

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

Departamento Silvicultura



EFECTO DEL MANEJO RADICULAR, FERTILIZACIÓN Y MANEJO DE
TALLO, EN LOS ATRIBUTOS MORFOLOGICOS Y FISIOLÓGICOS DE
PLANTAS DE *Eucalyptus globulus* Labill

POR

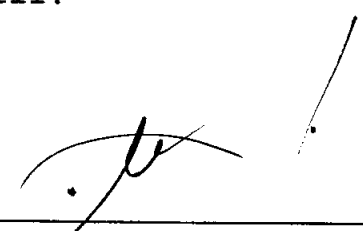
FERNANDO SEGUNDO BASCUÑÁN PINO

MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO
FORESTAL

CONCEPCIÓN – CHILE
1998

EFFECTO DEL MANEJO RADICULAR, FERTILIZACION Y MANEJO DE TALLO, EN LOS ATRIBUTOS MORFOLOGICOS Y FISIOLOGICOS DE PLANTAS DE Eucalyptus globulus Labill.

Profesor Asesor



Miguel Espinosa Bancalari
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal, Ph.D

Profesor Asesor



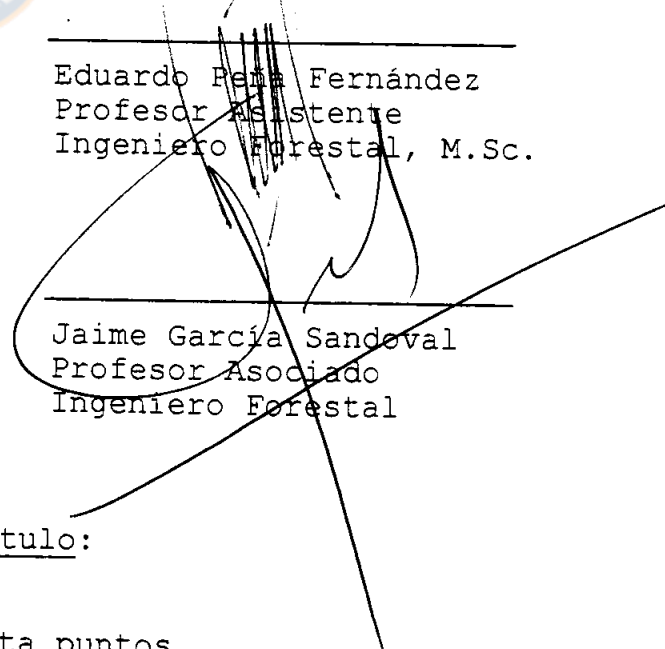
René Escobar Rodríguez
Profesor Asociado
Técnico Forestal

Director Departamento
Silvicultura



Eduardo Peña Fernández
Profesor Asistente
Ingeniero Forestal, M.Sc.

Decano Facultad de Ciencias
Forestales



Jaime García Sandoval
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal

Calificación de la memoria de título:

Miguel Espinosa Bancalari: noventa puntos

René Escobar Rodríguez : ochenta y ocho puntos



A MIS PADRES
A PAMELA CECILIA
A CAMILA FERNANDA
A VICENTE TOMAS

AGRADECIMIENTOS

A Dn. Miguel Espinosa y Dn René Escobar por su apoyo, confianza, colaboración y sobre todo paciencia para poder finalizar este trabajo.

A la Corporación Nacional Forestal por su apoyo y colaboración para poder finalizar definitiva y correctamente el proceso de titulación .

A la CONAF en Atacama, por su constante y sincero apoyo, colaboración y preocupación, en especial del Sr. Director Regional Dn. Héctor Correa Cepeda.

A todos y cada uno de los que a través de su esfuerzo, apoyo, comprensión y colaboración hicieron posible el desarrollo de este trabajo.



INDICE DE MATERIAS

I	INTRODUCCIÓN	1
II	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	2
	2.1 Origen y Distribución de los eucaliptos.....	2
	2.2 Los eucaliptos en Chile	2
	2.3 Producción de plantas de Eucalyptus globulus . ..	3
	2.3.1 Manejo Radicular	5
	2.3.1.1 Efecto sobre atributos morfológicos	7
	2.3.1.2 Efecto sobre atributos fisiológicos ...	13
	2.3.2 Fertilización	15
	2.3.2.1 Nitrógeno	19
	2.3.2.2 Fósforo	20
	2.3.2.3 Potasio	21
III	MATERIALES Y METODOS	22
	3.1 Antecedentes de la zona donde se realizó el estudio.....	22
	3.1.1 Ubicación	22
	3.1.2 Características climáticas y edáficas	22
	3.2 Descripción del Estudio	23
	3.2.1 Descripción del Ensayo en Vivero.....	23
	3.2.2 Diseño Experimental	25
	3.2.3 Tratamientos	26
	3.2.4 Descripción del ensayo en laboratorio.	28
	3.2.4.1 Medición de variables.....	28
	3.2.5 Análisis de regresión y correlación.....	31
	3.2.5.1 Elección de funciones.....	35

IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1	Análisis del comportamiento de variables morfológicas	38
4.1.1	Diámetro de tallo.	38
4.1.2	Altura	41
4.1.3	Peso Seco de Tallo	42
4.1.4	Peso Seco de Hojas	45
4.1.5	Peso Seco Raíz Principal	47
4.1.6	Peso Seco Raíces Secundarias	49
4.1.7	Peso seco raíces secundarias mayores a un milímetro	51
4.1.8	Peso seco de raíces secundarias menores a un milímetro	53
4.1.9	Peso seco parte aérea	54
4.1.10	Peso seco parte radicular.	56
4.1.11	Peso seco total (Biomasa).	58
4.1.12	Area Foliar	60
4.1.13	Superficie foliar específica	60
4.1.14	Razón Parte Aérea/Parte Radicular	61
4.2	Análisis del comportamiento de variables fisiológicas	63
4.2.1	Macronutrientes	63
4.2.1.1	Nitrógeno	63
4.2.1.2	Fósforo	66
4.2.1.3	Potasio	66
4.2.1.4	Calcio	67
4.2.2	Micronutrientes	67

4.2.2.1	Fierro	67
4.2.2.2	Manganeso	67
4.2.2.3	Zinc	68
4.2.2.4	Cobre	68
4.3	Análisis de Regresión	69
4.3.1	Variable: Peso Seco Aéreo	69
4.3.2	Variable: Peso Seco Tallo	69
4.3.3	Variable: Peso Seco de Raíces	70
4.3.4	Variable: Peso Seco Raíz Principal	70
4.3.5	Variable: Peso Seco Raíces Secundarias	71
4.3.6	Variable: Peso Seco Raíces Mayores a 1 milímetro	71
4.3.7	Variable: Peso Seco Raíces Menores a 1 milímetro.	72
4.3.8	Variable: Biomasa	72
4.3.9	Variable: Razón peso seco aéreo/radicular ...	73
V	CONCLUSIONES	74
VI	RESUMEN	77
VII	SUMMARY	79
VIII	LITERATURA CITADA	81
IX	APENDICES	86
APENDICE 1.	Formulario toma datos variables morfológicas.....	87
APENDICE 2.	Formulario datos de área foliar, peso seco hojas y sup. foliar específica...88	88

APENDICE 3.	Funciones que mejor predicen las variables morfológicas de difícil medición.....	89
APENDICE 3-A.	Funciones aplicadas a variable peso seco aéreo.....	90
APENDICE 3-B.	Funciones aplicadas a variable peso seco raíces secundarias.....	91
APENDICE 3-C.	Funciones aplicadas a variable peso seco tallo.....	92
APENDICE 3-D.	Funciones aplicadas a variable peso seco raíces.....	93
APENDICE 3-E.	Funciones aplicadas a variable peso seco raíz principal.....	94
APENDICE 3-F.	Funciones aplicadas a variable peso seco raíces mayores a un mm.....	95
APENDICE 3-G.	Funciones aplicadas a variable peso seco raíces menores a un mm.....	96
APENDICE 3-H.	Funciones aplicadas a variable biomasa.....	97
APENDICE 3-I.	Funciones aplicadas a variable razón peso seco aéreo peso seco radicular...	98

INDICE DE TABLAS

TABLA 1.	Características de los productos utilizados en el estudio.....	24
TABLA 2.	Tratamientos resultantes de la combinación de los factores de acondicionamiento en sus respectivos niveles.....	27
TABLA 3.	Valores promedio de variables morfológicas por factor de acondicionamiento, su análisis de varianza y las interacciones entre factores de acondicionamiento.....	39
TABLA 4.	Valores promedio de diámetro de tallo de la interacción manejo radicular y fertilización.....	40
TABLA 5.	Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo sobre el diámetro de tallo de plantas de <u>E. globulus</u>	41
TABLA 6.	Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización sobre la altura de las plantas de <u>E. globulus</u>	42
TABLA 7.	Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo en la altura de las plantas de <u>E. globulus</u>	42
TABLA 8.	Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización en el peso seco de tallo promedio de plantas de <u>E. globulus</u>	44
TABLA 9.	Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo en el peso seco de tallo promedio de plantas de <u>E. globulus</u>	44
TABLA 10.	Relación peso seco hojas/número de hojas de plantas de <u>E.globulus</u> , para el factor Manejo de Tallo	46
TABLA 11.	Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización en el peso seco de las hojas promedio de plantas de <u>E. globulus</u>	46

TABLA 12.	Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo en el peso seco de las hojas promedio de plantas de <u>E. globulus</u>	47
TABLA 13.	Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización en el peso seco de la raíz principal promedio de plantas de <u>E. globulus</u>	48
TABLA 14.	Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo en el peso seco de la raíz principal promedio de plantas de <u>E. globulus</u>	49
TABLA 15.	Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización en el peso seco promedio de las raíces secundarias de plantas de <u>E. globulus</u>	50
TABLA 16.	Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo en el peso seco promedio de las raíces secundarias de plantas de <u>E. globulus</u>	51
TABLA 17.	Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización en el peso seco promedio de las raíces secundarias mayores a un milímetro de plantas de <u>E. globulus</u>	52
TABLA 18.	Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo en el peso seco promedio de las raíces secundarias mayores a un milímetro.....	53
TABLA 19.	Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización en el peso seco promedio de las raíces secundarias menores a un milímetro de plantas de <u>E. globulus</u>	54
TABLA 20.	Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo en el peso seco promedio de las raíces secundarias menores a un milímetro de plantas de <u>E. globulus</u>	54
TABLA 21.	Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización en el peso seco promedio de la parte aérea de plantas de <u>E. globulus</u>	56
TABLA 22.	Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo en el peso seco promedio de la parte aérea de plantas de <u>E. globulus</u>	56

TABLA 23.	Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización en el peso seco promedio de la parte radicular de plantas de <u>E. globulus</u>	57
TABLA 24.	Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo en el peso seco promedio de la parte radicular de plantas de <u>E. globulus</u>	58
TABLA 25.	Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización en el peso seco promedio total de plantas de <u>E. globulus</u>	59
TABLA 26.	Efecto de la interacción fertilización-manejo de tallo en el peso seco promedio total de plantas de <u>E. globulus</u>	59
TABLA 27.	Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización en el área foliar promedio de plantas de <u>E. globulus</u>	60
TABLA 28.	Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización en la relación parte aérea/parte radicular de plantas de <u>E. globulus</u>	62
TABLA 29.	Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo en la relación parte aérea/parte radicular de plantas de <u>E. globulus</u>	63
TABLA 30.	Efecto de la interacción fertilización-manejo de tallo en la relación parte aérea/parte radicular de plantas de <u>E. globulus</u>	63
TABLA 31.	Valores promedio de variables fisiológicas por factor de acondicionamiento, su análisis de varianza e interacciones entre factores	64
TABLA 32.	Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo en la concentración de nitrógeno en hojas de plantas de <u>E. globulus</u> ...	65
TABLA 33.	Efecto de la interacción fertilización-manejo de tallo en la concentración de nitrógeno en hojas de plantas de <u>E. globulus</u>	65

TABLA 34. Efecto de la interacción manejo radicular-
manejo de tallo en la concentración de
potasio en hojas de plantas de E. globulus 66



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Asignación de los tratamientos dentro de cada
platabanda, para las cuatro repeticiones 28



I.- INTRODUCCIÓN

La producción de plantas considera la aplicación de técnicas de manejo en vivero, las cuales influyen en los atributos morfológicos y fisiológicos de ellas. El esquema de manejo aplicado tiene por objeto producir plantas con atributos específicos para sitios específicos.

En el proceso de producción, las distintas especies responden de manera diferente a las prácticas de manejo. Eucalyptus globulus es una especie que exige especial atención en ello.

El presente estudio, analiza la respuesta de plantas de Eucalyptus globulus, sometidas a diferentes esquemas de acondicionamiento en vivero, a través del manejo radicular, fertilización y manejo del tallo. Se analiza el efecto individual e interacción de estos factores en los atributos morfológicos y fisiológicos de las plantas.

También el estudio evaluó el grado de asociación existente entre variables de fácil medición, como son el diámetro de tallo, la altura y la razón altura/diámetro, con variables de difícil medición, tales como el peso seco de raíces, tallo, follaje, biomasa, etc. Se determinan funciones a través de la aplicación de varios modelos de regresión y su respectiva validación.

II REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Origen y Distribución de los eucaliptos.

Las especies de este género se desarrollan en una amplia y variada gama de ambientes. En su origen se ubican entre la parte norte de Australia, que se caracteriza por presentar climas tropicales y subtropicales, hasta la parte sur de la isla de Tasmania, que presenta climas templados fríos (Barros, 1989a).

A mediados del siglo XVIII, comienza a emigrar hacia otras zonas dentro de Europa pero, sólo en el siglo XIX son introducidos masivamente en los arboretos europeos. En América son introducidos en el año 1865, utilizándose principalmente como árboles con propiedades medicinales y con fines ornamentales. Posteriormente son introducidos a Chile (Bernath, 1940).

2.2 Los eucaliptos en Chile.

La llegada de especies del género *Eucalyptus* a Chile se estima en el año 1865 (Bernath, 1940), existiendo actualmente alrededor de 400.000 ha (INFOR-CORFO, 1996), siendo *Eucalyptus globulus* y *E. nitens* las principales especies. En principio, su explotación se destinaba a la producción de postes para la minería y para el consumo como leña (FAO, 1956).

En el último decenio, se ha apreciado un gran interés por la forestación o reforestación con especies del género *Eucalyptus*. Entre el año 1865 y 1987, sólo existían

alrededor de 64 mil hectáreas plantadas con especies de este género, y ya en el año 1996, las cifras de superficie superaban las 400 mil hectáreas (INFOR-CORFO, 1996).

2.3 Producción de plantas de *Eucalyptus globulus*.

Existen diferentes técnicas para producir plantas. La selección depende principalmente de factores físicos, ambientales y del tipo de especie que se quiera producir. Las técnicas se resumen en producción de plantas a raíz desnuda o a raíz cubierta (contenedores) (Barros, 1989b; Escobar y Sánchez, 1992).

La calidad de las plantas influye fuertemente en el establecimiento de las especies, debiéndose analizar las condiciones físicas y ambientales del lugar a forestar. La producción de plantas para determinados lugares debe considerar aspectos de acondicionamiento o manejo de ellas durante el período en que éstas se encuentran en el vivero. Las labores de manejo o acondicionamiento se realizan sobre atributos morfológicos y fisiológicos de las plantas, las cuales darán características distintas a las plantas de acuerdo al manejo que se les aplique, cambiando su morfología y su vigor fisiológico (Cleary et al., 1978; Escobar y González, 1987).

Tradicionalmente, las prácticas utilizadas en vivero, para regular aspectos morfológicos y fisiológicos de crecimiento, incluyen, entre otras, la poda de raíces (podas y descalces), fertilización y manejo de tallo (Cleary et al., 1978; Hennessey y Dougherty, 1984).

La aplicación correcta de las técnicas de acondicionamiento permitirán dar las características finales necesarias para obtener un buen desarrollo y comportamiento de las plantas en el lugar donde serán establecidas (Escobar y Espinosa, 1987; Sánchez, 1987; Urrutia, 1992). La alteración de la planta al ser manejada, no sólo afecta su morfología, sino también su fisiología. El objetivo del proceso es adecuarla a necesidades que se presenten en el lugar donde serán plantadas (Escobar y González, 1987; Gleason et al., 1990).

Las labores de acondicionamiento no deben ser analizadas en forma individual, puesto que la acción que puedan ejercer cada una de ellas sobre la planta dependerá de la interacción de los factores de acondicionamiento. Este grupo de factores dará ciertas características morfológicas o fisiológicas a las plantas (Escobar y Espinosa, 1987).

En el interior de cada planta, permanentemente, se producen una serie de procesos fisiológicos de modo simultáneo. El nivel normal de cada uno de ellos estará influido por el estado de desarrollo de la planta y por las condiciones físicas y ambientales inmediatas a las que la planta está expuesta. La alteración de su morfología o de alguna condición ambiental o física del sustrato, provocará una respuesta fisiológica distinta a las normales, simulando una adaptación a condiciones de terreno (Daniel et al., 1982).

2.3.1 Manejo radicular

El sistema radicular es el sostén mecánico que soporta la estructura de las plantas y además, es esencial para la absorción de agua y nutrientes desde el suelo (Daniel et al., 1982; Lavender, 1984).

El hábito natural de una planta, al enraizar, es producir una raíz principal larga y gruesa y un sistema radicular secundario pobremente desarrollado, lo que origina una planta desequilibrada que compromete su supervivencia y crecimiento inicial al ser transplantada (Rook, 1971; FAO, 1981; Escobar y Sánchez, 1992).

El sistema radicular de las plantas responde siempre a las variaciones ambientales que se provoquen. Su forma de respuesta es a través de una alteración de crecimiento, forma y fisiología, pero es claro que los meristemas apicales de raíces continúan creciendo y formando nuevos tejidos (Sutton, 1969, citado por Lavender, 1984; Sutton, 1980). Esto indica que la aplicación de alguna acción sobre el sistema radicular permite alterar su forma y distribución en el sustrato, otorgando un mayor equilibrio a las plantas (Cleary et al., 1978; Sánchez, 1987; Escobar y Sánchez, 1992).

