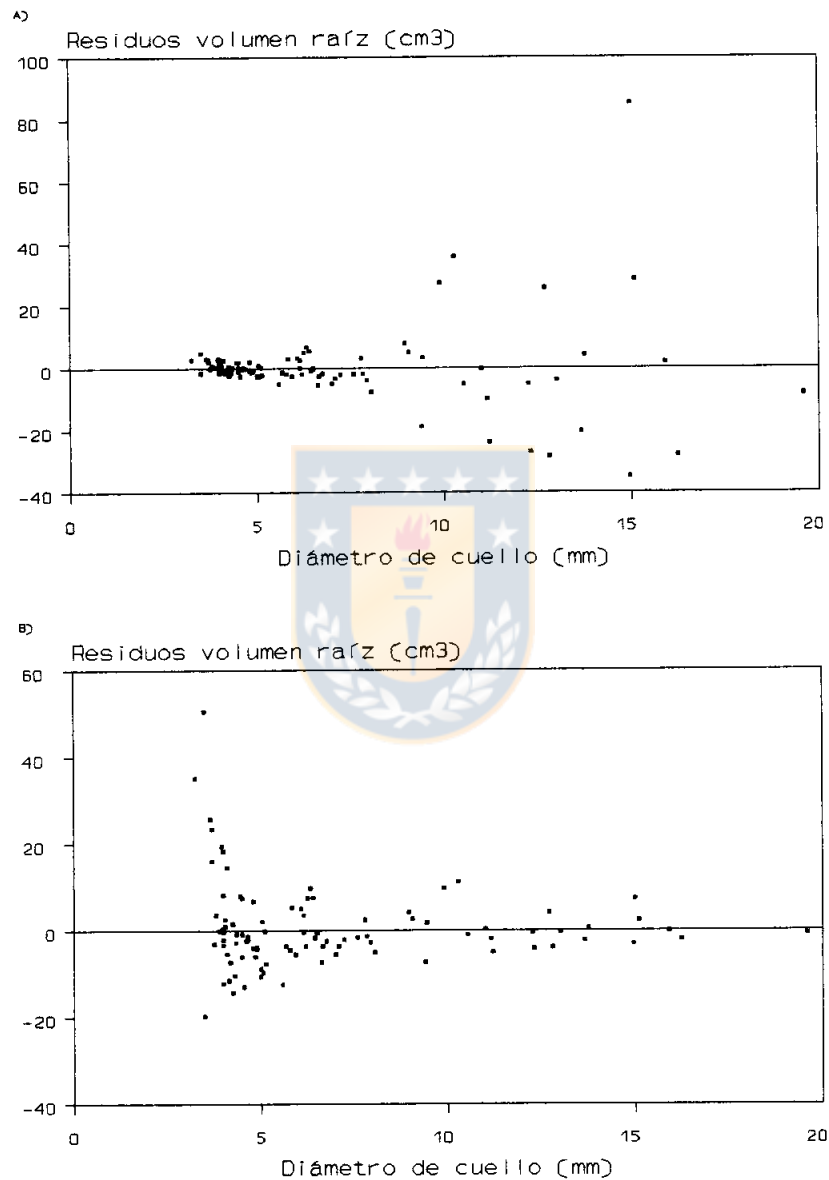


FIGURA 17. Residuos del modelo de Weibull seleccionado, antes de ponderar (A) y después de realizado este proceso de homogeneización (B).

Los errores estándar de estimación de las constantes de escala (b) y de forma (c) del modelo seleccionado tienen una disminución después de ser ponderados (Tabla 4B; Apéndice).

4.2.3 Longitud raíz vertical. El modelo de crecimiento no-lineal seleccionado para esta variable fue el de Weibull (Tabla 3, Figura 18).

TABLA 3. VALORES DE $M.S^{1/2}$, E.E.E y E.C.M, PARA LOS MODELOS PROBADOS EN LA VARIABLE DEPENDIENTE LONGITUD RAIZ VERTICAL.

