

U N I V E R S I D A D D E C O N C E P C I O N
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
Departamento de Silvicultura

ANALISIS DEL CRECIMIENTO DE UN RODAL ADULTO DE
Pinus radiata D. Don.



JORGE EDUARDO BALDINI CARTES

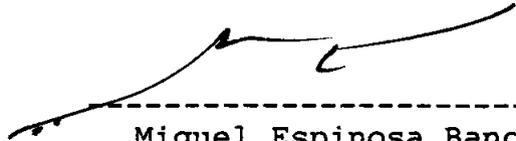
MEMORIA DE TITULO PRESENTADA
A LA FACULTAD DE CIENCIAS
FORESTALES DE LA UNIVERSIDAD
DE CONCEPCION PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO FORESTAL

CONCEPCION - CHILE

1994

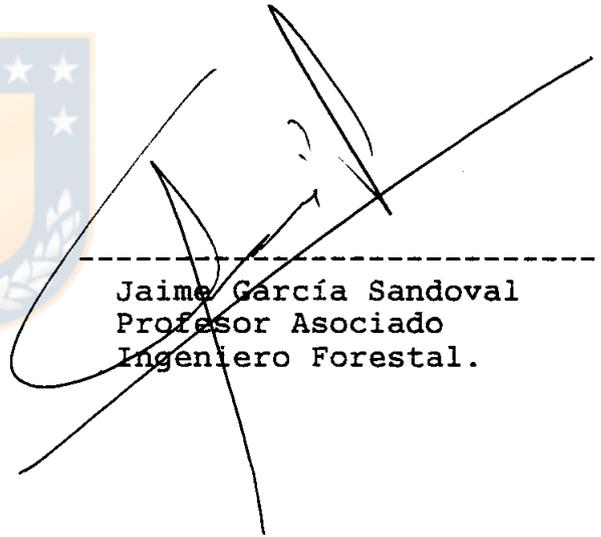
ANALISIS DEL CRECIMIENTO DE UN RODAL ADULTO DE
Pinus radiata D.Don.

Profesor Asesor

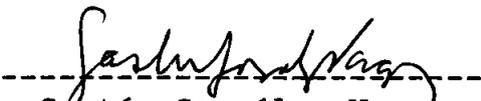


Miguel Espinosa Bancalari
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal Ph.D.

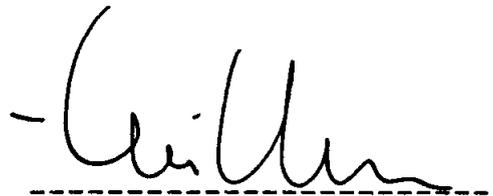
Profesor Asesor



Jaime García Sandoval
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal.



Gastón González Vargas
Profesor Titular
Ingeniero Agrónomo Msc.
Director Departamento
de Silvicultura.



Jaime Millán Herrera
Profesor Titular
Ingeniero Forestal Dr.
Decano Facultad de
Ciencias Forestales.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar sus agradecimientos a las siguientes personas:

Profesor Miguel Espinosa Bancalari, por su constante apoyo, incentivo y entrega de experiencia, lo que hizo posible el término de este trabajo.

Profesor Jaime García Sandoval, por guiar al aprendiz en todo el desarrollo estadístico de este trabajo, e incentivarlo para llegar a buen término.

Profesor Roberto Melo Sanhueza, por entregar su fraternidad y conocimientos durante la estadía en el laboratorio de Productos Forestales.

Al personal del Laboratorio de Productos Forestales de la Universidad de Concepción, quienes aportaron cordialmente su ayuda en la fase de toma de datos.

A todo el personal académico, administrativo y auxiliar de la Universidad de Concepción, que influyeron en forma directa o indirecta en mi formación profesional.

DEDICATORIAS

AL GRAN CREADOR DEL UNIVERSO

A MIS AMADOS PADRES

A MIS QUERIDOS HERMANOS

A MI AMADA NOVIA



INDICE DE MATERIAS

CAPITULO		PAGINA
I	INTRODUCCION	1
II	REVISION BIBLIOGRAFICA	2
	2.1 Estudios relacionados con el crecimiento fustal	2
	2.2 Definiciones y conceptos relativos a biomasa	7
III	MATERIALES Y METODOS	17
	3.1 Descripción del área de estudio .	17
	3.2 Descripción del rodal en estudio	18
	3.3 Materiales	18
	3.4 Metodología	20
	3.4.1 Trabajo en terreno	21
	3.4.2 Trabajo en laboratorio	23
	3.4.3 Análisis de datos	25
IV	RESULTADOS Y DISCUSION	29
	4.1 Dimensiones medias de los árboles	29
	4.2 Desarrollo histórico del rodal ..	29
	4.2.1 Crecimiento en altura	29
	4.2.2 Crecimiento en diámetro	33
	4.2.3 Crecimiento en área basal	36
	4.2.4 Crecimiento en volumen de los árboles muestra	38

CAPITULO	PAGINA
4.2.5 Crecimiento en volumen de la plantación	42
4.2.6 Incremento radial a través del fuste	46
4.3 Estudio de biomasa	53
4.4 Niveles nutricionales	60
4.5 Albura y área foliar	67
 V CONCLUSIONES	 77
5.1 Estudio de crecimiento	77
5.2 Estudio de biomasa	78
5.3 Nutrientes, área de la albura y área foliar	79
 VI RESUMEN	 81
 VII SUMMARY	 82
 VIII BIBLIOGRAFIA	 83
 IX ANEXO	 91

INDICE DE TABLAS

TABLA N°

PAGINA

En el texto

1	Clase diamétrica y desviación estándar de las tres posiciones sociales establecidas	20
2	Características medias de los árboles muestras	31
3	Valores medios de biomasa (kg/árbol) y porcentajes de participación de cada componente de los árboles muestra de un rodal de pino radiata de 52 años de edad	54
4	Biomasa de cada componente en la hectárea (kg/ha) para los árboles muestra	58
5	Modelos predictores de biomasa por componente y su estadística asociada .	59
6	Valores medios de nutrientes encontrados en las tres secciones de copa de los árboles muestra	62
7	Cantidad de nutrientes presentes en la hectárea (kg/ha) en las tres secciones de copa de los árboles muestra	66
8	Valores medios de la albura para los árboles muestra	69
9	Area foliar proyectada (m ²) de cada sección de copa de los árboles muestra	71

En el Anexo.

1A	Tabla de rodal y existencia del rodal en estudio	92
2A	Niveles nutricionales contenidos en el follaje recomendados por Will (1978) para indicar los estados nutricionales de <u>Pinus radiata</u> D.Don.	93



INDICE DE FIGURAS

FIGURA N^o

PAGINA

En el texto

1	Diagrama esquemático de los puntos de muestreo en el fuste y en la copa del árbol	22
2	Rodela seccionada en 8 cuñas, 4 para estimar densidad (D) y 4 para longitud de fibra (L)	24
3	Formas geométricas asumidas por parte del árbol	26
4	Crecimiento en altura (A) e incremento periódico anual en altura (B) de los árboles dominantes, codominantes e intermedios	32
5	Crecimiento en diámetro (A) e incremento periódico anual en diámetro (B) de los árboles dominantes, codominantes e intermedios	35
6	Crecimiento en área basal (A) e incremento periódico anual en área basal (B) de los árboles dominantes, codominantes e intermedios	37
7	Crecimiento en volumen (A), incremento periódico anual en volumen (B) e incremento medio anual en volumen de los árboles dominantes, codominantes e intermedios	39
8	Crecimiento en volumen (A), incremento periódico anual en volumen (B) e incremento medio anual en volumen del rodal en estudio	44
9	Determinación de la rotación biológica del rodal en estudio	45

10	Incremento radial a diferentes alturas absolutas (A) del fuste de los árboles representativos de las tres clases sociales, e incremento radial a diferentes alturas relativas (B) de fuste de los árboles dominantes, codominantes e intermedios (B)	47
11	Distribución porcentual de nutrientes a lo largo de la copa en los árboles muestra intermedios (A), codominantes (B) y dominantes (C)	64
12	Relación entre al área foliar y el área de la albura en las distintas secciones del fuste de los árboles intermedios, codominantes y dominantes	76



I. INTRODUCCION.

El sector forestal chileno ha tenido un sostenido desarrollo en los últimos años, concentrando su producción en plantaciones de pino radiata de edades cercanas a los 25 años.

La gran mayoría del conocimiento que se tiene de esta especie se ha obtenido de plantaciones de edad inferior a los 30 años, lo que lleva a un desconocimiento del comportamiento de pino radiata a edades mayores.

El presente trabajo entrega antecedentes del crecimiento en altura, diámetro, área basal y volumen de una plantación de Pinus radiata D. Don de 52 años de edad. También estudia la biomasa del rodal, determinando la participación de cada componente del árbol sobre el suelo, se generaron funciones matemáticas que permiten predecir la biomasa de cada componente, y se estudió la variación de nutrientes a lo largo de la copa, así como su área foliar.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA.

2.1 Estudios relacionados con el crecimiento fustal.

Por crecimiento se entiende "el desarrollo, engrosamiento y la elongación de los distintos componentes de un árbol o un rodal, referido a una edad o un período específico" (Husch et al., 1972). Fisiológicamente es la acumulación de capas de células xilemáticas a partir del cambium (Spurr y Barnes, 1982). Se expresa por incrementos en el tiempo de diámetro, área basal, altura y volumen (Kannegiesser, 1987).

Daniel et al. (1982) señalan que el incremento en altura en Pinus radiata D. Don es una combinación del crecimiento de los brotes de primavera (crecimiento fijo) con el surgimiento de uno o varios brotes de verano (crecimiento libre). El crecimiento en altura es dependiente del suelo y del clima; y es afectado negativamente tanto por la presencia de rodales muy abiertos, como por la de rodales muy densos (Hawley y Smith, 1972; Daniel et al., 1982).

Daniel et al. (1982) indican que el crecimiento en altura es un factor determinante del incremento en volumen.

El crecimiento en altura puede verse disminuido al realizar una poda verde; esta disminución es, proporcionalmente, de menor magnitud que el crecimiento en diámetro (Hawley y Smith, 1972).

El crecimiento en diámetro es uno de los factores importantes sobre los cuales el manejador forestal puede ejercer un considerable control (Daniel et al., 1982).

Daniel et al. (1982), Spurr y Barnes (1982) indican que la actividad cambial, en coníferas, comienza desde la base de las yemas, en la copa, y se propaga hacia abajo a través de las ramillas, ramas y el tallo principal.

La especie y las características de la copa influyen en la forma del tronco (Larson, 1963; citado por Daniel et al., 1982). Esto se debe, en gran parte, a que la capa de madera anual que el árbol deposita en su tronco no es uniforme en espesor a lo largo de éste (Daniel et al., 1982; Spurr y Barnes, 1982; Espinosa et al., 1988; Lastra, 1992).

Daniel et al. (1982) señalan que en coníferas el espesor de los anillos alcanza su punto máximo en una porción del tronco cercano a la base de la copa viva. Esto se debe, en gran parte, a la disponibilidad de los carbohidratos, ya que es más probable que la cantidad de éstos sea mayor en

la parte inferior de la copa viva, donde se encuentra la mayor cantidad de follaje (Daniel et al., 1982; Smith, 1986, citado por Espinosa et al., 1988).

El desarrollo diametral del fuste es influido por la competencia entre copas, produciendo anillos anuales de mayores dimensiones en árboles libres que aquellos con competencia de copas (Hawley y Smith, 1972; Spurr y Barnes, 1982; Espinosa et al., 1988).

Con el transcurrir del tiempo los árboles y los rodales van sufriendo diversos cambios. A medida que el árbol se desarrolla, las ramas aumentan su longitud, cambian su posición relativa respecto a la copa y modifican su ángulo de inclinación. Este es agudo en las ramas cercanas a la punta, en la porción intermedia son horizontales y las que se encuentran en la base de la copa viva tienden a ir cayendo (Daniel et al., 1982).

En rodales jóvenes los árboles tienen copas grandes y vigorosas, las cuales crecen libremente; una vez que el rodal se cierra y comienza la competencia, las ramas más bajas empiezan a morir (Larson, 1963; Hall, 1964; citados por Lastra, 1992).

Los árboles de clases de copas inferiores y que crecen parcialmente protegidos tienden a ser menos cónicos que los árboles de copa superiores y más altos (Hawley y Smith, 1972).

Hawley y Smith (1972) citan un trabajo de Jacobs (1939) el que encontró que el máximo crecimiento en diámetro tenía lugar en el punto más bajo en el que el tronco podía curvarse por factores ambientales, y no en la base del fuste. Por otro lado, Espinosa et al. (1988) señalan que el máximo ancho de los anillos se asocia con aquella sección de la copa con más follaje. El mismo estudio, cita trabajos de Farrar (1961) y Larson (1963), quienes indican que este máximo es encontrado, frecuentemente, en las proximidades de la copa viva, pero su ubicación exacta puede variar con la densidad del rodal, las condiciones de la estación de crecimiento y la especie. Lastra (1992) citando varios autores señala que el crecimiento de los anillos anuales se desplaza hacia el ápice con el aumento de la edad en pino radiata. Espinosa (1989) menciona que, en pino radiata, el crecimiento radial disminuye de modo abrupto, desde su zona de máximo incremento, hacia el ápice, y gradualmente hacia la base del árbol.

El factor de sitio que más afecta al crecimiento del árbol, tanto apical como radial, es la escasez de humedad. El

déficit de humedad afecta también el tamaño del anillo anual, la proporción de leño temprano y leño tardío y la gravedad específica de la madera (Spurr y Barnes, 1982).

En coníferas se pueden presentar anillos falsos, los que no necesariamente se extienden alrededor de todo el tronco; éstos se presentan con mayor frecuencia en las porciones superiores del fuste. Estos anillos son el resultado de condiciones hormonales adversas o relaciones hídricas o de carbohidratos que afectan sólo a una porción del tronco (Larson, 1963; citado por Daniel et al., 1982).

Daniel et al. (1982) señalan que en sitios con condiciones adversas en extremo, los árboles presentan copas pequeñas, de poco vigor y puede ocurrir la ausencia total de los anillos de crecimiento en la porción basal del árbol. Agrega que en algunas épocas de crecimiento puede producirse un pequeño anillo en la porción de la copa; sin embargo, puede haber una insuficiencia en la producción de hormonas y carbohidratos, lo que ocasiona que el anillo no pueda prolongarse hasta la base del árbol.

El crecimiento puede evaluarse a través de análisis de tallo. Este es el método más exacto y directo para conocer el comportamiento histórico de las variables de estado y la edad de un árbol (Kannegiesser, 1987; citando varios

autores). A través de la observación y medición de los anillos de crecimiento en rodela extraídas a distintas alturas del fuste se logra la reconstrucción del comportamiento pasado de un árbol (Husch et al., 1972).

2.2 Definiciones y conceptos relativos a biomasa.

El conocimiento de la biomasa en rodales forestales es útil en la ciencia forestal. Tal información es necesaria para un completo conocimiento de la estructura y función dinámica de los ecosistemas forestales (Ovington, 1962; Bormann y Likens, 1979; citados por Adams, 1982).

Por biomasa se entiende el total de organismos vivos que se encuentran en un ecosistema en un período determinado (Newbould, 1967; citado por Kannegiesser, 1987). McClure et al. (1981) citados por Lineros, (1986) definen la biomasa como "El peso verde de madera y corteza sobre el nivel del suelo de todo árbol vivo, de 1.0 pulgada y más de diámetro a la altura del pecho". Esta definición excluye la biomasa de la copa del árbol, cuyo conocimiento según Hepp y Brister (1982) es necesario para responder interrogantes sobre deficiencia de nutrientes y para evaluar la factibilidad económica de utilización de la copa. Estos autores definen biomasa de copa como "El peso seco de la copa entera del árbol". Esta definición no incluye el fuste

principal, pero considera el vástago principal, que parte del fuste sobre el último verticilo formado.

Se debe tener en cuenta que la productividad neta de un ecosistema es un concepto teórico que no considera las pérdidas ocasionadas por herbívoros, insectos, pudrición y otros y, por lo tanto, sobreestima el material orgánico que se almacena en un período determinado (Evans, 1974; citado por Kannegiesser, 1987).