En el caso de especies del género *Eucalyptus*, el manejo radicular permite modificar la morfogénesis de las raíces, aumentando su fibrosidad, disminuyendo la desproporción que se presenta entre su parte aérea y radicular. Los resultados que se obtienen de la manipulación de raíces,

determinan que esta labor sea necesaria para la producción de eucaliptos (Sánchez, 1987).

El manejo radicular, en plantas que se producen a raíz desnuda, comprende poda de la raíz principal y secundarias en la época de mayor crecimiento y descalces que desprenden las raíces finas de las plantas sin removerlas desde el suelo (Duryea, 1984; Hobbs et al., 1986; Sánchez, 1987; Escobar y Sánchez, 1992).

El proceso de descalce de las plantas produce un fenómeno de aireación en el suelo que, en conjunto con las podas, logra estimular la formación de nuevas raíces y raicillas (Rook, 1971; Van Dorsser y Rook, 1972; Benson y Shepherd, 1977; Stupendick y Shepherd, 1980; Sánchez, 1987; Escobar y Sánchez, 1992). El efecto producido por el descalce obedece a que la formación de nuevos tejidos (raíces) se ve favorecido cuando existe, entre otras cosas, una adecuada cantidad de oxígeno disponible en el suelo. El grado de aireación que posea el suelo es importante, debido a que las raíces comienzan a respirar anaeróbicamente a medida que disminuye la concentración de oxígeno en el suelo, lo que da como resultado una disminución o suspensión del crecimiento radicular (Cleary et al, 1978; Daniel et al., 1982; Struve, 1990).

La formación de nuevas raíces y raicillas, es la que determina la fibrosidad del sistema radicular secundario. La producción de ellas es importante porque presentan una alta eficiencia en la absorción de agua y nutrientes desde el suelo (Daniel et al., 1982; Escobar, 1987).

La proliferación de raíces obedece a cambios fisiológicos dentro de la planta. Las plantas podadas y descalzadas presentan un aumento en la concentración de ácido indolacético y disminuyen las cantidades de ácido abscísico; desde la parte aérea se desplazan auxinas de crecimiento, específicamente desde el ápice caular a las raíces, y el follaje aporta nitrógeno y fósforo, los cuales son vitales para la formación de nuevos tejidos (Escobar y Sánchez, 1992).

La alteración del sistema radicular provoca un estrés hídrico por algunos días. Para evitar la pérdida excesiva de agua de la planta, ésta cierra parte de sus estomas, provocando, a la vez, una disminución de las tasas de fotosíntesis. La merma que se produce en la producción de carbohidratos, se traduce en una disminución de la traslocación hacia los centros de crecimiento de la planta. Para Pinus radiata, este período se extiende entre 8 y 12 días. La recuperación de la capacidad fotosintética, en las plantas podadas y descalzadas, permite que se trasloque gran cantidad de carbohidratos útiles para la formación de nuevos tejidos. Esto permite que las plantas mejoren la capacidad de supervivencia y desarrollo posterior en terreno (Rook, 1971; Stupendick y Shepherd, 1980).

2.3.1.1 Efecto sobre atributos morfológicos

a) Parte aérea de las plantas.

El manejo radicular (podas y descalces), genera una disminución significativa de la parte aérea de las plantas (Rook, 1971; Van Dorsser y Rook, 1972; Escobar, 1985; Sánchez, 1987).

El primer aspecto a señalar, es el crecimiento en altura. Los procesos fisiológicos que ocurren al podar y descalzar las plantas, originan una disminución o detención del crecimiento de esta variable (Rook, 1971; Van Dorsser y Rook, 1972; FAO, 1981; Duryea, 1984; Hobbs et al., 1986; Sánchez, 1987).

La respuesta que experimenta el crecimiento en altura, puede estar sujeta a una alteración en el balance hormonal de las plantas lo cual, unido a otros procesos fisiológicos tales como disminución de la fotosíntesis, traslocación y otros, resulta en una disminución o restricción del crecimiento en la parte aérea. Principalmente, la altura de las plantas se ve fuertemente afectada (Chavase, 1979, citado por Barros, 1989b).

Rook (1971), encontró que en plantas de pino radiata, después de un mes de iniciado el proceso de podas y descalces, cerca del 30% de los carbohidratos asimilables empezó a ser traslocado a las raíces comparado con menos del 10% en plantas no tratadas. El incremento de carbohidrato estimuló el crecimiento de nuevas raíces y raicillas, reduciendo significativamente el crecimiento en altura.

Sánchez (1987), trabajando con plantas de Eucalyptus globulus, determinó que no solamente se reduce significativamente el crecimiento en altura, sino que además se ve afectado negativamente el crecimiento en diámetro.

La realización del manejo radicular se encuentra ligado, fuertemente, a la época y periodicidad con que se realicen. Si la poda y el descalce se realizan muy temprano en la época de crecimiento, las plantas no llegarán al tamaño deseado, debido a que el desarrollo del tallo se reduce severamente después de cortar el ápice radicular (Duryea, 1984; Sánchez, 1987)

Las podas subterráneas y los descalces aplicados a fines del verano, no son efectivos, debido a que los rangos fotosintéticos en las plantas bajan considerablemente en esa época, disminuyendo las cantidades de carbohidratos que son trasladados a las raíces para su crecimiento (Sánchez, 1987).

La manipulación del sistema radicular, en E. globulus, realizada a inicios del período de crecimiento reduce principalmente el desarrollo de la parte aérea de la planta. Intervenciones más tardías producen menos alteraciones del crecimiento en diámetro (Sánchez, 1987). Sin embargo, Bunn y Van Dorsser (1969), indican que la aplicación de podas y descalces debe iniciarse temprano en la época de crecimiento, teniendo cuidado en la profundidad a la cual se aplique las posteriores labores de acondicionamiento radicular.

Las técnicas empleadas en el manejo de raíces alteran, a su vez, la razón altura/diámetro. Esta relación disminuye debido a que se produce una reducción mayor en el crecimiento en altura y el diámetro se ve afectado en menor proporción que esta última al final del período de

estudio (Rook, 1971; Van Dorsser y Rook, 1972; Benson y Shepherd, 1977; Stupendick y Shepherd, 1980; Hobbs et al., 1986).

Sin embargo, Cleary et al. (1978), determinaron, en pino oregón, que las labores de manejo radicular no sólo disminuyeron significativamente la altura de las plantas, sino que el diámetro se vio reducido fuertemente, por lo que la razón altura/diámetro no se vio afectada.

Sánchez (1987), señala que en plantas de E. globulus, todos los esquemas que incluyen poda de raíces y descalces producen plantas con menor relación altura/diámetro. Ello se debe básicamente al efecto positivo que tiene el menor crecimiento en altura experimentado por las plantas.

Otros aspectos morfológicos de la parte aérea de las se ven también afectados negativamente. El peso seco de tallo es menor en plantas podadas y descalzadas producto de la disminución marcada del crecimiento en altura; el peso seco aéreo total (hojas, ramas, tallo) es significativamente menor que en aquellas no tratadas (Rook, 1971; Van Dorsser y Rook, 1972).

En latifoliadas, el manejo de raíces provoca una disminución en la producción de hojas nuevas (FAO, 1981) y ellas son de menor tamaño, disminuyendo el área proyectada por hoja. El número de ramillas laterales se ve incrementado (Daniel et al., 1982; Escobar y Sánchez, 1992).

b) Parte radicular de la planta.

La descripción morfológica detallada de un sistema radicular es una "formidable" idea para establecer patrones de comparación entre especies y, más aún, si se busca diferenciar esquemas de manejo (Russel, 1977, citado por Sutton, 1980).

El desarrollo de un sistema radicular está afectado, entre otros, por temperatura, oxígeno y fertilidad del suelo. La presencia en niveles adecuados de cada uno permitirá un mejor desarrollo de las raíces (Daniel et al., 1982).

Las labores aplicadas sobre las raíces, permiten que las variables de la zona radicular sean optimizadas, logrando que exista una diferencia entre plantas con y sin manejo radicular. La diferencia radica en la forma y configuración espacial de las raíces en el suelo (Rook, 1971; Escobar, 1985).

En general, las plantas manejadas con podas y descalces de raíces presentan un sistema radicular poco desarrollado y denso. El menor desarrollo se debe a la acción que se ha ejercido sobre la raíz principal y denso porque se ha favorecido la formación de nuevas raíces y raicillas. Las plantas no acondicionadas generan una raíz principal gruesa y poco desarrollo de raíces laterales (Benson y Shepherd, 1977; Hunt, 1980; Donald, 1976, 1986, citado por Barros, 1989b).

Rook (1971) y Benson y Shepherd (1977), señalan que en pino radiata, la manipulación del sistema radicular mediante

podas y descalces no altera la biomasa de las raíces. Su estructura cambia y el sistema radicular secundario es más pesado.

Sánchez (1987), determinó que el sistema radicular de plantas de E. globulus presentó un peso seco similar para plantas tratadas y no tratadas pero, su sistema radicular presentó diferente forma y composición y el sistema radicular secundario fue más pesado.

Sin embargo, Tanaka (1976), citado por Hobbs et al. (1986), reportó que en plantas de pino oregón, el peso seco total de raíces incrementó significativamente al ser sometidas a un esquema de manejo de raíces.

La razón parte aérea:parte radicular, en base peso seco, tiende a disminuir con la manipulación de las raíces (Tanaka, 1976, citado por Hobbs et al. (1986). Sánchez (1987), al señalar que las labores culturales tienden a disminuir la marcada diferencia que presenta E. globulus entre su parte aérea y radicular, confirma lo expuesto por Tanaka (1976), debido a que la relación disminuye por presentarse una disminución significativa del crecimiento de la parte aérea y el sistema radicular no presenta efectos muy significativos.

Rook (1971), en pino radiata, encontró que la relación parte aérea/parte radicular mostró los efectos más sorprendentes entre plantas descalzadas y no descalzadas. Las plantas descalzadas presentan una relación significativamente menor que aquellas no descalzadas,

indicando que existió una marcada disminución del crecimiento del tallo (altura, producción de hojas, producción de materia seca).

La razón que se obtiene, en base peso seco, entre la parte aérea y la radicular es utilizada comúnmente en fisiología y algunos estudios de ecología como un índice de patrón de crecimiento, enfocando la atención a las diferencias en el patrón entre especies o dentro de ellas, analizando distintos factores de acondicionamiento que permitan lograr un equilibrio entre la parte aérea y la radicular (Shepherd y Sa-ardavut, 1984).

Estos autores señalan que el valor de la razón parte aérea/parte radicular varía a medida que la planta crece debido a una diferencia entre la tasa de crecimiento del tallo y la raíz. Si la planta es analizada sin ningún tipo de alteración, su comportamiento es similar a través del tiempo (no varía significativamente), provocando un desbalance entre la parte aérea y la radicular. Debido a todos los procesos fisiológicos que ocurren cuando se poda y descalza las raíces, se tiende a mejorar esta relación permitiendo que exista mayor equilibrio, en base peso seco, entre la parte aérea y la radicular.

2.3.1.2 Efecto sobre atributos fisiológicos

La fisiología de crecimiento de una planta varía cuando existe alteración del sistema radicular. Se produce una alteración en procesos fisiológicos, tales como la fotosíntesis, la cual se reduce por un lapso corto de tiempo; en traslocación de elementos y carbohidratos, los

cuales en general son entregados en mayor proporción al sistema radicular, para lograr mayor crecimiento en desmedro de la entrega a la zona aérea, la que disminuye notablemente su crecimiento en altura, producción de hojas y producción de materia seca (Rook, 1971; Stupendick y Shepherd, 1988).

En vivero, después que las plantas logran su máxima tasa de incremento en altura, tienden a bajar los niveles de los elementos minerales presentes en el follaje (Escobar y Sánchez, 1992).

En las plantas, en general, el manejo radicular causa una disminución de los contenidos de N, P, K y aumenta los niveles de Ca y Mg (Escobar y Sánchez, 1992).

Estudios realizados en E. nitens, indican que las plantas sometidas a manejo radicular, ven afectado negativamente los contenidos de N, P, Ca, K y Mg, en el follaje (Escobar y Espinosa, 1987). Además, la manipulación del sistema radicular en plantas de E. globulus mostró una baja en los niveles de N, P y K, aunque sin afectar los contenidos de Ca y Mg (Sánchez, 1987).

Las hojas de plantas en sus primeros estados de desarrollo presentan mayores porcentajes de elementos respecto del tallo y las raíces. Esto se debe a que poseen el centro de la más dinámica actividad fisiológica. La aplicación de técnicas que tiendan a cambiar la forma del sistema radicular, tendrá un efecto sobre la actividad que exista en las hojas, en los primeros estados de desarrollo. Las

concentraciones de elementos se equilibran con el pasar del tiempo dándole un endurecimiento al tallo y un buen nivel de nutrientes al sistema radicular para crecer (Marzo y Delanuza, 1970, citados por Sánchez, 1991).

2.3.2.- Fertilización

La nutrición de plantas se entiende como la provisión de nutrientes y su absorción y distribución interna, cubriendo los aspectos necesarios para el normal crecimiento y metabolismo de ellas (Daniel et al., 1982; Mengel y Kirby, 1982, citados por González, 1985).

La fertilización como aplicación de elementos requeridos por las plantas, representa el lado práctico de la nutrición (Mengel y Kirby, 1982, citados por González, 1985).

Los elementos minerales que son incorporados al suelo pasan a formar parte de sustancias sintetizadas que hacen posible las transformaciones orgánicas complejas dentro de las plantas (Marzo y Delanuza, 1970, citados por Sánchez, 1991). La nutrición es la base para que se inicien procesos tales como absorción, transporte, utilización y transporte de elementos nutritivos (López y Chueca, 1985, citados por Sánchez, 1991).

La forma química de los nutrientes influye en su reacción en el suelo y subsecuentemente la respuesta en crecimiento de la planta. La forma de un nutriente puede influir en la utilización de otros y, al final puede determinar la

cantidad y distribución de productos metabólicos (Fisher y Mexal, 1984).

Las cantidades de nutrientes varían considerablemente entre especies pero, en general, las especies latifoliadas son más exigentes que las especies coníferas, en la cantidad de elementos minerales que deben encontrarse presentes en el sustrato (Baule y Fricker, 1970, citados por Cornejo, 1982).

La fertilización busca, de una u otra forma, incrementar las cualidades físicas y mejorar las condiciones nutritivas de las plantas (Jacob, 1961; Knight, 1978; Hallet, 1984).

Además, el aporte nutritivo es importante debido a que la producción de plantas a raíz desnuda es un cultivo fuertemente extractante de los elementos minerales presentes en el suelo (Escobar y Sánchez, 1992). La fertilización es requerida, si el suelo está siendo utilizado anualmente en el cultivo de plantas (Barros, 1989b).

Hoy en día, la regulación de suministros balanceados es uno de los manejos más importantes de la etapa de vivero de las plántulas (Aldhous, 1972, citado por Knight, 1978; Sutton, 1990).

El aporte de nutrientes al sustrato, debe ser realizado en forma correcta, para lograr producir un mejoramiento de la fertilidad del suelo (Jacob, 1961). Las evidencias señalan que las diferencias en fertilidad en los suelos puede

causar grandes diferencias en la asimilación de las raíces (Landsberg y Mc Murtrie, 1985, citados por Sutton, 1990). Los contenidos minerales orgánicos que están contenidos en las plantas, se incorporan desde el suelo a través del sistema radicular (Devlin, 1980, citado por Sánchez, 1991).

La fertilización incorpora elementos minerales al suelo asimilables en forma rápida y fácil por las plantas. En algunas ocasiones, estos elementos se encuentran en el sustrato pero, debido a su forma química, no pueden ser asimilados por las plántulas (Knight, 1978).

El contenido de nutrientes en el suelo, condiciona la absorción de las plantas, además, el exceso de uno de ellos, puede impedir la absorción de otro, aunque este exista en cantidades adecuadas (Bara, 1986, citado por Sánchez, 1991).

En aspectos morfológicos de las plantas, la fertilización es beneficiosa, ya que estimula el desarrollo de nuevas raíces, además de que la planta ocupa en un período de tiempo menor el sustrato, aprovechando de forma más eficiente el agua y los nutrientes (Daniel et al., 1982).

El beneficio que aporta la adición de elementos minerales, indica que todo proceso de manejo radicular necesita incorporaciones de nutrientes al sustrato. Estas deben ser oportunas y en cantidades adecuadas (Barros, 1989b).

Las prácticas culturales aplicadas en vivero, siempre influyen en las concentraciones de nutrientes en las

plantas (Duryea y Mc Clain, 1984; Mc Clain y Armson, 1976, Van den Driesshe, 1980, 1983, citados por Duryea y Omi, 1987). El contenido de elementos minerales varía según la especie que se cultive; en general, las latifoliadas requieren de mayores contenidos en el follaje para lograr buenos comportamientos (Escobar y Sánchez, 1992). La influencia fisiológica de las prácticas culturales, en algunas ocasiones no se refleja en los aspectos morfológicos de las plantas (Long y Wakeley, 1954, citados por Knight, 1978).

Es importante hacer coincidir los esquemas culturales con la época de crecimiento de las plantas, ya que, independiente del sistema de producción, los requerimientos nutricionales de las plantas varían con la etapa de desarrollo en que se encuentren. Para el caso de los nutrientes, por ejemplo, muchas veces éstos quedan inmovilizados en la parte aérea (Knight, 1978; Escobar y Sánchez, 1992).

Las prácticas de fertilización, en vivero, apuntan a la utilización de tres elementos minerales, los cuales son incorporados al suelo en distintas formas. Estos elementos son nitrógeno, fósforo y potasio (Tisdale y Nelson, 1975; Barros, 1989b). También calcio y magnesio y en algunos casos cobre y fierro (Escobar y Sánchez, 1992).

Se reconocen 16 elementos esenciales para el desarrollo de las plantas, los que se agrupan en macro y micronutrientes, de acuerdo a la cantidad que se requiere de ellos (Thompson, 1966, citado por Cornejo, 1982).