MODELO	$MS^{1/2}$	EEE	ECM
Weibull	1.8651	1.8557	32.0144
Logística	1.8896	1.8572	32.0406

La dispersión de los valores reales con respecto a los valores estimados por el modelo de Weibull (Figura 18), indica que a medida que aumenta la variable independiente estos se van distanciando; además es posible observar que existe tres sectores con concentración de valores. El modelo ajustado presenta dos puntos de inflexión, el primero, cuando el diámetro del cuello supera los 5 mm y el último cuando la variable independiente alcanza valores de 10 a 15 mm; entre estos puntos de inflexión existe un aumento en el crecimiento de la raíz vertical que supera al crecimiento de la raíz antes o después de dichos puntos de inflexión.

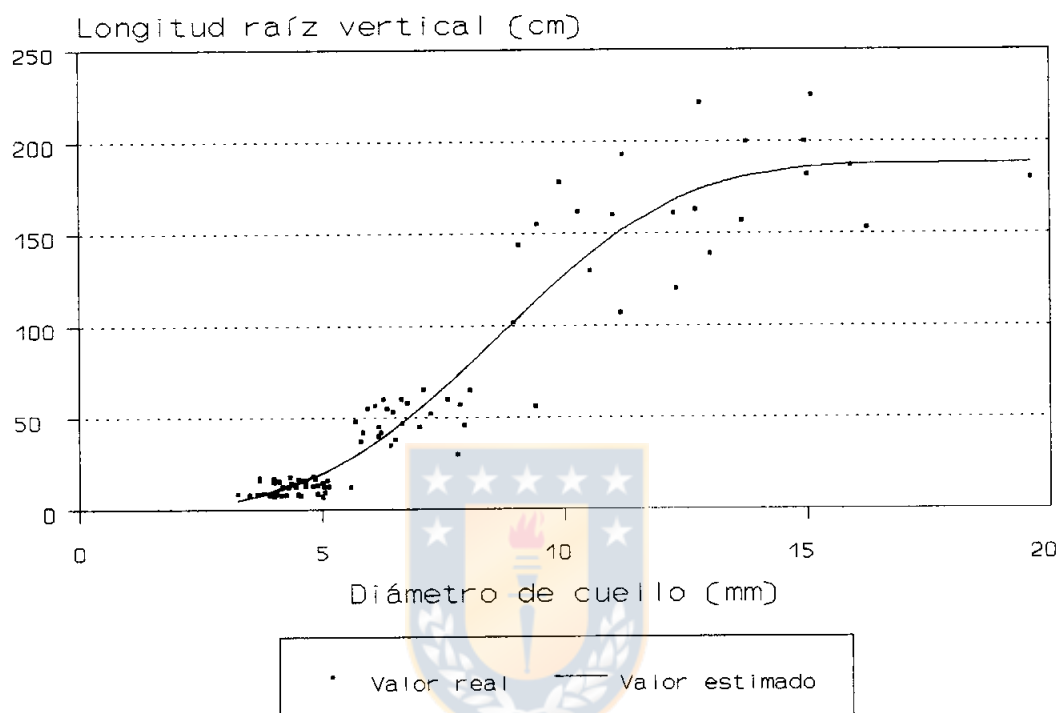


FIGURA 18. Modelo de crecimiento de Weibull seleccionado para la variable dependiente longitud raíz vertical. Valores estimados versus valores reales.

En el análisis de los residuos, la prueba de Bartlett aplicada a éste modelo de crecimiento no lineal, indica que no existe homogeneidad de las varianzas. Los residuos antes de ser ponderados (Figura 19 A), muestran un rango de dispersión de la variable dependiente menor que después de

ser homogeneizados (Figura 19 B).

