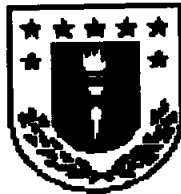
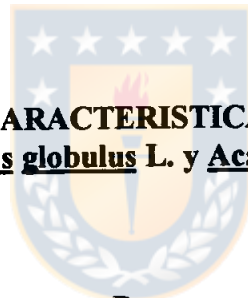


**UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
Departamento Silvicultura.**



**DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DE CRECIMIENTO DE UN
RODAL MIXTO DE Eucalyptus globulus L. y Acacia melanoxylon R. Br.**



Por

GUILLERMO IGNACIO TOLEDO MALINOWSKI


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

CONCEPCION - CHILE

1997

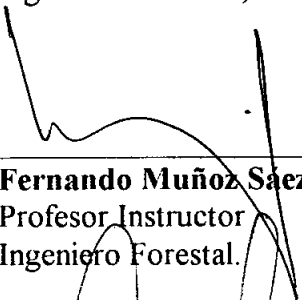
**DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DE CRECIMIENTO DE UN
RODAL MIXTO DE *Eucaliptus globulus* L. y *Acacia melanoxylon* R. Br.**

Profesor Asesor



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

Profesor Asesor



Fernando Muñoz Sáez
Profesor Instructor
Ingeniero 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.

Sr. Miguel Espinosa Bancalari : 80 Puntos.

Sr. Fernando Muñoz Sáez : 86 Puntos.

Quiero agradecer a todas las personas que de una u otra forma hicieron posible la realización del presente estudio, especialmente:

- A don Miguel Espinosa B., Docente de la Facultad de Ciencias Forestales, por sus consejos, apoyo, y orientación en la realización del estudio.
- A don Fernando Muñoz S., por su confianza depositada en mí para la realización de dicho estudio.
- A mis padres (Guillermo Toledo y Tatiana Malinowski), que de una u otra manera siempre estuvieron a mi lado, entregándome su apoyo y amor incondicional.
- A mis grandes amigos y colegas, Javier Campano, Gonzalo Carrasco, Mauricio Chauriye, Ernesto Olmedo, Gonzalo Puentes, Andrés Salas y Roberto Viel, porque lejos de mi casa encontré en ellos los mejores amigos que cualquiera quisiera tener.

INDICE DE MATERIAS

CAPITULO	PAGINA
I	INTRODUCCION 1
II	METODOLOGIA 3
	2.1 Características del rodal y del área de estudio..... 3
	2.2 Procedimiento de terreno y laboratorio 4
	2.3 Análisis de datos 10
III	RESULTADOS Y DISCUSION 11
	3.1 Crecimiento en diámetro 11
	3.2 Crecimiento en altura 13
	3.3 Crecimiento en área basal 15
	3.4 Crecimiento en volumen 17
	3.5 Biomasa 19
	3.6 Funciones predictoras de biomasa 20
	3.7 Densidad básica de la madera 22
	3.8 Albura y duramen 23
	3.9 Area foliar 24
IV	CONCLUSIONES 27
V	RESUMEN 29
VI	SUMMARY 30
VII	BIBLIOGRAFIA 31
VIII	APENDICE 34

INDICE DE TABLAS

TABLA N°

PAGINA

En el texto

1	Biomasa aérea de cada componente del rodal mixto de <i>Eucalyptus globulus</i> - <i>Acacia melanoxylon</i>	20
2	Modelos predictores de biomasa por componente y su estadística asociada para <i>Eucalyptus globulus</i>	21
3	Modelos predictores de biomasa por componente y su estadística asociada para <i>Acacia melanoxylon</i>	22
4	Densidad básica de la madera de <i>Eucalyptus globulus</i> - <i>Acacia melanoxylon</i> en las distintas secciones del árbol.....	23
5	Variación de albura y duramen a lo largo del fuste en <i>Acacia melanoxylon</i>	24
6	Superficie foliar proyectada para cada sección de la copa de <i>Eucalyptus globulus</i> - <i>Acacia melanoxylon</i>	25
7	Funciones de área foliar y su estadística asociada para los árboles muestras del rodal	26

INDICE DE TABLAS

TABLA N°		PAGINA
<u>En el apendice</u>		
1 A	Tabla de rodal <i>Eucalyptus globulus</i> – <i>Acacia melanoxylon</i>	34
2 A	Variables dasométricas de los árboles muestra.....	35



INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		PAGINA
<u>En el texto</u>		
1	Distribución diamétrica del rodal de <i>Eucalyptus globulus</i> – <i>Acacia melanoxylon</i>	5
2	Esquema de los puntos de muestreo en el fuste y en la copa del árbol.....	6
3	Determinación de los radios en la rodela.....	8
4	Diagrama de las actividades de terreno y de laboratorio.....	9
5	Crecimiento en diámetro rodal de <i>Eucalyptus globulus</i> - <i>Acacia melanoxylon</i>	12
6	Incremento corriente anual en diámetro rodal de <i>Eucalyptus globulus</i> <i>Acacia melanoxylon</i>	12
7	Crecimiento en altura rodal de <i>Eucalyptus globulus</i> - <i>Acacia melanoxylon</i>	14
8	Incremento corriente anual en altura rodal de <i>Eucalyptus globulus</i> <i>Acacia melanoxylon</i>	14

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	PAGINA
<u>En el texto</u>	
9	Crecimiento en área basal rodal de <i>Eucalyptus globulus</i> – <i>Acacia melanoxylon</i> 16
10	Incremento corriente anual en área basal rodal de <i>Eucalyptus globulus</i> – <i>Acacia melanoxylon</i> 16
11	Crecimiento en volumen rodal de <i>Eucalyptus globulus</i> – <i>Acacia melanoxylon</i> 18
12	Incremento corriente anual e incremento medio anual rodal de <i>Eucalyptus globulus</i> – <i>Acacia melanoxylon</i> 18

I INTRODUCCION

El interés por los bosques mixtos se ha incrementado enormemente durante la última década, en respuesta a los diferentes intereses y presiones que manifiesta la sociedad respecto del uso de los recursos naturales y en particular de los bosques (Kelty et al., 1992). En Chile, el sector forestal muestra una constante preocupación, debido principalmente a los cambios que se están produciendo en los distintos mercados, las exigencias en cuanto a calidad de los productos y las cada vez mayores restricciones ambientales, la fuerte competencia internacional que aumenta año a año, y las desventajas que presentarían los bosques puros a las diferentes plagas y enfermedades, entre otras consideraciones. Las plantaciones en Chile se basan principalmente en bosques puros de *Pinus radiata* y de *Eucalyptus globulus*, y en menor escala otras especies. Sin embargo, empresas particulares y estatales, con el fin de enfrentar en forma más eficiente los diferentes cambios que se produzcan a futuro, están invirtiendo fuertemente en encontrar nuevas alternativas silvícolas.

Entre estas alternativas, está el establecimiento de rodales mixtos, donde las especies crezcan a toda su capacidad sin que se produzcan interferencias en cuanto a los diferentes requerimientos de luz, donde una mezcla puede ser más eficiente en las tasas de asimilación que un rodal puro (Assmann, 1970), ya que si no son lo suficientemente distintos, la presión de interferencia conduciría a la extinción de una de las especies (Vandermeer, 1981).

En este marco, Forestal Mininco S.A y la Universidad de Concepción, iniciaron un estudio para determinar el crecimiento de un rodal mixto de 13 años de edad, compuesto por *Eucalyptus globulus* y *Acacia melanoxylon*. Para ello se realizó un inventario del rodal y posteriormente análisis fustal para la determinación de las características de

crecimiento para ambas especies y determinación de biomasa de una muestra de árboles seleccionados de acuerdo a la dispersión diamétrica encontrada.



II METODOLOGIA

2.1 Características del rodal y del área de estudio

En enero de 1996, se realizó un inventario en un rodal mixto de *Eucalyptus globulus* (eucalipto) y *Acacia melanoxylon* (aromo) (Tabla 1A). El rodal, que tiene una superficie de 6,1 hectáreas, fue establecido en julio de 1983 en el Fundo Escuadrón, de propiedad de Forestal Mininco S.A., ubicado a 20 km al suroeste de la ciudad de Concepción por la ruta a Coronel, Octava Región. La plantación se realizó en hileras en forma alternada y no ha recibido ningún tipo de manejo silvícola.

A partir de un muestreo aleatorio simple se generó un inventario del rodal, donde se abarcó toda la superficie con siete parcelas de 441 m². En cada una de las parcelas a todos los árboles se les midió el diámetro a la altura del pecho, y a los cinco árboles centrales la altura total. El inventario arrojó una densidad de 1085 arb/ha, de los cuales 609 árboles corresponden a aromo y 476 árboles a eucalipto. La diferencia de densidad para ambas especies se debe a que en los sectores de mayor pendiente no se realizó la corrección por pendiente durante la plantación, y no se respetó la plantación alternada en hileras, encontrándose en muchos sectores sólo aromo.