Los elementos utilizados como base para fertilizar son nitrógeno, fósforo y potasio. Se agrupan dentro de los macroelementos y se subagrupan en los elementos primarios. Siendo denominados también, elementos nutritivos mayores (Tisdale y Nelson, 1975; Bara, 1986).

2.3.2.1 Nitrógeno

Este elemento contribuye a la formación de casi todos los tejidos. Se encuentra en aminoácidos, enzimas, vitaminas, ácidos nucleicos, protoplasma, clorofila; controlando los procesos metabólicos y el normal desarrollo de las plantas (Bonner y Galston, 1970; Tisdale y Nelson, 1975; Longeri, 1985).

La concentración de este elemento es mayor en los tejidos jóvenes, asociándose con el crecimiento vegetativo. La presencia de este elemento no puede verse restringida (Bonner y Galston, 1970; Tisdale y Nelson, 1975, Escobar y Sánchez, 1992).

La aplicación de nitrógeno debe ser en forma oportuna y adecuada. En eucaliptos, su aplicación en forma tardía prolonga el período de crecimiento, aumentando la susceptibilidad de las plantas al ataque de hongos. Las fertilizaciones con altos niveles provocan disminución de los contenidos de cobre (Escobar y Sánchez, 1992).

La ausencia de nitrógeno, ocasiona grandes trastornos a las plantas, por el papel que juega en lo que concierne a la fisiología del crecimiento (Bonner y Galston, 1970).

La fertilización con elementos nitrogenados altera, por lo general, aspectos morfológicos de las plantas (Sutton, 1990).

En vivero, el nitrógeno es aplicado para incrementar el tamaño de las plántulas, afectando en forma proporcionalmente mayor el peso de la parte aérea por sobre el de la raíz (Fisher y Mexal, 1984).

Van den Driesshe (1980), citado por Fisher y Mexal (1984), señala que al aumentar las cantidades de nutrientes nitrogenados, las plantas responden con una significativa reducción en la razón parte aérea:raíz, dando a entender que, bajo ciertas condiciones, la parte aérea de las plantas respondería en forma menor respecto al sistema radicular.

2.3.2.2 Fósforo

Este elemento es indicado como vital en los procesos de transferencia de energía (ATP, ADP), fundamentales para la vida y el crecimiento (Tisdale y Nelson, 1975).

Es constituyente de ácidos nucleicos y fosfolípidos. Se encuentra asociado a síntesis de proteínas, fotosíntesis, glicosis, metabolismo de grasas, oxidaciones biológicas, etcétera (Bonner y Galston, 1970).

Su concentración mayor la presenta en lugares de crecimiento rápido, siendo importante para el crecimiento radicular (Daniel et al., 1982). Al ser aplicado

conjuntamente con nitrógeno, las raíces proliferan extensivamente en el sustrato (Tisdale y Nelson, 1975).

Su concentración es requerida en cantidades más pequeñas que el nitrógeno y el potasio (Tisdale y Nelson, 1975).

2.3.2.3 Potasio

Elemento muy móvil dentro de la planta. Es traslocado a los tejidos jóvenes. No forma parte de componentes de la planta, pero es esencial en funciones fisiológicas como metabolismo del nitrógeno y síntesis de proteínas, metabolismo de carbohidratos, control y regulación de la actividad de algunos elementos, activador de enzimas y promotor del crecimiento meristemático (Tisdale y Nelson, 1975)

Otra función importante que cumple es la de actuar sobre el movimiento estomatal, lo cual permite mantener las relaciones de agua dentro de la planta (Daniel et al., 1982).

III MATERIALES Y MÉTODO

3.1 Antecedentes de la zona donde se realizó el estudio.

3.1.1 Ubicación.

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Semillas y en el Vivero Experimental de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción, Campus Chillán. Su ubicación geográfica es 36°37' latitud sur y 72°06' longitud oeste, a dos kilómetros del camino que une Chillán con la ciudad de Coihueco.

3.1.2 Características climáticas y edáficas.

La zona donde se realizó el estudio presenta un clima templado húmedo en transición a mediterráneo, con una precipitación media anual de 1.054,7 mm, presentando períodos secos de tres a cuatro meses y una temperatura media anual de 13°C. El suelo presenta una textura franco arcillosa correspondiente a la Serie de Suelos Diguillín. En el sistema de Clasificación por 7ª aproximación se encuentra dentro del orden Inceptisoles, sub orden Dystrandept vítrico. El material generador corresponde a depósitos cuaternarios fluvioglaciales de material tobífero (toba volcánica) y cenizas volcánicas. Son suelos de topografía plana, moderadamente profundos, de buen drenaje con una pendiente de 0 a 1,5%, muy suave. No presenta erosión aparente y su permeabilidad es moderada (Cruzat, 1979, citado por Urrutia, 1991).

3.2 Descripción del estudio.

El estudio se basó en un ensayo de vivero con plantas de E. globulus Labill. producidas a raíz desnuda, establecido en el Vivero Experimental de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción Campus Chillán, y en la posterior obtención y análisis de variables morfológicas y fisiológicas de las plantas, para determinar el efecto de distintos factores de acondicionamiento (manejo radicular, fertilización y manejo de tallo) sobre los atributos de las plantas.

Una vez obtenidos y analizados los valores de las variables morfológicas de las plantas, se utilizó cada valor para determinar funciones que permitiesen predecir variables de difícil medición a partir de variables de fácil medición, utilizando modelos de regresión simple, múltiple, logarítmica o exponencial y polinómicas.

3.2.1 Descripción del ensayo en vivero.

En el vivero, se aplicó tres factores de acondicionamiento: manejo radicular, fertilización y manejo de tallo. Cada uno de ellos tuvo dos niveles operacionales de trabajo.

Los factores y sus niveles fueron:

A.- FACTOR : **MANEJO RADICULAR**

- Sin manejo radicular (R0): no existió alteración del sistema radicular.
- Con manejo radicular (R1): existió aplicaciones periódicas de podas y descalces.

El manejo radicular se inició el día 14 de enero de 1992, utilizándose para ello, podas verticales, podas laterales y descalces.

B.- FACTOR FERTILIZACIÓN

Este factor, diferencia sus niveles en la prolongación de la aplicación de Nitrógeno al suelo; Potasio y Fósforo para ambos niveles es aplicado en forma similar.

- Fertilización Normal (F0): la aplicación de Nitrógeno se hizo hasta fines de febrero; Potasio y Fósforo se aplicaron hasta fines de marzo.

- Fertilización Prolongada (F1): la aplicación de Nitrógeno, Fósforo y Potasio se realizó hasta fines de marzo.

Las características de los productos para aplicar los distintos elementos, se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de los productos utilizados en el estudio.

Producto	Elemento	% Elemento
Urea	Nitrógeno	45 - 46
Superfosfato Triple	Fósforo	47
Sulfato de Potasa	Potasio	50

FUENTE: Escobar et al. (1991).

C.- FACTOR MANEJO DE TALLO

- Sin Manejo de Tallo (T0): no existió acción sobre el tallo y ramas laterales.

- Con Manejo de Tallo (T1): se aplicó una poda de tallo y eliminación de ramas laterales.

La aplicación de poda de tallo y eliminación de ramas laterales de las plantas, se inició en el momento en que las hojas que se encontraban más cercanas al suelo, comenzaron a cambiar de color, tornándose amarillentas. Esta labor se realizó entre el 18 y 19 de marzo de 1992.

3.2.2. Diseño Experimental

Se utilizó un diseño de Parcela Sub-dividida que contempló ocho tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento. Las sub-sub parcelas eran de dos metros lineales de platabanda.

La unidad experimental, en el laboratorio, fue un grupo de 10 plantas extraídas al azar del centro de cada subparcela.

La asignación de los distintos factores fue la siguiente:

- Parcela Principal: se estableció el factor manejo radicular.
 - R0 : Sin Manejo Radicular.
 - R1 : Con Manejo Radicular.
- Sub- parcelas : se asignó el factor fertilización.
 - F0 : Fertilización Normal.
 - F1 : Fertilización Prolongada.

- Sub-sub-parcelas : se empleó el factor manejo de tallo.

T0 : Sin Manejo de Tallo.

T1 : Con Manejo de Tallo.

La asignación de cada factor en el vivero, se realizó en forma aleatoria, asignando en primer término el factor de manejo radicular; luego el factor fertilización y por último el factor manejo de tallo. Esto se realizó en forma similar en las cuatro repeticiones.

3.2.3. Tratamientos.

Los tratamientos utilizados en el estudio corresponden a la combinación de los distintos factores en sus diferentes niveles. Esta combinación genera ocho tratamientos.

La combinación de los distintos niveles de acondicionamiento y su respectiva asignación de tratamiento se muestra en la Tabla 2.

Los tratamientos fueron establecidos en cuatro platabandas con orientación norte-sur. Su confección se realizó en forma manual antes de establecer el ensayo, quedando distribuidos en terreno de acuerdo a lo esquematizado en la Figura 1.

Tabla 2. Tratamientos resultantes de la combinación de los factores de acondicionamiento en sus respectivos niveles.

Tratamiento N°	A c o n d i c i o n a m i e n t o			Combinación Tratam.
	(a)	(b)	(c)	
1	1	0	1	R1 F0 T1
2	1	0	0	R1 F0 T0
3	1	1	1	R1 F1 T1
4	1	1	0	R1 F1 T0
5	0	0	1	R0 F0 T1
6	0	0	0	R0 F0 T0
7	0	1	1	R0 F1 T1
8	0	1	0	R0 F1 T0

(a): Manejo Radicular

(b): Fertilización

(c): Manejo de Tallo

T6	T6	T7	T5
T5	T5	T8	T6
T7	T8	T5	T7
T8	T7	T6	T8
T1	T2	T1	T1
T2	T1	T2	T2
T4	T4	T3	T3
T3	T3	T4	T4

Figura 1. Asignación de los tratamientos dentro de cada platabanda, para las cuatro repeticiones.

Las plantas que fueron utilizadas en el ensayo, se extrajeron en la primera quincena de octubre de 1992.

3.2.4. Descripción del ensayo en laboratorio.

3.2.4.1. Medición de variables.

Las variables morfológicas consideradas son:

- Diámetro de tallo (mm)
- Altura (cm)
- Peso seco tallo (g)
- Peso seco raíz principal (g)
- Peso seco raíces secundarias mayores a 1 mm (g)
- Peso seco raíces secundarias menores a 1 mm (g)
- Peso seco raíces secundarias (g)
- Peso seco aéreo (g)
- Peso seco radicular (g)

- Peso seco total (g)

En la primera quincena de octubre del año 1992, las plantas fueron extraídas. Se sacaron 10 de cada repetición (40 por tratamiento), dando un total de 320 plantas para la medición de sus respectivas variables morfológicas.

Las primeras variables medidas fueron altura y diámetro de tallo. La altura fue medida con una regla graduada con precisión 0,5 cm. El diámetro de tallo fue medido con un "pie de metro" con precisión 0,1 mm.

Luego de estas mediciones, las plantas fueron separadas en sus componentes (tallo, raíces, hojas, etc.) y se depositaron en bolsas de papel, previa identificación de la repetición, tratamiento y N° de planta que se tratara. Posteriormente se puso el material en un horno KOTTERMANN 2718, a 105°C durante 24 horas, para proceder a su secado.

Una vez cumplido el tiempo de secado se realizó el pesaje, mediante la utilización de una balanza PRECISA 900C-3000D con precisión 0,01 g, determinándose el peso seco de tallo, hojas, raíz principal, raíces secundarias mayores y menores a 1mm. La determinación del peso seco radicular, de raíces secundarias, aéreo y total se determinó mediante la sumatoria de las partes que componen cada una de ellas.

Cada uno de los valores obtenidos se anotaron en formularios confeccionados para esta etapa (Apéndice 1).

Las mediciones efectuadas sirvieron de base para la determinación de las razones: altura/diámetro y peso seco aéreo/ peso seco radicular.

Otras variables consideradas fueron el área foliar y la superficie foliar específica. Para su determinación se midieron ocho plantas por tratamiento, las cuales fueron extraídas al azar dentro de las repeticiones de los tratamientos.

El área foliar se determinó mediante la medición de la superficie de hojas verdes, utilizando un medidor de área foliar marca LI-COR LI-3100, con precisión de 0,01 cm².

Debido a que el medidor presentaba pequeñas variaciones en sus mediciones y con el fin de precisar aún más las mismas, se realizaron tres mediciones por planta. Cuando las variaciones eran mayores, estas mediciones se aumentaron a cinco. Posteriormente, se tomó el conjunto de hojas por planta y se depositó en bolsas de papel, las cuales fueron colocadas en el horno de secado a 105°C durante 24 horas, para obtener el peso seco de hojas.

El área foliar por planta y su respectiva superficie foliar específica se obtuvo mediante las siguientes relaciones (Urrutia, 1992):

$$\text{Área Foliar (cm}^2\text{)} = \text{Biomasa Hojas} * \frac{\text{Superficie hojas verdes}}{\text{Peso seco de hojas}}$$

$$\text{Sup. Foliar Específica} = \frac{\text{Superficie de hojas verdes}}{\text{Peso seco de hojas}}$$

(cm²/g)

Los valores obtenidos para estas dos variables fueron anotados en formularios que se describen en el Apéndice 2.

La medición de variables fisiológicas, consideró la realización de un análisis de tejido. Para ello se realizó un análisis foliar.

La obtención del material se hizo mediante la elección aleatoria de 10 plantas por cada tratamiento. Se les extrajo, en forma aleatoria, hojas de la parte superior, media e inferior de las plantas, depositándose en una bolsa plástica debidamente etiquetada.

Terminado este proceso, se envió el material a la Facultad de Agronomía, Área Suelos, de la Universidad de Concepción, Campus Chillán, para su análisis.

3.2.5.- Análisis de regresión y correlación

Se procedió a procesar los datos con el fin de obtener antecedentes de relación entre las distintas variables morfológicas analizadas.

El análisis consideró establecer funciones para la obtención de variables morfológicas de difícil medición a partir de variables de fácil medición.

De esta forma, las variables morfológicas consideradas como de fácil medición fueron:

- Diámetro de tallo (cm)
- Altura (cm)
- Razón Altura/Diámetro

Las variables consideradas como de difícil medición fueron:

- Peso seco aéreo (g)
- Peso seco raíces (g)
- Peso seco raíz principal (g)
- Peso seco raíces secundarias (g)
- Peso seco raíces secundarias menores a 1 milímetro (g)
- Peso seco raíces secundarias mayores a 1 milímetro (g)
- Biomasa (g)

Para el análisis de regresión, se consideró la utilización de cuatro modelos:

i) Regresión Lineal Simple

Modelo : $y = a + b \cdot x$

Donde:

y= variable dependiente (de difícil medición)

x= variable independiente (de fácil medición)

a= intersección con eje y, cuando $x=0$

b= coeficiente de la variable independiente

* En el estudio se consideró que las variables x:

a) x= altura

b) x= diámetro

c) x= razón altura/diámetro

ii) Regresión Logarítmica o Exponencial

Modelo : $e^y = a \cdot b^x \implies y = \ln a + b \cdot \ln x$

Donde:

y = variable dependiente (de difícil medición)

$\ln x$ = variable independiente (de difícil medición)

$\ln a$ = intercepto con eje y , cuando $x=0$

b = coeficiente de la variable independiente

* En el estudio se consideró que las variables independientes son:

a) $\ln x = \ln$ altura

b) $\ln x = \ln$ diámetro

c) $\ln x = \ln$ razón altura/diámetro



iii) Regresión Múltiple

En este caso se usaron dos tipos de modelos:

a.- $y = b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + C$

Donde:

x_1 = variable independiente, en el estudio se utilizó la variable altura.

x_2 = variable independiente, en el estudio se utilizó la variable diámetro.

x_3 = variable independiente, en el estudio se utilizó la variable razón altura/diámetro.

b_1, b_2, b_3 = coeficientes para cada variable independiente

c = constante

$$b.- y = b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + c$$

Donde:

$x_1, x_2 =$ variables independientes

* En el estudio se consideró las siguientes combinaciones:

- a) $x_1 =$ variable altura
 $x_2 =$ variable diámetro
- b) $x_1 =$ variable altura
 $x_2 =$ variable relación altura/diámetro
- c) $x_1 =$ variable diámetro
 $x_2 =$ variable razón altura/diámetro

iv) Regresión Polinomial

Las regresiones aplicadas variaron de acuerdo al grado del polinomio que se quiera ajustar.

Es así como, en el estudio se aplicaron los siguientes modelos:

$$a) y = b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2 + c$$

Donde:

$y =$ variable dependiente, de difícil medición

$x =$ variable independiente seleccionada

$x^2 =$ cuadrado de la variable independiente seleccionada

$b_1, b_2 =$ coeficientes de las variables utilizadas

$c =$ constante

$$b) \quad y = b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2 + b_3 \cdot x^3 + c$$

Donde:

y= variable independiente de difícil medición

x= variable independiente seleccionada

x^2 = cuadrado de la variable independiente seleccionada

x^3 = cubo de la variable independiente seleccionada

b_1, b_2, b_3 = coeficientes de las variables

c= constante

De esta forma, se aplicaron un total de 16 funciones para predecir las variables independientes (de difícil medición).

3.2.5.1 Elección de funciones

La elección de una o un grupo de funciones, que predeterminen una variable morfológica de difícil medición, debe cumplir con las siguientes hipótesis para su aceptación:

1) **Coeficiente de Correlación, lo más cercano a 1 o -1**

La regresión explica matemáticamente la forma o el tipo de relación existente entre las variables consideradas.

La correlación, en cambio, señala el grado de asociación existente entre las variables consideradas para el análisis, ya sea en forma individual (una sola variable independiente) o múltiple (dos o más variables independientes).

El análisis permite indicar, además, que si la interdependencia entre las variables es baja, también lo es su correlación y viceversa, esto es que si los puntos observados se apegan mucho a la forma de una función definida, entonces la correlación será alta, de lo contrario, no habrá correlación o será muy pequeña.