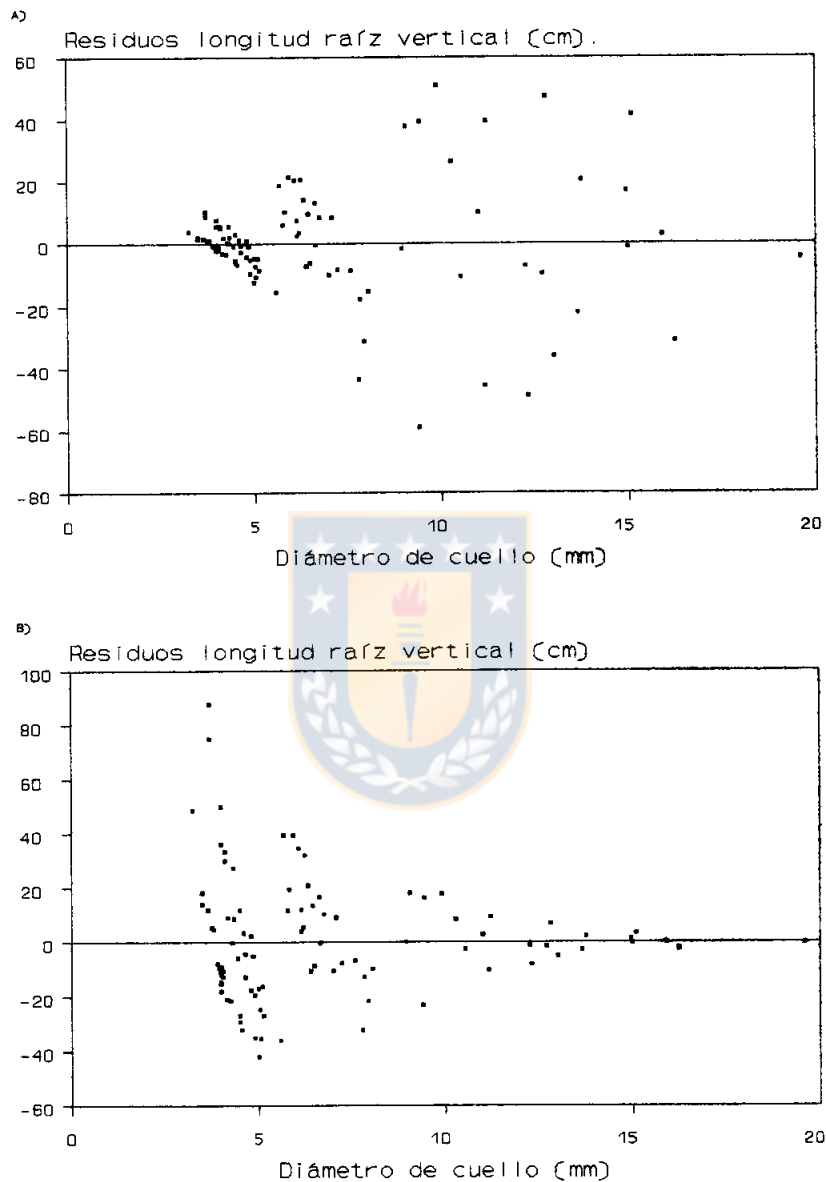


FIGURA 19. Residuos del modelo de Weibull seleccionado, antes de ponderar (A) y después de realizado este proceso de homogeneización (B).

Para él modelo seleccionado, los errores estándar de estimación de las constantes b y c son menores después de

homogenizar sus varianzas, alcanzando valores de 0,00015 para la constante de escala y 0,18114 para la de forma (Tabla 4B; Apéndice).

4.2.4 Longitud raíz lateral. El modelo no lineal seleccionado para esta variable dependiente, de acuerdo a los resultados de los estadísticos utilizados (Tabla 4, Figura 20), es el modelo de crecimiento de Weibull.

TABLA 4. VALORES DE $M.S^{1/2}$, E.E.E y E.C.M, PARA LOS MODELOS PROBADOS EN LA VARIABLE DEPENDIENTE LONGITUD RAIZ LATERAL.

MODELO	$MS^{1/2}$	EEE	ECM
Weibull	1.0692	1.0414	35.9881
Logística	1.3532	1.0780	37.2525

El modelo ajustado sobreestima los valores para diámetros menores a 5 mm y subestima para valores que se encuentra entre 5 a 10 mm. La curva se hace asintótica para valores superiores a 10 mm de diámetro, debido a las grandes variaciones que tiene la longitud de la raíz con respecto al aumento del diámetro de cuello de la planta (Figura 20).