El régimen térmico del área donde se ubica la plantación se caracteriza por temperaturas que varían en promedio, entre una máxima en enero de 23,9 °C y una mínima en julio de 5,9 °C. El periodo libre de heladas es de 309 días, con un promedio de dos heladas por año. El régimen hídrico presenta una precipitación media anual de 1134 mm y un periodo seco de cinco meses (Santibáñez y Uribe, 1993).

El rodal crece en una zona donde el suelo es derivado de sedimentos marinos que ocupan una posición baja a intermedia, constituyendo terrazas marinas, planos depositacionales o valles entre montañas con una topografía ondulada a quebrada. La textura del suelo es franco arcillosa en la superficie, tornándose arcillosa en la medida que aumenta la profundidad del suelo (Carrasco y Millán, 1990). La topografía del terreno de plantación es ondulada con pendientes que fluctúan entre 3% y 56%.

El sotobosque está compuesto básicamente por *Litrea caustica* (Litre), *Cryptocaria alba* (Peumo), *Gevuina avellana* (Avellano), *Teline monspesulana* (Retamilla), *Aristotelia chilensis* (Maqui), *Lapagerea roseae* (Copihue), *Luma apiculata* (Arrayán) y *Drymis winteri* (Canelo).

2.2 Procedimiento de terreno y laboratorio

La selección de los árboles muestra se basó en la distribución diamétrica del rodal. Esta se dividió en tres rangos: 3-18, 19-32 y 33-45 cm para eucalipto y 3-12, 13-22 y 23-29 cm para aromo. Dieciocho árboles muestra en total para ambas especies fueron seleccionados, con un error de muestreo de 15%. En eucalipto se seleccionaron cuatro por cada clase diamétrica y para aromo dos; la elección de los árboles correspondió al de área basal media de cada rango (Figura 1).

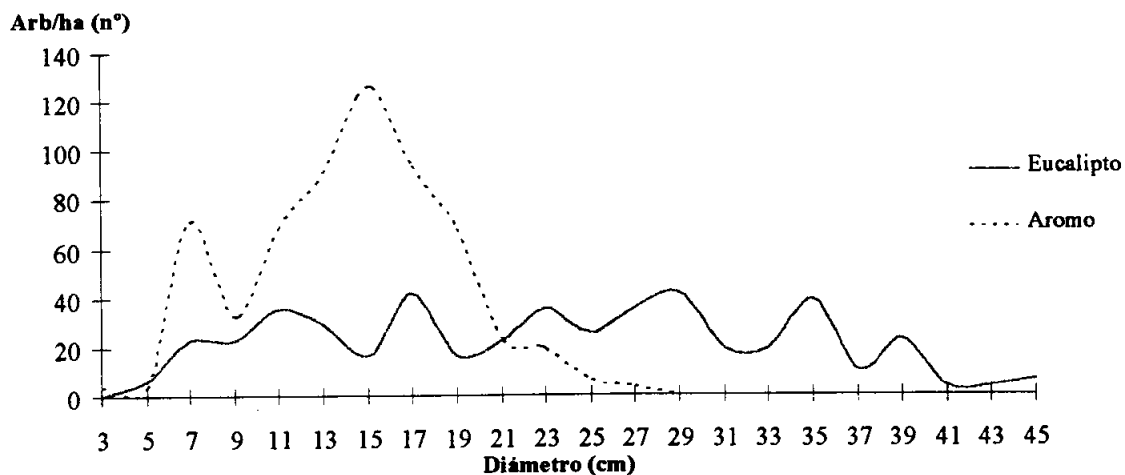


FIGURA 1. Distribución diamétrica del rodal mixto.

Una vez seleccionados los árboles y previo al volteo, se les marcó y midió su diámetro a 0,2 y 1,3 metros. Después del volteo, se determinó la base de la copa viva, la altura total (incluyendo la altura del tocón (Ht)) y la longitud de la copa viva. La copa viva fue dividida en tercios iguales, y cada tercio fue desprendido de todas sus ramas y pesadas con un dinamómetro. En cada tercio de la copa se eligieron tres ramas al azar, las cuales fueron identificadas y guardadas en bolsas de polietileno para su posterior análisis en laboratorio. Se cortaron discos (rodela) de 2 a 4 cm de espesor en el tocón, dap, base de la copa y cada 1/10 de la altura total del árbol, registrándose también la longitud y diámetro de cada sección. Las rodela fueron marcadas y guardadas en bolsas de polietileno para su posterior análisis en laboratorio (Figura 2).

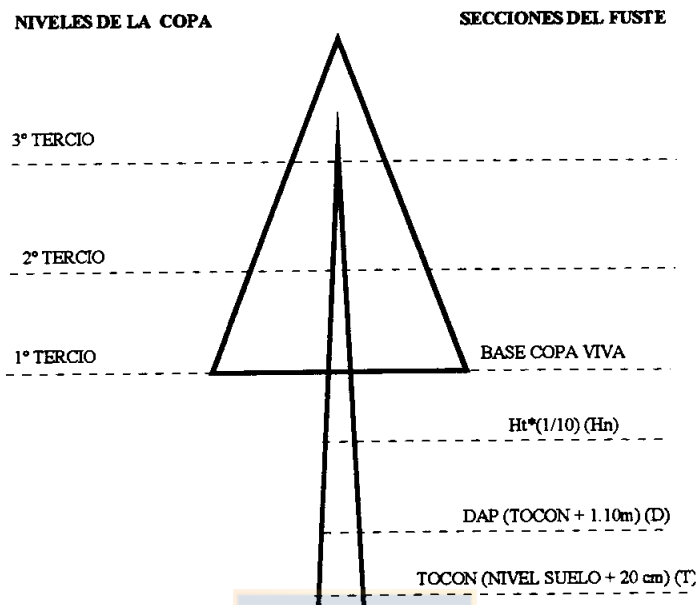


FIGURA 2. Esquema de los puntos de muestreo en el fuste y en la copa del árbol.

En laboratorio todas las ramillas fueron desprendidas de las ramas y pesadas junto con las hojas. Submuestra de ramillas fueron tomadas al azar desde las ramas (para calcular las razones de las estimaciones de peso seco de hojas y ramillas). Luego las hojas fueron removidas de las ramillas, pesadas separadamente y puestas a secar por 48 horas a 70°C, y así determinar su peso seco.

Las razones utilizadas para las estimaciones de peso seco de hojas y ramillas fueron las siguientes:

1.- Peso verde de hojas + Peso verde de ramillas

Peso verde de la submuestra de ramas

2.- Peso verde de las hojas

Peso verde de hojas + peso verde de ramillas

3.- Peso seco de las hojas o Peso seco de ramillas

Peso verde de las hojas Peso verde de ramillas

4.- Peso seco de las ramas

Peso verde de las ramas

A partir de las razones o proporciones señaladas se obtuvo la cantidad de hojas, ramillas y ramas por sección en peso seco, y finalmente el total del árbol con la suma de las tres secciones.

Además de la submuestra de hojas para el cálculo del peso seco foliar, también se tomó una submuestra de hojas para determinar la superficie foliar con un medidor de área foliar Li-Cor Li-3100. A partir de dicha información se obtuvo el área de la hoja proyectada y el índice de área foliar (Espinosa y Perry, 1987).

El área foliar (proyectada) de la copa fue calculada a partir de la siguiente fórmula:

Área foliar (proyectada) = Peso seco foliar x Área específica de la hoja

* Donde área específica de la hoja = $\frac{\text{Área de la hoja verde}}{\text{Peso seco de las hojas}}$

El índice de área foliar (IAF) se obtuvo a partir de la siguiente fórmula:

Índice de área foliar (IAF) = $\frac{\text{Área foliar (proyectada)} \times \text{N}^\circ \text{ Arb/ha}}{10000}$

10000

El análisis fustal fue realizado con las rodela que se obtuvieron a las distintas alturas del árbol. En cada una de ellas, se midió el diámetro con y sin corteza y el espesor de corteza de cada rodela. Luego cada una de ellas fue inmersa en un recipiente con agua para obtener su volumen. Posteriormente cada una de las rodela se secó por 48 horas a 80°C, o hasta obtener un peso constante (Husch et al ., 1972).

En la medición de los anillos de crecimiento en cada una de las rodela, previo a su determinación fue necesario cepillar cada una de ellas y aplicar una solución de anaranjado de metilo al 2%, con permanganato de potasio en partes iguales. Luego se midieron dos radios: el radio menor y el perpendicular a éste, de los cuales se obtuvo un promedio geométrico; posteriormente, se seleccionó un radio desde la médula del cambium cuyo tamaño fuera igual al promedio antes obtenido (Biging y Wensel, 1988). Sobre este radio se midió, con la ayuda de una lupa y una ampoyeta de 200 watts, la distancia de año en año entre los anillos de crecimiento (Figura 3).