Con el objeto de evaluar el grado de correlación, se hizo uso del coeficiente de correlación, siendo este representado por su estimador (r).

El valor (r), puede tomar valores positivos o negativos, si las variables incrementan o decrecen, respectivamente, existiendo correlación máxima cuando $r = 1$ ó -1 , no existiendo correlación cuando $r = 0$ (Caballero, 1973).

2) Prueba de significancia de las funciones

Usando la técnica de análisis de varianza, suponiendo normalidad en los datos y varianza de ellos, se determinó qué tan significativa es la estimación de la variable morfológica dependiente (de difícil medición) a partir de las variables independientes (de fácil medición), para cada una de las funciones aplicadas.

La hipótesis planteada, es que la función obtenida para los datos entre las variables dependiente e independiente (s), es significativa, esto implica que el contraste de la función tiene una distribución muestral F .

De esta forma, si el F calculado de la Tabla de Análisis de Varianza, es mayor que el F crítico obtenido de los grados de libertad del error de la función y la reducción (ANDEVA), se puede señalar, con el nivel de significancia determinado, que la función es valedera para predecir los valores de la variable de difícil medición.

3) Prueba de significancia de los coeficientes de regresión. En la Prueba de significancia de los coeficientes, se contrasta que los valores de los coeficientes de regresión obtenidos para las funciones son distintos de cero. Es decir, son significativo para la función obtenida.

Es así como, para cada coeficiente de regresión se determina un valor de T, el cual es comparado con otro valor de T, obtenido de la tabla correspondiente con grados de libertad (N-2), para un nivel de significancia determinado.

La hipótesis a probar es que los valores de los coeficientes de regresión de la o las variables consideradas para el análisis, son iguales a cero.

De esta forma, la hipótesis se rechazó si el valor de T calculado es:

Menor que $T_{\alpha/2, (N-2)}$ ó Mayor que $T_{1-1/2 \alpha, (N-2)}$ (Dixon y Massey, 1965).

IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.- Análisis del comportamiento de variables morfológicas.

Los valores promedio obtenidos para cada variable morfológica, y por nivel de los factores, se presentan en la Tabla 3.

4.1.1.- Diámetro de Tallo.

Los valores de la Tabla 3 muestran que para la variable diámetro de tallo, el factor manejo radicular presenta diferencias altamente significativas. Las plantas con podas y descalces son un 29,05% más delgadas que las plantas sin manejo radicular.

Este resultado muestra que la ejecución de labores tendientes a modificar el sistema radicular, disminuye el diámetro de tallo de las plantas de E. globulus (Cleary et al., 1978; Hobbs et al., 1987; Sánchez, 1987).

Respecto del efecto del esquema de fertilización en la variable, los valores muestran que no la afecta.

El manejo de tallo presentó diferencias significativas. Las plantas con poda de ápice y eliminación de ramas laterales son un 21% más delgadas que las plantas sin manejo de tallo.

Los resultados muestran que el manejo aplicado sobre el tallo de las plantas provoca una pérdida de crecimiento en diámetro.

Tabla 3. Valores promedio de variables morfológicas por factor de acondicionamiento, su análisis de varianza y las interacciones entre factores.

Factores	Variables Morfológicas (a)													
	1 (mm)	2 (cm)	3 (g)	4 (g)	5 (g)	6 (g)	7 (g)	8 (g)	9 (g)	10 (g)	11 (g)	12 (m ²)	13 (cm ² /g)	14
Manejo Radicular														
R0	9,95	97,76	18,42	10,46	5,34	1,68	1,38	0,3	31,14	7,01	38,15	0,11	96,3	4,18
R1	7,71	61,59	6,83	4,69	2,44	1,47	0,75	0,72	12,18	3,91	16,06	0,07	119,76	3,08
Fertilización														
F0	8,98	78,89	13,44	8,22	4,33	1,64	1,14	0,49	23,47	5,97	29,42	0,1	108,19	3,5
F1	8,69	80,46	11,81	6,93	3,44	1,51	0,98	0,53	19,85	4,95	24,79	0,08	107,87	3,76
Manejo de Tallo														
T0	9,68	123,25	19,72	11,34	4,95	2,05	1,45	0,6	33,69	6,99	40,68	0,15	123,71	4,74
T1	7,99	36,1	5,53	3,81	2,83	1,11	0,68	0,43	9,63	3,93	13,54	0,03	92,35	2,51

Análisis de Varianza (b)

Manejo Radicular	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**	*	**	**
Fertilización	ns	ns	*	*	**	ns	*	ns	*	**	*	ns	ns	**
Manejo de Tallo	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Interacción														
A * B	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	ns	**
A * C	**	**	**	**	**	*	**	ns	**	**	**	*	ns	**
B * C	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	*

- (a)
- | | | | | | |
|---|---------------------|----|------------------------------|----|-----------------------------------|
| 1 | diámetro | 6 | Peso seco raic. secund. | 11 | Biomasa |
| 2 | altura | 7 | Peso seco raic. sec. > a 1mm | 12 | Area Foliar |
| 3 | Peso seco tallo | 8 | Peso seco raic. sec. < a 1mm | 13 | Sup. Foliar Especifica |
| 4 | Peso seco hojas | 9 | Peso seco parte aérea | 14 | Razón Parte aérea/Parte radicular |
| 5 | Peso seco raíz prin | 10 | Peso seco parte radicular | | |

- (b)
- | | | | |
|------|----------------------|---|------------------|
| (*) | significativo al 95% | A | Manejo Radicular |
| (**) | significativo al 99% | B | Fertilización |
| (ns) | no significativo | C | Manejo de tallo |

Duryea y Omi (1987), señalan que la poda de ápice y remoción de ramas laterales disminuye el área fotosintética, y las plantas utilizan energía (carbohidratos) en el cierre de las heridas, formando además nuevas yemas. Esto provocaría un desbalance fisiológico dentro de las plantas, afectando de esta forma el crecimiento en diámetro.

Los valores de la Tabla 4 muestran el efecto combinado de los factores manejo radicular y fertilización, sobre el diámetro de tallo de las plantas. Para el caso del manejo radicular, el diámetro de tallo disminuye si se aplican podas y descalces a las raíces. Los valores del factor fertilización muestran una disminución del diámetro de tallo si no se realiza manejo radicular. El diámetro aumenta, si conjuntamente al manejo radicular se aplica fertilización prolongada.

Tabla 4. Valores promedio de diámetro de tallo (mm) para la interacción manejo radicular y fertilización.

Factor	R0	R1
F0	10,84	7,12
F1	9,07	8,31

En la Tabla 5, se presenta el efecto de la combinación de manejo radicular y manejo de tallo sobre el diámetro de tallo de las plantas. Para ambos casos de manejo radicular, la aplicación de poda aérea y remoción de ramas laterales provoca una disminución en el diámetro de las plantas.

Tabla 5. Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo sobre el diámetro de tallo (mm) de plantas de E. globulus.

Factor	T0	T1
R0	11,36	8,55
R1	8,01	7,42

Los valores obtenidos en este estudio, son distintos a los determinados por Escobar et al. (1991), quienes trabajando con Eucalyptus nitens, Eucalyptus delegatensis y Eucalyptus regnans encontraron que las plantas con manejo de raíces y manejo de tallo presentaban un diámetro de tallo mayor. Esto indica que puede existir una diferencia de comportamiento ante la aplicación de esquemas de acondicionamiento similares, entre especies de un mismo género (Escobar y Espinosa, 1987).

4.1.2.- Altura

El análisis de varianza (Tabla 3), muestra que el factor manejo radicular y manejo de tallo son significativos a un nivel de 99%, no presentando diferencias el factor fertilización.

Las plantas sin manejo radicular logran en comparación con aquellas que fueron podadas y descalzadas, alturas medias superiores en un 57,8%.

Los valores de la Tabla 6 muestran el efecto de la interacción manejo radicular-fertilización, sobre la altura de las plantas. El manejo radicular afecta negativamente el crecimiento en altura. La prolongación del período de fertilización provoca un efecto positivo sobre las plantas que tienen acondicionamiento. El manejo radicular provoca

una disminución de la altura de las plantas, pero al asociarlo con fertilización prolongada, este efecto se ve menos acentuado.

Tabla 6. Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización en la altura (cm) de las plantas de E. globulus.

Factor	F0	F1
R0	99,95	95,57
R1	57,83	65,34

Los valores de la Tabla 7 muestran que el manejo radicular disminuye el crecimiento en altura de las plantas, pero esta disminución es mayor con la aplicación de manejo de tallo, siendo este el factor que más incide en la pérdida de crecimiento en altura de las plantas.

Tabla 7. Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo en la altura (cm) de las plantas de E. globulus.

Factor	T0	T1
R0	158,77	36,75
R1	87,73	35,44

Los resultados obtenidos son similares a los determinados por Escobar et al. (1991): las plantas con manejo radicular y manejo de tallo son de alturas menores que aquellas sin manejo de tallo.

4.1.3.- Peso Seco de Tallo

La Tabla 3, muestra que para la variable peso seco de tallo existen diferencias significativas al 99% en los factores

manejo radicular y manejo de tallo. El factor fertilización fue significativamente distinto a nivel de 95%.

El factor manejo radicular muestra que existe un efecto negativo del acondicionamiento sobre el peso seco del tallo. Las plantas con manejo radicular son un 169,7% más livianas que aquellas a las que no se les aplicó podas y descalces.

El factor fertilización muestra que el nivel de fertilización prolongada disminuye el peso seco del tallo, siendo éstas un 13,8% más livianas que aquellas con fertilización normal.

El aumento de las cantidades de nutrientes en el sustrato de las plantas de E. globulus, bajo ciertas condiciones a través del período de viverización, provoca que la producción de materia seca de la parte aérea responda negativamente. Esto indica que variables como peso seco de tallo se vean disminuidas al prolongar la aplicación de fertilizantes en el tiempo (Fisher y Mexal, 1984), específicamente la prolongación de aplicación de nitrógeno hasta fines de marzo, para el caso de este estudio.

La Tabla 8 muestran que la aplicación de manejo radicular, reduce el peso seco de tallo promedio de las plantas, para cualquier nivel de fertilización. Esta disminución es menor si se aplica conjuntamente con podas y descalces una fertilización prolongada.

Tabla 8. Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización en el peso seco del tallo (g) promedio de plantas de E. globulus.

Factor	F0	F1
R0	21,47	15,36
R1	5,41	8,26

Los resultados obtenidos concuerdan con lo expresado por Chavasse (1979), citado por Barros (1989b), quien señala que las técnicas de manejo radicular disminuyen la absorción de nutrientes a través del sistema radicular, reduciendo la producción de materia seca de la parte aérea. Este efecto se ve disminuido si conjuntamente se aplican fertilizaciones.

Los valores de la Tabla 9 muestran como la combinación de poda de raíces y descalces y poda de tallo y ramas laterales, provoca una disminución de crecimiento del tallo, como resultado de una disminución del crecimiento en altura por efecto de manejo de raíces y del tallo, siendo esta última característica la que produce una mayor disminución en el peso seco del tallo.

Tabla 9. Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo en el peso seco de tallo (g) promedio de plantas de E. globulus.

Factor	T0	T1
R0	29,67	7,17
R1	9,78	3,89

4.1.4.- Peso Seco de Hojas

La Tabla 3 muestra que existe diferencia altamente significativa para los factores manejo radicular y manejo de tallo y, a nivel del 95% para el factor fertilización.

Para el factor manejo radicular, el nivel sin manejo radicular fue superior en un 123% respecto del nivel con podas y descalces.

En el factor fertilización, las plantas con fertilización normal, tuvieron un peso seco de hojas superior en un 18,6% sobre el nivel fertilización prolongada.

Para el factor manejo de tallo, las plantas sin manejo de tallo mostraron un peso seco de hojas mayor en un 197,6% que el nivel con manejo de tallo.

La diferencia encontrada en el factor manejo de tallo, se debe principalmente a que las plantas con manejo de tallo presentan una altura y un número de hojas menor que las plantas sin manejo de tallo. De acuerdo a lo observado no existió una recuperación de las plantas podadas, no generando, hasta la fecha de evaluación un nuevo líder, mostrando solo hojas más coriáceas.

Respecto de las características que presentaban las hojas de las plantas con y sin manejo de tallo, se realizó un análisis del peso seco de hojas individual promedio, es decir, se dividió el peso seco promedio de las hojas por el número de hojas promedio que presentaban las plantas,

con lo cual se determinó el peso individual de cada hoja, en los niveles con y sin manejo de tallo.

Los valores de la Tabla 10 muestran que el nivel con manejo de tallo presenta una menor cantidad de hojas, pero cada una de ellas es más pesada que aquellas hojas del nivel sin manejo de tallo. Esta diferencia es de un 92%.

Tabla 10. Razón peso hojas-número hojas (g/hoja) de plantas de E. globulus, para el factor manejo de tallo

Nivel	N° Hojas Promedio	Peso Seco Hojas Promedio (g)	Relación Peso Hojas/N° Hojas (g/hoja)
Con manejo de tallo	16,39	3,81	0,23
Sin manejo de tallo	91,68	11,34	0,12

La Tabla 11 muestra que a medida que aumenta la intervención radicular, disminuye el peso seco de hojas para cualquier nivel de fertilización. El factor fertilización indica que a medida que las plantas son intervenidas en su masa radicular, la fertilización prolongada aumenta el peso seco de hojas.

Tabla 11. Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización en el peso seco de las hojas (g) promedio de plantas de E. globulus.

Factor	F0	F1
R0	12,30	8,62
R1	4,14	5,14

Los valores de la Tabla 12 muestran como a medida que se aplica manejo radicular, las plantas disminuyen su peso seco de hojas, para cualquier nivel de manejo de tallo. Para los niveles de manejo de tallo, las plantas que poseen mayor peso de hojas son las que no se intervinieron en la parte aérea.

Tabla 12. Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo en el peso seco de las hojas (g) promedio de plantas de E. globulus.

Factor	T0	T1
R0	16,27	4,65
R1	6,41	2,98

4.1.5.- Peso Seco Raíz Principal

La Tabla 3 muestra que los factores manejo radicular, fertilización y manejo de tallo presentan diferencias altamente significativas.

Las plantas sin manejo radicular, son un 188,85% más pesadas que aquellas con manejo radicular.

Este resultado concuerda con lo determinado por Escobar y Espinosa (1987), quienes trabajando con Eucalyptus nitens, encontraron que la aplicación de podas y descalces produce plantas con un peso seco de raíz principal, tres veces menor que aquellas con manejo radicular.

Para el factor fertilización, las plantas con fertilización normal fueron un 25,9% más pesadas que las con fertilización prolongada. Esto indica que la prolongación de aplicación de nitrógeno en el tiempo, provoca un efecto

negativo sobre la producción de materia seca de la raíz principal.

Las plantas sin manejo de tallo, muestran un peso seco de la raíz principal mayor en un 75%, respecto del nivel con manejo de tallo, lo que indica que la corta de tallo y eliminación de ramas laterales afecta negativamente el peso seco de la raíz principal.

La Tabla 13 muestra que la aplicación de podas y descalces disminuye el peso seco de la raíz principal, para cualquier nivel de fertilización, pero esta diferencia es más marcada sobre aquellas plantas que tuvieron aplicación de fertilizantes hasta fines de febrero. Las plantas podadas y descalzadas presentan un peso seco de la raíz principal mayor, cuando la aplicación de elementos nitrogenados se prolonga hasta fines de marzo.

Tabla 13. Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización en el peso seco de la raíz principal (g) de plantas de E. globulus.

Factor	F0	F1
R0	6,72	3,95
R1	1,95	2,93

El manejo radicular influye negativamente en el peso seco de la raíz principal, pero este efecto se ve atenuado si se prolonga la aplicación de fertilizantes hasta fines de marzo.

Los valores de la Tabla 14 muestran que la combinación de manejo radicular y el manejo de tallo acentúa la disminución del peso seco de la raíz principal.

Tabla 14. Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo en el peso seco de la raíz principal (g) promedio de plantas de E. globulus.

Factor	T0	T1
R0	7,14	3,53
R1	2,75	2,13

4.1.6.- Peso Seco Raíces Secundarias

La Tabla 3 muestra que el factor manejo radicular presentó diferencias significativas. El peso seco de raíces secundarias de las plantas sin manejo radicular fue superior en un 14,3% respecto del nivel con manejo radicular.

El comportamiento de la variable peso seco de raíces secundarias, en plantas de E. globulus, en este estudio, es distinto al determinado por Sánchez (1987), quien trabajando con la misma especie, encontró que el sistema radicular secundario era más pesado en plantas con acondicionamiento radicular

A su vez, el comportamiento de esta variable es similar al determinado por Escobar y Espinosa (1987), en plantas de Eucalyptus nitens, encontrándose que el acondicionamiento genera plantas con un sistema radicular secundario más liviano.

Los datos del total del sistema radicular secundario, esto es raíces mayores y menores a un milímetro, muestran que la aplicación de podas y descalces no benefician la proliferación de un sistema radicular secundario superior en términos de peso seco.

El factor fertilización no presentó diferencias significativas en base a peso seco de las raíces secundarias.

El análisis de varianza para el factor manejo de tallo, muestra la existencia de una diferencia altamente significativa. El sistema radicular secundario del nivel sin manejo de tallo es más pesado en un 84,7% respecto del nivel con manejo de tallo.

La Tabla 15, muestra que existe un efecto positivo en el peso seco de las raíces secundarias si se aplica manejo radicular y fertilización prolongada en forma conjunta.

Tabla 15. Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización en el peso seco promedio (g) de las raíces secundarias de plantas de E. globulus.

Factor	F0	F1
R0	1,99	1,37
R1	1,28	1,66

La Tabla 16 muestra el efecto del manejo de tallo interactuando con el manejo radicular sobre el peso seco de las raíces secundarias. La aplicación de prácticas culturales asociadas al tallo y la raíz respectivamente, afectan negativamente la producción de raíces secundarias.

Tabla 16. Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo en el peso seco promedio (g) de las raíces secundarias de plantas de E. globulus.