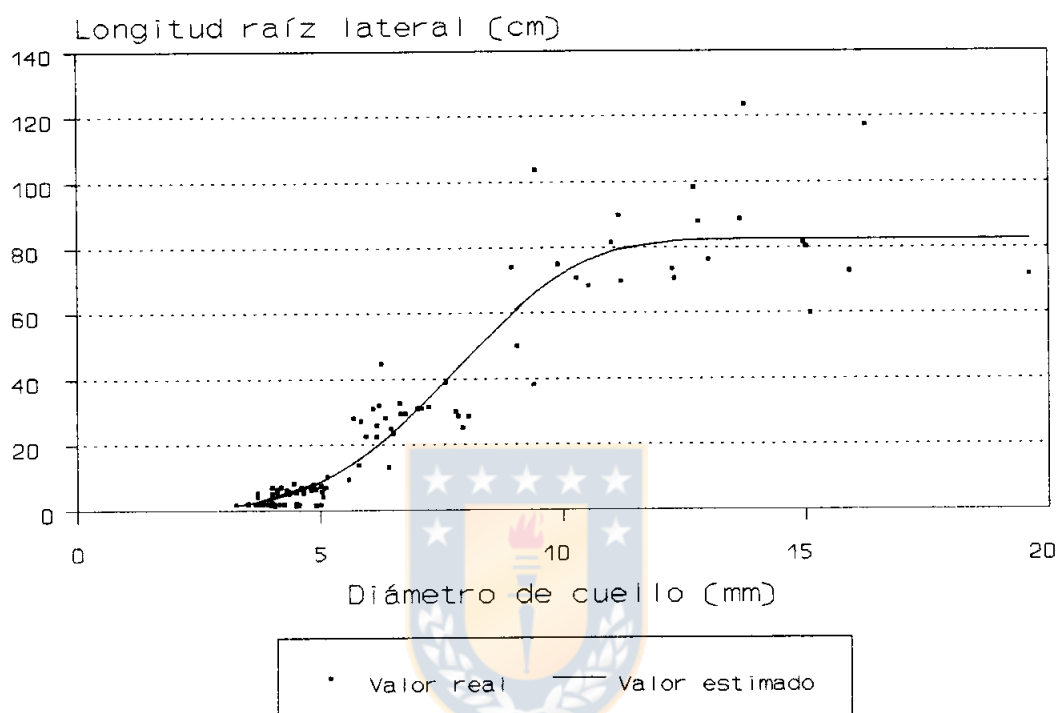


FIGURA 20. Modelo de crecimiento de Weibull seleccionado para la variable dependiente longitud raíz lateral. Valores estimados versus valores reales.

Para ésta variable, el análisis de los residuos señala que existe heterogeneidad de las varianzas. El rango de dispersión de los residuos antes de ser ponderados (Figura 21 A), respecto a la variable dependiente es mayor, además aumentan con el aumento de la variable independiente, lo que

no ocurre después de ser ponderados (Figura 21 B).