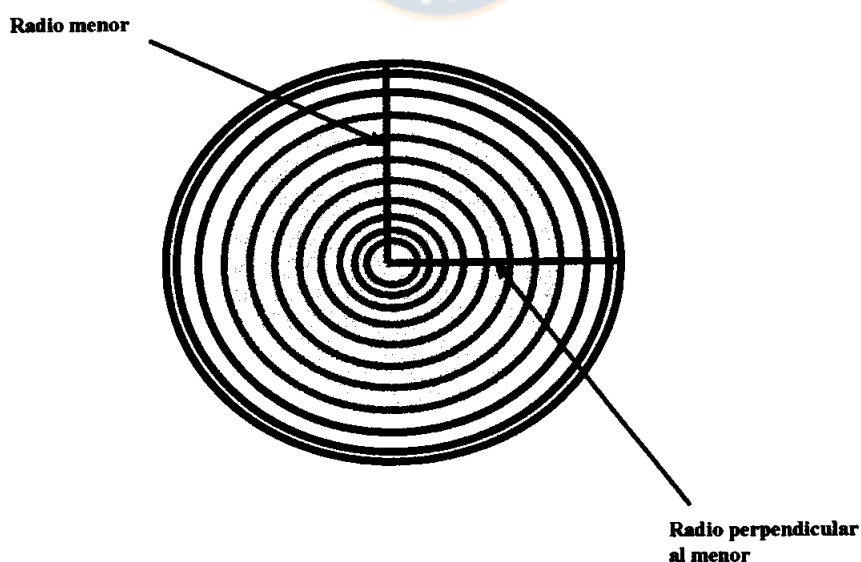


FIGURA 3. Determinación de los radios en la rodela.

El volumen de cada sección del árbol fue determinado mediante la forma geométrica de la porción fustal del árbol: el volumen del tocón (0-20 cm) como un cilindro; la sección a la altura del pecho (20-130 cm) como un niloide truncado; la sección entre el dap y el segundo tercio de la copa como tronco de parábola (fórmula de Smalian), y la sección más alta de la copa como un paraboloides (Hush et al., 1972). Un diagrama con todas las actividades realizadas tanto en terreno como en laboratorio se muestra en la Figura 4.

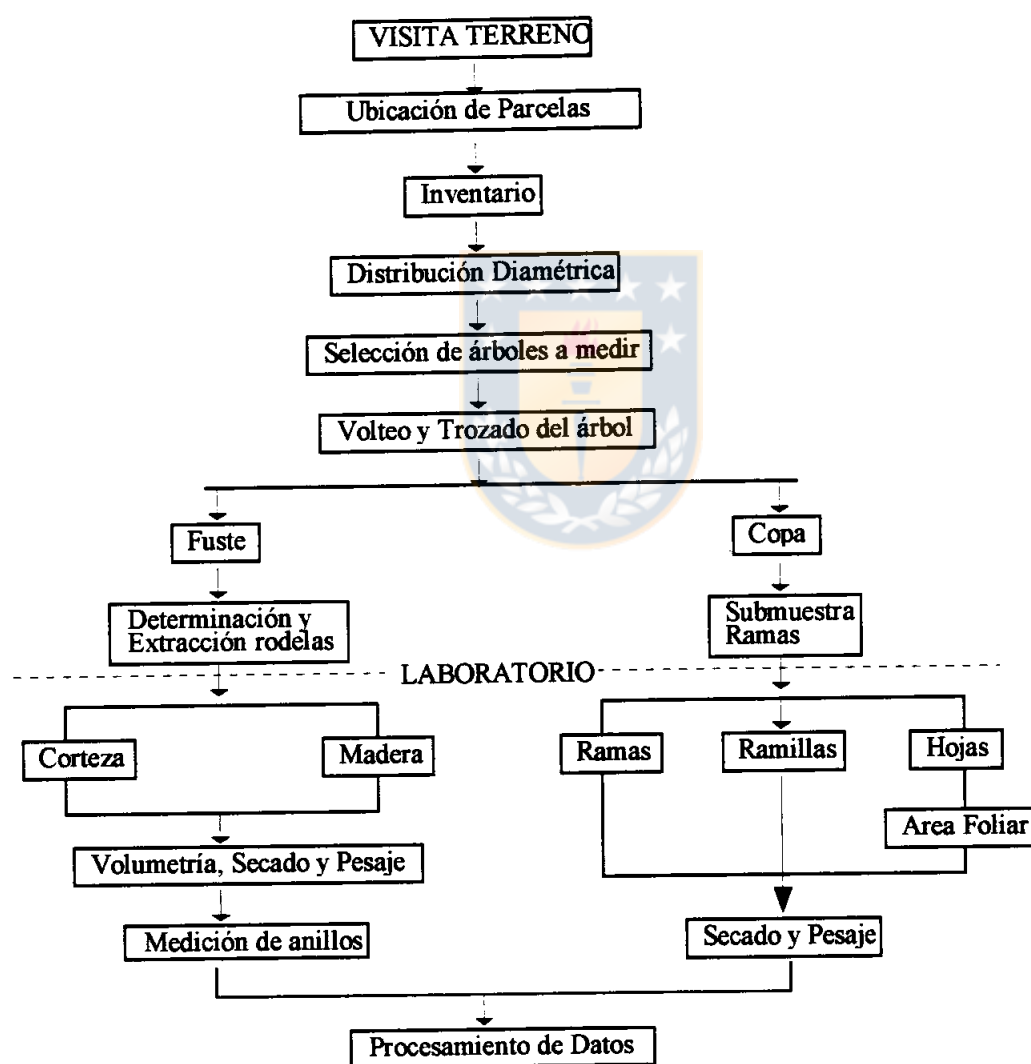


FIGURA 4. Diagrama de las actividades de terreno y de laboratorio.

2.3 Análisis de datos

A partir de las distintas variables tomadas en terreno para los árboles muestra (Tabla 2A), se determinó su volumen, el cual se obtuvo para cada árbol individual de la muestra, para luego transformarlo a valores por hectárea de acuerdo al número de árboles presentes en la hectárea. A partir de los valores de volumen por hectárea se determinó el incremento medio anual y el incremento corriente anual. Los valores de diámetro y área basal fueron determinados a partir del dap, y la altura a partir del método de Carmean's (Bailey y Dyer, 1987).

A través de la medición anual de los anillos de crecimiento en rodela extraídas a distintas alturas del fuste, se obtuvo la información para ajustar las relaciones dap/edad, altura/edad, área basal/edad y volumen/edad. También se determinó para las variables antes mencionadas, curvas de crecimiento e incremento corriente y medio anual.

Utilizando el programa estadístico SAS (1985) y el Table Curve, y en base al coeficiente de determinación y error estándar de estimación se preseleccionaron los mejores modelos para cada componente del árbol (fuste, corteza, ramas, ramillas, hojas, total copa y total árbol).

La selección del mejor modelo se realizó docimando la significancia estadística del modelo general mediante análisis de varianza y la significancia estadística de los coeficientes de regresión a través de la prueba t-student, para cada función ajustada (Steel y Torrie, 1988). La no significancia estadística del modelo o la presencia de coeficientes de regresión no significativos, fue causa de eliminación de estos modelos.

III RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Crecimiento en diámetro

Las curvas de diámetro para eucalipto y aromo (Figura 5), presentan una forma similar. Sin embargo, eucalipto muestra, desde los primeros años, un mayor crecimiento en diámetro, alcanzando un valor acumulado de 25,4 cm, contra sólo 17,3 cm en aromo, a los 13 años de edad. En un rodal puro de eucalipto, ubicado en la zona de Concepción, se registró un diámetro promedio de 13,6 cm a los 10 años de edad (De la Masa, 1991). Prado et al. (1986) registraron un diámetro promedio de 15,7 cm, en la misma zona, a los 15 años de edad. En la plantación mixta eucalipto alcanza una tasa promedio de 1,95 cm/año, la cual es superior en 0,59 cm/año y 0,9 cm/año a las señaladas por De la Masa (1991) y Prado et al. (1986), respectivamente.

Un rodal puro de aromo, ubicado al sur del Cabo (Tsitsikama), en Sudáfrica, alcanza un diámetro promedio de 33 cm a los 22 años de edad (Stehle, 1995). En buenos sitios en Nueva Zelanda, Garay y Serra (1992) señalan que aromo presenta diámetros promedios de 36 cm, a los 45 años de edad. En la plantación mixta, aromo crece a una tasa promedio de 1,33 cm/año, inferior en 0,17 cm/año a la señalada por Stehle (1995) y superior en 0,53 cm/año a la señalada por Garay y Serra (1992).

El incremento corriente anual en diámetro de ambas especies (Figura 6), presenta una alta tasa de incremento inicial, alcanzando su culminación al quinto año, con valores para eucalipto de 3,2 cm y para aromo de 2,5 cm. A partir de este año, luego de la culminación, los incrementos son decrecientes, llegando eucalipto a 1,2 cm y aromo a 0,8 cm a los 13 años de edad.