Factor	T0	T1
R0	2,30	1,07
R1	1,79	1,15

4.1.7.- Peso seco raíces secundarias mayores a un milímetro
El análisis de varianza (Tabla 3), muestra que existen diferencias altamente significativas entre los niveles del factor manejo radicular. El nivel sin manejo radicular fue superior en un 84% al nivel con manejo radicular.

Este resultado es diferente al determinado por Escobar y Espinosa (1987), quienes trabajando con E. nitens, no encontraron diferencias significativas en el peso seco de raíces mayores a un milímetro.

Respecto del factor fertilización, el análisis de varianza (Tabla 3) muestra que existen diferencias significativas entre los niveles del factor. El nivel fertilización normal fue superior en un 16,3% respecto del nivel fertilización prolongada.

El factor manejo de tallo, presentó diferencias altamente significativas entre sus niveles. El nivel sin manejo de tallo fue superior en un 113,2% respecto del nivel con manejo radicular.

El manejo de tallo es el factor que más afecta, provocando una fuerte disminución en el peso seco de raíces secundarias mayores a un milímetro. Las plantas con manejo

de tallo son menores en cerca de la mitad del valor que entrega el nivel sin manejo de tallo.

La Tabla 17 muestra el efecto de la interacción manejo radicular-fertilización. Para los niveles de manejo radicular, se aprecia que la aplicación de podas y descalces, para ambos niveles de fertilización, genera plantas con peso seco menor de las raíces secundarias mayores a un milímetro. Para el caso del factor fertilización, este efecto es distinto dependiendo del nivel de manejo radicular: para el caso de las plantas que no presentan manejo radicular, la fertilización es más beneficiosa si esta se aplica hasta fines de febrero. Para el nivel con manejo radicular, este efecto es inverso, en la medida que se realice una manipulación del sistema radicular, es mejor aplicar una fertilización prolongada, favoreciendo el crecimiento del sistema radicular secundario mayor a un milímetro.

Tabla 17. Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización en el peso seco promedio (g) de las raíces secundarias mayores a un milímetro de plantas de E. globulus.

Factor	F0	F1
R0	1,61	1,15
R1	0,68	0,82

La Tabla 18 muestra el efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo sobre el peso seco de raíces secundarias mayores a un milímetro. Para ambos niveles de manejo radicular, se aprecia que la aplicación de poda aérea y remoción de ramas laterales provoca una disminución en el peso seco de las raíces secundarias mayores a un milímetro.

Tabla 18. Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo en el peso seco promedio (g) de las raíces secundarias mayores a un milímetro de plantas de E. globulus.

Factor	T0	T1
R0	1,96	0,80
R1	0,94	0,56

4.1.8.- Peso seco de raíces secundarias menores a un milímetro.

El análisis de varianza muestra diferencias altamente significativas entre los niveles del factor manejo radicular, siendo superior en un 140% el nivel con manejo radicular.

El factor fertilización no presentó diferencias significativas entre sus niveles.

El análisis estadístico del factor manejo de tallo (Tabla 3), muestra diferencias altamente significativas entre sus niveles. El nivel con manejo de tallo fue inferior en un 39,5%, respecto del nivel con manejo de tallo, indicando que la eliminación de parte de la zona aérea de la planta, no beneficia a la producción de raíces secundarias menores a un milímetro.

La Tabla 19 muestra que el beneficio mayor de la producción de raíces secundarias menores a un milímetro se obtiene de la combinación de manejo de tallo y fertilización prolongada. El análisis general de la interacción, indica que es recomendable prolongar el período de fertilización (nitrógeno hasta fines de marzo) cuando se considera la aplicación de un esquema de acondicionamiento radicular.

Tabla 19. Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización en el peso seco promedio (g) de las raíces secundarias menores a un milímetro de plantas de E. globulus.

Factor	F0	F1
R0	0,38	0,22
R1	0,61	0,84

La Tabla 20 muestra el efecto de la interacción manejo radicular y manejo de tallo, en el peso seco de las raíces secundarias menores a un milímetro. La aplicación de manejo al sistema radicular, aumenta la producción de raíces secundarias menores a un milímetro, pero al aplicar conjuntamente un manejo de tallo, el peso seco de las raíces menores a un milímetro disminuye.

Tabla 20. Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo en el peso seco promedio (g) de las raíces secundarias menores a un milímetro de plantas de E. globulus.

Factor	T0	T1
R0	0,34	0,26
R1	0,86	0,59

4.1.9.- Peso seco parte aérea

El análisis de varianza (Tabla 3), muestra que existieron diferencias altamente significativas para los factores manejo radicular y manejo de tallo, y diferencias significativas para el factor fertilización.

Para el factor manejo radicular, el peso seco de la parte aérea de las plantas sin manejo radicular fue superior en un 155,7% respecto del nivel con manejo radicular.

En el factor fertilización, el nivel caracterizado por la aplicación de nitrógeno hasta fines de febrero fue superior en un 18,4% respecto del nivel que consideraba la aplicación de nitrógeno hasta fines de marzo.

Lo señalado anteriormente indica que la aplicación prolongada de nitrógeno, genera plantas con un sistema aéreo más liviano.

El análisis efectuado para el factor manejo de tallo, muestra que el nivel sin manejo de tallo fue superior en un 249,8% respecto del que presentó manipulación del sistema aéreo.

Este comportamiento obedece a la disminución que se produce producto de la eliminación de tallo y ramas laterales, asociado a una baja capacidad regenerativa observada en las plantas hasta el momento de su extracción desde el vivero.

La Tabla 21 muestra que el factor manejo radicular para ambos niveles de fertilización afecta negativamente el peso seco de la zona aérea de las plantas cuando se aplican podas y descalces. Para el caso del factor fertilización, el comportamiento es distinto. En el caso de la aplicación de fertilización prolongada, asociado al nivel sin manejo radicular, el peso seco de la parte aérea es menor siendo superior el valor de la variable en el nivel con manejo radicular.

Tabla 21. Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización en el peso seco promedio (g) de la parte aérea de plantas de E. globulus.

Factor	F0	F1
R0	36,90	25,39
R1	10,04	14,31

La Tabla 22 muestra la disminución del peso seco de la parte aérea de las plantas al aplicar poda de tallo y remoción de ramas laterales, mostrando que es el factor que más influye en la disminución del peso seco de la parte aérea de las plantas.

Tabla 22. Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo en el peso seco promedio (g) de la parte aérea de plantas de E. globulus.

Factor	T0	T1
R0	50,04	12,25
R1	17,34	7,01

La aplicación de un esquema asociado de podas y descalces y poda de tallo y eliminación de ramas laterales, provoca una fuerte disminución del peso seco aéreo de las plantas.

4.1.10.- Peso seco parte radicular.

El factor manejo radicular presentó diferencias altamente significativas, siendo el nivel sin manejo radicular superior en un 79,3% al nivel que presentó manejo de raíces (Tabla 3).

La aplicación de un esquema de manejo radicular disminuye el peso seco de la sección radicular de plantas de E. globulus. Este comportamiento obedece a que producto de las

podas y descalces se elimina parte del sistema radicular primario, beneficiando de esta forma el crecimiento de raíces secundarias menores a un milímetro, las cuales presentan un cuadro más eficiente respecto de la absorción de nutrientes y agua desde el sustrato. Esto genera un sistema radicular más fibroso pero con un peso seco menor.

El análisis estadístico, para el factor fertilización (Tabla 3), muestra la existencia de diferencias altamente significativas entre sus niveles. El nivel de fertilización normal, fue superior en un 20,6% que el nivel de fertilización prolongada.

El análisis de varianza para el factor manejo de tallo muestra diferencias altamente significativas. El nivel que consideró la aplicación de poda de tallo y ramas laterales fue inferior en un 77,9% respecto del nivel sin manejo de tallo.

Los valores de la Tabla 23 muestran que el manejo radicular disminuye el peso seco de la parte radicular, pero el efecto es mayor cuando la fertilización se prolonga hasta fines de febrero. La aplicación de manejo radicular muestra un peso seco radicular mayor si se aplica una fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio hasta fines de marzo.

Tabla 23. Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización en el peso seco promedio (g) de la parte radicular de plantas de E. globulus.

Factor	F0	F1
R0	8,71	5,31
R1	3,23	4,59

La Tabla 24 muestra que para ambos niveles de manejo de tallo, existe una disminución del peso seco radicular, al aplicar poda de raíces y descalces, pero este valor es mayor si la aplicación de podas y descalces se realiza conjuntamente con una poda de tallo y ramas laterales.

Tabla 24. Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo en el peso seco promedio (g) de la parte radicular de plantas de E. globulus.

Factor	T0	T1
R0	8,71	5,31
R1	3,23	4,59

4.1.11.- Peso seco total (Biomasa).

El análisis de varianza muestra diferencias altamente significativas para el manejo radicular y el manejo de tallo y significativas para el factor fertilización.

En el factor manejo radicular las plantas podadas y descalzadas presentan una biomasa inferior en un 137,5% respecto de aquellas a las cuales no se les aplicó ningún esquema de acondicionamiento radicular.

Este resultado es similar al determinado por Escobar y Espinosa (1987), quienes trabajando con E. nitens, encontraron que la aplicación de manejo radicular, redujo significativamente el peso seco total de las plantas estudiadas.

Las plantas con fertilización normal presentaron mayor biomasa, siendo superior en un 18,7% a aquellas en las

cuales la aplicación de nitrógeno se prolongó hasta fines de marzo.

Las plantas con manejo de tallo presentan un peso seco total inferior en un 200,4% de aquellas que no tuvieron manejo en la zona aérea.

La Tabla 25 muestra que la aplicación de podas y descalces en plantas de E. globulus provoca una disminución en la biomasa, pero el análisis en forma conjunta con el factor fertilización indica que la aplicación de fertilización prolongada aumenta el peso seco total de las plantas al aplicar manejo radicular.

Tabla 25. Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización en el peso seco promedio (g) total de plantas de E. globulus.

Factor	F0	F1
R0	45,60	30,70
R1	13,24	18,89

Los valores de la Tabla 26 muestran el efecto de la interacción existente entre el manejo de tallo y la fertilización. La diferencia existente entre plantas con fertilización normal y prolongada es menor al aplicar conjuntamente una poda de tallo y ramas laterales.

Tabla 26. Efecto de la interacción fertilización-manejo de tallo en el peso seco promedio (g) total de plantas de E. globulus.

Factor	T0	T1
F0	45,14	13,70
F1	36,22	13,37

4.1.12.- Área Foliar

El análisis de varianza (Tabla 3), muestra la existencia de una diferencia significativa al 95% para el factor manejo radicular y altamente significativa para el factor manejo de tallo, no presentándose diferencias entre los niveles del factor fertilización.

Para el caso del factor manejo radicular, en el nivel con manejo radicular el área foliar de las plantas fue un 57% menor que en el nivel sin manejo radicular.

Para el factor manejo de tallo, las plantas sin manejo de tallo presentaron un área foliar superior en un 400% respecto del nivel con manejo de tallo.

La Tabla 27 muestra que las plantas con mayor área foliar son aquellas del nivel sin manejo radicular, para ambos niveles de fertilización. El área foliar de las plantas disminuye al aplicar manejo radicular, pero este efecto es atenuado si se aplica en forma conjunta fertilización prolongada.

Tabla 27. Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización en el área foliar (m^2) promedio de plantas de E. globulus.

Factor	F0	F1
R0	0,13	0,09
R1	0,06	0,08

4.1.13.- Superficie foliar específica

El análisis de varianza (Tabla 3), muestra que existen diferencias altamente significativas para los factores

manejo radicular y manejo de tallo, no presentando diferencias el factor fertilización.

En el factor manejo radicular, las plantas del nivel con manejo radicular fueron superiores en un 24,36% respecto del nivel sin manejo radicular.

Este resultado difiere de lo determinado por Escobar y Espinosa (1987), quienes trabajando con E. nitens, no encontraron diferencias significativas en la superficie foliar específica de plantas con y sin manejo radicular.

Para el caso del factor manejo de tallo, en el nivel al cual no se aplicó poda de tallo y remoción de ramas laterales, la superficie foliar específica fue superior en un 25,3% respecto de aquellas sin manejo de tallo.

4.1.14.- Razón Parte Aérea/Parte Radicular

El análisis de varianza (Tabla 3) muestra que el manejo radicular presenta diferencias altamente significativas entre sus niveles. Las plantas podadas y descalzadas presentaron una razón parte aérea/parte radicular inferior en un 35,7%.

Estos datos confirman lo señalado por Tanaka(1976), citado por Hobbs et al. (1986), y Sánchez (1987), al determinar que las labores de podas y descalces aplicadas a las plantas tienden a disminuir la razón parte aérea/parte radicular, debido a la disminución significativa del crecimiento en la parte aérea comparativamente con el de la parte radicular.

El factor fertilización muestra diferencias altamente significativas entre sus niveles. La fertilización prolongada fue superior en un 7,4% respecto de la fertilización normal.

Para el factor manejo de tallo, el análisis de varianza (Tabla 3) muestra una diferencia altamente significativa. Las plantas sin manejo de tallo tienen una razón parte aérea/parte radicular inferior en un 88,8% respecto de las plantas con manejo de tallo.

Los valores de la Tabla 28 muestran que el manejo radicular disminuye la razón parte aérea/parte radicular. Este valor aumenta en el nivel sin manejo radicular al aplicar fertilización prolongada, atenuándose este efecto en el nivel con manejo radicular.

Tabla 28. Efecto de la interacción manejo radicular-fertilización en la razón parte aérea/parte radicular de plantas de E. globulus.

Factor	F0	F1
R0	3,93	4,43
R1	3,08	3,09

La Tabla 29 muestra que el manejo radicular genera una disminución en la razón parte aérea/parte radicular asociado con el esquema de manejo de tallo, encontrándose que la menor razón se obtiene en aquella en la cual hubo manejo radicular y manejo de tallo.

Tabla 29. Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo en la razón parte aérea/parte radicular de plantas de E. globulus .

Factor	T0	T1
R0	5,57	2,79
R1	3,92	2,24

La Tabla 30 muestra que la razón parte aérea/parte radicular disminuye al aplicar manejo de tallo. La menor razón se produce al aplicar poda de tallo y de ramas laterales conjuntamente con una fertilización normal.

Tabla 30. Efecto de la interacción fertilización-manejo de tallo en la razón parte aérea/parte radicular de plantas de E. globulus

Factor	T0	T1
F0	4,51	2,50
F1	4,98	2,54

4.2.- Análisis del comportamiento de variables fisiológicas

4.2.1.- Macronutrientes

4.2.1.1.- Nitrógeno

El análisis de varianza (Tabla 31), muestra que existen diferencias altamente significativas entre los niveles del factor manejo de tallo, no presentándose diferencias para los factores manejo radicular y fertilización.

Los resultados mostrados para el factor manejo radicular, difieren de lo determinado por Sánchez (1987), quien encontró diferencias significativas en la concentración de Nitrógeno en las hojas de plantas de E. globulus con manejo radicular.

Tabla 31.

Valores promedio de variables fisiológicas por factor de acondicionamiento su análisis de varianza e interacciones entre factores.

FACTORES	Variables Fisiológicas									
	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)	Calcio (%)	Hierro (ppm)	Manganeso (ppm)	Zinc (ppm)	Cobre (ppm)		
Manejo Radicular										
R0	1,58	0,15	0,76	1,67	227	880	17,5	9,8		
R1	1,47	0,12	0,9	1,6	400	304	16,8	10,4		
Fertilización										
F0	1,48	0,13	0,82	1,66	330,5	597,5	16,7	8,8		
F1	1,56	0,15	0,85	1,61	296,5	586,5	17,7	11,4		
Manejo de Tallo										
T0	1,36	0,13	0,85	1,46	200	679	13,6	6,9		
T1	1,69	0,15	0,82	1,81	427	505	20,7	13,2		
Análisis de Varianza	(a)									
Manejo Radicular	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	ns	ns	ns
Fertilización	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Manejo de Tallo	**	ns	ns	**	**	ns	**	**	**	**
Interacción										
A * B	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
A * C	**	ns	**	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
B * C	**	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
A * B * C	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

(a)

(*)

(**)

(ns)

significativo al 95%

significativo al 99%

no significativo

A

Manejo Radicular

B

Fertilización

C

Manejo de tallo

Para el factor manejo de tallo, el nivel con manejo de tallo fue superior en un 24,3% respecto del nivel sin manejo de tallo.

La Tabla 32 muestran que la concentración de nitrógeno en las hojas es mayor para plantas con manejo radicular y manejo de tallo. El factor manejo de tallo asociado a cualquier nivel de manejo radicular presenta hojas con mayor concentración de nitrógeno.

Tabla 32. Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo en la concentración de nitrógeno (%) en hojas de plantas de E. globulus.

Factor	T0	T1
R0	1,48	1,67
R1	1,24	1,71

La Tabla 33 muestran que para ambos niveles de fertilización las plantas con manejo de tallo, presentan concentraciones mayores de nitrógeno en las hojas. En plantas sin manejo de tallo las concentraciones de nitrógeno son mayores con fertilización prolongada, siendo inversa esta situación al analizar las plantas con manejo de tallo donde la concentración de nitrógeno es mayor en plantas con fertilización normal.

Tabla 33. Efecto de la interacción fertilización-manejo de tallo en la concentración de nitrógeno (%) en hojas de plantas de E. globulus.

Factor	T0	T1
F0	1,23	1,74
F1	1,49	1,64

4.2.1.2.- Fósforo

El análisis de varianza (Tabla 31), muestra que no existen diferencias estadísticas entre los niveles de los factores manejo radicular, fertilización y manejo de tallo.

4.2.1.3.- Potasio

El análisis de varianza (Tabla 31) muestra que no existen diferencias estadísticas entre los niveles de cada factor de manejo que se estudió.

Los valores de la Tabla 34 muestran el efecto de la interacción de los factores manejo radicular-manejo de tallo, en la concentración de potasio de hojas de plantas de E. globulus. El manejo radicular aumenta los niveles de concentración de potasio en las hojas, para cualquier nivel de manejo de tallo.