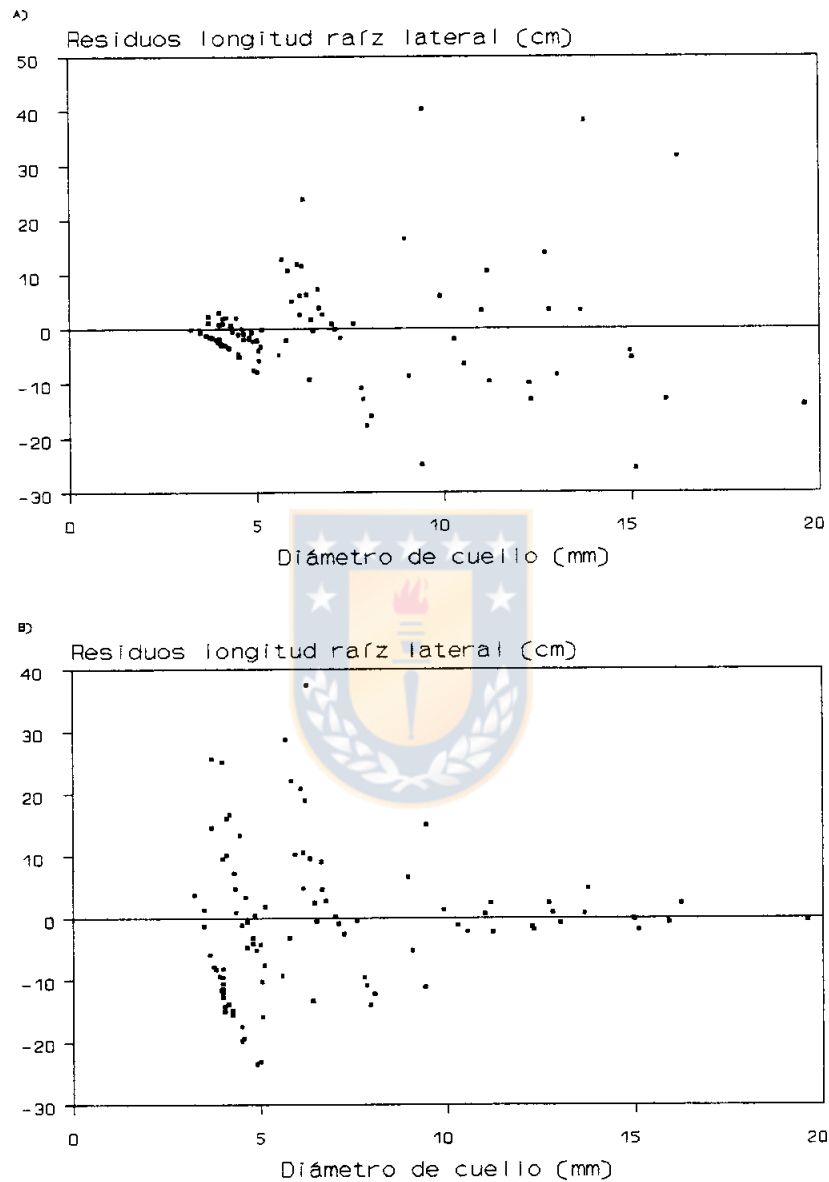


FIGURA 21. Residuos del modelo de Weibull seleccionado, antes de ponderar (A) y después de realizado este proceso de homogeneización (B).

El error estándar de estimación de las constantes de escala y forma, experimentan una disminución de 0,00016 a 0,00006

para la constante c y de 0,32948 a 0,27701 para la constante de forma; antes y después de homogenizar las varianzas (Tabla 4 B; Apéndice).



V. CONCLUSIONES

En todas las fechas de medición, la biomasa seca total se concentra principalmente en las hojas y en las raíces finas. La parte aérea representa entre el 40% y el 52% y las raíces finas entre el 14% y 24% de la biomasa total de la planta.

Las raíces de diámetro menor a 2 mm, tienen la mayor participación por período de extracción, siendo los valores porcentuales, 58, 67, 64 y 73% de la biomasa total bajo el suelo, para cada período de extracción.

En todas las fechas de medición, el mayor crecimiento estaba concentrado en las raíces verticales, siendo en marzo 2,3 veces superior a las raíces laterales.

Para el peso seco de la raíz el modelo seleccionado fue el modelo Logístico; para el volumen y longitudes lateral y vertical de las raíces, el modelo de Weibull.

VI. RESUMEN

Utilizando plantas de Eucalyptus nitens, plantadas el 20 de julio de 1993, se establecieron en terreno seis parcelas de veinticinco plantas cada una. Se realizaron tres extracciones con un intervalo de tres meses, para finalizar el 21 de marzo de 1994. En cada período se seleccionó una parcela en forma aleatoria, de la cuál se extrajeron manualmente todas las plantas.

Se caracterizó la parte aérea y radicular y se determinó funciones de crecimiento radicular en este período de tiempo.

Se determinó que la distribución de la biomasa seca total, está concentrada principalmente en las hojas y en las raíces finas. La parte aérea es la que posee la mayor participación con valores que fluctúan de 40 a 52% y las raíces finas de 14 a 24% de la biomasa total de la planta.