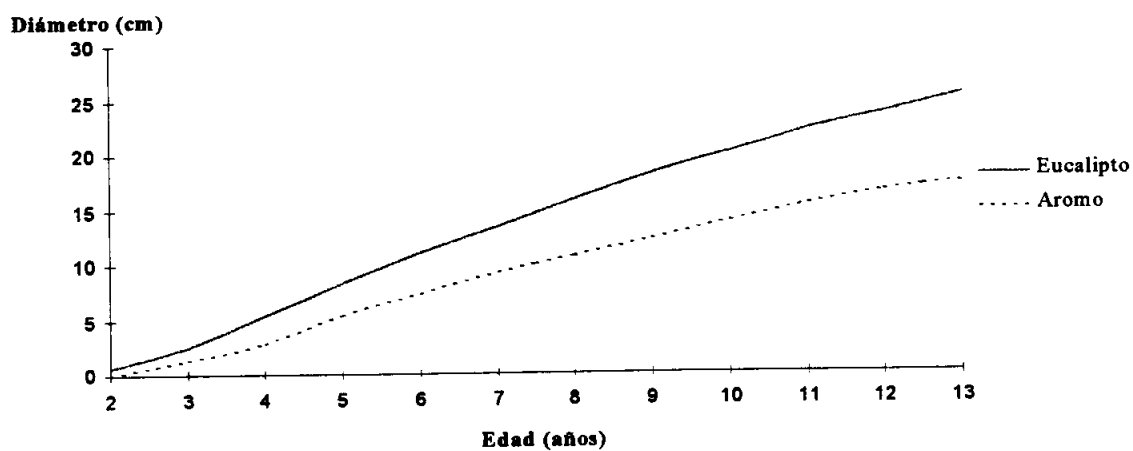


FIGURA 5. Crecimiento en diámetro rodal de *Eucalyptus globulus* - *Acacia melanoxylon*.

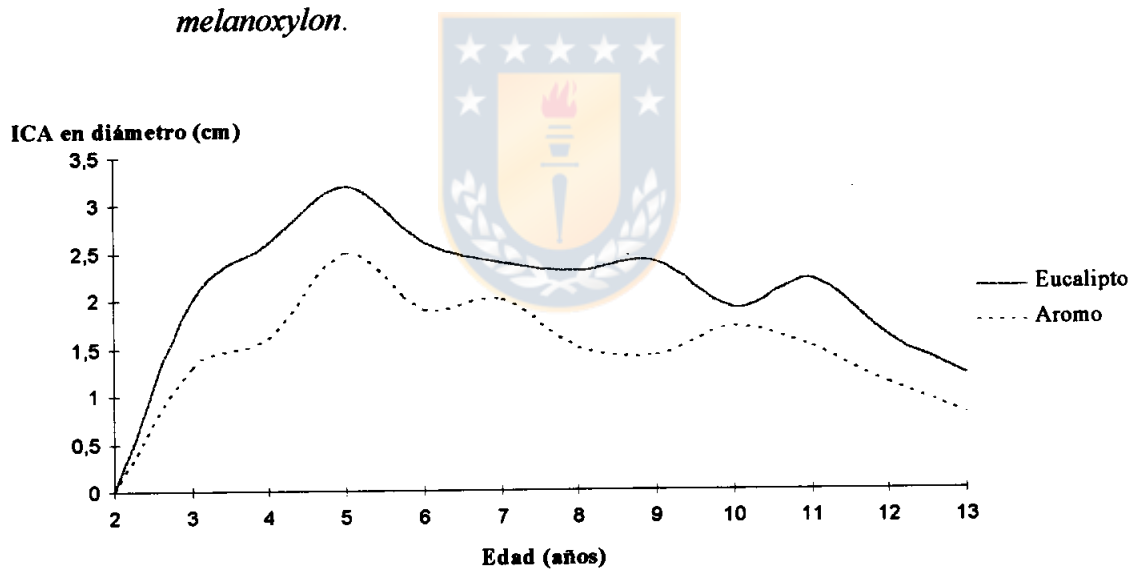


FIGURA 6. Incremento corriente anual en diámetro rodal de *Eucalyptus globulus* - *Acacia melanoxylon*.

3.2 Crecimiento en altura

Las curvas de crecimiento en altura (Figura 7) para eucalipto y aromo, presentan formas similares, sin embargo la curva de crecimiento de eucalipto siempre sobrepasa a la de aromo. A la edad de 13 años eucalipto alcanza una altura promedio de 30,2 m, y aromo de 16,4 m, un 45,69% menor. Prado et al. (1986), registraron resultados promedios en altura para eucalipto, en la zona de Concepción, entre 15,6 m y 21,6 m, a los 15 años de edad. En la plantación mixta, eucalipto alcanza una tasa promedio de 2,32 m/año, la cual es superior entre 1,28 m/año y 0,88 m/año, a la citada anteriormente. En plantaciones realizadas en Toolangi (Victoria, Australia), Hillis y Brown (1978) citados por De la Masa (1991), registraron un crecimiento promedio en altura para eucalipto, de 20,2 m a la edad de 14 años, 0,88 m/año inferior a la encontrada en la plantación mixta.

Stehle (1995) encontró alturas promedio para rodales de aromo, localizadas al sur del Cabo (Tsitsikama), Sudáfrica, de 25 m a los 22 años de edad. Para aromo, la tasa promedio de crecimiento en la plantación mixta es de 1,26 m/año, superior en 0,12 m/año a la señalada por Stehle (1995).

El incremento corriente anual en altura para ambas especies, culmina a diferentes edades. Eucalipto a los cinco años alcanza un valor de culminación de 5 m y aromo a los siete años con 2 m. Eucalipto y aromo a la edad de 13 años alcanzan valores muy similares, 1,1 m y 0,9 m, respectivamente, siendo la tasa de crecimiento en altura similar para ambas especies después de los 10 años (Figura 8). Ribalta (1983) señala que en la mayoría de las especies del género eucalipto, la altura se incrementa aceleradamente en los primeros 10 años, produciéndose el máximo crecimiento alrededor de los tres años en masas de monte bajo.

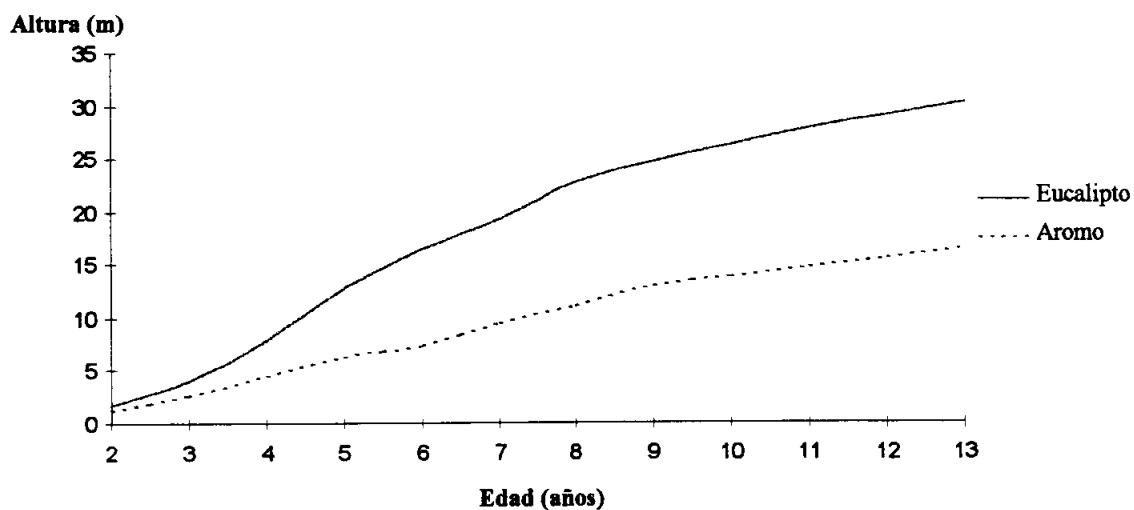


FIGURA 7. Crecimiento en altura rodal de *Eucalyptus globulus* - *Acacia melanoxylon*.

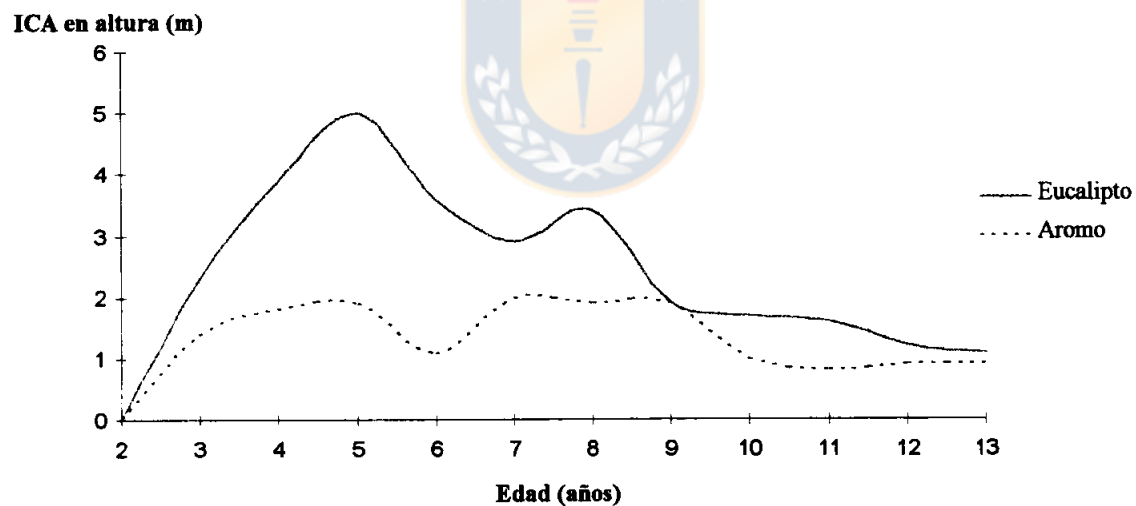


FIGURA 8. Incremento corriente anual en altura rodal de *Eucalyptus globulus* - *Acacia melanoxylon*.