En estudios de productivida forestal, la biomasa se refiere al peso seco de la parte vegetal viva sobre la tierra, y en algunos casos se incluye el sistema radicular (Kannegiesser, 1987; citando varios autores).

Ker (1980) separa la biomasa de un árbol en doce componentes: (1) madera seca fustal, (2) corteza seca fustal, (3) fuste seco total, (4) ramas, madera + corteza, (5) follaje, (6) copa seca total, rama + follaje, (7) peso total seco sobre el nivel del suelo, (8) madera verde fustal, (9) corteza verde fustal, (10) fuste verde total, (11) copa verde total, (12) peso total verde sobre el nivel del suelo.

En estudios de biomasa influyen varios factores como el método de selección de los árboles, el tamaño de la

muestra, el método de submuestreo usado para estimar masa seca de cada componente, exactitud y precisión de los instrumentos de terreno y laboratorio, preparación y experiencia del personal, naturaleza de los modelos estadísticos usados y factores biológicos y económicos (Ker, 1980).

Lineros (1986) citando a Bella y Franceschi (1980), señala que los árboles muestras, en un estudio de biomasa, deben ser representativos de su clase de Dap, ser sólo individuos dominantes y codominantes, de copas normales y crecer en rodales con cierre completo de copa. Comerford y Leaf (1980), señalan que al cumplirse estas condiciones las estimaciones de masa seca fustal presentan un mínimo sesgo.

El número de árboles para realizar estudios de biomasa es muy variable. Madgwick (1971) citado por Pardé (1980) indica que para rodales uniformes, se obtienen resultados satisfactorios en la predicción de biomasa utilizando sólo el árbol de área basal media. Clark (1980) reporta que una muestra de 20 a 40 árboles por sitio y estratificados por Dap, se utiliza para desarrollar ecuaciones de peso de árboles. Young (1976) citado por Clark, (1980) indica que sólo 15 árboles por especie pueden ser adecuado. Kendall (1979) citado por Lineros, (1986) señala que 8, 7 y 10 árboles son suficientes para construir funciones

matemáticas para la predicción de masa seca de copa para las especies Lithocarpus densiflorus, Quercus kelloggii y Arbutus menziesii. Ker (1980) utiliza entre 45 y 50 árboles para confeccionar funciones matemáticas para predecir la biomasa del árbol completo de seis coníferas y cuatro latifoliadas. Espinosa y Perry (1987) utilizan 40 unidades muestrales para estudiar la distribución e incremento de biomasa en tres rodales de pino oregón, 16 árboles en un rodal de crecimiento lento e intermedio, y 8 árboles en un rodal de rápido crecimiento.

Para la determinación de biomasa de troncos existen varios métodos; uno de estos es el de obtener volúmenes y densidades. En este método las piezas de madera son secadas en un horno a temperatura constante a 105°C, hasta alcanzar un peso constante (Pardé, 1980). Conociendo el volumen y la densidad se obtiene su peso multiplicando el volumen por la densidad. Otro método señalado por Pardé (1980) es el de pesos frescos y pesos secos, que consiste en pesar la totalidad del peso fresco en terreno, luego una muestra (un disco de madera) es cortado en el lugar y pesado fresco; es secado al horno y pesado seco. El peso seco total es determinado aplicando la correcta proporción de peso seco/peso fresco de la muestra al total del peso fresco medido en el campo.

Espinosa y Perry (1987) utilizan una combinación de los dos métodos antes descritos al obtener rodelas para estimar sus pesos frescos, pesos secos y volúmenes, y obtener el volumen del fuste por medio de su cubicación de acuerdo a la forma geométrica de cada porción del fuste.

En un estudio de biomasa realizado en Pinus virginiana, Madgwick y Kreh (1980) indican que los pesos secos fustales de árboles individuales podrían ser predichos usando el diámetro a la altura del pecho (dap) y altura total como variables independientes. Clark (1980), señala que además del dap, la dimensión más cercanamente correlacionada con el peso del fuste es el diámetro en la base de la copa. Este autor hace referencia a un trabajo de Hughes (1978) el que establece que la altura total o la altura hasta un diámetro límite de utilización de 4 pulgadas, en combinación con el dap, están igualmente bien correlacionadas con el peso del fuste.

El Instituto Forestal (1985) obtuvo los siguientes modelos matemáticos para predecir el peso seco del fuste, corteza y peso seco total de árboles de pino radiata de edades entre 7 y 33 años de edad para una amplia distribución geográfica de Chile:

$$\ln(\text{Peso Fuste}) = a + b \cdot \ln(D) + c \cdot \ln(H)$$

$$\ln(\text{Peso Corteza}) = a + b \cdot \ln(D^2)$$

$$\text{Peso Total vivo} = a + b \cdot D^2 \cdot H$$

Donde:

D = dap (cm).

H = altura total (m).

a,b,c = constantes.

Para la estimación de biomasa de ramas y ramillas se utiliza, en algunos casos, la medición del volumen de la muestra a través de la inmersión de ésta en un xilómetro y su posterior pesaje. El procedimiento descrito tiene el inconveniente de que las variaciones en densidad a lo largo de la misma rama son considerables (Pardé, 1980).

Riedacker (1968) citado por Pardé, (1980) trabajando con Abeto concluye que una muestra de madera de 10 cm de largo tomado entre 35 y 45 cm de la extremidad (brote) es suficiente para determinar la densidad media de una rama con real exactitud y, por lo tanto, para convertir el volumen a peso seco. Para pino escocés y abeto rojo, Pardé (1980) menciona los estudios de Hakkila (1969), y para latifoliadas con sus ramajes más complejos el estudio de Bouchon (1973), el cual señala cómo proceder, basándose en el orden del ramaje (ramas de primer orden son las que nacen directamente del tronco, ramas de segundo orden son

las que nacen de ramas de primer orden, y así sucesivamente).

Relaciones alométricas proveen un conveniente enfoque matemático para la determinación de biomasa (Pardé, 1980).

Singh (1982) desarrolló ecuaciones para predecir biomasa de ramas y ramillas para siete coníferas y tres latifoliadas utilizando como variables independientes el diámetro, el diámetro al cuadrado, diámetro al cubo, y el producto entre el diámetro al cuadrado y la altura. Algunas de estas ecuaciones se muestran a continuación:

$$W = a - b*D + c*D^2 - d*D^3$$

$$W = a - b*D + c*H - d*D^3*H + e*D^2 + f*D^3$$

Donde:

D = dap.

H = altura total del árbol.

a,b,c,d,e,f = constantes.

El Instituto Forestal (1985), desarrolló los siguientes modelos matemáticos para predecir el peso seco de las ramas (sin acículas), ramillas, acículas y peso total de la copa de pino radiata:

$$\text{Peso Ramas s/a} = a + b \cdot D + c \cdot D^2 + d \cdot D^2 \cdot H$$

$$\ln(\text{Peso Ramillas}) = a + b \cdot \ln(D^2 \cdot LC) + c \cdot \ln(H)$$

$$\text{Peso Acículas} = a + b \cdot D^2 \cdot LC$$

$$\ln(\text{Peso Copa viva}) = a + b \cdot \ln(D^2 \cdot LC) + c \cdot \ln(H)$$

Donde:

D = dap (cm).

H = altura total (m).

LC = longitud de copa (m).

s/a = sin acículas.

a, b, c, d = constantes.

Ker (1980) desarrolló funciones de regresión para estimar la biomasa del follaje para seis especies de coníferas y cuatro de latifoliadas utilizando el dap y altura total como variables independientes. Además, desarrolló ecuaciones que permiten obtener la biomasa de la copa de algunos árboles, determinando en forma conjunta la biomasa de todas las ramas, follaje y tallo de la parte alta del fuste, basadas también en el dap y altura total.

Investigaciones realizadas por Strey y Pong (1957), Phillips y Cost (1979), citados por Clark (1980), indican que el diámetro en la base de la copa (DBC) es el mejor predictor del peso de la copa en coníferas.

Broun (1976) citado por Clark, (1980) indican que el dap está altamente correlacionado con el peso de la copa para once especies de coníferas, y la adición de la altura total, la longitud de la copa y especialmente la razón o cociente de la copa mejoran sus predicciones acerca de la biomasa de esta. Estudios de Loomis et al. (1966) citados por Clark, (1980), en Pinus echinata establecieron que las estimaciones del peso de la copa, determinado a través del dap y la razón de la copa en forma combinada, son casi tan exactas como aquellas que usaban solamente el diámetro en la base de la copa.

Los porcentajes de troncos, ramas, hojas y raíces en la biomasa total varían considerablemente dependiendo de las especies, edad, sitio y tratamiento silvicultural (Edwards y McNab, 1979; Pardé, 1980).

Remezov y Bykova (1979) citados por Pardé (1980) estudiando el roble (encino) en el sur de Rusia, encontraron que al aumentar la edad, el tocón rápidamente se transforma en la parte más grande, y con 50 años de edad, representa más o menos dos tercios de la biomasa total. El porcentaje representado por las ramas aumenta solamente durante los primeros 10 años, alcanzando alrededor del 12% y luego permanece constante. Las raíces representan el 74% de la biomasa total al primer año de edad. Este porcentaje

disminuye en forma regular, y no es más del 21% a los 50 años. Con respecto a las hojas, su contribución disminuye del 13% a sólo 0.3% dentro del mismo período.

Para coníferas, Overend (1978) citado por Pardé, (1980) da las siguientes proporciones sobre un Abeto maduro en Canadá (como pesos secos): tronco = 65 a 70% (del cual 5% es la copa no comercial); tocón = 5 a 10%; follaje = 10 a 20%; raíces = 10 a 20%.

Para una plantación de pinos de 22 años de edad, en Nueva Zelanda, raleados regularmente y podados, Madgwick et al. (1977) citados por Pardé, (1980) encontraron los siguientes porcentajes, referidos sólo a la biomasa sobre el suelo: madera (bajo corteza) = 77%; corteza = 8%; madera de ramas = 12%; hojas = 3%.

Jorgensen et al. (1975) citados por Daniel et al., (1982) encontraron, para una plantación de Pinus taeda de 16 años, las siguientes proporciones de materia seca (ton/ha): acículas = 4%; ramas = 12%; madera de fuste = 57%, corteza de fuste = 8%; raíz = 19%.

III. MATERIALES Y METODOS.

3.1 Descripción del área de estudio.

La información requerida para este estudio fue recolectada desde el predio Pinares, de propiedad de Forestal Mininco S.A., el cual se encuentra ubicado en la comuna de Concepción a 8 km al sur de esta ciudad, por el camino a Santa Juana, VIII región.

La precipitación media anual en el área de estudio es de 1.338 mm con una distribución de 369 mm en otoño (28%), 687 mm en invierno (51%), 217 mm en primavera (16%) y sólo 65 mm en verano (5%)(Almeyda y Sáez 1958).

La zona presenta períodos de sequía estival que comprenden entre 2 y 4 meses por año (Almeyda y Sáez 1958).

La temperatura media anual alcanza a los 13°C, siendo la media máxima de enero de 25.1°C con una media en enero de 17.8°C y en julio de 9.1°C.

El rodal en estudio crece en un suelo de la serie Nahuelbuta con una topografía abrupta, la cual presenta pendientes que van desde 38% a 95%.

De acuerdo a los resultados de análisis de suelo de un estudio aún no publicado, la textura del suelo es franco arcillosa densa en los primeros 25 cm con una densidad aparente de 1.19 g/cc; en el horizonte comprendido entre 25 y 75 cm la textura es franco limosa con una densidad aparente de 1.25 g/cc.

3.2 Descripción del rodal en estudio.

El rodal a estudiar, establecido en el año 1941, tiene 52 años de edad. Abarca una superficie cercana a las 4 hectáreas, con 564 árboles por hectárea y un área basal de 90.89 m²/ha.

De acuerdo a la información proporcionada por la empresa Forestal Mininco S.A., las calidades de los árboles, según forma del fuste, son buenas. En una escala de calidades de 1 a 3, el 58.51% del área basal presenta árboles de calidad 1, el 37.29% calidad 2 y sólo el 4.20% de calidad 3. Las calidades fueron asignadas considerando el aspecto morfológico del fuste, tanto longitudinal como transversal.

3.3 Materiales.

En la obtención de la información de terreno se utilizó el siguiente material:

- a. Dinamómetro con capacidad de 30 kg y una precisión de 0.5 kg.
- b. Otros materiales como huincha de distancia, forcípula, medidor de corteza, motosierra, tijerón y elementos de marcar (pintura spray, plumón y crayón).

En las determinaciones de laboratorio, realizadas en el Laboratorio de Productos Forestales y en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción, se utilizó el siguiente material:

- a. Balanzas electrónicas; una con precisión de 1 gramo y otra con precisión de 0.1 gramo. Ambas con capacidad de 10 kg.
- b. Estufas de secado; con precisión de 5°C y temperatura máxima de 300°C y otra de 500°C.
- c. Medidor de área foliar Li-Cor Li-3100, con precisión de 0.01 cm².
- d. Otros materiales como tijeras de podar, regla, formón, hacha, mazo y bolsas plásticas.

3.4 Metodología.

Utilizando la información facilitada por Forestal Mininco S.A., consistente en tablas de rodal y existencia (Tabla 1-A, anexo) se realizó una estratificación estableciendo las clases de copa intermedia, codominante y dominante de acuerdo a la distribución del área basal por clase diámetrica del rodal. Para tal efecto se agruparon las clases diámetricas 18 a 40 cm, 42 a 60 cm y 62 a 70 cm, ya que cada tramo presentaba distribución normal. A los tres tramos de clases diámetricas se le determinó sus diámetros (DAP) y sus desviaciones estándares (S) (Tabla 1) con el propósito de seleccionar los cuatro árboles más cercanos a dicho diámetro, para cada clase de copa.

TABLA 1: CLASE DIAMETRICA Y DESVIACION ESTANDAR DE LAS TRES POSICIONES SOCIALES ESTABLECIDAS.

CLASE DE COPA	CLASE DIAMETRICA (cm)	DESVIACION ESTANDAR (cm)
Intermedios	32.0	5.1
Codominantes	50.0	5.8
Dominantes	66.0	2.8

3.4.1 Trabajo en terreno.

Durante mayo de 1993 se seleccionaron 4 árboles por clase de copa, totalizando 12 unidades muestrales. A estos árboles se les midió, antes del volteo, el diámetro a 1.3 m del suelo, el diámetro a 30 cm y la proyección de la copa en la dirección de los cuatro puntos cardinales.

Después del volteo se procedió a medir la longitud total del árbol (incluyendo la altura del tocón) y la longitud de el copa viva; se marcó la base de la copa viva, se midió el diámetro sin corteza a 5.19 m desde el suelo, con el fin de determinar la clase de forma de Girard. Se cortaron discos de 2 a 4 cm de espesor en el tocón (T), a la altura del pecho (D) y luego a intervalos de 5 m (F1, F2, ...) hasta la base de la copa viva. La copa viva se dividió en tres tercios o secciones a lo largo del fuste principal y en la base de cada tercio se cortaron discos (Figura 1).

Las rodelas fueron etiquetadas, guardadas en bolsas plásticas y almacenadas en cámara de frío a 2°C para su posterior análisis.