Las raíces de diámetro menor a 2 mm, tenían la mayor participación por período de extracción, con valores de 58, 67, 64 y 73% de la biomasa total bajo el suelo, para cada período de extracción.

Para el peso seco de la raíz el modelo de crecimiento seleccionado fue el modelo Logístico; para el volumen y

longitudes lateral y vertical de las raíces el modelo de Weibull.



SUMMARY

Using Eucalyptus nitens plants, planted on July 20th 1993, top and root part were characterized and root growth functions were determined, it were established six plots with 25 plants each one of them. Three extractions with three month of interval were made, the last one was on March 21th 1994. In each one period, a plot was random selected and by hand way every plants of it were extracted.

The results shown that the main part of total dry biomass was represented by leaves and fine roots, with values ranging between 40 and 52%, and 14 and 24%, respectively.

Respect total underground biomass, roots with diameter lower than 2 mm had the main participation, having percentage values of 58, 67, 64 and 73% by each period of extraction, respectively.

The selected models were Logistic model for the root dry weight, and the Weibull model for the volume and lateral and vertical root longitudes.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. Arabatzis A., H. E. Burkhart. 1992. An evaluation on sampling methods and model forms for estimating eight-diameter relationships in Loblolly pine plantations. For. Sci. 38(1): 192 - 198.
2. Bloomberg W. J., A. A. Hall. 1986. Effects of laminated root on relationships between stem growth and root-system size, morphology, and spatial distribution in Douglas-fir. For. Sci. 32(1): 202 - 219.
3. Bonner J., A. W. Galston. 1961. Principios de fisiología vegetal. Aguilar. Madrid, España.
4. Brown D., T. Pratum, C. Bledsoe, E. Ford, J. Cothorn, D. Perry. 1991. Nonansive studies of conifer roots: nuclear magnetic resonance (NMR) imaging of Douglas-fir seedligns. Can. J. For. Res. 21: 1559 - 1566.
5. Canadell J., F. Roda. 1991. Root biomass of Quercus ilex in a montane Mediterranean forest. Can. J. For. Res. 21: 1771 - 1778.
6. Clark A. 1980. Suggested for measuring tree biomass and reporting tree prediction equations. In: W. E.

Fruyer (Eds). Forest Resource Inventories Workshop Proceeding, Vol. 2, July, 24 - 27, 1980. State University, Fort. Collins, Colorado.

7. Comeau P., J. P. Kimmins. 1989. Above-and below- ground biomass and production of Lodgepole pine on sites with differing soil moisture regimes. Can J. For. Res. 19: 447 - 454.
8. Daniel T. W, J. A. Helmes, F. S. Backer. 1982. Principios de Silvicultura. McGraw-Hill. México.
9. Eis S. 1974. Root system morphology of Western hemlock, Western red cedar and Douglas-fir. Can. J. For. Res. 4: 28 - 38.
10. Eis S. 1986. Differential growth of individual components of trees and their interrelationships. Can J. For. Res. 16: 352 - 359.
11. Eis S. 1987. Root systems of older immature Hemlock, Cedar, and Douglas-fir. Can. J. For. Res. 17:1348 - 1354.

12. Esau K. 1985. Anatomía Vegetal. Omega S.A. Barcelona, España.
13. Espinosa M. 1992. Efecto de la época de poda en el crecimiento de rodales de pino radiata establecidos en la precordillera de Los Andes. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Concepción, Chile
14. Ford E., J. D. Deans. 1977. Growth of a Sitka spruce plantation: spatial distribution and seasonal fluctuations of lengths, weights and carbohydrate concentrations of fine roots. Plant and Soil. 47: 463 - 485.
15. Gutierrez N., C. Vega. 1991. Informe práctica profesional: Estudio de suelos de la Comuna Mulchén. Departamento de Investigación y Desarrollo. Empresa Forestal Angol Ltda. Los Angeles.
16. Hermann R., R. G. Petersen. 1969. Root development and height increment of Ponderosa pine in pumice soils of central Oregon. For Sci. 15(3): 226 - 237.