3.3 Crecimiento en área basal

Las curvas de crecimiento en área basal para eucalipto y aromo se muestran en la Figura 9. Eucalipto a la edad de 13 años alcanza un área basal de 11,03 m²/ha y aromo de 8,1 m²/ha, un 26,49% menor.

Las curvas de incremento corriente anual para ambas especies se muestran en la Figura 10. La edad de culminación se alcanza con un año de diferencia para ambas especies, alcanzando eucalipto 1,6 m²/ha a los 11 años y aromo 1,2 m²/ha a la edad de 10 años. Eucalipto y aromo tienen a los 13 años de edad un incremento corriente anual de 1,3 m²/ha y de 0,8 m²/ha, respectivamente.

En plantaciones realizadas en Toolangi (Victoria, Australia), Hillis y Brown (1978) citados por De la Masa (1991), registraron un área basal para eucalipto, a la edad de 14 años, con una densidad de 814 arb/ha, de 28 m²/ha, 16,97 m²/ha superior a eucalipto en la plantación mixto, la que sólo contaba con 336 arb/ha.

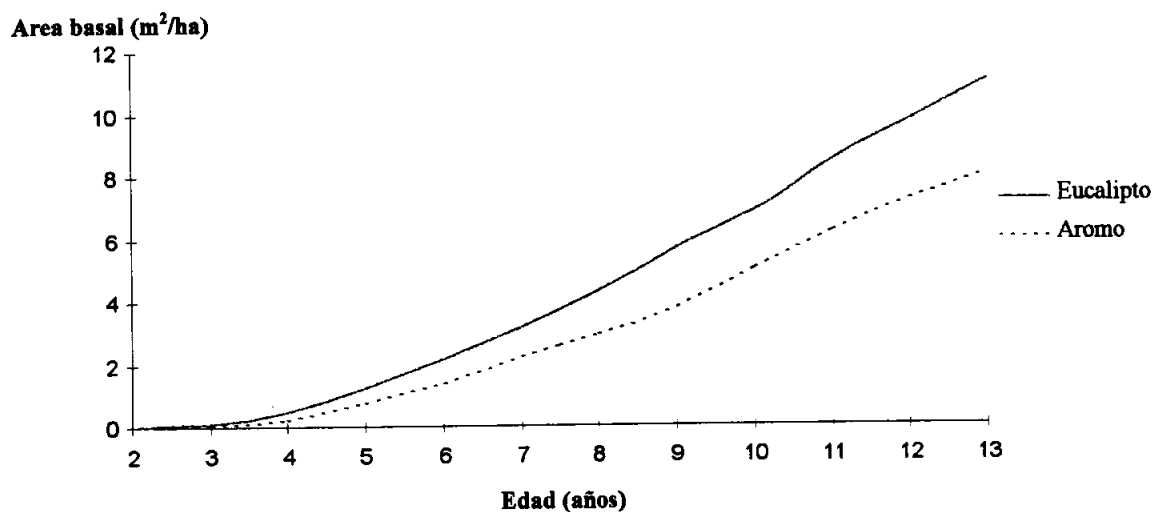


FIGURA 9. Crecimiento en área basal rodal de *Eucalyptus globulus* - *Acacia melanoxylon*.

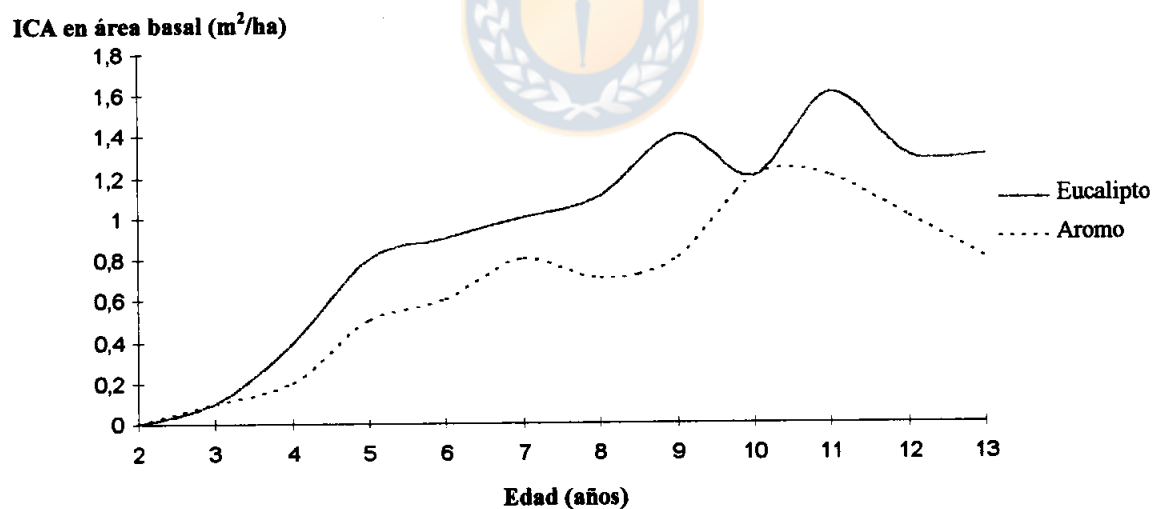


FIGURA 10. Incremento corriente anual en área basal rodal de *Eucalyptus globulus* - *Acacia melanoxylon*.

3.4 Crecimiento en volumen

Las curvas de crecimiento en volumen (Figura 11) para ambas especies en estudio, tienen una forma muy similar, pero con crecimientos diferentes a partir del cuarto año, en que eucalipto sobrepasa a aramo, alcanzando un volumen acumulado de 145 m³/ha a la edad de 13 años, contra sólo 59,5 m³/ha de aramo. El volumen total acumulado de estas especies asciende a 204,5 m³/ha, correspondiendo el 71% a eucalipto. Prado et al. (1986), registraron en un rodal de eucalipto en la zona de Concepción a la edad de 15 años, con una densidad de plantación de 1533 arb/ha un volumen de 301 m³/ha. En la plantación mixta, eucalipto alcanza un promedio de 0,30 m³/arb, contra sólo 0,196 m³/arb al señalado por Prado et al. (1986). De Zwan (1982) citado por Grosse y Kannegiesser (1989), señala que para aramo, se obtuvieron los mejores resultados en volumen a la edad de 34 años con 214,3 m³/ha.

Las curvas de incremento corriente anual e incremento medio anual en volumen para ambas especies se muestran en la Figura 12. Tanto para eucalipto como para aramo la culminación del incremento corriente anual en volumen se logra a los 11 años, con 24,3 m³/ha para eucalipto y 10,7 m³/ha para aramo. Eucalipto y aramo a la edad de 13 años alcanzan un incremento corriente anual de 21,9 m³/ha y 7,4 m³/ha, respectivamente. El incremento medio anual para ambas especies aumenta sostenidamente, alcanzando eucalipto 11,2 m³/ha a la edad de 13 años y aramo 4,6 m³/ha a igual edad. Prado et al. (1986), registraron un crecimiento medio anual de 13,3 m³/ha para eucalipto, en la zona de Concepción, a la edad de 13 años, valor superior en 15,78% al obtenido por eucalipto en la plantación mixta.

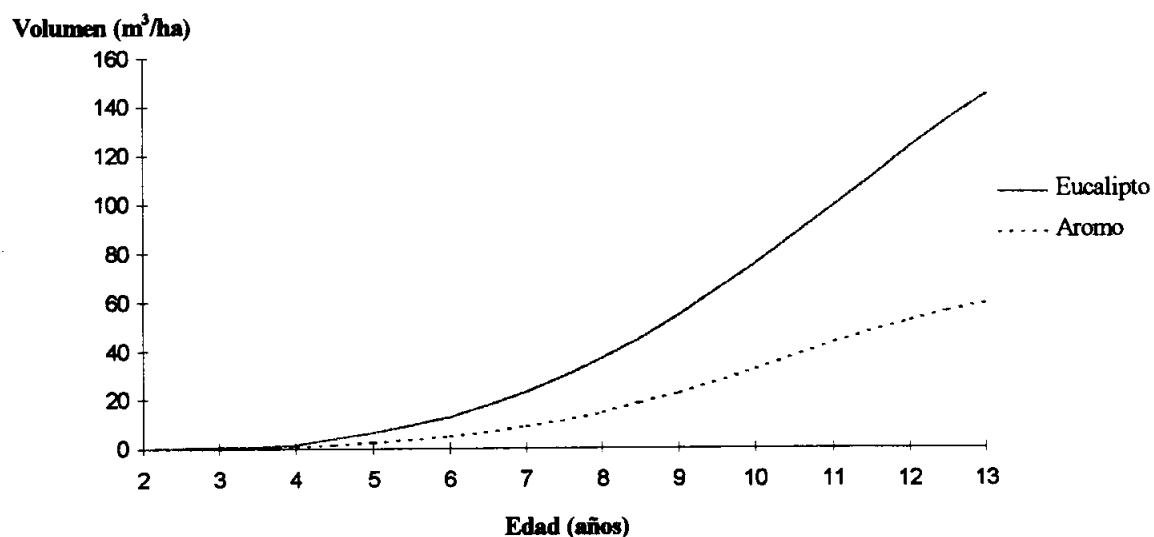


FIGURA 11. Crecimiento en volumen rodal de *Eucalyptus globulus* - *Acacia melanoxylon*.