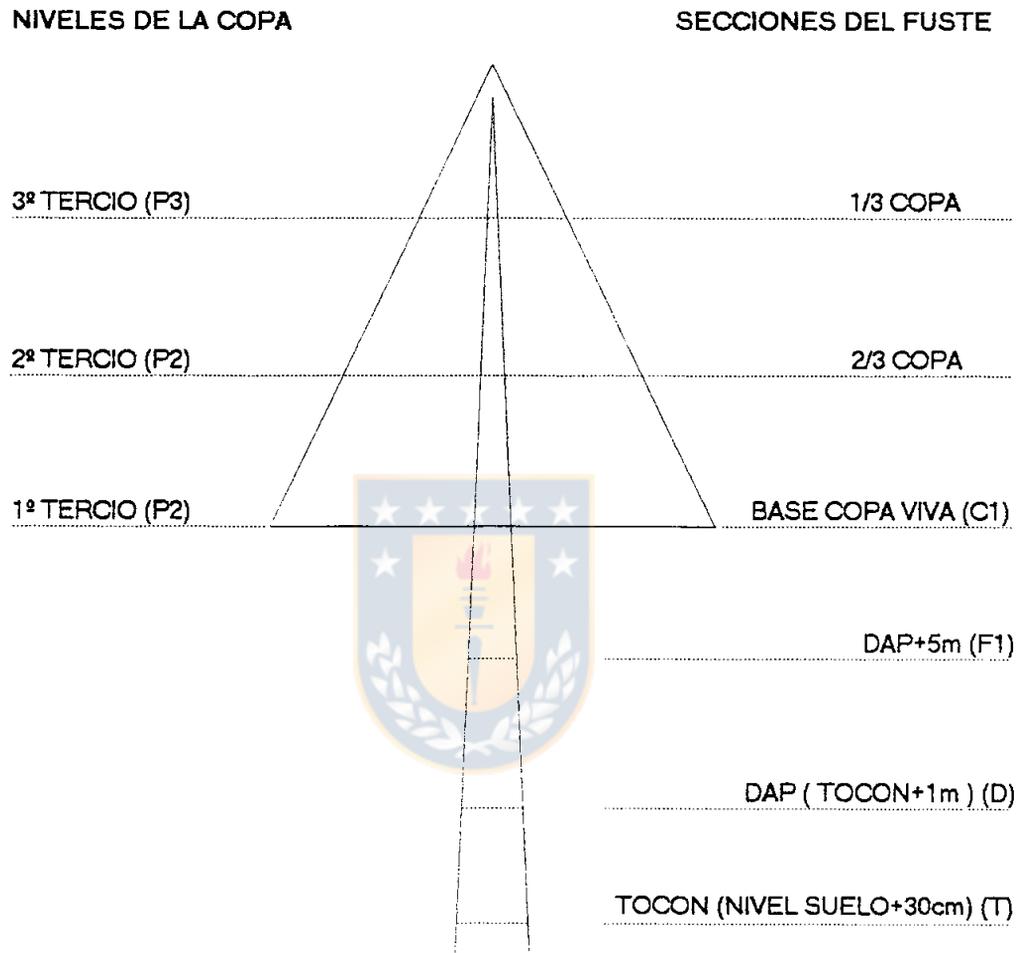


FIGURA 1: Diagrama esquemático de los puntos de muestreo en el fuste y en la copa del árbol.

Todas las ramas fueron removidas y pesadas en terreno por sección de la copa. Una submuestra de 3 ramas dentro de cada tercio fue aleatoriamente seleccionada para determinar las conversiones a pesos secos. Las 9 ramas por cada árbol fueron guardadas en bolsas plásticas, etiquetadas y almacenadas en cámara de frío a 2°C para su procesamiento. De cada rama se obtuvo una submuestra de acículas para la medición de área foliar y su posterior análisis.

3.4.2 Trabajo en laboratorio.

Cada rama fue separada en ramillas + acículas, y corteza + leño (o rama principal); estas dos componentes fueron pesadas frescas, secadas a 100°C por 24 horas o hasta alcanzar peso constante y luego pesadas secas. Una submuestra de ramillas frescas fue extraída de cada rama y separada en ramilla y acícula, las que se pesaron frescas y secas. Una submuestra de acículas frescas fue mantenida para determinar el área de su superficie con un medidor de área foliar.

En el laboratorio se determinó el diámetro dentro y fuera de la corteza de cada una de las rodajas, se midieron los anillos de crecimiento cada cinco años, utilizando cuatro radios perpendiculares para disminuir el efecto de excentricidad; se determinó el peso verde, proporción de

peso seco, peso de corteza (verde y seco), edad, espesor de albura, número de anillos de la albura y gravedad específica de la madera.

Para determinar la densidad de la madera, el material fué distribuido en dos grupos, cada uno compuesto de seis árboles. A un grupo le fué determinada su densidad utilizando las rodelas completas. Al otro grupo de árboles se le seccionaron todas las rodelas en ocho cuñas (Figura 2), y se utilizaron cuatro de éstas para estimar la densidad.

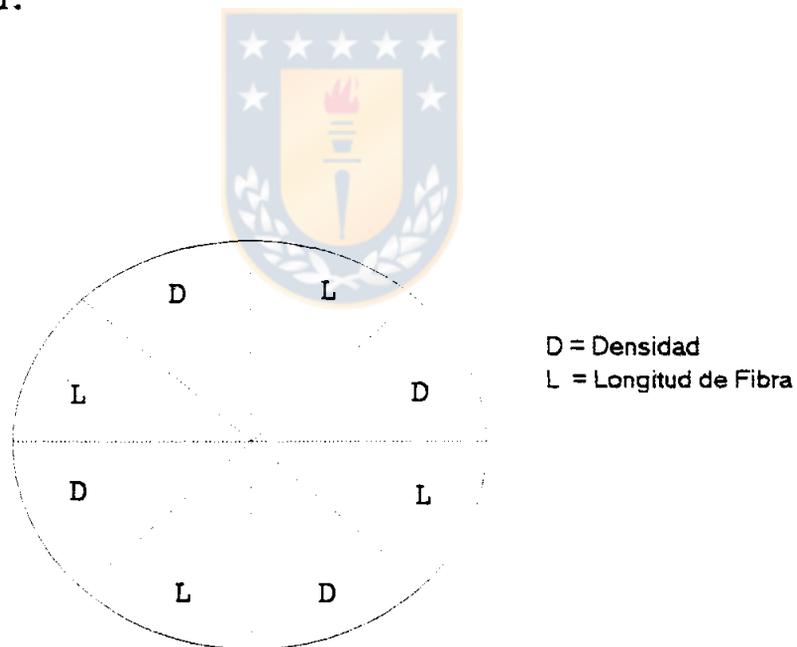


FIGURA 2: Rodela seccionada en 8 cuñas, 4 para estimar densidad (D) y 4 para longitud de fibra (L).

Para seccionar las rodela se empleó hacha y mazo, evitando de esta manera pérdida de material.

La densidad fue determinada por inmersión en agua de las rodela y cuñas frescas para obtener su volumen; posteriormente se secaron al horno a 100°C por 48 horas o hasta alcanzar un peso constante, luego se pesaron (Husch et al., 1972). La madera del fuste y el volumen total del fuste fueron calculados a partir de las mediciones de terreno de las dimensiones del fuste de acuerdo a la forma geométrica de la porción del fuste (Husch et al., 1972), (Figura 3): el volumen del tocón como un cilindro, la sección a la altura del pecho como el tronco de niloide, las secciones entre la altura del pecho 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.

El producto del volumen y gravedad específica de cada rodela del fuste entregó el peso seco de la madera del fuste.

3.4.3 Análisis de datos.

Se realizó una comparación del crecimiento histórico en diámetro, área basal, altura y volumen entre los árboles intermedios, codominantes y dominantes muestreados.

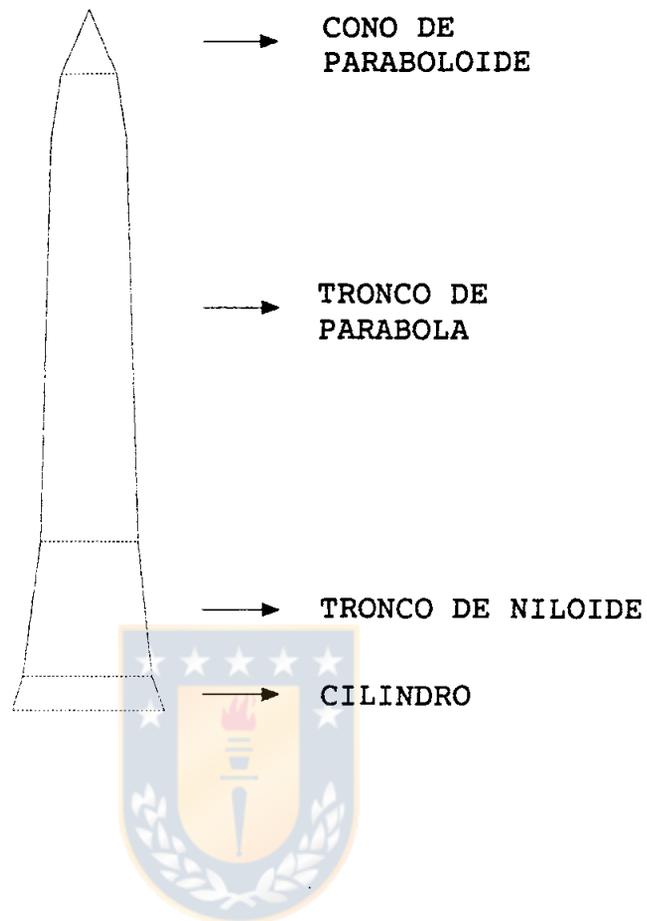


FIGURA 3: Formas geométricas asumidas por parte del árbol. (Según Husch et al., 1972).

Para el análisis de tallo se utilizó el método propuesto por Bruce y Shumacher (1965) y Husch et al. (1972).

Del análisis fustal se obtuvo la información altura-edad, DAP-edad y área basal-edad, utilizadas para elaborar las curvas de crecimiento e incremento periódico anual para períodos de cinco años. El volumen fue calculado utilizando

las fórmulas asumidas para cada sección del fuste propuestas por Husch et al. (1972); éstas fueron aplicadas a cada incremento de anillos constituidos por cinco años.

Además se desarrollaron curvas que muestran la variación del crecimiento radial a diferentes alturas absolutas (cada 2 m), y a diferentes alturas relativas (10% de la altura total).

Se estudió la biomasa arbórea sobre el suelo, determinando la biomasa por cada componente del árbol (corteza, leño, ramas, ramillas y acículas), originando funciones matemáticas para su predicción, utilizando para este efecto el método de análisis de regresión múltiple step-wise con el software Minitab versión 8.2.

Para la selección de los mejores modelos se realizó considerando los siguientes puntos:

- Representación gráfica de la biomasa de cada componente con las posibles variables predictoras.
- Análisis de los residuos.
- Cálculo del coeficiente de determinación ajustado.
- Cálculo del error estándar de estimación.
- Error cuadrático medio.

Para detectar diferencias significativas entre los valores de la biomasa de los árboles muestra, se aplicó el test de Tukey para comparaciones múltiples con un diseño completamente aleatorio. El mismo diseño y test se utilizó en el análisis de los nutrientes a lo largo de la copa, y en el análisis de la albura y el área foliar.



IV. RESULTADOS Y DISCUSION.

4.1 Dimensiones medias de los árboles.

Al comparar las dimensiones medias de los árboles representativos de las clases de copa estudiadas (Tabla 2), se desprende que los árboles muestras dominantes son los que presentan las mayores dimensiones en diámetro, espesor de corteza, área basal, altura total y volumen.

En lo que respecta a las medidas descriptivas de la copa (Assman, 1970), los árboles intermedios presentan la mayor relación altura/dap (coeficiente de esbeltés) (1.04) y menor relación de copa viva (0.35) que los árboles codominantes y dominantes. Las copas de estos últimos árboles, son en general más abundantes que la de los intermedios, lo que se refleja en un mayor valor de las relaciones ancho copa/altura y ancho copa/dap.

4.2 Desarrollo histórico del rodal.

4.2.1 Crecimiento en altura.

Las curvas de crecimiento en altura (Figura 4-a) de los árboles muestra presentan formas similares, con la

diferencia que los árboles dominantes alcanzan mayores alturas que los árboles codominantes, y éstos a su vez mayores alturas que los árboles intermedios. Lo que se explica por la mayor cantidad de luz que reciben los árboles dominantes y codominantes (Daniel et al., 1982).

En la Figura 4-a se observa además, que desde el inicio se produce la diferenciación entre los árboles dominantes y codominantes con los intermedios. Los árboles dominantes y codominantes medidos, se mantienen con un crecimiento en altura similar hasta los 17 años de edad, a partir del cual los árboles dominantes crecen a tasas mayores que los codominante, alcanzando a los 52 años de edad 46.33 m de altura contra 41.70 m de los codominantes y 34.63 m de los intermedios.

El incremento periódico anual en altura (Figura 4-b) de los árboles representativos de las clases sociales consideradas, presenta una pendiente similar hasta el período 3-7 años, a partir del cual se producen diferencias en sus incrementos, las que se mantienen hasta el período 23-27 años, luego de lo cual vuelven a presentar tendencias de las curvas y valores de los incrementos periódicos anuales muy similares hasta el período 48-52 años. Los árboles intermedios y dominantes culminan sus incrementos

TABLA 2: CARACTERISTICAS MEDIAS DE LOS ARBOLES MUESTRAS.

CARACTERISTICA DEL ARBOL	CLASE DE COPA		
	INTERMEDIO	CODOMINANTE	DOMINANTE
DIAMETRO (cm) :			
Tocón	39.05 (1.40) a	55.90 (2.10) b	70.49 (1.36) c
(rango)	35.50 - 44.0	50.50 - 59.50	68.00 - 73.50
DAP (e.c.)	33.96 (1.29) a	51.26 (2.01) b	64.19 (1.12) c
(rango)	30.50 - 35.5	47.00 - 54.00	63.00 - 68.00
DAP (s.c.)	29.89 (1.27) a	44.42 (1.81) b	56.20 (0.45) c
ESPESOR CORTIZA (cm)	4.07 (0.67) a	6.84 (0.76) ab	7.99 (1.01) b
AREA BASAL (m²) :			
Fuste	0.087 (0.005) a	0.209 (0.013) b	0.337 (0.011) c
Albura	0.039 (0.005) a	0.101 (0.007) b	0.155 (0.012) c
ALTURA (m) :			
Total árbol	34.63 (1.36) a	41.70 (2.09) b	46.33 (0.92) b
(rango)	30.75 - 36.98	36.89 - 46.16	43.96 - 48.03
Longitud copa	12.38 (4.54) a	20.09 (2.33) a	21.44 (2.50) a
(rango)	7.20 - 25.98	15.06 - 24.99	15.51 - 27.51
VOLUMEN (m³) :			
Total fuste	1.0816 (0.095) a	2.7211 (0.208) b	4.8863 (0.135) c
DENSIDAD SECA (g/cc)	0.48 (0.006) a	0.49 (0.012) a	0.47 (0.015) a
CLASE FORMA GIRARD	79.40 (2.00) a	75.19 (1.20) a	78.35 (1.48) a
RELACIONES:			
Altura / dap (e.c.)	1.04 (0.012) a	0.81 (0.017) b	0.71 (0.022) c
Long. copa / altura	0.35 (0.12) a	0.49 (0.07) a	0.46 (0.06) a
Ancho copa / altura	9.67 (0.658) a	12.04 (0.977) a	12.25 (0.865) a
Ancho copa / long. copa	34.98 (7.995) a	26.41 (5.04) a	27.76 (4.395) a
Ancho copa / dap	10.07 (0.754) a	9.72 (0.753) a	8.68 (0.633) a

Error estándar de la media en O. Letras diferentes indican que existe diferencia significativa entre los árboles muestra (P<5%, Test Tukey).