Tabla 34. Efecto de la interacción manejo radicular-manejo de tallo en la concentración de potasio (%) en hojas de plantas de E. globulus.

Factor	T0	T1
R0	0,73	0,80
R1	0,97	0,84

La concentración mayor de potasio en las hojas de plantas de E. globulus se obtiene de plantas con aplicación de podas y descalces pero sin manejo de tallo.

4.2.1.4.- Calcio

El análisis de varianza (Tabla 31) muestra la existencia de diferencias altamente significativas entre los niveles del factor manejo de tallo.

Las hojas de plantas con poda de tallo y remoción de ramas laterales presentaron un 24% más de concentración de calcio que las hojas de las plantas sin manejo radicular.

Los factores manejo radicular y fertilización, no presentaron diferencias estadísticas entre sus niveles.

4.2.2.- Micronutrientes

4.2.2.1.- Fierro

El análisis de varianza (Tabla 31) muestra la existencia de diferencias altamente significativas entre los niveles de los factores manejo radicular y manejo de tallo.

Entre los niveles del factor manejo radicular existió una diferencia de 76,2%, siendo superior el nivel con manejo radicular.

El factor manejo de tallo presentó un 113,5% de diferencia entre sus niveles. El nivel que presentó mayor concentración de fierro en las hojas fue el de poda de tallo y remoción de ramas laterales.

4.2.2.2.- Manganeso

El análisis de varianza (Tabla 31) muestra la existencia de diferencias altamente significativas entre los niveles del factor manejo radicular.

Las plantas con manejo radicular presentaron una concentración de manganeso superior en un 189,4%, respecto de las plantas sin manejo radicular.

Los factores fertilización y manejo de tallo no presentaron diferencias significativas entre sus niveles.

4.2.2.3.- Zinc

El análisis de varianza (Tabla 31) muestra la existencia de diferencias altamente significativas entre los niveles de del factor manejo de tallo.

El nivel que consideró la aplicación de poda de tallo y remoción de ramas laterales, fue superior en un 51,6% respecto del nivel sin manejo de tallo.

Los otros factores analizados no presentaron diferencias significativas entre sus niveles.

4.2.2.4.- Cobre

Los valores de la Tabla 31 muestran la existencia de diferencias altamente significativas entre los niveles del factor manejo de tallo.

El nivel con manejo de tallo fue superior en un 90,6%, respecto del nivel sin manejo de tallo.

Los otros dos factores de acondicionamiento no presentaron diferencias entre sus niveles de trabajo.

4.3 Análisis de Regresión

De los análisis de las funciones aplicadas, las cuales se presentan en el Apéndice 3, las ecuaciones que mejor describen las variables de difícil medición son:

4.3.1 Variable: Peso Seco Aéreo (ver Apéndice 3-A)

$$\text{Ecuación: } Y = 0,6376 \cdot X_1 - 0,3925 \cdot X_2 + 5,0$$

Donde:

Y= Peso Seco Aéreo (g)

X₁= Altura (cm)

X₂= Razón altura/diámetro

El análisis estadístico, indica que la función es significativa para predecir la variable peso seco aéreo, y sus coeficientes son significativamente distintos de cero. El coeficiente de correlación (r), indica que existe un grado de asociación de las variables de un 95%.

El coeficiente de determinación (r²), muestra que el 91% de la variación que experimenta el peso seco aéreo es atribuible a las variables de la función determinada.

4.3.2.- Variable: Peso Seco Tallo (ver Apéndice 3-C)

$$\text{Ecuación: } Y = 0,368 \cdot X_1 + 0,218 \cdot X_2 + 2,245$$

Donde:

Y= Peso Seco Tallo (g)

X₁= Altura (cm)

X₂= Razón altura/diámetro

El análisis estadístico aplicado a la función, indica que es significativa para predecir la variable, siendo además sus coeficientes significativamente distintos de cero.

Los datos de las variables consideradas en la función descrita, indican una asociación del 96%.

El coeficiente de determinación, señala que el 93% de la variación que experimenta la variable peso seco tallo es atribuible a las variables altura y razón altura/diámetro.

4.3.3 Variable: Peso Seco de Raíces (ver Apéndice 3-D)

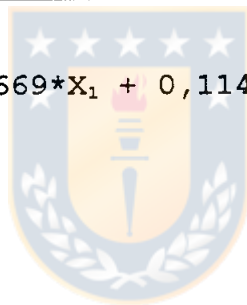
Ecuación: $Y = - 0,7669 * X_1 + 0,1141 * X_2 + 2,749$

Donde:

Y= Peso Seco Raíces (g)

X₁= Diámetro (cm)

X₂= Diámetro² (cm²)



El análisis de la función indica que es significativa y los coeficientes son distintos de cero.

El grado de asociación entre variables es de un 90%, determinándose que el 81% de la variación que experimenta la variable peso seco raíces es debido a las variables diámetro y diámetro².

4.3.4 Variable: Peso Seco Raíz Principal (ver Apéndice 3-E)

Ecuación: $Y = - 0,7701 * X_1 + 0,0991 * X_2 + 2,4755$

Donde:

$Y =$ Peso Seco Raíz Principal (g)

$X_1 =$ Diámetro (cm)

$X_2 =$ Diámetro² (cm²)

El grado de asociación entre las variables es de un 89%, encontrándose que un 80% de la variación que experimenta el peso seco de la raíz principal es atribuible a las variables diámetro y diámetro².

4.3.5 Variable: Peso Seco Raíces Secundarias (Apéndice 3-B)

Ecuación: $Y = 0,004 * X_1 + 2,39 * X_2 - 0,8572$

Donde:

$Y =$ Peso Seco Raíces Secundarias (g)

$X_1 =$ Altura (cm)

$X_2 =$ Diámetro (mm)

Los resultados indican que es una función significativa para predecir el peso seco de las raíces secundarias.

El grado de asociación entre las variables es de un 64%, siendo su coeficiente de determinación de un 0,41.

4.3.6 Variable: Peso Seco Raíces Mayores a 1 milímetro (ver Apéndice 3-F)

Ecuación: $Y = 0,00469 * X_1 + 2,15 * X_2 - 1,2104$

Donde:

$Y =$ Peso Seco Raíces Secundarias mayores a 1 milímetro (g)

$X_1 =$ Altura (cm)

$X_2 =$ Diámetro (mm)

4.3.9 Variable: Razón peso seco aéreo/radicular

(ver Apéndice 3-I)

$$\text{Ecuación: } Y = 0,02805 \cdot X_1 - 1,371 \cdot X_2 + 2,609$$

Donde:

Y= Biomasa (g)

X₁= Altura (cm)

X₂= Diámetro (mm)

La función muestra que existe un 87% de asociación entre las variables. La variación que experimenta la variable biomasa es en un 76% atribuible a la variable altura y diámetro del modelo utilizado.



IV. CONCLUSIONES

1.- El manejo radicular en plantas de E. globulus, reduce significativamente el crecimiento en diámetro de tallo, altura, peso seco de tallo, de hojas, de raíz principal, de raíces secundarias, de raíces secundarias mayores a un milímetro, aéreo, radicular y biomasa de las plantas. También, reduce significativamente la razón parte aérea parte radicular y el área foliar. A su vez, aumenta la superficie foliar específica de las plantas.

2.- El manejo radicular, generó plantas con un sistema radicular secundario más fibroso, aumentando la cantidad de raíces secundarias menores a un milímetro.

3.- La fertilización prolongada con nitrógeno, redujo significativamente el peso seco del tallo, hojas, raíz principal, raíces secundarias mayores a un milímetro, parte radicular, parte aérea y biomasa. A su vez provocó un aumento significativo de la razón entre la parte aérea y radicular de plantas de E. globulus.

4- El manejo de tallo, reduce el diámetro de tallo, la altura y peso seco de tallo, hojas, aéreo, raíz principal, raíces secundarias mayores y menores a un milímetro, radicular y la biomasa de plantas de E. globulus. A su vez reduce la razón parte aérea parte radicular, el área foliar y la superficie foliar específica.

5.- El manejo radicular disminuyó los contenidos de manganeso y aumentó los de fierro el follaje de plantas de E. globulus. Los restantes elementos no presentaron diferencias.

6.- El manejo de tallo aumentó la concentración de nitrógeno, cobre, calcio, fierro y zinc en las hojas de las plantas de E. globulus. Los elementos Fósforo y Potasio, no presentaron diferencias estadísticas en su concentración.

7.- Las variables diámetro de tallo, altura, peso seco tallo, peso seco raíz principal, peso seco aéreo y área foliar, reducen sus valores significativamente con el manejo radicular pero este efecto es menor si se aplica, a su vez, una fertilización prolongada hasta fines de marzo.

8.- El manejo de tallo afecta negativamente el número de hojas de las plantas, pero, en promedio, cada una de ellas es más pesada que aquellas hojas de las plantas sin manejo de tallo.

9.- La combinación de manejo radicular y manejo de tallo, disminuye el peso seco de la raíz principal. Si se aplica un esquema de manejo radicular, el manejo de tallo afecta negativamente el peso seco de la raíz principal.

10.- La aplicación de manejo al sistema radicular de las plantas, disminuye el peso seco de las raíces secundarias, pero este efecto es distinto si se asocia con esquemas de fertilización, siendo más beneficiosa la aplicación de una fertilización prolongada.

11.- La aplicación de podas y descalces, provoca un aumento en el peso seco de raíces secundarias menores a un milímetro, y este efecto es mayor si conjuntamente se aplica fertilización prolongada.

12.- El manejo radicular estimula la producción de raíces secundarias menores a un milímetro, pero disminuye si se aplica manejo de tallo.

13.- El manejo radicular disminuye el peso seco de la parte radicular de las plantas de E. globulus, pero este efecto es menor si se aplica en forma conjunta con manejo de tallo.

14.- El manejo radicular disminuyó la razón parte aérea/parte radicular, siendo mayor la disminución si conjuntamente se aplica manejo de tallo.

15.- Los niveles de nitrógeno en las hojas de las plantas, aumentan a medida que se aplique manejo radicular y manejo de tallo.

VI RESUMEN

Utilizando un diseño de parcela subdividida, se evaluó la respuesta que experimentan variables morfológicas y fisiológicas de plantas de Eucalyptus globulus, producidas en vivero a raíz desnuda, sometidas a distintos esquemas de acondicionamiento, utilizando como factores: manejo radicular, fertilización y manejo de tallo. Además, se aplicaron cuatro modelos de regresión para predecir el comportamiento de variables morfológicas de difícil medición a partir de variables de fácil medición.

En las variables morfológicas, los resultados obtenidos muestran que el manejo radicular reduce significativamente los valores de las componentes de la zona aérea de las plantas, así como de las variables de la zona radicular, siendo la única variable que presentó un comportamiento distinto el peso seco de raíces secundarias menores a un milímetro. Este comportamiento fue similar también para la superficie foliar específica. El peso seco aéreo, radicular y total de las plantas disminuye, a su vez, con el manejo radicular.

A nivel fisiológico, el manejo radicular disminuyó los niveles de nitrógeno en las hojas. El fierro y el manganeso, a su vez, aumentaron su concentración.

La fertilización prolongada, en la zona aérea, redujo el peso seco del tallo y hojas y en la zona radicular disminuyó el peso seco de la raíz principal y raíces secundarias mayores a un milímetro. El peso seco radicular, aéreo y total de las plantas también se redujeron. La razón

parte aérea parte radicular, aumentó con la aplicación de fertilización prolongada.

El manejo de tallo redujo significativamente los valores de las variables de la zona aérea de las plantas. A nivel radicular, disminuyó los valores de las variables, excepto el peso seco de raíces secundarias. El peso seco aéreo, radicular, total de las plantas, razón parte aérea parte radicular, el área foliar y la superficie foliar específica también disminuyeron con la aplicación de manejo de tallo.

Fisiológicamente, el manejo de tallo aumentó la concentración de los elementos nitrógeno, calcio y fierro. Los demás elementos no vieron afectada su concentración.

La aplicación de los modelos de regresión permitió obtener funciones de predicción para casi la totalidad de las variables, con excepción del peso seco de raíces secundarias menores a un milímetro.

VII SUMMARY

The response which suffers morphological and physical variables of Eucalyptus globulus plants produced in nurseries to stripped root which were submitted to different conditioning schemes, using factors such as radicular managing, fertilization and top pruning were evaluated using a submitted plot design.

In morphological variables, the results got show that the radicular managing significantly reduces the component values of the air zone of the plants, as well as the radicular zone variable, being this one the unique variable which showed a different behavior to the dry weight of secondary roots smaller than one millimeter. This behavior was also similar to the specific foliar surface. The plants air dry weight, radicular and total, with the radicular manage.

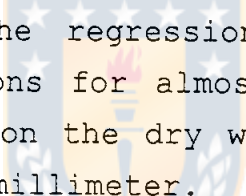
At the physiological level, the radicular managing reduces the leaves nitrogen levels. The fierro and the manganese increased their concentrations.

The prolonged fertilization in the air zone, reduce the dry weight of the main root and the secondary roots greater in one millimeter, decreased the total, air radicular dry weight of the plants reduced, too. The relationship between the air part and the radicular part increased with the application of the prolonged fertilization.

Top pruning reduced significantly the values of the variables on the air zone of the plants. At the same time, at radicular level, the values of the variables decreased, except the dry weight of the secondary roots. The total, air and radicular dry weight of the plants, air part and the specific foliar surface decreased with the application of the top pruning, too.

Physiological stage, the top pruning increased the concentration of nitrogen, calcium and fierro elements. The other elements were not affected in their concentrations.

The applications of the regression models permitted to obtain forecast functions for almost the totality of the variables, with exception the dry weight of the secondary roots smaller than one millimeter.



VIII LITERATURA CITADA

- BARROS, S. 1989a. Introducción, pp. 1-2. En: Eucalyptus: Principios de silvicultura y manejo. José Antonio Prado y Santiago Barros (Edit.). INFOR-CORFO, Santiago, Chile.
- BARROS, S. 1989b. Semillas y producción de plantas, pp. 15-41. En: Eucalyptus: Principios de silvicultura y manejo. José Antonio Prado y Santiago Barros (Edit.). INFOR-CORFO. Santiago, Chile.
- BENSON, A. D. and K. R. SHEPHERD. 1977. Effects of nursery practice on Pinus radiata seedlings characteristics and field performance. II Nursery Root Wrenching. New Zealand Journal of Forestry Science 7 (1): 68-76.
- BERNATH, L.E. 1940. El Cultivo del pino, el alamo y el eucalipto. Edit. Zig-Zag. Santiago, Chile.
- BONNER, J. y A. GALSTON. 1970. Principios de fisiología vegetal. Aguilar S.A. Madrid, España.
- CLEARY, D. D., R. D. GREAVES and D. W. OSTON. 1978. Seedlings, pp. 63-98. IN: Regenerating Oregon's forests. Oregon State, University Extension Service Corvallis. B. Cleary, R. Greaves and R. Hermann (Edit.). Oregon, U.S.A.
- CORNEJO, B. A. 1982. Respuesta de una plantación de Eucalyptus globulus Labill a la fertilización con Urea y Superfósforo Triple en la Comuna de Litueche, VI Región. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- DANIEL, P. W., U.E. HELMS y F.S. BAKER. 1982. Principios de silvicultura. Mc Graw-Hill. México.
- DURYEA, M. L. 1984. Nursery cultural practices: Impacts on seedling quality, pp. 143-164. In: Forest Nursery Manual: Production of bareroot seedling. M.L. Duryea and T.D. Landis (Edit.). Oregon, U.S.A.

- DURYEA, M.L. and K. Mc CLAIN. 1984. Alteering seedling physiology to improve reforestation succes, pp. 77-114. In: Seedling physiology and reforestation succes. M.L. Duryea and G. Brown (Edit.). Portland, Oregon, U.S.A.
- DURYEA, M.L. and S. OMI. 1987. Top-pruning Douglas-Fir seedling: morphology, physiology and field performance. Canadian Journal of Forest Research 17: 1371-1378.
- ESCOBAR, R. 1985. Efecto de distintos esquemas de acondicionamiento en plantas de Pinus radiata, en el vivero Bio-Bio de Forestal Mininco. Informe Final. Chillán, Chile.
- ESCOBAR, R. 1987. Efecto de diferentes densidades de cultivo en variables morfológicas de plantas de Eucalyptus globulus Labill producidas a raíz desnuda. Informe de Resultados. Convenio Asistencia Técnica en Vivero. Proyecto 20.02.06. Universidad de Concepción FORVESA. Chillán, Chile.
- ESCOBAR, R y M. ESPINOSA. 1987. Efecto de la interacción acondicionamiento-riego-fertilización en el comportamiento de plantas de Eucalyptus nitens producidas a raíz desnuda. Informe de Resultados. Convenio Asistencia Técnica en Vivero. Proyecto 20.02.06. U. de Concepción FORVESA. Chillán, Chile.
- ESCOBAR, R. y M. SANCHEZ. 1992. Producción de plantas forestales: Algunos aspectos. Depto. Ciencias Forestales. Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad de Concepción. Chillán, Chile.
- ESCOBAR, R., M. ESPINOSA Y G. PEREIRA. 1991. Supervivencia y crecimiento de plantas de Eucalyptus delegatensis, Eucalyptus nitens y Eucalyptus regnans sometidas a diferentes esquemas de acondicionamiento en vivero. Informe de Avance. Convenio U. de Concepción-Forestal Tornagaleones Ltda. Proyecto Calidad de Plantas.
- FISHER, J. and J. MEXAL. 1984. Nutrition management, pp. 271-299. In: Seedling physiology and reforestation succes. M.L. Duryea and G.N. Brown (Edit.), Portland, Oregon, U.S.A.