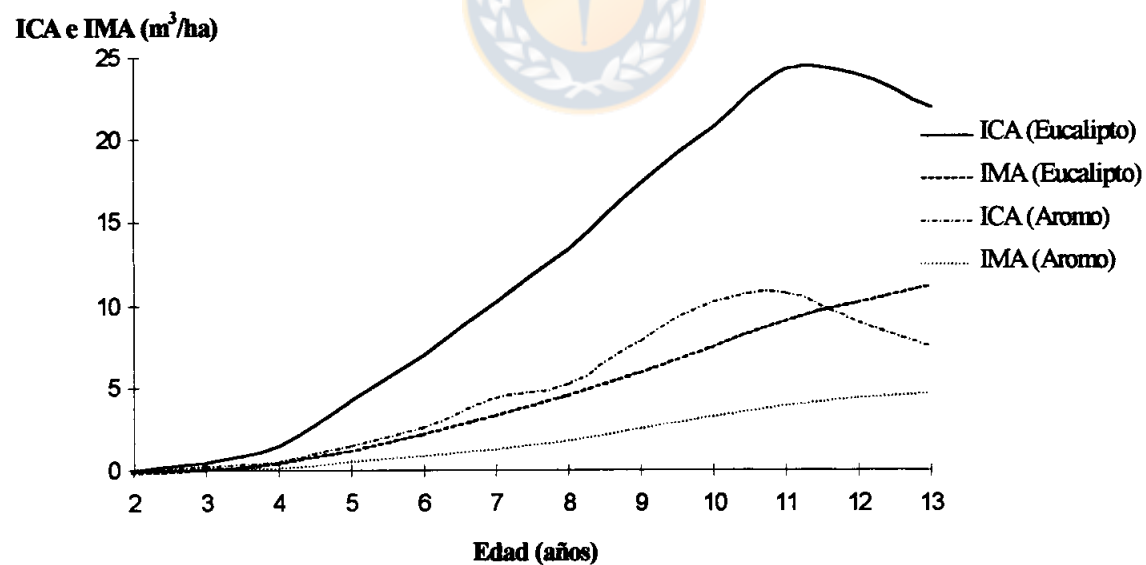


FIGURA 12. Incremento corriente anual e incremento medio anual rodal de *Eucalyptus globulus* - *Acacia melanoxylon*.

3.5 Biomasa

Los componentes y el total de biomasa aérea por hectárea para cada una de las especies en estudio se muestran en la Tabla 1. El rodal mixto, a la edad de 13 años, tiene una biomasa total aérea de 304,65 t/ha, de la cual el 72% corresponde a eucalipto y el 28% a aromo.

En eucalipto, al igual que aromo, la mayor concentración de biomasa se encuentra en el fuste (sin considerar corteza) con un 75,9% y 58,4%, respectivamente. La diferencia en porcentaje para ambas especies en cuanto a la concentración de biomasa en el fuste (sin corteza), se debe a que aromo concentra un mayor porcentaje de biomasa en la copa (hojas, ramillas y ramas) que eucalipto, siendo para eucalipto un 13,5% y para aromo un 27,0%, el doble que eucalipto. Con respecto a la biomasa de la copa en eucalipto, el 6,1% corresponde a biomasa foliar, el 5,8% a ramas, y el porcentaje restante, 1,6%, a ramillas. En aromo, del 27,0% que representa la biomasa de la copa, el 11,5% corresponde a biomasa foliar, el 11,6% a ramas, y el 3,9% a ramillas. Los porcentajes en hojas y ramas en aromo son el doble que eucalipto, debido a que proporcionalmente a la longitud total del árbol, esta especie presenta una copa con menor longitud y mucho menos frondosa que aromo.

De la biomasa total del rodal el 17,34% corresponde a la copa, del cual eucalipto participa con un 9,70% y acacia con un 7,64%. Del total del fuste, que representa el 82,66% de la biomasa total, el 62,02% corresponde a eucalipto y sólo un 20,64% a aromo.

Tadaki (1966) citado por Pedrasa (1989), señala que en bosques perennes de latifoliadas el peso seco para las hojas varía entre 7 - 11 t/ha. El rodal mixto tiene un peso seco de 23,12 t/ha, el doble del máximo rango señalado por Pedrasa (1989).

TABLA 1. Biomasa aérea de cada componente del rodal mixto *Eucalyptus globulus* - *Acacia melanoxylon*.

Componente	Biomasa (t/ha)						Rodal mixto	%
	<i>Eucalyptus globulus</i>	% respecto <i>Eucalyptus</i>	% respecto rodal mixto	<i>Acacia melanoxylon</i>	% respecto <i>Acacia</i>	% respecto rodal mixto		
Hojas	13,19	6,1	4,33	9,93	11,5	3,26	23,12	7,59
Ramillas	3,64	1,6	1,19	3,37	3,9	1,11	7,01	2,30
Ramas	12,72	5,8	4,17	9,97	11,6	3,27	22,69	7,45
Total copa*	29,55	13,5	9,70	23,27	27,0	7,64	52,82	17,34
Madera fuste	165,83	75,9	54,43	50,31	58,4	16,51	216,14	70,95
Corteza fuste	23,11	10,6	7,58	12,58	14,6	4,13	35,69	11,71
Total fuste	188,94	86,5	62,02	62,89	73,0	20,64	251,83	82,66
Total árbol**	218,49			86,16			304,65	

* El peso seco total de la copa no incluye la sección del fuste de la copa

** Peso seco total del árbol sobre el suelo.

3.6 Funciones predictoras de biomasa

Para eucalipto, el diámetro a la altura del pecho se presentó como la mejor variable predictora para todos los pesos secos de cada componente y total del árbol (Tabla 2). El coeficiente de determinación ajustado para los distintos componentes varía entre un 82,02% y 97,02%, y el error estándar de estimación entre 30,42% y 17,45%.

En aramo (Tabla 3), el diámetro a la altura del pecho se presentó como la mejor variable predictora para los componentes madera fustal y total del árbol, y para los componentes

corteza, ramas, ramillas, hojas y total de la copa, el diámetro en la base de la copa. El coeficiente de determinación ajustado para los distintos componentes varía entre un 78,54% y 34,59%, y el error estándar de estimación entre 68,73% y 29,59%.

TABLA 2. Modelos predictores de biomasa por componente y su estadística asociada para *Eucalyptus globulus*.

Componente	Modelo	R ² _{aj} (%)	EEE (%)	n
Hojas	$LnP = -7,52063 + 3,237227lnD$	97,02	17,45	12
Ramillas	$LnP = -11,28737 + 3,93807lnD$	95,74	22,91	12
Ramas	$LnP = -7,22198 + 3,08796lnD$	93,54	19,04	12
Total copa*	$LnP = 0,40961 + 0,12419D$	94,08	27,13	12
Madera fuste	$P = -48,37779 + 0,55499D^2$	89,12	28,16	12
Corteza fuste	$P = -7,03903 + 0,42548D^{1.5}$	82,02	30,42	12
Total árbol**	$LnP = -1,52028 + 2,32550lnD$	94,80	19,29	12

* Biomasa total de la copa no incluye la sección del fuste de la copa.

** Biomasa total del árbol sobre el suelo.

P es el peso seco (kg) de la componente y D es el diámetro a la altura del pecho (cm).

Coeficiente de determinación ajustado (R²_{aj}), error estándar de estimación (EEE) y número de unidades muestrales (n).

TABLA 3. Modelos predictores de biomasa por componente y su estadística asociada para *Acacia melanoxylon*.

Componente	Modelo	R ² _{aj.} (%)	EEE (%)	n
Hojas	$P = -2,03481 + 0,08078DBC^2$	34,59	53,11	6
Ramillas	$P = -1,65356 + 0,00894DBC^{2.5}$	34,89	68,73	6
Ramas	$P = -1,64228 + 0,0967DBC^{2.5}$	54,80	46,82	6
Total copa*	$P = -2,67360 + 0,04574DBC^{2.5}$	48,85	48,80	6
Madera fuste	$LnP = -1,47527 + 2,04086lnD$	78,54	29,59	6
Corteza fuste	$lnP = -4,77516 + 2,88638lnDBC$	68,91	37,89	6
Total árbol**	$P = -7,01950 + 0,43073D^2$	66,68	35,43	6

* Biomasa total de la copa no incluye la sección del fuste de la copa.