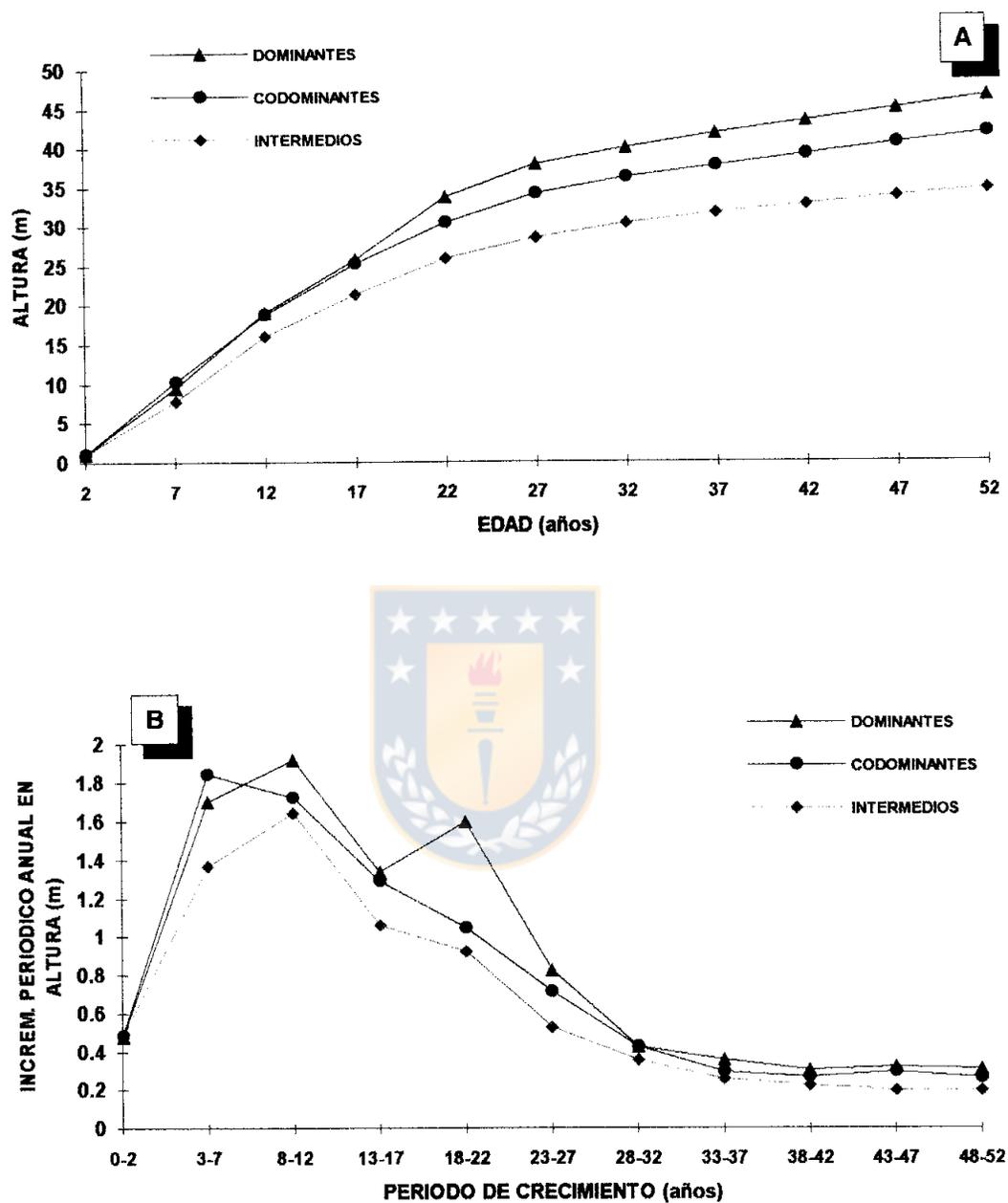


FIGURA 4: Crecimiento en altura (A) e incremento periódico anual en altura (B) de los árboles dominantes, codominantes e intermedios.

en el periodo 8-12 años, siendo el segundo de mayor magnitud que el primero, alcanzando a 1.9 m/año. Por el contrario, los árboles codominantes alcanza su máximo incremento en el periodo 3-7 años.

Al comparar estos resultados con los encontrados por Espinosa (1989), Hernández (1991) y Lastra (1992), los que estudiaron rodales de pino radiata con edades de 14, 16 y 21 años, respectivamente, se aprecia que la culminación del incremento periódico en altura en este estudio se alcanza en periodos similares a los citados. Espinosa (1989) encontró este máximo entre los 7-9 años, Hernández (1991) entre los 7-8 años y Lastra (1992) entre los 10-12 años, siendo por lo tanto, en los primeros doce años de edad el periodo en que pino radiata alcanzaría su máximo incremento periódico en altura.

Se obtuvo, para el rodal en estudio, un índice de sitio 30 m si se consideran los árboles representativo de las clases sociales dominante y codominante, y de 31 m si se excluyen los árboles codominantes.

4.2.2 Crecimiento en diámetro.

Las curvas de crecimiento en diámetro (sin corteza) de los árboles representativos de las tres clases de copa

consideradas, muestran que a mayor edad mayor es el crecimiento en diámetro, especialmente en los árboles dominantes (Figura 5-a). Esta diferencia es evidente desde los 7 años y se acentúa con el tiempo, alcanzando los árboles dominantes 56.2 cm de diámetro a los 52 años de edad, y los intermedios 30.0 cm de diámetro.

El incremento periódico anual en diámetro (Figura 5-b) de los árboles es máximo en el período 3-7 años, luego de lo cual descienden abruptamente. En el período 23-27 años las curvas presentan un ligero incremento siendo éste más acentuado en los árboles dominantes; luego de lo cual continúan las tasas decrecientes en diámetro. El aumento del incremento observado en el período 23-27 años puede deberse a un raleo efectuado en un período precedente.

El período de máximo incremento en diámetro (3-7 años) es similar al encontrados por Espinosa (1989) en un rodal de pino radiata de 14 años de edad y cuyo máximo incremento en diámetro fue logrado entre los 4-6 años. Hernández (1991) trabajando con la misma especie y con árboles de 16 años de edad en la zona de Arauco encontró el máximo incremento en diámetro entre los 5-6 años de edad. Lastra (1992) en un rodal de pino radiata de 21 años de edad establecido en la zona de arenales, registró el máximo incremento en diámetro

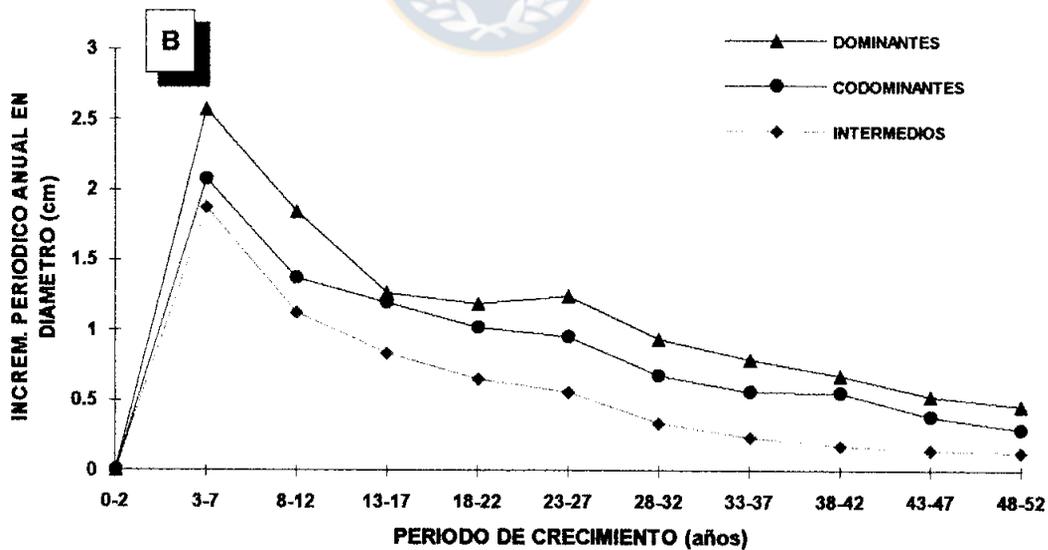
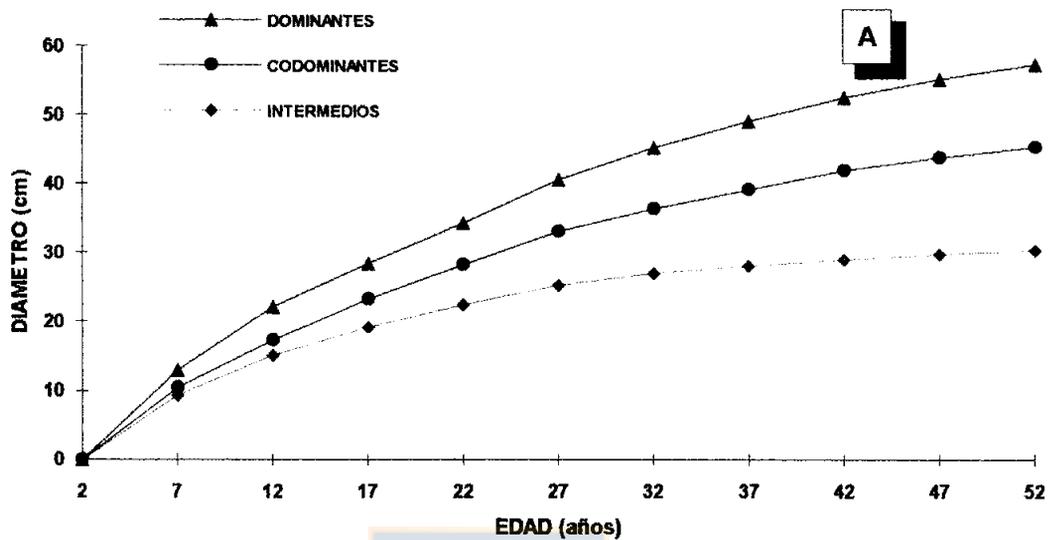


FIGURA 5: Crecimiento en diámetro (A) e incremento periódico anual en diámetro (B) de los árboles dominantes, codominantes e intermedios.

entre los 4 y 6 años de edad. Lo expuesto sugiere que esta especie alcanza tempranamente la culminación de su crecimiento diametral.

4.2.3 Crecimiento en área basal.

La Figura 6-a muestra el crecimiento en área basal de los árboles representativos de las tres clases de copa consideradas, alcanzando un valor similar en el año 7. A partir de este año, los crecimientos empiezan a diferenciarse, diferencia que se acentúa con el tiempo. A los 52 años de edad, el área basal del fuste sin corteza es de 0.26; 0.16 y 0.07 m² para los árboles dominantes, codominantes e intermedios, respectivamente.

El incremento periódico anual en área basal (Figura 6-b), de los árboles dominantes, es superior en el primer período de crecimiento, 3-7 años, en un 88 y 53% que los árboles intermedios y codominantes, respectivamente, alcanzando su máximo en el período 23-27 años, al igual que los árboles codominantes. Los árboles intermedios, en cambio, aumentan su incremento a tasas mucho menores, alcanzando el máximo en el período 13-17 años, para luego decaer lentamente hasta llegar al período 23-27 años, en el cual presenta una disminución marcada de su incremento al igual que los demás árboles muestras.

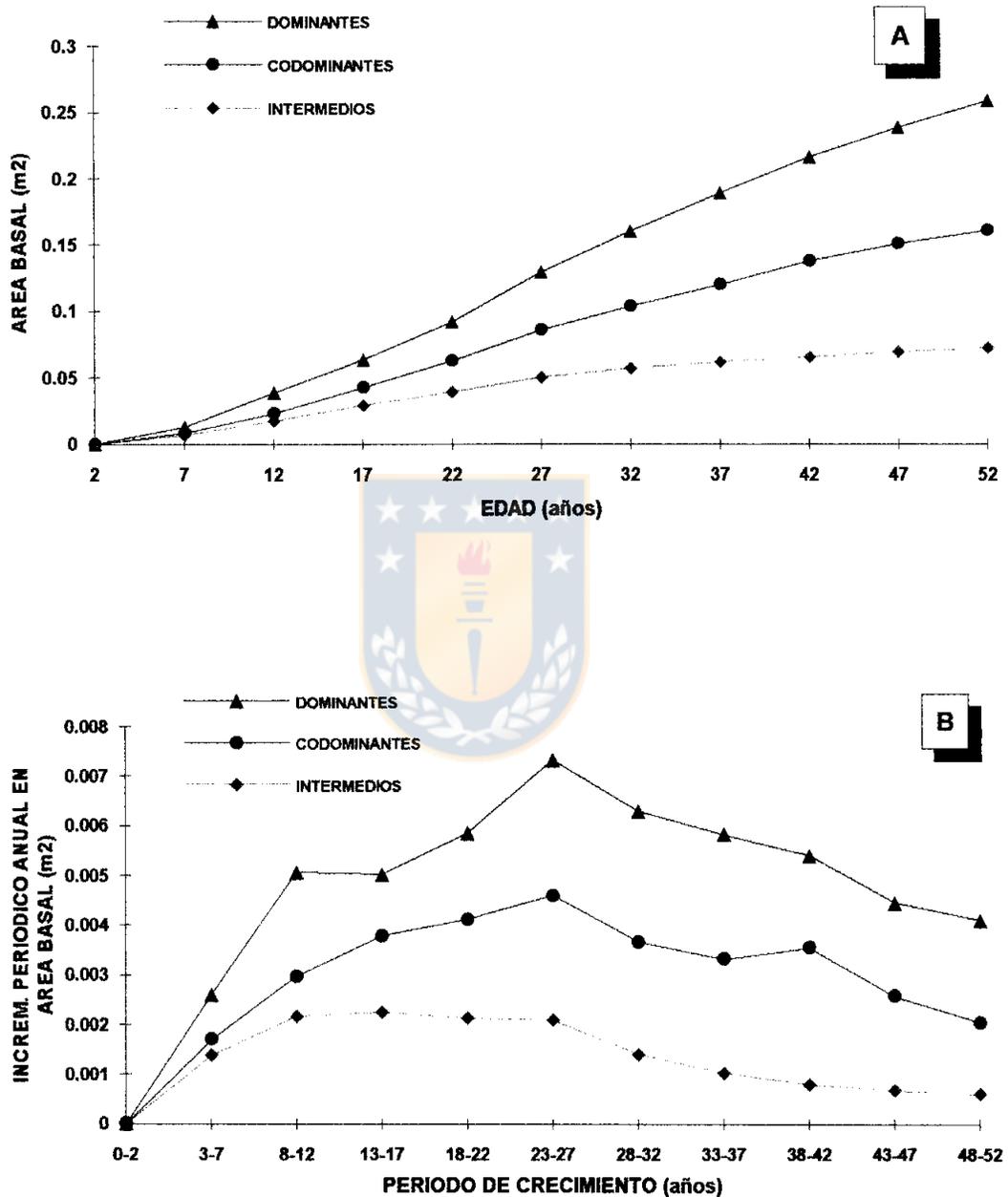


FIGURA 6: Crecimiento en área basal (A) e incremento periódico anual en área basal (B) de los árboles dominantes, codominantes e intermedios.

El grado de desaceleración del incremento periódico en área basal es similar en los árboles de las tres clases de copa estudiadas.

Al comparar la edad de culminación del incremento en diámetro con la de área basal, observamos que éste último alcanza su máximo veinte años más tarde debido a que el incremento de la sección del fuste no sólo depende del espesor del anillo anual, sino que también del tamaño de este (Espinosa, 1985).

4.2.4 Crecimiento en volumen de los árboles muestra.

El crecimiento en volumen (Figura 7-a) de los árboles muestra es inusualmente lento, pero, a partir de los 12 años, crecen a tasas mayores, especialmente los árboles dominantes alcanzando 4.89 m³/árb. a los 52 años. Los árboles intermedios, en cambio, logran sólo 1.08 m³/árb. a los 52 años de edad.