- GONZALEZ, V.G. 1985. Principios de Fertilización Forestal. En: Actas primer taller de suelos y fertilización forestal. 13 y 14 de Noviembre de 1985. U. de Concepción. Chillán, Chile.
- HALLET, R.D. 1984. Forest nursery practice in the Maritimes, pp. 81-107. In: Proceedings of the reforestation in the Maritimes. Symposium, 3-4 April. R.D. Hallet, M.D. Cameron and T.S. Murray (Edit.). Moncton, New Brunswick, Canada.
- HENNESSEY, T. and P.M. DOUGHERTY. 1984. Characterization of the internal water relations of Loblolly Pine seedlings in response to nursery cultural treatments. implications for reforestation succes, pp. 225-243. In: Seedling physiology and reforestation succes. M.L. Duryea and G.N. Brown (Edit.). Portland, Oregon, U.S.A.
- HOBBS, S., S. STAFFORD and R. SLAGLE. 1986. Undercutting conifer seedling: Effect on morphology and field performance on droughty sites. Canadian Journal of Forest Research 17:40-45.
- INSTITUTO FORESTAL. 1997. Estadísticas Forestales 1996. INFOR-CORFO. Santiago, Chile.
- JACOB, A. 1961. Nutrición y abonado de los cultivos tropicales y Sub-tropicales. 629 pp.
- KNIGHT, P.J. 1978. Fertiliser practice in New Zealand forest nurseries. New Zealand Journal of Forestry Science 8(1):27-53.
- LONGERI, S.L. 1985. La problemática del nitrógeno. En: Actas primer taller de suelos y fertilización forestal, 13 y 14 de Noviembre. U. de Concepción, Chillán, Chile.
- MUÑOZ, A., E. MONTERO Y M. TORAL. 1989. Análisis de la incidencia de algunos factores que intervienen en la producción de plantas de Eucalyptus camaldulensis en vivero. En: Chile Forestal, Artículo Técnico. Junio de 1989.

- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. 1981. El Eucalipto en la repoblación forestal. Colección FAO Montes N° 11. Roma, Italia.
- ROOK, D. A. 1971. Effect of undercutting and wrenching on growth of Pinus radiata seedling. Journal App. Ecology 8:477-490.
- SANCHEZ, P. V. 1987. Esquemas de acondicionamiento de plantas de Eucalyptus globulus Labill spp. globulus 1/0 producidas a raíz desnuda. Tesis de Grado. U. de Concepción Fac. de Cs. Agr., Vet. y Forestales. Chillán, Chile.
- SANCHEZ, M. 1991. Fertilización preventiva en Eucalyptus globulus Labill. spp. globulus. Tesis de Grado. Fac. de Cs. Forestales, U. de Concepción, Chillán, Chile.
- SHEPHERD, K. R. and P. SA-ARDAVUT. 1984. Allometric relationships between shoot and root development and between leaf dry weight and leaf area in provenances of Eucalyptus camaldulensis Denhn. Australian Forest Research 14:265-270.
- STRUVE, D. 1990. Root regeneration in transplanted deciduous nursery stock. Hortscience 25(3):266-270.
- STUPENDICK, J.T. and K. R. SHEPHERD. 1980. Root regeneration of root-pruned Pinus radiata seedlings. II Effects of root pruning on photosynthesis and traslocation. New Zealand Journal Forest Science 10(1):148-158.
- SUTTON, R.F. 1980. Root System Morphogenesis. New Zealand Journal of Forestry Science 10(1):264-292.
- SUTTON, R. F. 1990. Root Growth Capacity in Coniferous Forest Trees. Hortscience 25(3):259-266.
- TISDALE, S. and W. NELSON. 1975. Soil Fertility and Fertilizers. Tercera Edición. U.S.A.
- URRUTIA, R. 1992. Caracterización y comportamiento en vivero de tres procedencias de semillas de Eucalyptus globulus Labill. spp. globulus cosechadas en Chile. Tesis de Grado. Facultad de Cs. Forestales, U. de Concepción. Chillán, Chile.

VAN DORSSER, J. C. and D. A. ROOK. 1972. Conditioning of Radiata Pine seedlings by undercutting and wrenching: Description of methods, equipment, and seedling response. New Zealand Journal of Forestry 17(1):61-73.





APENDICE 2. Formulario datos área foliar, peso seco hojas y superficie foliar específica.

TRATAMIENTO N°

PLANTA N°	AREA FOLIAR	PESO SECO HOJAS	SUP.FOLIAR ESP.	REP. N°	PLANTA N°
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

Unidades:

AREA FOLIAR : cm^2

Peso Seco Hojas: g

Sup.Foliar Esp.: cm^2/g

APENDICE 3. Funciones que mejor predicen las variables morfológicas de difícil medición.

VARIABLES DEPENDIENTES (Y)	ECUACION	R	R ²
PESO SECO AEREO	$Y = 0,6376 \cdot X_1 - 0,3925 \cdot X_2 + 5,0$	0,95	0,91
PESO SECO RAICES SECUNDARIAS	$Y = 0,004 \cdot X_1 + 2,39 \cdot X_2 - 0,8572$	0,64	0,41
PESO SECO TALLO	$Y = 0,3685 \cdot X_1 - 0,218 \cdot X_2 + 2,245$	0,96	0,93
PESO SECO RAICES	$Y = -0,7669 \cdot X_1 + 0,1144 \cdot X_2 + 2,7491$	0,90	0,81
PESO SECO RAIZ PRINCIPAL	$Y = -0,7701 \cdot X_1 + 0,0991 \cdot X_2 + 2,4755$	0,89	0,80
PESO SECO RAICES MAYORES A 1 MM	$Y = 0,00469 \cdot X_1 + 2,15 \cdot X_2 - 1,2104$	0,76	0,58
PESO SECO RAICES MENORES A 1MM	No se encontró función significativa		
BIOMASA	$Y = 0,764 \cdot X_1 - 0,4948 \cdot X_2 + 9,324$	0,95	0,90
REL. AEREO/RADICULAR	$Y = 0,02805 \cdot X_1 - 1,37097 \cdot X_2 + 2,6087$	0,87	0,76

Donde en:

PESO SECO AEREO	$X_1 = \text{ALTURA} ; X_2 = \text{RAZON. ALT/DIAM.}$
PESO SECO RAICES SECUNDARIAS	$X_1 = \text{ALTURA} ; X_2 = \text{DIAMETRO}$
PESO SECO TALLO	$X_1 = \text{ALTURA} ; X_2 = \text{RAZON ALT/DIAM.}$
PESO SECO RAICES	$X_1 = \text{DIAMETRO} ; X_2 = \text{DIAMETRO}^2$
PESO SECO RAIZ PRINCIPAL	$X_1 = \text{DIAMETRO} ; X_2 = \text{DIAMETRO}^2$
PESO SECO RAICES MAYORES A 1 MM	$X_1 = \text{ALTURA} ; X_2 = \text{DIAMETRO}$
BIOMASA	$X_1 = \text{ALTURA} ; X_2 = \text{DIAMETRO}$
REL. AEREO/RADICULAR	$X_1 = \text{ALTURA} ; X_2 = \text{DIAMETRO}$

APENDICE 3-A. Funciones aplicadas a variable: peso seco aéreo.

Tipo regresión	Ecuación	R	R ²
1.1.	$Y = -46,21937 + 7,6838*X$	0,86	0,74
1.2.	$Y = -5,0044 + 0,3345*X$	0,87	0,76
1.3.	$Y = -1,6719 + 0,268*X$	0,60	0,36
2.1.	$Y = -122,65 + 67,148*X$	0,81	0,67
2.2.	$Y = -82,9224 + 25,058*X$	0,80	0,64
2.3.	$Y = -71,8077 + 21,6*X$	0,58	0,35
3.1.	$Y = 0,2067*X_1 + 44,955*X_2 - 34,518$	0,95	0,90
3.2.	$Y = 0,6376*X_1 - 0,3925*X_2 + 5,0$	0,95	0,91
3.3.	$Y = 66,859*X_1 + 0,1721*X_2 - 52,38$	0,93	0,87
3.4.	$Y = 0,53147*X_1 + 12,213*X_2 - 0,3*X_3 - 5,371$	0,96	0,91
4.1	$Y = -0,2329*X_1 + 0,002894*X_2 + 14,192$	0,91	0,83
4.2	$Y = -6,0444*X_1 + 0,7069*X_2 + 16,4472$	0,88	0,78
4.3	$Y = 0,3636*X_1 - 0,0005*X_2 - 5,2$	0,60	0,36
4.4	$Y = 0,1483*X_1 - 0,00145*X_2 + 0,0000142*X_3 + 5,29$	0,91	0,83
4.5	$Y = -24,759*X_1 + 2,6371*X_2 - 0,06335*X_3 + 74,134$	0,89	0,79
4.6	$Y = -1,6527*X_1 + 0,02129*X_2 - 0,000071*X_3 + 47,34$	0,63	0,40

DONDE

TIPO REGRESION

1. REG. LINEAL SIMPLE

1.1. X= DIAMETRO

1.2. X= ALTURA

1.3. X= RAZON. ALTURA/DIAMETRO

2. REG. EXPONENCIAL O LOGARITMICA

2.1. X= Ln DIÁMETRO

2.2. X= Ln ALTURA

2.3. X= Ln RAZON. ALTURA/DIAMETRO

3.- REG. MÚLTIPLE

3.1. X₁= ALTURA ; X₂= DIAMETRO

3.3. X₁= DIAMETRO ; X₂= RAZON ALT/DIAM.

3.4. X₁= ALTURA ; X₂= DIAMETRO ; X₃= RAZON .ALT/DIAM.

4.- REG. POLINOMIALES

4.1. X₁= ALTURA ; X₂=ALTURA²

4.2. X₁= DIAMETRO ; X₂= DIAMETRO²

4.3. X₁= RAZON. ALT/DIAM. ; X₂= RAZON ALT/DIAM.²

4.4. X₁= ALTURA ; X₂= ALTURA² ; X₃= ALTURA³

4.5. X₁= DIAMETRO ; X₂= DIAMETRO² ; X₃= DIAMETRO³

4.6. X₁= RAZON ALT/DIAM. ; X₂= RAZON ALT/DIAM.² ; X₃= RAZON ALT/DIAM³

APENDICE 3-B. Funciones aplicadas a variable peso seco raíces secundarias.

Tipo regresión	Ecuación	R	R ²
1.1.	$Y = -1,0872 + 0,3013 * X$	0,63	0,40
1.2.	$Y = 0,7094 + 0,011 * X$	0,54	0,30
1.3.	$Y = 0,9128 + 0,0076 * X$	0,32	0,10
2.1.	$Y = -4,1997 + 2,6867 * X$	0,61	0,37
2.2.	$Y = -1,997 + 0,8561 * X$	0,51	0,26
2.3.	$Y = -1,278 + 0,659 * X$	0,33	0,11
3.1.	$Y = 0,004 * X_1 + 2,39 * X_2 - 0,8572$	0,64	0,41
3.2.	$Y = 0,0249 * X_1 - 0,01821 * X_2 + 1,1736$	0,62	0,39
3.3.	$Y = 2,806 * X_1 + 0,00357 * X_2 - 1,215$	0,64	0,41
3.4.	$Y = 0,0050 * X_1 + 2,2887 * X_2 - 0,000892 * X_3 - 0,7704$	0,64	0,41
4.1	$Y = 0,00746 * X_1 + 0,000017 * X_2 + 20,824$	0,53	0,28
4.2	$Y = 0,00318 * X_1 + 0,01535 * X_2 + 6,851$	0,63	0,40
4.3	$Y = 0,03519 * X_1 - 0,00014 * X_2 - 0,1054$	0,37	0,14
4.4	$Y = 0,0497 * X_1 - 0,000464 * X_2 - 0,00016 * X_3 - 0,162$	0,53	0,28
4.5	$Y = 1,003 * X_1 - 0,0878 * X_2 + 0,00338 * X_3 - 2,809$	0,63	0,40
4.6	$Y = -0,03218 * X_1 + 0,00058 * X_2 + 0,00024 * X_3 + 1,65$	0,39	0,15

DONDE

TIPO REGRESION

1. REG. LINEAL SIMPLE

1.1. X= DIAMETRO

1.2. X= ALTURA

1.3. X= RAZON. ALTURA/DIAMETRO

2. REG. EXPONENCIAL O LOGARITMICA

2.1. X= Ln DIÁMETRO

2.2. X= Ln ALTURA

2.3. X= Ln RAZON. ALTURA/DIAMETRO

3.- REG. MÚLTIPLE

3.2. X₁= ALTURA ; X₂= RAZON ALT/DIAM.

3.3. X₁= DIAMETRO ; X₂= RAZON ALT/DIAM.

3.4. X₁= ALTURA ; X₂= DIAMETRO ; X₃= RAZON .ALT/DIAM.

4.- REG. POLINOMIALES

4.1. X₁= ALTURA ; X₂=ALTURA²

4.2. X₁= DIAMETRO ; X₂= DIAMETRO²

4.3. X₁= RAZON. ALT/DIAM. ; X₂= RAZON ALT/DIAM.²

4.4. X₁= ALTURA ; X₂= ALTURA² ; X₃= ALTURA³

4.5. X₁= DIAMETRO ; X₂= DIAMETRO² ; X₃= DIAMETRO³

4.6. X₁= RAZON ALT/DIAM. ; X₂= RAZON ALT/DIAM.² ; X₃= RAZON ALT/DIAM³

APENDICE 3-C Funciones aplicadas a variable peso seco tallo.

Tipo de regresión	Ecuación	R	R ²
1.1.	$Y = -26,892 + 4,474 * X$	0,85	0,72
1.2.	$Y = -3,3165 + 0,2 * X$	0,90	0,81
1.3.	$Y = -1,6124 + 0,1636 * X$	0,63	0,40
2.1.	$Y = -71,599 + 39,19 * X$	0,82	0,67
2.2.	$Y = -49,678 + 14,929 * X$	0,82	0,67
2.3.	$Y = -43,7624 + 14,929 * X$	0,61	0,37
3.1.	$Y = 0,1297 * X_1 + 24,72 * X_2 - 19,545$	0,96	0,92
3.2.	$Y = 0,3685 * X_1 - 0,218 * X_2 + 2,245$	0,96	0,93
3.3.	$Y = 38,4498 * X_1 + 0,1084 * X_2 - 30,7747$	0,94	0,89
3.4.	$Y = 0,32 * X_1 + 5,26 * X_2 - 0,18 * X_3 - 2,22$	0,96	0,93
4,1	$Y = -0,1602 * X_1 + 0,0018 * X_2 - 8,871$	0,93	0,87
4,2	$Y = -2,918 * X_1 + 0,3806 * X_2 + 6,851$	0,88	0,77
4,3	$Y = 0,144 * X_1 + 0,0001 * X_2 - 0,905$	0,62	0,39
4,4	$Y = 0,06 * X_1 - 0,00067 * X_2 - 0,0000082 * X_3 + 3,7$	0,94	0,88
4,5	$Y = -15,6 * X_1 + 1,6886 * X_2 - 0,04293 * X_3 + 45,9$	0,88	0,77
4,6	$Y = -0,992 * X_1 + 0,0124 * X_2 - 0,00004 * X_3 + 28,7$	0,66	0,43

DONDE

TIPO REGRESION

1. REG. LINEAL SIMPLE

- 1.1. X= DIAMETRO
 1.2. X= ALTURA
 1.3. X= RAZON. ALTURA/DIAMETRO

2. REG. EXPONENCIAL O LOGARITMICA

- 2.1. X= Ln DIÁMETRO
 2.2. X= Ln ALTURA
 2.3. X= Ln RAZON. ALTURA/DIAMETRO

3.- REG. MÚLTIPLE

- 3.1. X₁= ALTURA ; X₂= DIAMETRO

- 3.3. X₁= DIAMETRO ; X₂= RAZON ALT/DIAM.

- 3.4. X₁= ALTURA ; X₂= DIAMETRO ; X₃= RAZON .ALT/DIAM.

4.- REG. POLINOMIALES

- 4.1. X₁= ALTURA ; X₂=ALTURA²
 4.2. X₁= DIAMETRO ; X₂= DIAMETRO²
 4.3. X₁= RAZON. ALT/DIAM. ; X₂= RAZON ALT/DIAM.²
 4.4. X₁= ALTURA ; X₂= ALTURA² ; X₃= ALTURA³
 4.5. X₁= DIAMETRO ; X₂= DIAMETRO² ; X₃= DIAMETRO³
 4.6. X₁= RAZON ALT/DIAM. ; X₂= RAZON ALT/DIAM.² ; X₃= RAZON ALT/DIAM.³

APENDICE 3-D. Funciones aplicadas a variable peso seco raíces.

Tipo Regresión	Ecuación	R	R ²
1.1.	$Y = -7,3965 + 1,456 * X$	0,88	0,77
1.2.	$Y = 1,7125 + 0,047 * X$	0,66	0,44
1.3.	$Y = 3,002 + 0,0283 * X$	0,34	0,12
2.1.	$Y = -22,092 + 12,8213 * X$	0,85	0,72
2.2.	$Y = -8,851 + 3,429 * X$	0,60	0,36
2.3.	$Y = -4,1744 + 2,227 * X$	0,33	0,11
3.1.	$Y = 0,01 * X_1 + 13,011 * X_2 - 6,829$	0,89	0,79
3.2.	$Y = 0,126 * X_1 - 0,1023 * X_2 + 4,322$	0,87	0,75
3.3.	$Y = 14,09 * X_1 + 0,000804 * X_2 - 7,684$	0,89	0,79
3.4.	$Y = 0,034 * X_1 + 10,564 * X_2 - 0,0224 * X_3 - 4,65$	0,89	0,79
4.1	$Y = -0,0689 * X_1 + 0,000591 * X_2 + 5,6334$	0,73	0,53
4.2	$Y = -0,7669 * X_1 + 0,1144 * X_2 + 2,7491$	0,90	0,81
4.3	$Y = 0,051 * X_1 - 0,00012 * X_2 + 2,179$	0,35	0,12
4.4	$Y = 0,0279 * X_1 - 0,000511 * X_2 + 0,0000036 * X_3 + 3,3$	0,73	0,53
4.5	$Y = 1,01526 * X_1 - 0,0694 * X_2 + 0,00603 * X_3 - 2,744$	0,90	0,81
4.6	$Y = -0,4581 * X_1 + 0,00538 * X_2 - 0,000018 * X_3 + 15,4$	0,44	0,19

DONDE

TIPO REGRESION

1. REG. LINEAL SIMPLE

- 1.1. X= DIAMETRO
- 1.2. X= ALTURA
- 1.3. X= RAZON. ALTURA/DIAMETRO

2. REG. EXPONENCIAL O LOGARITMICA

- 2.1. X= Ln DIÁMETRO
- 2.2. X= Ln ALTURA
- 2.3. X= Ln RAZON. ALTURA/DIAMETRO

3.- REG. MÚLTIPLE

- 3.1. X₁= ALTURA ; X₂= DIAMETRO
- 3.2. X₁= ALTURA ; X₂= RAZON ALT/DIAM.
- 3.3. X₁= DIAMETRO ; X₂= RAZON ALT/DIAM.
- 3.4. X₁= ALTURA ; X₂= DIAMETRO ; X₃= RAZON .ALT/DIAM.