** Biomasa total del árbol sobre el suelo.

P es el peso seco (kg) de la componente, D es el diámetro a la altura del pecho (cm), y DBC el diámetro en la base de copa (cm).

Coefficiente de determinación ajustado (R²_{aj.}), error estándar de estimación (EEE) y número de unidades muestrales (n).

3.7 Densidad básica de la madera

La densidad básica de la madera para ambas especies se presenta en la Tabla 4. En eucalipto la densidad tiende, en general, a aumentar hacia el ápice, alcanzando un mayor valor a nivel de la segunda sección de la copa (H7). En aramo disminuye la densidad desde el tocón (T) hasta la mitad de la sección entre el dap (D) y la base de la copa viva (H4); desde ese punto, hasta la primera sección de la copa tiende a aumentar, encontrándose la mayor densidad entre la primera (H5) y la segunda (H6) sección de la copa, para decrecer hacia el ápice. La densidad básica promedio para eucalipto es de 591,99 kg/m³ y para aramo de 447,02 kg/m³. En Chile, Garay y Serra (1992), señalan que se ha determinado una densidad básica promedio de 580 kg/m³ para eucalipto

creciendo en la localidad de Lota, Octava Región, valor cercano al medido en este estudio. En España, se registraron valores para eucalipto entre 470 kg/m³ para árboles de 8 años y 630 kg/m³ a los 25 años (De la Masa, 1991).

TABLA 4. Densidad básica de la madera de *Eucalyptus globulus* y *Acacia melanoxylon* en las distintas secciones del árbol.

Sección del árbol	Densidad de madera (kg/m ³)	
	<i>Eucalyptus globulus</i>	<i>Acacia melanoxylon</i>
T	544,09	478,53
D	536,25	414,29
H1	560,87	403,76
H2	569,11	397,39
H3	571,83	426,86
H4	605,97	422,38
H5	598,74	540,15
H6	589,02	558,98
H7	676,22	419,95
H8	664,77	407,89
Promedio	591,69	447,02

* T y D, corresponden al tocón y dap del árbol, respectivamente.

** H1,.....,H8, corresponden a la décima parte de la altura total del árbol a partir de la base de éste.

3.8 Albura y duramen

La variación de albura y duramen a lo largo del fuste para aramo se muestra en la Tabla 5. Esta especie presenta más de un 50% de duramen hasta aproximadamente la mitad de la altura total del árbol, lo que corresponde al inicio de la copa viva (H4). En eucalipto no fue posible diferenciar entre albura y duramen.

TABLA 5. Variación de albura y duramen a lo largo del fuste en *Acacia melanoxylon*.

Sección del árbol	<i>Acacia melanoxylon</i>			
	Albura (cm ²)	% respecto total	Duramen (cm ²)	% respecto total
T	18,45	24,14	57,98	75,86
D	14,99	26,48	41,62	73,52
H1	15,93	32,40	33,23	67,60
H2	15,81	35,42	28,83	64,58
H3	15,04	41,91	20,85	58,09
H4	14,53	50,14	14,45	49,86
H5	15,04	70,15	6,40	29,85
H6	11,09	70,55	4,63	29,45
H7	10,39	81,94	2,29	18,05
H8	5,18	100,00	0,00	0,00
H9	1,50	100,00	0,00	0,00

* T y D, corresponden al tocón y dap del árbol, respectivamente.

** H1,.....,H9, corresponden a la décima parte de la altura total del árbol a partir de la base de éste.

3.9 Area foliar

La superficie foliar proyectada para eucalipto y aromo se muestra en la Tabla 6. Eucalipto tiene un superficie foliar proyectada de 110 m², cuya distribución dentro de las tres secciones de la copa se concentra principalmente en la sección media con un 45,38% del total. De acuerdo a los porcentajes de distribución de la superficie foliar a lo largo de la copa viva, eucalipto tiene una forma globosa, la cual es característica de las latifoliadas. Aromo tiene una superficie foliar proyectada de 144,46 m², aproximadamente un 43% más que eucalipto. En aromo la distribución de la superficie foliar dentro de las tres secciones de la copa viva se concentra principalmente en la primera sección con un 48,08%, luego la segunda sección con un 29,34% y finalmente la tercera sección de la

copa con un 22,58%. De acuerdo a los porcentajes de distribución del área foliar a lo largo de la copa viva, aramo tiene una forma piramidal, la cual no es característica de las latifoliadas.

Eucalipto representa un 43,23% y acacia un 56,77% de la superficie foliar total del rodal mixto. La base de la copa en acacia representa casi un 30% de la superficie foliar total (Tabla 6).

TABLA 6. Superficie foliar proyectada para cada sección de la copa de *Eucalyptus globulus* y *Acacia melanoxylon*.

Sección de la copa	Superficie foliar (m ²)							
	<i>Eucalyptus globulus</i>	% respecto <i>Eucalyptus</i>	% respecto rodal mixto	<i>Acacia melanoxylon</i>	% respecto <i>Acacia</i>	% respecto rodal mixto	Rodal mixto	%
Base	37,24	33,85	14,63	69,46	48,08	27,30	106,70	41,93
Media	49,91	45,38	19,61	42,38	29,34	16,65	92,29	36,27
Superior	22,85	20,77	8,99	32,62	22,58	12,82	55,47	21,80
Total	110,00		43,23	144,46		56,77	254,46	

A partir de los datos de superficie foliar, se generó una función de regresión tanto para eucalipto como para aramo (Tabla 7).

Para eucalipto el diámetro a la altura del pecho (D) fue la mejor variable predictora del área foliar, y para aramo el diámetro en la base de la copa (DBC).

TABLA 7. Funciones de área foliar y su estadística asociada para los árboles muestra del rodal mixto.

	<i>Eucalyptus globulus</i>	<i>Acacia melanoxylon</i>
Función	$Ln(AF) = 17343 + 0,1028D$	$Ln(AF) = 17.0726 + 0,0349DBC^3$
R²a.j	93,18	36,81
EEE (%)	26,47	54,76
n	12	6

AF es el área foliar, D es el diámetro a la altura del pecho (cm), y DBC el diámetro en la base de copa viva (cm). Coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}), error estándar de estimación (EEE) y número de unidades muestrales (n).

El índice de área foliar para el rodal mixto es de 14,03 m²/m². Para cada especie en forma independiente eucalipto tiene un índice de área foliar de 5,24 m²/m² y aromo de 8,79 m²/m². Según Tadaki (1975) citado por Pedrasa (1989), en bosques perennes de latifoliadas el índice de área foliar varía entre 7 y 12 m²/m². El rodal en estudio estaría sobre el máximo rango señalado por Pedrasa (1989) por 2,03 m²/m².

IV CONCLUSIONES

A la edad de 13 años, *Eucalyptus globulus* presenta un mayor crecimiento en diámetro, altura, área basal y volumen, que *Acacia melanoxylon*.

La biomasa total del rodal, asciende a 304,65 t/ha, de la cual el 71,72% corresponde a eucalipto, concentrándose en el fuste el 82,66% del total.

Para eucalipto, la variable dap es la que mejor se correlaciona con todos los componentes del árbol. En aramo, la variable dap es la que mejor se correlaciona con la biomasa aérea total del árbol y el fuste, y el diámetro en la base de la copa (DBC) para hojas, ramillas, ramas, total copa y corteza.

La densidad básica promedio de la madera de eucalipto es superior en 144,67 kg/m³ a la de aramo. En eucalipto la densidad básica tiende a aumentar hacia el ápice del árbol. En aramo, la densidad básica a lo largo del fuste no muestra una tendencia definida, encontrándose el máximo valor en la segunda sección de la copa.

Aromo presenta sobre un 50 % de duramen hasta aproximadamente la mitad de la altura total del árbol, desde ese punto en adelante decrece rápidamente.

El área foliar en aramo presenta valores superiores a eucalipto. En el rodal como un todo, el 41,93% de superficie foliar se representa en la sección de la base de la copa, del cual eucalipto representa el 14,63% y aramo el 27,30%. Las variables que mejor se correlacionan con el área foliar son el dap y el diámetro en la base de la copa (DBC) para eucalipto y aramo, respectivamente.

El índice de área foliar del rodal alcanza un valor de $14,03 \text{ m}^2/\text{m}^2$, del cual $5,24 \text{ m}^2/\text{m}^2$ corresponde a eucalipto y $8,79 \text{ m}^2/\text{m}^2$ a aramo.



V RESUMEN

En un rodal mixto de *Eucalyptus globulus* y *Acacia melanoxylon*, de 13 años de edad, ubicado en el Fundo Escuadrón, Concepción, con una superficie de 6,1 ha, se realizó un inventario, el cual fue la base para la selección de los árboles muestra, para la determinación de biomasa y patrón de crecimiento en diámetro, altura, área basal y volumen del rodal.