El incremento periódico anual en volumen (Figura 7-b), es de escasa magnitud hasta el periodo 3-7 años, a partir del cual aumenta sostenidamente, especialmente los árboles dominantes, luego alcanzan un máximo en el periodo 23-27 años, con valor de culminación de 0.13 para los árboles

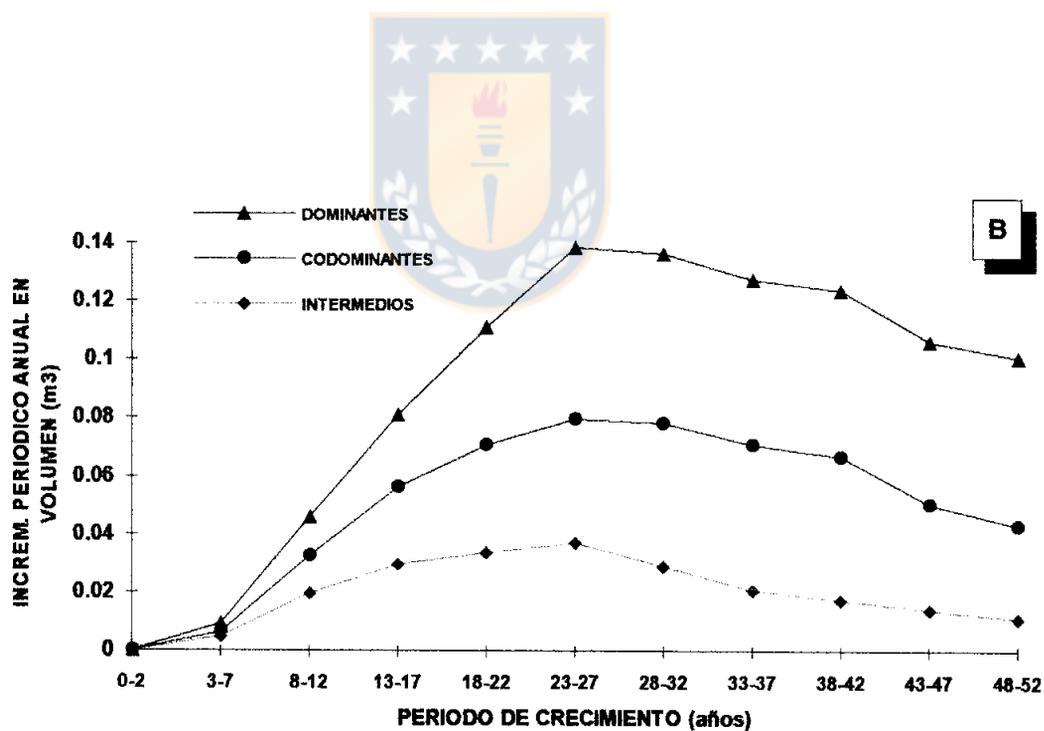
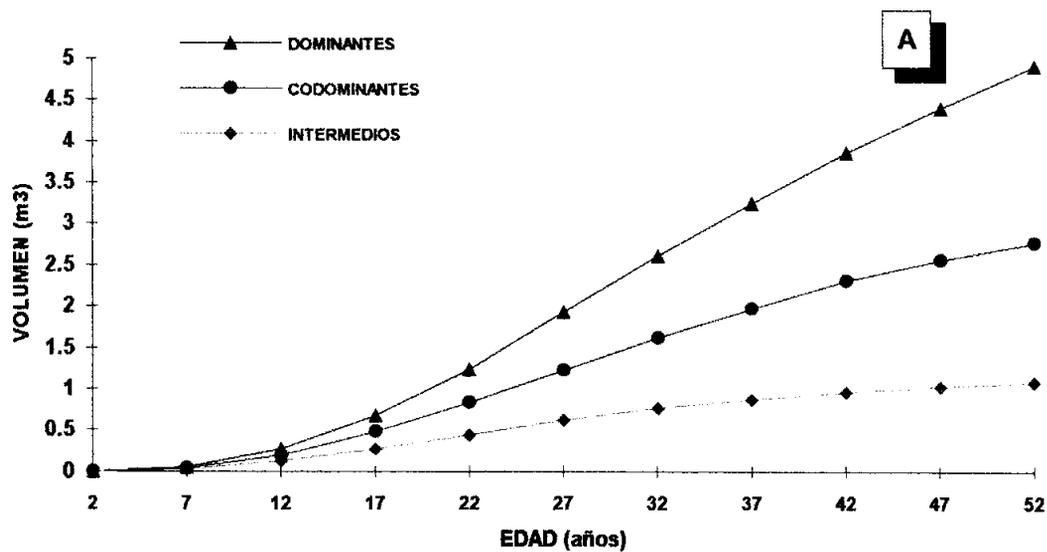


FIGURA 7: Crecimiento en volumen (A) e incremento periódico anual en volumen (B) de los árboles dominantes, codominantes e intermedios. (sigue...)

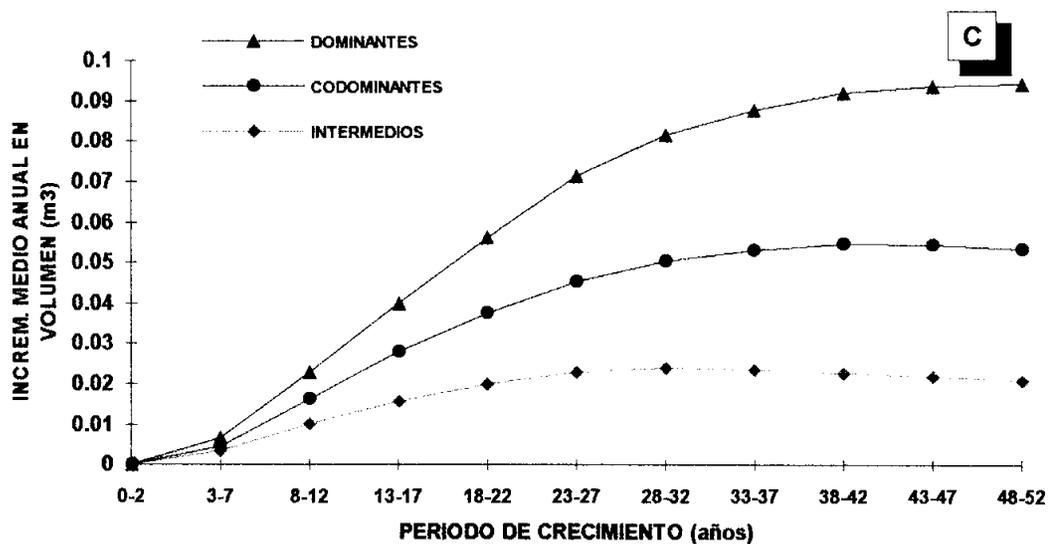


FIGURA 7: Incremento medio anual en volumen (C) de los árboles dominantes, codominantes e intermedios. (cont.)

dominantes y de sólo 0.07 y 0.03 m³ para los codominantes e intermedios. Luego del máximo, las curvas decrecen lentamente; alcanzando a los 52 años 0.11, 0.05 y 0.01 m³/año para los árboles dominantes, codominantes e intermedios respectivamente.

Se produce un aumento acentuado en el incremento periódico anual de los árboles muestra, especialmente de las clases de copa codominante y dominantes, logrando ser este último muy superior a los otros. Se observa, además que el máximo incremento periódico se produce en el período 23-27 años para las tres clases sociales, luego del cual todas decaen a tasas similares, pero alcanzando incrementos periódicos anuales diferentes en el período 47-52 años, siendo éstos de 0.5, 0.2 y 0.06 m³/año en los árboles dominantes, codominantes e intermedios, respectivamente.

El incremento medio anual en volumen (Figura 7-c) presenta un lento incremento inicial (período 3-7 años), luego de lo cual los árboles muestras aumentan su incremento, logrando, los árboles intermedios, las menores tasas de crecimiento, obteniendo su máximo en el período 28-32 años. Los árboles codominantes logran su máximo incremento en el período 38-42 años. En cambio los árboles dominantes, hasta el período 48-52 años, aún no logran el máximo incremento

medio, aunque las tasas de crecimiento a partir del período 38-42 años, son reducidas.

4.2.5 Crecimiento en volumen de la plantación.

El crecimiento en volumen de la plantación se obtuvo al determinar los volúmenes de cada árbol individual de las tres clases sociales del rodal estudiadas y transformarlos a valores por hectárea de acuerdo al número de árboles por hectárea de los árboles dominantes, codominantes e intermedios. El volumen así determinado, de 1.282.7 m³/ha obtenido a los 52 años, es ligeramente superior a los entregado por la empresa Forestal Mininco S.A., los cuales son de 1.262.7 m³/ha determinado con funciones de volumen y de 1.213.9 m³/ha determinado con funciones de ahusamiento; estas diferencias se deben, en parte, a que las funciones estiman el volumen hasta un diámetro límite de utilización de 10 cm, y el volumen encontrado en este estudio considera el árbol completo. Husch et al.(1972), indican que en la última sección del fuste se concentra aproximadamente el 5% del volumen total, porcentaje similar a la diferencia encontrada en este estudio y la determinada a través de funciones de ahusamiento.

El crecimiento en volumen de la plantación (Figura 8-a) es lento hasta el año 7, momento en que comienza a aumentar su crecimiento, alcanzando en el año 52 los 1 282.7 m³/ha.

El incremento periódico anual en volumen (Figura 8-b) tiene un aumento sostenido hasta el período 23-27 años, cuando alcanza un máximo de 38 m³/ha/año. El incremento medio anual en volumen (Figura 8-c), en cambio, presenta una curva sigmoídea, con un crecimiento inicial lento, el que aumenta rápidamente para luego disminuir sus tasas de crecimiento alcanzando un máximo incremento medio en el período 38-42 años de 25.4 m³/ha/año, a partir del cual decrece lentamente.

Las curvas de incremento medio anual (IMA) e incremento periódico anual (IPA) para el rodal en estudio, se intersectan aproximadamente a los 45 años de edad, correspondiendo a la edad de rotación biológica de este rodal (Figura 9). Cabe hacer notar que la edad de corta de las plantaciones de pino radiata en Chile es entre los 22 a 30 años, muy por debajo de la rotación biológica de esta especie.

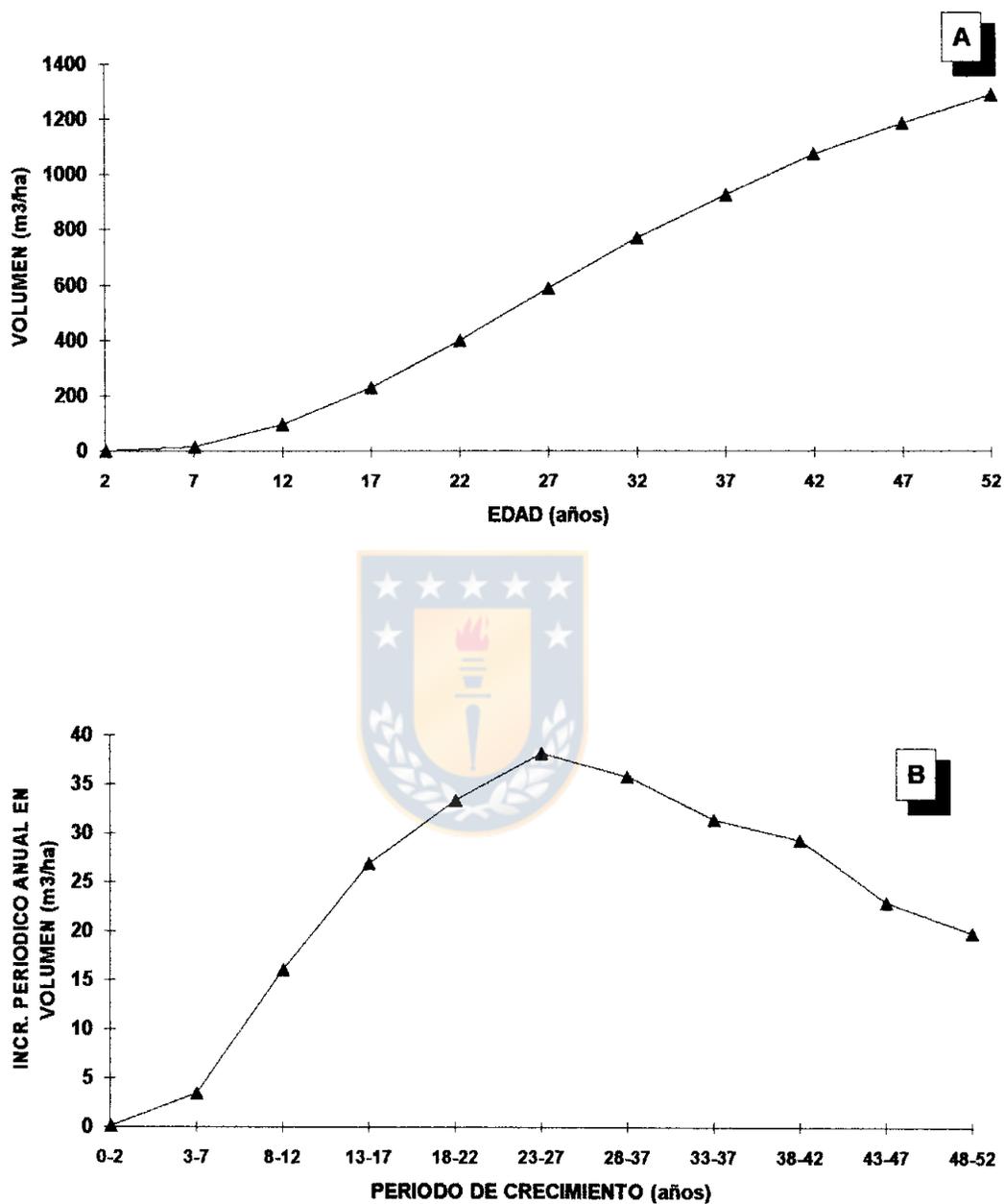


FIGURA 8: Crecimiento en volumen (A) e incremento periódico anual en volumen (B) del rodal en estudio. (sigue...)

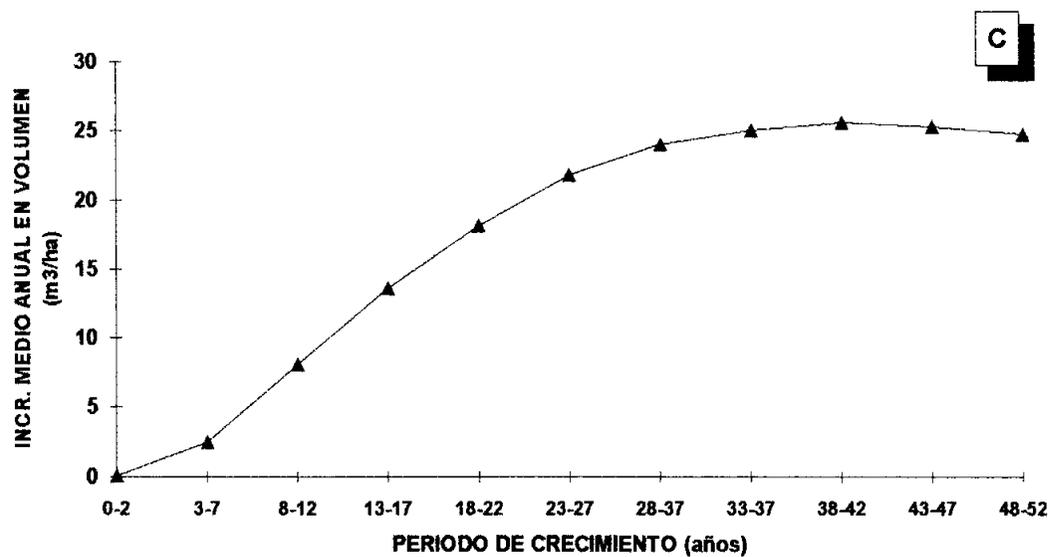


FIGURA 8: Incremento medio anual en volumen (C) del rodal en estudio (cont).

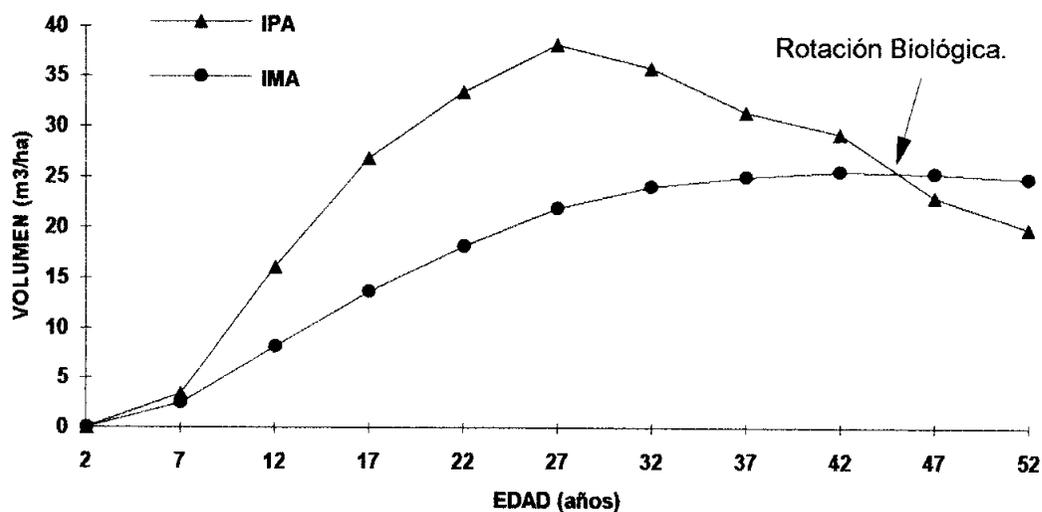


FIGURA 9: Determinación de la rotación biológica del rodal en estudio.