17. INIA 1989. Mapa Agroclimático de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile.
18. Johnson J. D., S. M. Zedaker., A. B. Hairston. 1985. Foliage, stem, and root interrelations in young Loblolly pine. For Sci. 31(4): 891 - 898.
19. Keyes M. R., C. C. Grier. 1981. Above - and below - ground net production in 40 - year - old Douglas-fir stands on low and high productivity sites. Can. J. For. Res. 11: 559 - 605.
20. Langlois C., L. Godbout, J. A. Fortin. 1983. Seasonal variation of growth and development of the roots of five second year conifer species in the nursery. Plant and Soil. 71: 55 - 62.
21. Montgomery D. 1991. Diseño y análisis de experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica. España.
22. Moser J., T. W. Beers. 1969. Parameter estimation in on linear volume equations. Journal of Forestry: 878 - 879.

23. Newton M., E. C. Cole. 1991. Root development in planted Douglas-fir under varying competitive stress. Can. J. For. Res. 21: 25 - 31.
24. Parde J. 1980. Biomasa del bosque. For. Abstr. 41: 8
25. Pritchett W. 1991. Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. Editorial Limusa. Grupo Noriega Editores. México
26. Roberts J. 1976. A study of root distribution and growth in a Pinus silvestris L. (Scots pine) plantation in East Anglia. Plant and Soil. 44: 607 - 621.
27. Rosales L. 1993. Efectos ecológicos del género Eucalytus: una revisión de literatura con énfasis en la especie Eucalytus globulus Labill. Memoria de Título Universidad de Concepción, Fac. Cienc. Agrop. y Forest. Dep. Cienc. Forestales, Chillán, Chile.
28. Sadanandan E. K. 1983. Root development and configuration in intensively managed Radiata pine plantations. Plant and Soil. 71: 37 - 47.

29. Sainju U., R. E. Good. 1993. Vertical root distribution in relation to soil properties in New Jersey Pinelands Forests. *Plant and Soil*. 150: 87 - 97.
30. Seber G. A. F., C. J. Wild. 1989. *Nonlinear regression*. John Wiley & Sons. Canadá.
31. Sivori E. M, E. R. Montaldi, O. H. Caso. 1980. *Fisiología vegetal*. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina.
32. Strasburger E., F. Noll, H. Schenck, A. F. W. Schimper. 1988. *Tratado de botánica*. (7 Edición). Omega S.A. Barcelona, España.
33. Strong W., G. H. La Roi. 1983. Root-system morphology of common boreal forest trees in Alberta Canada. *Can J. For. Res.* 13: 1164 - 1173.
34. Sutton R. F. 1991. Soil properties and root development in Forest: a review. *For. Can., Ont. Region, Sault Ste. Marie, Ont. Inf. Rep.* O-X-4313. 42 p.
35. Vogt K. A., D. J. Vogt, E. E. Moore, W. Litcke, C. C. Grier, L. Leney. 1985. Estimating Douglas-fir fine

root biomass and production from living bark and starch. *Can. J. For. Res.* 15: 177 - 179.

36. Watson A., C. O'Loughlin. 1985. Morphology, strength, and biomass of Manuka roots and their influence on slope stability. *N. Z. J. For. Sci.* 15(3): 337 - 348.
37. Watson A., C. O'Loughlin. 1990. Structural root morphology and biomass of three age-classes of Pinus radiata D. Don. *N. Z. J. For. Sci.* 20(1): 97 - 110.
38. Wu T., D. Bettadapura, P. Beal. 1988. A statistical model of root geometry. *For. Sci.* 34(4): 980 - 997.
39. Zeide B. 1993. Analysis of growth equations. *For. Sci.* 39(3): 594 - 616.

VIII. APENDICE



TABLA 1B. MODELOS UTILIZADOS PARA CALCULAR FUNCION DE PONDERACION DE LAS VARIANZAS.

MODELO	a	b	R ²
$y = a + be^x$	0.377053	$2.069247 \cdot 10^{-5}$	0.993570
$\ln y = a + b \ln x$	-6.509419	3.309883	0.998152
$y = a + bx^2$	-0.924096	4.840431	0.987603
$y = a + bx$	-3.683902	0.813629	0.95130

TABLA 2B. VALORES PROMEDIO, DESVIACION ESTANDAR Y TAMAÑO DE LA MUESTRA (n), DE LAS VARIABLES MEDIDAS PARA CADA FECHA DE MEDICION.