4.- REG. POLINOMIALES

- 4.1. X₁= ALTURA ; X₂=ALTURA²
- 4.3. X₁= RAZON. ALT/DIAM. ; X₂= RAZON ALT/DIAM.²
- 4.4. X₁= ALTURA ; X₂= ALTURA² ; X₃= ALTURA³
- 4.5. X₁= DIAMETRO ; X₂= DIAMETRO² ; X₃= DIAMETRO³
- 4.6. X₁= RAZON ALT/DIAM. ; X₂= RAZON ALT/DIAM.² ; X₃= RAZON ALT/DIAM.³

APENDICE 3-E. Funciones aplicadas a variable peso seco raíz principal.

Tipo regresión	Ecuación	R	R ²
1.1.	$Y = -6,309 + 1,154 * X$	0,87	0,76
1.2.	$Y = 1,003 + 0,0362 * X$	0,63	0,40
1.3.	$Y = 2,0893 + 0,0207 * X$	0,31	0,10
2.1.	$Y = -17,892 + 10,135 * X$	0,83	0,70
2.2.	$Y = -6,8521 + 2,5733 * X$	0,56	0,30
2.3.	$Y = 2,8966 + 1,5678 * X$	0,28	0,08
3.1.	$Y = 0,0595 * X_1 + 10,6246 * X_2 - 5,9721$	0,87	0,76
3.2.	$Y = 0,10115 * X_1 - 0,0841 * X_2 + 3,1482$	0,85	0,73
3.3.	$Y = 11,2842 * X_1 + 0,00447 * X_2 - 6,469$	0,87	0,76
3.4.	$Y = 0,0293 * X_1 + 8,275 * X_2 - 0,0215 * X_3 - 3,88$	0,87	0,76
4.1	$Y = -0,0763 * X_1 + 0,00574 * X_2 + 4,894$	0,73	0,53
4.2	$Y = -0,7701 * X_1 + 0,0991 * X_2 + 2,4755$	0,89	0,80
4.3	$Y = 0,0154 * X_1 + 0,0000278 * X_2 + 2,2845$	0,31	0,095
4.4	$Y = -0,022 * X_1 - 0,000047 * X_2 + 0,000002 * X_3 + 3,5$	0,73	0,53
4.5	$Y = 0,0119 * X_1 + 0,0184 * X_2 + 0,00265 * X_3 + 0,06$	0,89	0,79
4.6	$Y = -0,4296 * X_1 + 0,0048 * X_2 - 0,000015 * X_3 + 13,78$	0,42	0,18

DONDE

TIPO REGRESION

1. REG. LINEAL SIMPLE

1.1. X= DIAMETRO

1.2. X= ALTURA

1.3. X= RAZON. ALTURA/DIAMETRO

2. REG. EXPONENCIAL O LOGARITMICA

2.1. X= Ln DIÁMETRO

2.2. X= Ln ALTURA

2.3. X= Ln RAZON. ALTURA/DIAMETRO

3.- REG. MÚLTIPLE

3.1. X₁= ALTURA ; X₂= DIAMETRO

3.2. X₁= ALTURA ; X₂= RAZON ALT/DIAM.

3.3. X₁= DIAMETRO ; X₂= RAZON ALT/DIAM.

3.4. X₁= ALTURA ; X₂= DIAMETRO ; X₃= RAZON .ALT/DIAM.

4.- REG. POLINOMIALES

4.1. X₁= ALTURA ; X₂=ALTURA²

4.3. X₁= RAZON. ALT/DIAM. ; X₂= RAZON ALT/DIAM.²

4.4. X₁= ALTURA ; X₂= ALTURA² ; X₃= ALTURA³

4.5. X₁= DIAMETRO ; X₂= DIAMETRO² ; X₃= DIAMETRO³

4.6. X₁= RAZON ALT/DIAM. ; X₂= RAZON ALT/DIAM.² ; X₃= RAZON ALT/DIAM.³

APENDICE 3-F. Funciones aplicadas a variable peso seco raíces mayores a un milímetro.

Tipo regresión	Ecuación	R	R ²
1.1.	$Y = -1,1476 + 0,2874 * X$	0,73	0,53
1.2.	$Y = 0,2011 + 0,011 * X$	0,64	0,41
1.3.	$Y = 0,3908 + 0,00772 * X$	0,40	0,16
2.1.	$Y = -4,4246 + 2,5534 * X$	0,71	0,50
2.2.	$Y = -2,3045 + 0,8069 * X$	0,59	0,35
2.3.	$Y = -1,6067 + 0,6169 * X$	0,38	0,14
3.1.	$Y = 0,00469 * X_1 + 2,15 * X_2 - 1,2104$	0,76	0,58
3.2.	$Y = 0,0242 * X_1 - 0,0174 * X_2 + 0,6445$	0,75	0,57
3.3.	$Y = 2,6467 * X_1 + 0,003924 * X_2 - 1,6166$	0,75	0,57
3.4.	$Y = 0,01167 * X_1 + 1,447 * X_2 - 0,0064 * X_3 - 0,5846$	0,76	0,58
4,1	$Y = -0,0091 * X_1 + 0,000102 * X_2 + 0,87525$	0,67	0,45
4,2	$Y = -0,0256 * X_1 + 0,0161 * X_2 - 0,0472$	0,73	0,54
4,3	$Y = 0,01074 * X_1 - 0,000016 * X_2 + 0,2794$	0,40	0,16
4,4	$Y = 0,0085 * X_1 - 0,000099 * X_2 + 0,000066 * X_3 + 0,4$	0,67	0,46
4,5	$Y = 0,2381 * X_1 - 0,0111 * X_2 + 0,000893 * X_3 + 74,134$	0,74	0,55
4,6	$Y = -0,0603 * X_1 + 0,000752 * X_2 - 0,00025 * X_3 + 2,13$	0,42	0,18

DONDE

TIPO REGRESION

1. REG. LINEAL SIMPLE

1.1. X= DIAMETRO

1.2. X= ALTURA

1.3. X= RAZON. ALTURA/DIAMETRO

2. REG. EXPONENCIAL O LOGARITMICA

2.1. X= Ln DIÁMETRO

2.2. X= Ln ALTURA

2.3. X= Ln RAZON. ALTURA/DIAMETRO

3.- REG. MÚLTIPLE

3.2. $X_1 = \text{ALTURA} ; X_2 = \text{RAZON ALT/DIAM.}$

3.3. $X_1 = \text{DIAMETRO} ; X_2 = \text{RAZON ALT/DIAM.}$

3.4. $X_1 = \text{ALTURA} ; X_2 = \text{DIAMETRO} ; X_3 = \text{RAZON .ALT/DIAM.}$

4.- REG. POLINOMIALES

4.1. $X_1 = \text{ALTURA} ; X_2 = \text{ALTURA}^2$

4.2. $X_1 = \text{DIAMETRO} ; X_2 = \text{DIAMETRO}^2$

4.3. $X_1 = \text{RAZON. ALT/DIAM.} ; X_2 = \text{RAZON ALT/DIAM.}^2$

4.4. $X_1 = \text{ALTURA} ; X_2 = \text{ALTURA}^2 ; X_3 = \text{ALTURA}^3$

4.5. $X_1 = \text{DIAMETRO} ; X_2 = \text{DIAMETRO}^2 ; X_3 = \text{DIAMETRO}^3$

4.6. $X_1 = \text{RAZON ALT/DIAM.} ; X_2 = \text{RAZON ALT/DIAM.}^2 ; X_3 = \text{RAZON ALT/DIAM}^3$

APENDICE 3-G. Funciones aplicadas a variable peso seco raíces secundarias menores a un milímetro.

Tipo regresión	Ecuación	R	R ²
1.1.	$Y = 0,3889 + 0,0139*X$	0,07	0,005
1.2.	$Y = 0,5082 + 0,0000407*X$	0,004	0,00002
1.3.	$Y = 0,5220 + 0,000125*X$	0,01	0,0001
2.1.	$Y = 0,2249 + 0,1333*X$	0,08	0,006
2.2.	$Y = 0,3059 + 0,0493*X$	0,07	0,005
2.3.	$Y = 0,32891 + 0,04219*X$	0,05	0,002
3.1.	$Y = -0,0006314*X_1 + 0,2362*X_2 + 0,35317$	0,09	0,01
3.2.	$Y = 0,000672*X_1 - 0,00082*X_2 + 0,5291$	0,03	0,001
3.3.	$Y = 0,159*X_1 - 0,00035*X_2 + 0,4015$	0,077	0,06
3.4.	$Y = -0,00664*X_1 + 0,8416*X_2 + 0,00555*X_3 - 0,18$	0,14	0,02
4.1	$Y = -0,01658*X_1 - 0,0000843*X_2 - 0,0512$	0,36	0,13
4.2	$Y = 0,0288*X_1 - 0,000768*X_2 + 0,321$	0,07	0,005
4.3	$Y = 0,02445*X_1 - 0,000129*X_2 - 0,3848$	0,44	0,19
4.4	$Y = 0,04125*X_1 - 0,00037*X_2 + 0,000009*X_3 - 0,63$	0,39	0,15
4.5	$Y = 0,7653*X_1 - 0,0767*X_2 + 0,00249*X_3 - 3,707$	0,12	0,015
4.6	$Y = 0,0281*X_1 - 0,00017*X_2 + 0,00001*X_3 - 0,48$	0,44	0,19

DONDE

TIPO REGRESION

1. REG. LINEAL SIMPLE

1.1. X= DIAMETRO

1.2. X= ALTURA

1.3. X= REL. ALTURA/DIAMETRO

2. REG. EXPONENCIAL O LOGARITMICA

2.1. X= Ln DIÁMETRO

2.2. X= Ln ALTURA

2.3. X= Ln REL. ALTURA/DIAMETRO

3.- REG. MÚLTIPLE

3.1. X₁= ALTURA ; X₂= DIAMETRO

3.2. X₁= ALTURA ; X₂= REL. ALT/DIAM.

3.3. X₁= DIAMETRO ; X₂= REL. ALT/DIAM.

3.4. X₁= ALTURA ; X₂= DIAMETRO ; X₃= REL. ALT/DIAM.

4.- REG. POLINOMIALES

4.1. X₁= ALTURA ; X₂=ALTURA²

4.2. X₁= DIAMETRO ; X₂= DIAMETRO²

4.3. X₁= REL. ALT/DIAM. ; X₂= REL. ALT/DIAM.²

4.4. X₁= ALTURA ; X₂= ALTURA² ; X₃= ALTURA³

4.5. X₁= DIAMETRO ; X₂= DIAMETRO² ; X₃= DIAMETRO³

4.6. X₁= REL. ALT/DIAM. ; X₂= REL. ALT/DIAM.² ; X₃= REL. ALT/DIAM.³

APENDICE 3-H. Funciones aplicadas para variable biomasa.

Tipo regresión	Ecuación	R	R ²
1.1.	$Y = -53,616 + 9,1394 * X$	0,87	0,76
1.2.	$Y = -3,292 + 0,3816 * X$	0,85	0,72
1.3.	$Y = 1,33 + 0,296 * X$	0,57	0,32
2.1.	$Y = -144,742 + 79,9693 * X$	0,83	0,69
2.2.	$Y = -91,7732 + 28,4883 * X$	0,78	0,61
2.3.	$Y = -75,9821 + 23,8273 * X$	0,55	0,30
3.1.	$Y = 0,2166 * X_1 + 57,966 * X_2 - 41,347$	0,94	0,88
3.2.	$Y = 0,764 * X_1 - 0,4948 * X_2 + 9,324$	0,95	0,90
3.3.	$Y = 80,9084 * X_1 + 0,18015 * X_2 - 60,0652$	0,93	0,87
3.4.	$Y = 0,5658 * X_1 + 22,7765 * X_2 - 0,328 X_3 - 10,022$	0,95	0,90
4,1	$Y = -0,301718 * X_1 + 0,003485 * X_2 + 19,825$	0,89	0,79
4,2	$Y = -6,8114 * X_1 + 0,8235 * X_2 + 19,196$	0,90	0,81
4,3	$Y = 0,4142 * X_1 + 0,000062 * X_2 - 3,021$	0,57	0,32
4,4	$Y = 0,17621 * X_1 - 0,00196 * X_2 + 0,000018 X_3 + 8,6$	0,89	0,80
4,5	$Y = -23,743 * X_1 + 2,5677 * X_2 - 0,0573 X_3 + 71,38$	0,90	0,81
4,6	$Y = -2,1109 * X_1 + 0,02667 * X_2 - 0,000088 X_3 + 67,7$	0,61	0,37

DONDE

TIPO REGRESION

1. REG. LINEAL SIMPLE

1.1. X= DIAMETRO

1.2. X= ALTURA

1.3. X= RAZON. ALTURA/DIAMETRO

2. REG. EXPONENCIAL O LOGARITMICA

2.1. X= Ln DIÁMETRO

2.2. X= Ln ALTURA

2.3. X= Ln RAZON. ALTURA/DIAMETRO

3.- REG. MÚLTIPLE

3.1. X₁= ALTURA ; X₂= DIAMETRO

3.3. X₁= DIAMETRO ; X₂= RAZON ALT/DIAM.

3.4. X₁= ALTURA ; X₂= DIAMETRO ; X₃= RAZON .ALT/DIAM.

4.- REG. POLINOMIALES

4.1. X₁= ALTURA ; X₂= ALTURA²

4.2. X₁= DIAMETRO ; X₂= DIAMETRO²

4.3. X₁= RAZON. ALT/DIAM. ; X₂= RAZON ALT/DIAM.²

4.4. X₁= ALTURA ; X₂= ALTURA² ; X₃= ALTURA³

4.5. X₁= DIAMETRO ; X₂= DIAMETRO² ; X₃= DIAMETRO³

4.6. X₁= RAZON ALT/DIAM. ; X₂= RAZON ALT/DIAM.² ; X₃= RAZON ALT/DIAM³

APENDICE 3-I. Funciones aplicadas a variable razón peso seco aéreo peso seco radicular.

Tipo regresión	Ecuación	R	R ²
1.1.	$Y = 1,0198 + 0,2958 * X$	0,45	0,20
1.2.	$Y = 1,7086 + 0,02414 * X$	0,85	0,72
1.3.	$Y = 1,2302 + 0,0276 * X$	0,84	0,71
2.1.	$Y = -2,0287 + 2,6344 * X$	0,44	0,19
2.2.	$Y = -4,5492 + 1,9606 * X$	0,86	0,74
2.3.	$Y = -5,9552 + 2,215 * X$	0,82	0,67
3.1.	$Y = 0,02805 * X_1 - 1,37097 * X_2 + 2,6087$	0,87	0,76
3.2.	$Y = 0,01414 * X_1 + 0,01296 * X_2 + 1,37825$	0,87	0,76
3.3.	$Y = 1,4803 * X_1 + 0,0255 * X_2 + 0,1074$	0,87	0,76
3.4.	$Y = 0,01202 * X_1 + 0,2448 * X_2 + 0,014817 * X_3 + 1,17$	0,87	0,76
4,1	$Y = 0,04208 * X_1 - 0,000091 * X_2 + 1,1018$	0,86	0,74
4,2	$Y = 0,2148 * X_1 + 0,004772 * X_2 + 1,3897$	0,44	0,20
4,3	$Y = 0,01794 * X_1 + 0,000051 * X_2 + 1,5868$	0,85	0,71
4,4	$Y = -0,00406 * X_1 + 0,00043 * X_2 + 0,000017 * X_3 + 2,1$	0,87	0,75
4,5	$Y = -5,1886 * X_1 + 0,5615 * X_2 + 0,01879 * X_3 + 18,04$	0,5	0,25
4,6	$Y = -0,0424 * X_1 + 0,000703 * X_2 - 0,00021 * X_3 + 3,15$	0,86	0,74

DONDE

TIPO REGRESION

1. REG. LINEAL SIMPLE

1.1. X= DIAMETRO

1.2. X= ALTURA

1.3. X= RAZON. ALTURA/DIAMETRO

2. REG. EXPONENCIAL O LOGARITMICA

2.1. X= Ln DIÁMETRO

2.2. X= Ln ALTURA

2.3. X= Ln RAZON. ALTURA/DIAMETRO

3.- REG. MÚLTIPLE

3.2. X₁= ALTURA ; X₂= RAZON ALT/DIAM.

3.3. X₁= DIAMETRO ; X₂= RAZON ALT/DIAM.

3.4. X₁= ALTURA ; X₂= DIAMETRO ; X₃= RAZON .ALT/DIAM.

4.- REG. POLINOMIALES

4.1. X₁= ALTURA ; X₂=ALTURA²

4.2. X₁= DIAMETRO ; X₂= DIAMETRO²

4.3. X₁= RAZON. ALT/DIAM. ; X₂= RAZON ALT/DIAM.²

4.4. X₁= ALTURA ; X₂= ALTURA² ; X₃= ALTURA³

4.5. X₁= DIAMETRO ; X₂= DIAMETRO² ; X₃= DIAMETRO³

4.6. X₁= RAZON ALT/DIAM. ; X₂= RAZON ALT/DIAM.² ; X₃= RAZON ALT/DIAM.³