4.2.6 Incremento radial a través del fuste.

El comportamiento del incremento radial a través del fuste (ancho del anillo), se presenta a distintas alturas absolutas del árbol (letra A), y a distintas alturas relativas del árbol (letra B) (Figura 10).

En los siete primeros años existe un período de rápido crecimiento, en que el ancho de los anillos aumenta del ápice hacia la base, sugiriendo árboles jóvenes creciendo sin interferencia con sus vecinos. Entre los 8-12 años el incremento radial aumenta desde la altura del pecho hacia los sectores medios del fuste, probablemente como consecuencia del cierre de las copas y el sombreamiento de las ramas más bajas (Farrar 1961; citado por Espinosa 1989). El mayor incremento diametral se encuentra ubicado alrededor del 45% de la altura total del árbol para las tres clases de copa. En el período 13-17 años el crecimiento de los árboles dominantes es superior al de los codominantes e intermedios, situación que se mantiene hasta el último período de control. El desplazamiento del máximo incremento radial hacia sectores superiores del fuste se acentúa desde el período 13-17 años en adelante, ubicándose en este período al 65%, en el período 18-22 años al 75% y en el período 23-27 años al 85% de las alturas relativas para las tres clases de copa.

- - - - DOMINANTES
 ——— CODOMINANTES
 - - - - INTERMEDIOS

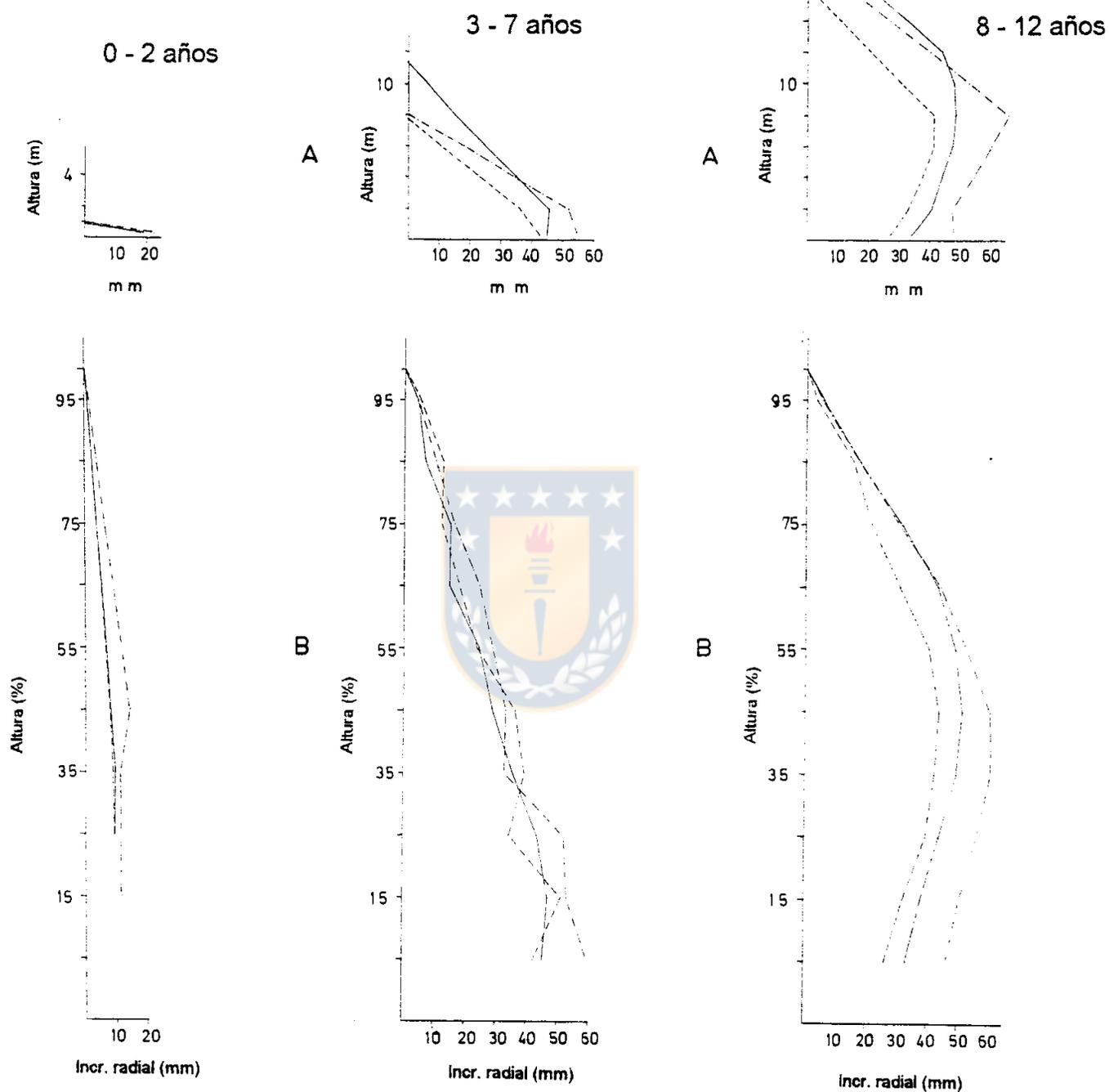


FIGURA 10: Incremento radial a diferentes alturas absolutas (A) del fuste de los árboles representativos de las tres clases sociales, e incremento radial a diferentes alturas relativas (B) del total de los árboles dominantes, codominantes e intermedios. (sigue...)

13 - 17 años

18 - 22 años

A

B

A

B

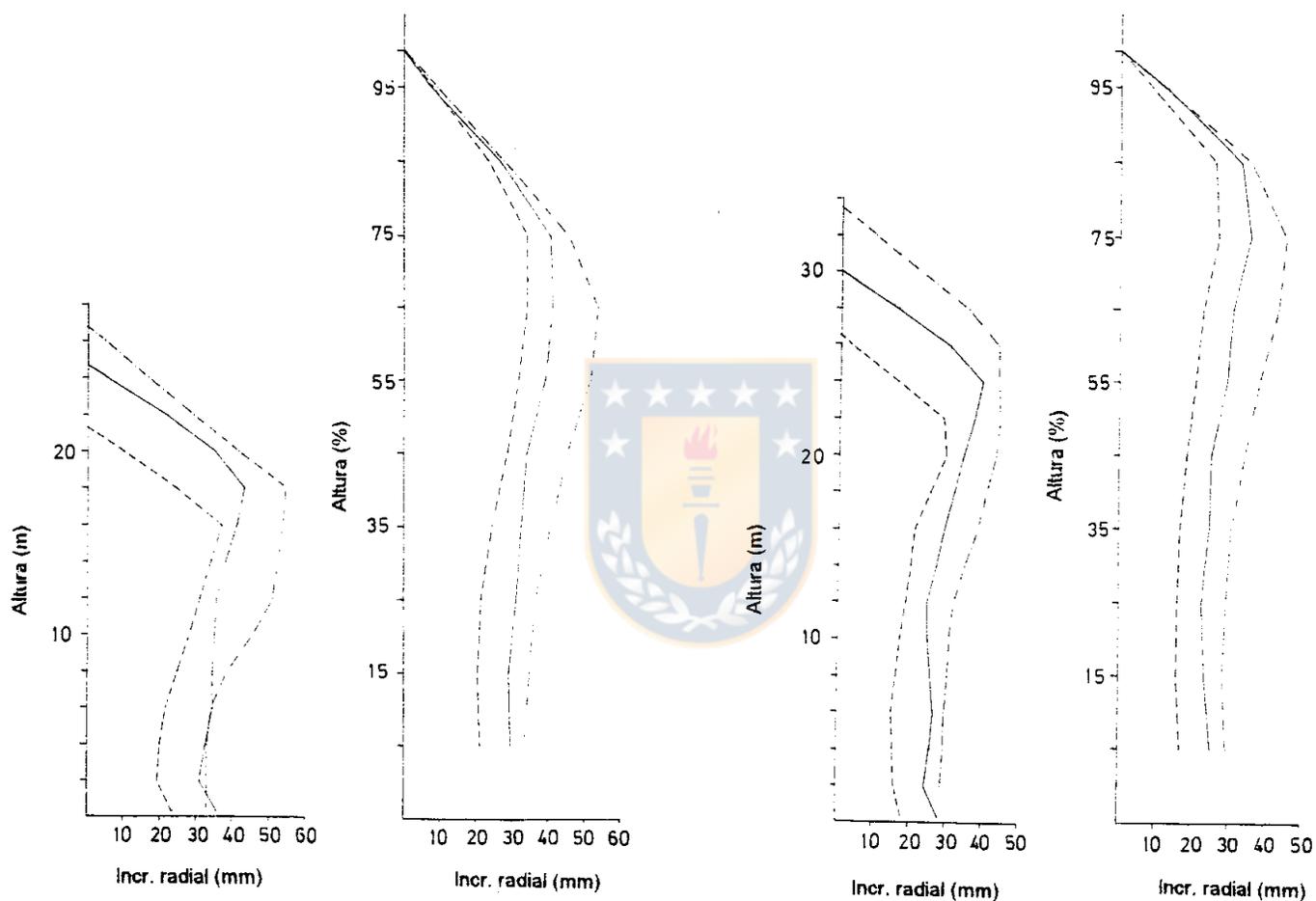


FIGURA 10: Incremento radial a diferentes alturas absolutas (A) del fuste de los árboles representativos de las tres clases sociales, e incremento radial a diferentes alturas relativas (B) del total de los árboles dominantes, codominantes e intermedios .(sigue...)

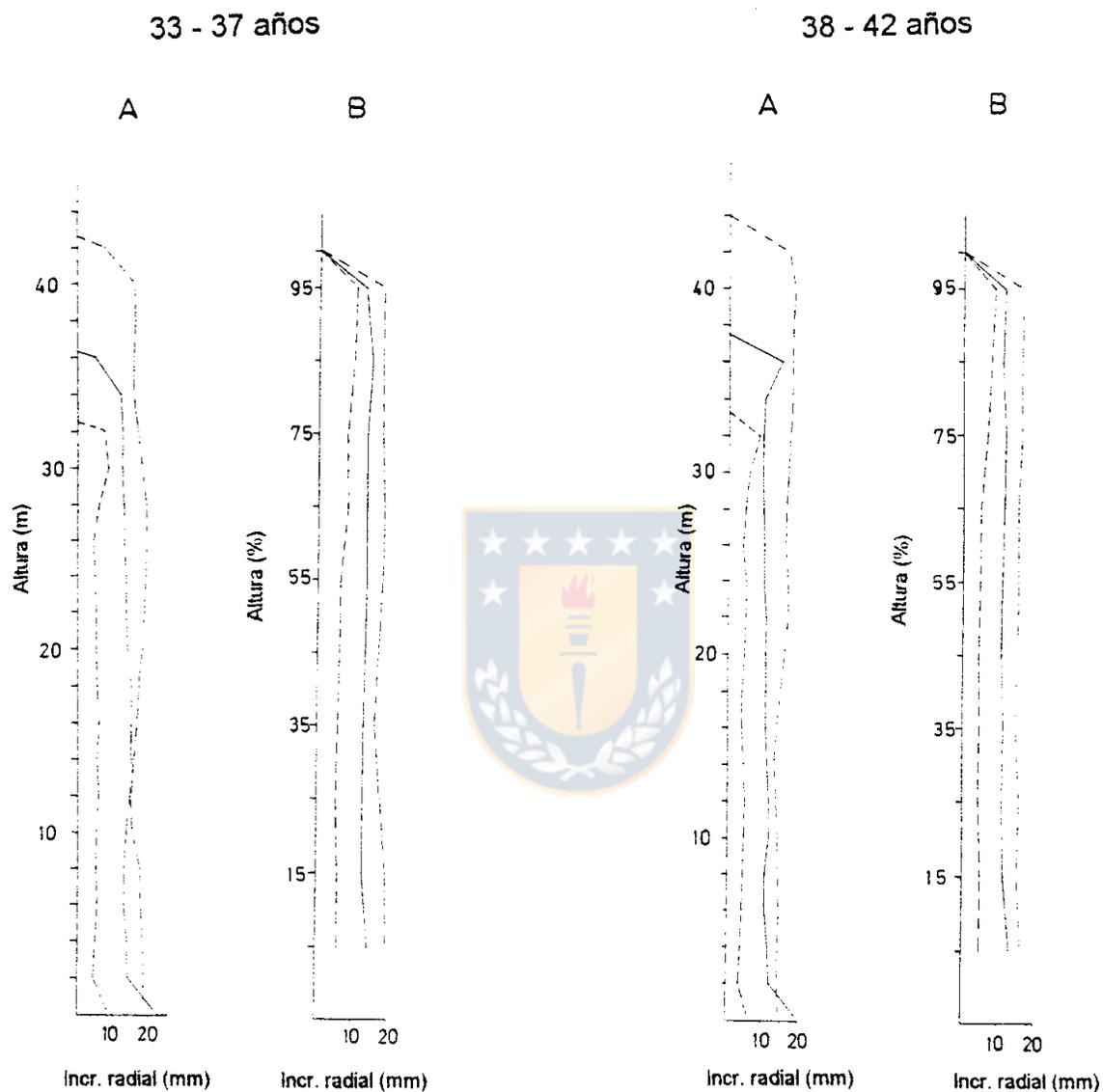


FIGURA 10: Incremento radial a diferentes alturas absolutas (A) del fuste de los árboles representativos de las tres clases sociales, e incremento radial a diferentes alturas relativas (B) del total de los árboles dominantes, codominantes e intermedios .(sigue...)

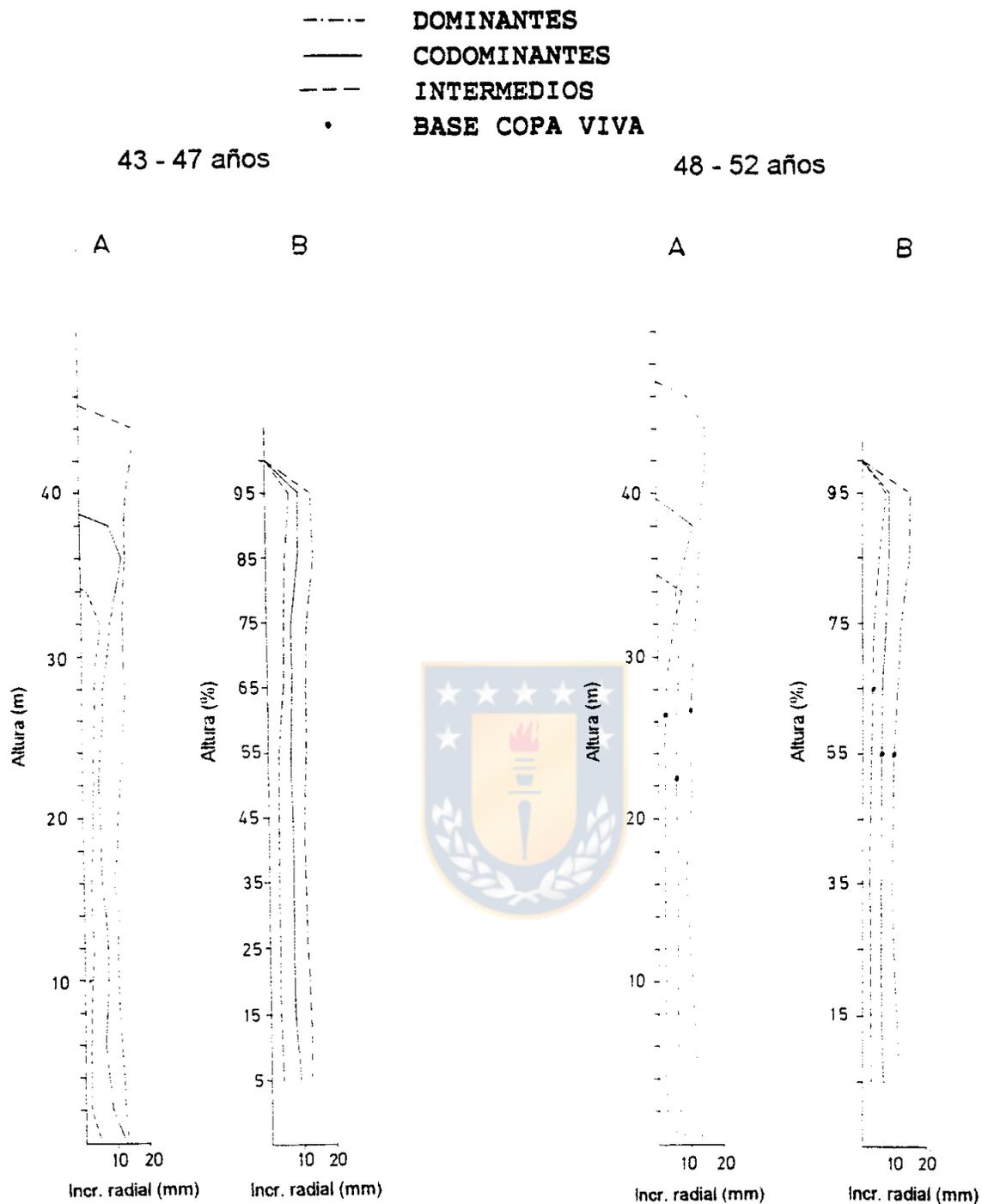


FIGURA 10: Incremento radial a diferentes alturas absolutas (A) del fuste de los árboles representativos de las tres clases sociales, e incremento radial a diferentes alturas relativas (B) del total de los árboles dominantes, codominantes e intermedios. (cont.)