Los árboles seleccionados fueron volteados y seccionados para análisis de tallo y biomasa. A partir del análisis de tallo se determinaron curvas de crecimiento para diámetro, altura, área basal y volumen para ambas especies, presentando eucalipto un mayor crecimiento que aramo. En cuanto a la biomasa de la plantación, eucalipto concentra el 72% y aramo el 28%, donde el principal componente corresponde al fuste con 82,66%. Se obtuvo información para la determinación de albura, duramen, y densidad básica, encontrando una densidad básica promedio para eucalipto de 591,69 kg/m³ y de 447,02 kg/m³ para aramo.

Se generaron funciones predictoras de biomasa para cada uno de los distintos componentes del árbol, y el área foliar. Para eucalipto, la variable dap es la que mejor se correlaciona con todos los componentes del árbol. En aramo, la variable dap es la que mejor se correlaciona con la biomasa aérea total del árbol y el fuste, y el diámetro en la base de la copa (DBC) para hojas, ramillas, ramas, total copa y corteza.

El índice de área foliar para el rodal mixto es de 14,03 m²/m², siendo para eucalipto 5,24 m²/m² y 8,79 m²/m² para aramo.

VI SUMMARY

In a mixed 13 years old *Eucalyptus globulus* and *Acacia melanoxylon* stand, located in the Fundo Escuadrón, Concepción, with a surface of 6,1 ha, it was executed an inventory, which one was the base to select trees to determined biomass and growth pattern in diameter, height, basal area and volume of the stand.

The trees were cutting down to applied a stem and biomass analysis. The stem analysis was used to determine regresion line for diameter, height, basal area and volume growth for both species. For each variable eucalyptus has higher growth than aromo. Eucalyptus concentrates 72% of the plantation biomass and aromo only 28%. The main component for the stand is stem with 82,66% of the total biomass. It was collected data to determine the percentage of sapwood and heartwood, and basic density, finding an average basic density of 591,69 kg/m³ and 447,02 kg/m³ for Eucalyptus and aromo respectively.

Biomass prediction functions were generated for each one of the different components of the tree, and the foliage area. For eucalyptus, the diameter at the breast height (dbh) has the higher correlation for all tree components. In aromo, the dbh has the higher correlation with the total above ground biomass and stem. Diameter at the crown base has good correlation with leave, twigs, branches, total crown and bark.

The leaf area index for the mixed stand is 14,03 m²/m². In eucalipto and aromo the leaf area index is 5,24 m²/m² and 8,79 m²/m² respectively.

VII BIBLIOGRAFIA

- 1.- Assmann, E. 1970. The principles of forest yield study. Pergamon Press, Oxford.
- 2.- Bayley, R. and M. Dyer. 1987. A test of six methods for estimating true heights from stem analysis data. *Forest Science* 33: 3-13.
- 3.- Biging, G. and L. Wensel. 1988. The effect of eccentricity on the estimation of basal area and basal area increment of coniferous trees. *Forest Science* 14: 621-633.
- 4.- Carrasco, P. y J. Millán. 1990. Proyecto suelos forestales de la VIII región. Ministerio de Agricultura. FIA. Univ. de Concepción. Fac. de Cs Agronómicas, Veterinarias y Forestales. Chillán, Chile.
- 5.- De la Maza, X.F. 1991. Variación de biomasa en ensayos de clareos de *Eucalyptus globulus*. VIII región. Tesis de grado. Univ. de Chile. Fac. de Cs. Agrarias y Forestales. Santiago, Chile.
- 6.- Díaz, F. 1984. Características dendrométricas de *Eucalyptus globulus* Labill en la localidad de Colcura, Concepción. Tesis de grado. Univ de Chile. Fac. de Cs. Agrarias y Forestales. Santiago, Chile.
- 7.- Espinosa, M. and D. Perry. 1987. Distribution and increment of biomass in adjacent young Douglas fir stand with different early growth rates. *Can. J. For. Res.* 17: 722-730.

- 8.- Garay, R y M. T. Serra. 1992. Ficha Forestal "El aroma". Lignum "Bosques, madera y tecnología" 8: 25-26.
- 9.- Grosse, H y U. Kannegiesser. 1989. Silvicultura del aroma australiano. Instituto Forestal. Concepción, Chile.
- 10.- Husch, B., C. Miller and T. Beers. 1972. Forest mensuration. 2nd ed. John Wiley and Sons. New York.
- 11.- Kelty, M., L. Bruce and Ch. Oliver. 1992. The ecology and silviculture of mixed - species forests. Forestry Sciences. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- 12.- Pedrasa, M. 1989. Producción de biomasa y circulación de nutrientes en un rodal de *Nothofagus alessandrii* Espinoza (Ruil) en la zona de Constitución. Tesis de grado. Univ. de Chile. Fac. Cs. Agrarias y Forestales. Santiago, Chile.
- 13.- Prado, J., S. Barros., J. Wrann., P. Rojas., D. Barros y S. Aguirre. 1986. Especies forestales exóticas de interés económico para Chile. Instituto forestal. Concepción, Chile.
- 14.- Ribalta, E. 1983. Evaluación de la producción y productividad del monte bajo de *Eucalyptus globulus* Labill en la quinta región. Tesis de grado. Univ. de Chile. Fac. Cs. Agrarias y Forestales. Santiago, Chile.

- 15.- Santibáñez, F. y J. Uribe. 1993. Atlas agroclimático de Chile, regiones sexta, séptima, octava y novena. CORFO. Ministerio de Agricultura. FIA. Santiago, Chile.
- 16.- SAS Institute Inc. 1985. SAS® User' s Guide Statistics, Version Edition 5. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- 17.- Steel, R y J. H. Torrie. 1988. Bio estadística: principios y procedimientos. Mc Graw-Hill. México.
- 18.- Stehle, T. 1995. El aramo australiano como árbol maderero en Sudáfrica. División de conservación forestal. Departamento de agua y bosques. República de Sudáfrica. DUOC. Concepción, Chile.
- 19.- Vandermeer, J. 1981. The interference production principle: an ecological theory for agriculture. BioScience 31: 361-364.

VIII APENDICE

TABLA 1A. Tabla de rodal *Eucalyptus globulus* – *Acacia melanoxylon*.

Clase diamétrica (cm)	Especie			
	Acacia	Eucalipto	Acacia	Eucalipto
	Arb/ha (n°)	Arb/ha (n°)	A.B. (m ² /ha)	A.B. (m ² /ha)
3	3	0	0,0023	0,0000
5	3	6	0,0064	0,0127
7	71	23	0,2743	0,0873
9	32	23	0,2061	0,1443
11	68	36	0,6465	0,3386
13	91	29	1,2039	0,3870
15	126	16	2,2325	0,2862
17	94	42	2,1323	0,9559
19	68	16	1,9288	0,4592
21	23	23	0,7854	0,7854
23	19	36	0,8075	1,4805
25	6	26	0,3180	1,2721
27	3	36	0,1855	2,0402
29	0	42	0,0000	2,7816
31		19	0,0000	1,4670
33		19	0,0000	1,6624
35		39	0,0000	3,7400
37		10	0,0000	1,0449
39		23	0,0000	2,7088
41		3	0,0000	0,4277
43		3	0,0000	0,4704
45		6	0,0000	1,0304
Sub Total	609	476	10,7294	23,5826
Total		1085		34,3120

TABLA 2A. Variables dasométricas de árboles muestra.

Especie	DAT (cm)	DAP (cm)	Altura total (m)	Longitud copa viva (m)	Volumen (m³)	H/DAP
Aromo	8,7	6,7	10,8	8,6	0,0167	1,61
Aromo	19,6	16,5	16,6	12,5	0,1076	1,01
Aromo	19,1	17,0	18,3	10,6	0,1852	1,08
Aromo	19,8	17,9	10,1	6,9	0,0956	0,56
Aromo	25,6	22,7	22,5	17,2	0,3300	0,99
Aromo	28,6	25,3	24,0	13,8	0,4279	0,95
Eucalipto	16,2	9,5	16,9	6,7	0,0508	1,78
Eucalipto	16,0	10,8	17,7	7,0	0,0541	1,64
Eucalipto	15,4	12,0	20,9	5,0	0,0840	1,74
Eucalipto	22,2	12,8	20,0	6,2	0,0854	1,56
Eucalipto	28,7	22,6	31,6	13,1	0,3713	1,40
Eucalipto	29,8	24,7	34,2	12,5	0,5027	1,38
Eucalipto	36,5	26,5	25,7	14,2	0,3190	0,97
Eucalipto	34,0	26,5	27,7	11,3	0,4405	1,05
Eucalipto	40,2	34,1	33,7	20,4	0,8365	0,99
Eucalipto	38,5	36,5	34,6	18,6	0,9460	0,95
Eucalipto	46,8	37,2	30,0	19,7	0,9558	0,81
Eucalipto	47,3	38,0	32,9	16,0	1,2277	0,87

*DAT, corresponde al diámetro a la altura del tocón.