VARIABLES	Período	n	Promedio	Desviación estándar
Diámetro de cuello (mm)	0	24	4.063	0.407
	1	25	4.554	0.469
	2	25	6.786	0.876
	3	22	12.669	2.636
Altura total (cm)	0	24	22.375	1.843
	1	25	23.908	3.256
	2	25	49.016	5.510
	3	22	71.241	9.320
Diámetro de copa (cm)	0	24	7.538	1.089
	1	25	7.446	1.349
	2	25	22.422	4.990
	3	22	47.761	15.723
Volumen radicular (cm ³)	0	24	3.975	1.468
	1	25	5.344	1.468
	2	25	16.798	5.297
	3	22	84.686	37.770
Raíz lateral (cm)	0	24	1.868	0.217
	1	25	6.570	1.439
	2	25	28.539	6.628
	3	22	81.136	17.024

Raíz vertical	0	24	8.008	0.470
(cm)	1	25	14.580	2.171
	2	25	49.916	9.507
	3	22	164.500	32.469
Area Foliar	0	24	119.440	17.269
(cm ²)	1	25	99.886	24.113
	2	25	860.717	307.113
	3	22	2826.420	1425.108
Peso seco hoja	0	24	1.422	0.281
(g)	1	25	1.284	0.363
	2	25	8.998	3.016
	3	22	40.836	18.685
Peso seco tallo	0	24	0.682	0.143
(g)	1	25	0.822	0.205
	2	25	3.917	1.384
	3	22	16.966	7.635
Peso seco ramas	0	24	0.000	0.000
(g)	1	25	0.000	0.000
	2	25	0.647	0.492
	3	22	7.971	5.295
Peso seco aéreo	0	24	2.103	0.394
total(g)	1	25	2.106	0.531
	2	25	13.562	4.759
	3	22	65.774	30.731
Peso seco raíces	0	24	0.440	0.116
menores a 2 mm	1	25	0.763	0.147
	2	25	2.435	0.766
	3	22	20.723	9.862
Peso seco raíces	0	24	0.320	0.093
mayores a 2 mm	1	25	0.380	0.157
	2	25	1.396	0.530
	3	22	7.510	3.961
Peso seco total	0	24	0.760	0.160
raíz (g)	1	25	1.143	0.270
	2	25	3.846	1.072
	3	22	28.233	12.677

TABLA 3B. VALOR DE LAS CONSTANTES POR VARIABLE PARA LOS MODELOS DE CRECIMIENTO ANTES Y DESPUES DE PONDERAR.

VARIABLE		a	b	c
Peso seco raíz	(ANTES)	47.0514141	0.4938455	314.2175343
	(DESPUES)	43.9480616	0.5362664	412.4839118
Volumen raíz	(ANTES)	141.0574976	0.0003015	3.1736785
	(DESPUES)	158.6119773	0.0003705	3.0050685
Raíz vertical	(ANTES)	184.5972646	0.0004409	3.4367718
	(DESPUES)	188.2970494	0.0005156	3.3414075
Raíz lateral	(ANTES)	85.7078507	0.0002541	3.8235855
	(DESPUES)	82.4457029	0.0001332	4.1950474

TABLA 4B. ERRORES ESTANDAR DE ESTIMACION (E.E.E) DE LAS CONSTANTES ANTES Y DESPUES DE HOMOGENIZAR LAS VARIANZAS.

Variable	Etapa	E.E.E		
		a	b	c
Peso seco Raíz	Antes	3.06063	0.04593	130.92447
	Después	3.28939	0.02598	65.32196
Volumen raíz	Antes	14.15486	0.00018	0.28674
	Después	31.87318	0.00008	0.15314
Raíz vertical	Antes	6.95746	0.00022	0.24801
	Después	16.74393	0.00015	0.18114
Raíz lateral	Antes	3.05101	0.00016	0.32948
	Después	5.80938	0.00006	0.25701