En los periodos 28-32 y 33-37 años el máximo incremento se desplaza aún más hacia el ápice, estabilizándose en las cercanías del 95% de la altura relativa desde el período 33-37 en adelante. En la base del fuste el ancho de los anillos es mayor o igual a la parte superior para los árboles muestra codominantes y dominantes en los periodos 33-37 y 38-42 años.

En el último período de medición (48-52 años), el máximo crecimiento radial es de 7.5, 11.0 y 15.0 mm en los árboles intermedios, codominantes y dominantes respectivamente, máximo que se ubica a los 34, 38 y 44 m de altura, aunque a alturas relativas muy similares (95%). Este máximo crecimiento radial se sitúa mucho más cerca del ápice que de la base de la copa viva, correspondiendo esta al 65% de la altura relativa en los árboles intermedios medidos, y al 55% de la altura relativa en los árboles codominantes y dominantes medidos.

Lo mencionado en el párrafo anterior coincide con lo señalado por Espinosa (1989) en cuanto a que el crecimiento radial en pino radiata decrece sostenidamente desde la zona de máximo incremento hacia el ápice y menos abruptamente hacia la base del árbol.

4.3 Estudio de biomasa.

Los árboles dominantes muestreados presentan una biomasa significativamente mayor a los árboles codominantes e intermedios en sus componentes madera, corteza, acículas, ramillas y ramas (Tabla 3). La biomasa total de estos árboles es 4.7 veces mayor a la de los árboles intermedios y 1.6 veces mayor a la de los codominantes. Estos últimos a su vez, tienen 2.8 veces más biomasa total que los árboles intermedios.

Al comparar los resultados de biomasa obtenidos en este estudio para los tres tipos de clases de árboles estudiados con los valores estimados al utilizar las funciones predictoras de biomasa confeccionadas por el Instituto Forestal (1985), se concluye que estas funciones sobreestiman la biomasa seca para las ramas, ramillas y acículas, y subestiman la predicción de biomasa del fuste, corteza, total de la copa y total del árbol vivo sobre el suelo.

La mayor proporción de la biomasa total está representada por la madera del fuste y su corteza, los que aportan en forma conjunta entre un 95.03 y 97.19% del total, siendo el aporte del follaje (acículas, ramillas y ramas) de sólo un 3 a 5% aproximadamente (Tabla 3).

TABLA 3: VALORES MEDIOS DE BIOMASA (kg/árbol) Y PORCENTAJES DE PARTICIPACION DE CADA COMPONENTE DE LOS ARBOLES MUESTRA DE UN RODAL DE PINO RADIATA DE 52 AÑOS DE EDAD.

COMPONENTE	CLASE DE COPA DE LOS ARBOLES MUESTRA					
	INTERMEDIOS		CODOMINANTES		DOMINANTES	
	kg	%	kg	%	kg	%
Madera fuste	505.50 a (84.15)	86.86	1 488.25 b (145.30)	87.15	2 406.50 c (144.70)	86.54
Corteza fuste	60.12 a (7.40)	10.33	152.45 b (24.29)	9.17	236.05 c (26.33)	8.49
TOTAL FUSTE	565.62 a (88.00)	97.19	1 600.70 b (168.05)	96.32	2 642.55 c (167.20)	95.03
Acículas	5.39 a (0.59)	0.93	17.09 a (1.91)	1.03	42.65 b (10.51)	1.53
Ramillas	4.28 a (0.39)	0.73	16.64 ab (4.42)	1.00	32.18 b (8.92)	1.16
Ramas	6.70 a (1.03)	1.15	27.36 b (6.16)	1.65	63.54 b (19.28)	2.28
TOTAL COPA*	107.90 a (70.35)	18.54	344.10 a (75.00)	20.71	594.62 a (192.55)	21.38
TOTAL ARBOL**	582.00 a (88.90)		1 661.80 b (157.45)		2 779.90 c (181.45)	

* El peso seco total de la copa incluye la sección del fuste de la copa.

** Peso seco total del árbol sobre el suelo.

Error estándar de la media en (). Letras distintas indican que existe diferencia significativa entre las medias de una misma componente ($P < 5\%$, Test Tukey).

El reducido porcentaje aportado por el follaje coincide con lo determinado por Remezov y Bykova (1979) citados por Pardé, (1980), quienes trabajando con encino en el sur de Rusia y con árboles de hasta 50 años de edad, encontraron que con la edad el fuste se transforma en la componente que aporta la mayor cantidad de biomasa. El resto de las componentes disminuye su participación en forma regular.

Turner y Long (1975) citados por Espinosa y Perry, (1987) trabajando en una serie de rodales de pino oregón creciendo en sitios de baja calidad en Estados Unidos, encontraron que la biomasa foliar y de la copa crecían hasta el cierre de las copas, para llegar a un estado fijo entre los 40 y 50 años, dependiendo de la densidad del rodal. Desde éste punto el fuste va aumentando su proporción en la biomasa aérea. En un rodal de pino oregón de 450 años en H.J. Andrews Experimental Forest en el centro de Cascade Mountains Oregon, las copas constituyen sólo el 10.8% de la biomasa aérea (Grier y Waring, 1974).

Waring y Schlesinger (1985) señalan que con la edad la biomasa del fuste aumenta su participación respecto al total, mientras que la biomasa del follaje disminuye. Lo expuesto hace suponer que la participación del follaje en la biomasa aérea del rodal en estudio, la que va de 2.81 a

4.97%, tendería a disminuir con el transcurrir de los años.

Esto se debe a que el árbol desarrolla primero el follaje, destinando gran parte de los carbohidratos a su crecimiento, y queda en forma secundaria el crecimiento del fuste, esto cambia una vez desarrollado el follaje y sólo entonces el árbol aumenta el crecimiento del fuste (Waring y Schlesinger, 1985).

De la Tabla 3 se desprende que los árboles intermedios, codominantes y dominantes medidos, son proporcionalmente iguales no existiendo diferencias significativas entre los porcentajes de los diferentes componentes entre los árboles medidos de la tres clases sociales estudiadas. Indicando con esto que un árbol dominante crece más que un codominante y éste a su vez que un intermedio, pero este mayor crecimiento es en todas sus componentes.

La estimación de biomasa por hectárea, se obtuvo multiplicando la biomasa media de los árboles muestras de cada clase social estudiada por el número de árboles presentes en la hectárea.

La biomasa así determinada, asciende a 748.121 kg/ha (Tabla 4), aportando los árboles intermedios el 17.7% del total,

los árboles codominantes el 63.3% y los dominantes el 19.0%. Estos últimos representan sólo el 9% del total de árboles presentes en la hectárea.

La mayor contribución a la biomasa total por hectárea está representada por la madera fustal con un 86.98% del total, seguida de la corteza fustal con un 9.2%. El follaje (acículas, ramillas y ramas) aporta el 3.8% del total, sin embargo si se considera toda la copa, incluida la sección del fuste dentro de ésta, este componente representa el 20.45% de la biomasa total por hectárea.

Para seleccionar las mejores funciones predictoras de la biomasa de las componentes del árbol se consideraron un gran número de variables y combinaciones de éstas, pero luego, en la selección, se obtuvo sólo una función predictora por componente, las que se presentan en la Tabla 5.

El diámetro a la altura del pecho se presenta como la mejor variable predictora del peso seco de las componentes: madera, corteza y árbol completo. Lo anterior fue también encontrado en los estudios realizados por Clark (1979), Singh (1982) en pino contorta, Baker et al. (1984) en pino radiata y Espinosa (1985) en pino oregón.

TABLA 4: BIOMASA DE CADA COMPONENTE EN LA HECTAREA (kg/ha) PARA LOS ARBOLES MUESTRA.

COMPONENTE	CLASE DE COPA DE LOS ARBOLES MUESTRA		
	INTERMEDIO	CODOMINANTE	DOMINANTE
Madera fuste	115 148 a (19 185.0)	412 752 b (41 406.5)	122 732 a (7 378.5)
Corteza fuste	13 706 a (1 687.5)	43 449 b (6 924.5)	12 039 a (1 343.0)
TOTAL FUSTE	128 954 a (20 069.5)	456 201 b (47 890.5)	134 771 a (8 527.0)
Acículas	1 228 a (135.6)	4 869 b (546.0)	2 175 a (536.2)
Ramillas	976 a (90.0)	4 742 b (1 261.5)	1 641 a (455.5)
Ramas	1 527 a (235.5)	7 797 b (1 755.5)	3 241 a (983.0)
TOTAL COPA*	24 592 a (16 037.5)	98 066 b (21 372.5)	30 322 a (9 819.5)
TOTAL ARBOL**	132 685 a (20 265.5)	473 609 b (44 873.0)	141 827 a (9 254.5)

* El peso seco total de la copa incluye la sección del fuste de la copa.

** Peso seco total del árbol sobre el suelo.

Error estándar de la media en (). Letras distintas indican que existe diferencia significativa entre las medias de una misma componente ($P < 5\%$, Test Tukey).

TABLA 5: MODELOS PREDICTORES DE BIOMASA POR COMPONENTE Y SU ESTADISTICA ASOCIADA.

COMPONENTE	MODELO	R ² aj. (%)	ECM (%)	EEE	n
Madera Fuste	$P = -1\,344.9 + 54.944 * D$	97.60	7.98	117.6	11
Corteza Fuste	$P = 0.056 * D^2$	97.10	18.30	28.58	12
Ramas	$P = 0.000605 * D^2 * DBC$	93.72	30.32	83.82	10
Acículas	$\ln(P) = 0.8866 + 0.000679 * D^2$	95.90	20.40	0.2022	10
Ramillas	$\ln(P) = 0.0915 * DBC$	97.95	3.11	0.3775	12
Total Copa*	$\ln(P) = 1.1128 + 0.20034 * DBC - 0.0000211 * D^2 * DBC$	99.30	13.47	0.097	11
Total Arbol**	$P = -1\,578.2 + 63.96 * D$	97.90	7.50	128.50	11

* Biomasa total de la copa 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 es el diámetro en la base de la copa (cm).

Coefficiente de determinación ajustado (R²aj.), Error cuadrático medio (ECM), Error estándar de estimación (EEE) y Número de unidades muestrales (n)

El diámetro en la base de la copa se presenta, como variable predictora, en aquellos modelos que incluyen al follaje. Clark (1979) determinó que junto al DAP, se debe adicionar el DBC y altura total entre otras variables, para la predicción del peso de la copa y follaje. Esto también fue encontrado con el estudio realizado por el INFOR (1985) quienes trabajaron con rodales de pino radiata de edades inferiores a los 35 años y en un área geográfica muy amplia.

4.4 Niveles nutricionales.

Los niveles nutricionales presentes en el follaje, expresados en porcentaje del peso seco (Tabla 6), se comparan con los niveles nutricionales determinados por Will, (1978; Tabla 2A, anexo) para Pinus radiata, el que diferenció tres categorías: bajo, marginal y satisfactorio. De esta comparación se desprende que Nitrógeno y Fósforo se encuentran en niveles bajos, Magnesio en nivel marginal, mientras que Potasio y Calcio en nivel satisfactorio. Sin embargo, el rodal en estudio no presentaba síntomas visuales debido a déficit de N, P ni Mg. Esto puede deberse a que el árbol, a medida que crece, requiere una menor cantidad de nutrientes para satisfacer sus demandas nutricionales (Waring y Schlesinger, 1985). También se debe considerar que para fijar las

recomendaciones de los niveles adecuados de nutrientes no se han utilizado árboles de una edad tan avanzada como lo son los 52 años del rodal en estudio. Los niveles de los nutrientes encontrados bajos (N y P) no podrían deberse a la época de muestreo del follaje ya que según lo descrito por Payn y Clough (1987) y por Ferrada (1980), N y P, en pino radiata, son elementos que tienen una de las menores variaciones estacionales.

Las concentraciones de nutrientes se comparan con el estudio realizado por González et al. (1983), quienes trabajaron con plantaciones de pino radiata entre 5 y 7 años de edad, y encontraron concentraciones de 2.29, 0.23, 1.06, 0.20 y 0.12% para N, P, K, Ca y Mg respectivamente. Lo anterior contrasta con los resultados encontrados en este estudio (Tabla 6), los que son inferiores en los nutrientes N, P, K y Mg, y superior en el nutriente Ca.

El nivel de nutrientes entre las diferentes secciones de la copa no varía significativamente en ninguna clase social estudiada. Madgwick et al. (1988), encontraron diferencias significativas en las concentración de N, P, K y Mg de las distintas secciones de la copa en un rodal de pino radiata de 13 años de edad, manteniendose similar la concentración de Ca.

TABLA 6: VALORES MEDIOS DE NUTRIENTES ENCONTRADOS EN LAS TRES SECCIONES DE COPA DE LOS ARBOLES MUESTRA.

NUTRIENTE	CLASE DE COPA	SECCION I			SECCION 2			SECCION 3		
		Media	SE	Signif.	Media	SE	Signif.	Media	SE	Signif.
NITROGENO	INTERMEDIO	0.9950	a	(0.090)	0.9450	a	(0.051)	1.0025	a	(0.052)
	CODOMINANTE	0.9900	a	(0.027)	0.9350	a	(0.040)	0.9450	a	(0.044)
	DOMINANTE	0.9400	a	(0.121)	1.0725	a	(0.116)	1.0700	a	(0.057)
FOSFORO	INTERMEDIO	0.1175	a	(0.008)	0.1000	a	(0.006)	0.1050	a	(0.006)
	CODOMINANTE	0.1150	a	(0.005)	0.1125	ab	(0.003)	0.0975	b	(0.005)
	DOMINANTE	0.1125	a	(0.003)	0.1000	a	(0.004)	0.1000	a	(0.004)
POTASIO	INTERMEDIO	0.7125	a	(0.038)	1.0800	a	(0.414)	0.7250	a	(0.054)
	CODOMINANTE	0.7750	a	(0.114)	0.7075	a	(0.089)	0.6425	a	(0.080)
	DOMINANTE	0.7675	a	(0.062)	0.7100	a	(0.036)	0.6900	a	(0.027)
CALCIO	INTERMEDIO	0.3700	a	(0.021)	0.3775	a	(0.047)	0.3450	a	(0.045)
	CODOMINANTE	0.2975	a	(0.035)	0.3175	a	(0.028)	0.2550	a	(0.009)
	DOMINANTE	0.3700	a	(0.065)	0.3100	a	(0.040)	0.2750	a	(0.042)
MAGNESIO	INTERMEDIO	0.1000	a	(0.009)	0.1075	a	(0.003)	0.1225	a	(0.024)
	CODOMINANTE	0.0875	a	(0.009)	0.0825	a	(0.010)	0.0800	a	(0.008)
	DOMINANTE	0.0750	a	(0.006)	0.0675	a	(0.010)	0.0750	a	(0.010)

Error estándar de la media en 0. Letras distintas indican que existe diferencia significativa en el porcentaje de nutrientes entre las secciones de copa de una misma clase social ($p < 5\%$, Test Tukey).

Las secciones 1, 2 y 3 corresponden a la base de la copa, sección media y superior respectivamente.

En otro estudio realizado por Madgwick et al. (1983) en pino radiata de 7 años de edad, encontraron diferencias en la concentración de nitrógeno de la copa, siendo ésta mayor en la sección superior e inferior en la base.

En este estudio, aunque no se encontraron diferencias significativas, si se obtuvieron diferencias en la distribución porcentual de los elementos N, P, K, Ca y Mg en la copa (Figuras 11-a, 11-b y 11-c) para los árboles intermedios, codominantes y dominantes, respectivamente. La cantidad de nutrientes en la base de la copa (sección 1) es menor que en las secciones media y superior en las tres clases sociales. También se observa que en los árboles dominantes muestreados la cantidad de nutrientes en la base de la copa es menor que en las otras dos clases de copa estudiadas, y la cantidad de nutrientes en las secciones media y superior de la copa en los árboles dominantes son muy similares, debido probablemente a la mayor cantidad de luz que reciben estas dos secciones de los árboles dominantes.

Determinada la cantidad de nutrientes de cada árbol muestra, se estimó la cantidad de nutrientes por hectárea presentes en el follaje (Tabla 7) de acuerdo al número de árboles en la hectárea de cada clase social estudiada. Se

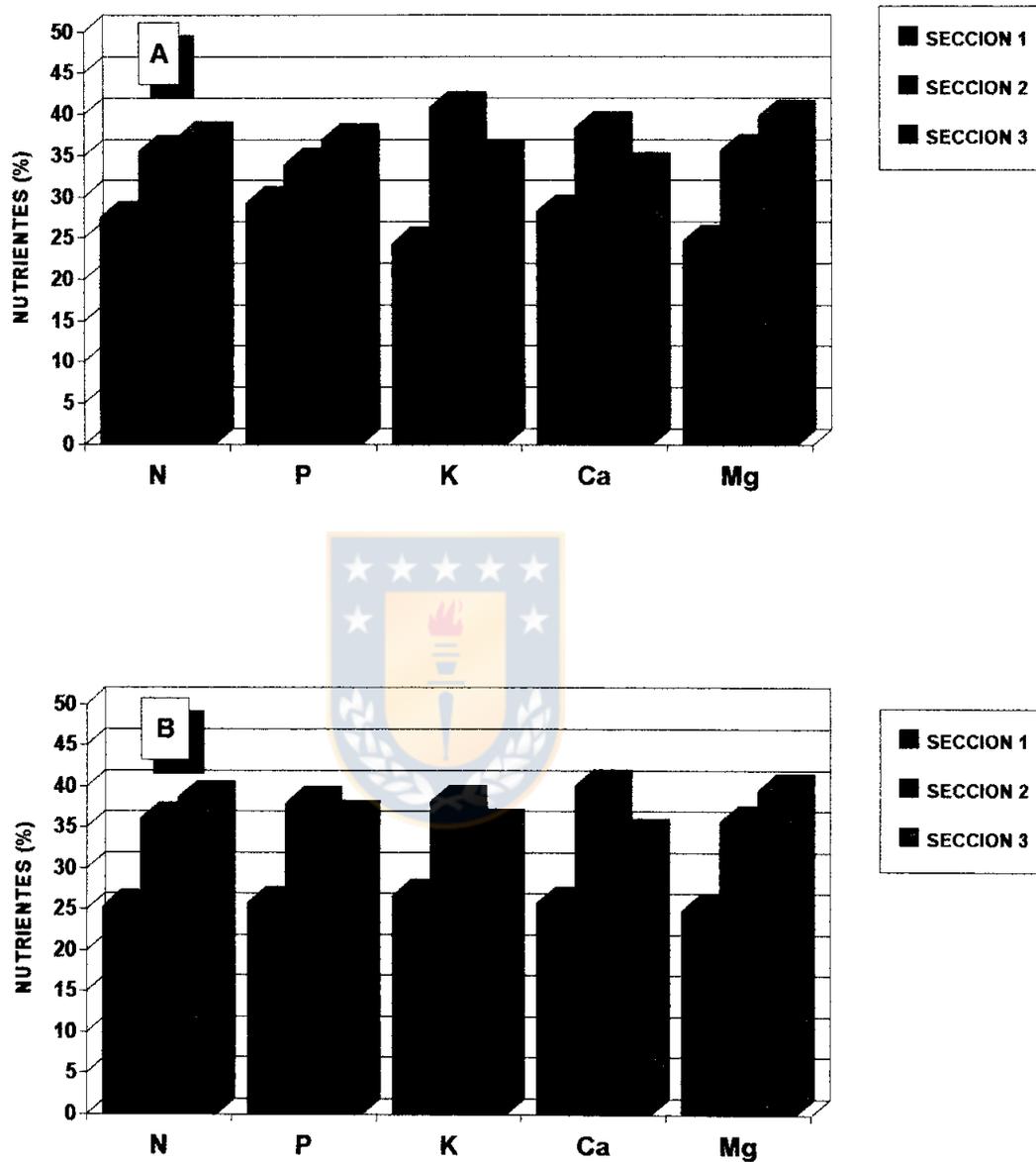


FIGURA 11: Distribución porcentual de nutrientes a lo largo de la copa en los árboles muestra intermedios (A) y codominantes (B).(sigue...)

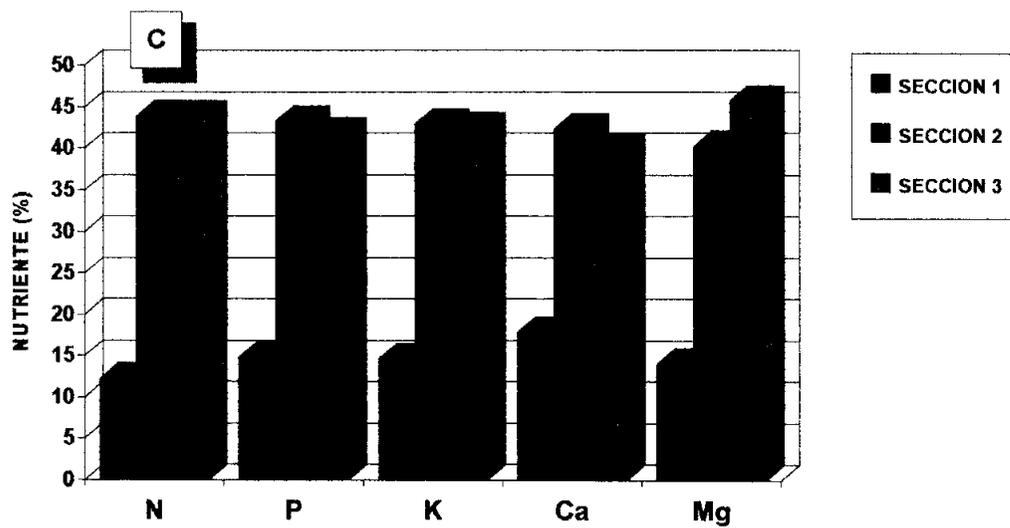


FIGURA 11: Distribución porcentual de nutrientes a lo largo de la copa en los árboles muestra dominantes (C).(cont.)

TABLA 7: CANTIDAD DE NUTRIENTES PRESENTES EN LA HECTAREA (kg/ha) EN LAS TRES SECCIONES DE COPA DE LOS ARBOLES MUESTRA.

NUTRIENTE	CLASE DE COPA	SECCION 1	SECCION 2	SECCION 3	TOTAL COPA
NITROGENO	INTERMEDIO	3.128 a (0.582)	4.048 a (1.874)	4.230 a (1.299)	11.406
	CO-DOMINANTE	10.529 a (2.921)	14.964 a (3.750)	16.052 a (6.721)	41.545
	DOMINANTE	2.629 a (1.020)	9.421 a (1.787)	9.428 a (2.802)	21.478
FOSFORO	INTERMEDIO	0.361 a (0.044)	0.418 a (0.188)	0.456 a (0.163)	1.235
	CO-DOMINANTE	1.201 a (0.319)	1.765 a (0.369)	1.688 a (0.723)	4.654
	DOMINANTE	0.324 a (0.109)	0.947 a (0.259)	0.916 a (0.305)	2.187
POTASIO	INTERMEDIO	2.202 a (0.281)	3.695 a (1.298)	3.163 a (1.187)	9.060
	CO-DOMINANTE	7.676 a (2.226)	10.976 a (2.290)	10.147 a (3.965)	28.799
	DOMINANTE	2.252 a (0.869)	6.596 a (1.596)	6.537 a (2.252)	15.385
CALCIO	INTERMEDIO	1.172 a (0.191)	1.588 a (0.685)	1.387 a (0.359)	4.147
	CO-DOMINANTE	3.260 a (0.912)	5.061 a (1.186)	4.316 a (1.809)	12.637
	DOMINANTE	1.229 a (0.573)	2.914 a (0.776)	2.745 a (1.196)	6.888
MAGNESIO	INTERMEDIO	0.305 a (0.041)	0.441 a (0.183)	0.492 a (0.138)	1.238
	CO-DOMINANTE	0.909 a (0.227)	1.301 a (0.296)	1.443 a (0.656)	3.653
	DOMINANTE	0.216 a (0.080)	0.620 a (0.160)	0.705 a (0.284)	1.541

Error estándar de la media (E). Letras distintas indican que existe diferencia significativa en la cantidad de nutrientes entre las secciones de copa de una misma clase social ($p < 5\%$, Test Tukey)

Las secciones 1, 2 y 3 corresponden a la base de la copa, sección media y superior respectivamente.

pudo constatar que no existen diferencias significativas entre las tres secciones de copa.

Si se toma el total por hectárea y se confronta con el estudio realizado por Webber y Madgwick (1983), los que trabajaron con un rodal de pino radiata en Nueva Zelanda de 29 años de edad raleado en dos oportunidades, se constata que el rodal en estudio presenta niveles inferiores para N, P, K, Ca y Mg en 36, 51, 34, 27 y 38%, respectivamente, a pesar de que la biomasa de acículas es comparativamente igual en los dos estudios: 8.2 t/ha en el rodal de 29 años y 8.27 t/ha en el de 52 años. Lo anterior podría deberse a que a mayor edad del rodal menores son los requerimientos nutricionales (Waring y Schlesinger, 1985). Madgwick et al. (1988), determinaron niveles nutricionales en rodales de pino radiata de edades que fluctúan entre los 5 y 13 años, mostrando una tendencia a la disminución de nutrientes con el aumento de la edad.

4.5 Albura y área foliar.

En los árboles muestreados intermedios, codominantes y dominantes, tanto el radio de la albura (cm), como el número de anillos incluidos en la albura y el área de la albura (cm²) disminuye constantemente desde la base del árbol hasta la sección superior de él. Un comportamiento

distinto se presenta en el porcentaje de albura en la sección.

Los árboles dominantes y codominantes muestreados, presentan un radio de albura similar en las secciones T, D, F1 y C1 (Tabla 8), no así en las secciones C2 y C3, presentando un radio mayor los árboles dominantes.

El número de anillos incluidos en la albura (Tabla 8) decrece desde el tocón hacia el ápice, sin detectarse diferencias significativas en el número de anillos entre las tres clases de copa estudiadas.

El área de la albura (Tabla 8) presenta diferencias entre los árboles muestras representativos de las tres clases sociales del rodal, siendo menor en los árboles intermedios y mayor en los árboles dominantes. El comportamiento decreciente del área de la albura a medida que se asciende en el fuste fue también encontrado en otros estudios, como el realizado por Espinosa et al.(1987), en pino oregón; Grier y Waring (1974), en Pinus radiata, Abies procera y Pinus ponderosa, y el de Johnson et al. (1985) en Pinus taeda.

TABLA 8: VALORES MEDIOS DE LA ALBURA PARA LOS ARBOLES MUESTRA.

SECCION FUSTE	RADIO ALBURA (cm)			NUMERO DE ANILLOS ALBURA		
	INTERMEDIO	CODOMINANTE	DOMINANTE	INTERMEDIO	CODOMINANTE	DOMINANTE
T	5.67 a (0.61)	10.19 a (0.13)	13.01 a (1.64)	33.25 a (1.03)	31.50 a (1.71)	30.25 a (1.44)
D	5.06 a (0.56)	9.18 b (0.60)	10.89 b (0.94)	32.50 a (0.65)	31.75 a (1.49)	28.50 a (1.44)
F1	4.04 a (0.25)	7.06 b (0.42)	8.97 b (0.83)	30.25 a (0.75)	29.50 a (1.50)	27.25 a (1.03)
C1	2.94 a (0.31)	5.58 b (0.32)	6.64 b (0.58)	23.75 a (2.53)	24.00 a (2.71)	23.00 a (0.91)
C2	2.67 a (0.22)	4.95 b (0.36)	6.38 c (0.25)	22.00 a (1.78)	23.00 a (2.12)	21.00 a (1.22)
C3	2.51 a (0.27)	3.91 b (0.35)	5.58 c (0.40)	14.50 a (2.10)	19.25 a (2.02)	18.00 a (1.68)

SECCION FUSTE	AREA DE ALBURA (cm ²)			PORCENTAJE DE ALBURA EN LA SECCION (%)		
	INTERMEDIO	CODOMINANTE	DOMINANTE	INTERMEDIO	CODOMINANTE	DOMINANTE
T	453.10 a (52.70)	1 207.30 b (69.80)	2 026.30 c (256.45)	58.19 a (4.01)	67.13 a (3.13)	65.05 a (4.66)
D	396.30 a (50.25)	1 011.60 b (70.75)	1 545.80 c (115.80)	55.73 a (4.07)	65.53 a (4.14)	62.14 a (3.80)
F1	263.30 a (31.90)	695.00 b (43.65)	1 158.60 c (110.10)	50.45 a (4.26)	59.82 a (4.69)	58.43 a (3.33)
C1	126.60 a (41.00)	387.10 b (37.30)	579.10 c (99.65)	61.64 a (6.67)	64.53 a (2.66)	63.25 a (2.68)
C2	80.34 a (22.12)	260.75 b (35.44)	411.83 c (66.98)	70.34 a (8.97)	70.80 a (2.64)	73.46 a (4.13)
C3	48.60 a (17.75)	116.03 ab (22.25)	208.35 b (57.83)	85.81 a (5.42)	84.75 a (1.47)	89.03 a (4.11)

Error estándar de la media en (). Letras diferentes indican que existe diferencia significativa entre los árboles muestra ($P < 5\%$, Test Tukey).

Las secciones corresponden al tocón (T), al DAP (D), al DAP + 5m (F1), a la base de la copa viva (C1), a la sección media (C2) y sección superior de la copa (C3).

El porcentaje de albura respecto al área total de la sección del fuste (Tabla 8), presenta una una disminución desde el tocón hasta F1 (DAP+5m); desde este punto comienza a aumentar hacia el ápice. Este comportamiento se presenta en los árboles muestreados de las tres clases de copa y los valores son muy similares entre ellos.

Koch (1972), cita un trabajo de Bray y Paul (1934) quienes, trabajando con rodales de Pinus echinata de edades entre 25 y 35 años, encontraron un comportamiento similar de la albura a lo largo del fuste, siendo el porcentaje de albura decreciente desde el tocón hasta los 6 a 7 m de altura desde donde comienza a aumentar nuevamente. Este comportamiento fue también encontrado en el estudio de Paul (1932) citado por Koch (1972), quien trabajó en un rodal de Pinus caribaea con edades de entre 27 y 35 años.

En las tres clases sociales la tendencia es a una disminución del área foliar proyectada (Tabla 9) desde el ápice (sección 3) hacia la base de la copa viva. Las secciones superior y media de los árboles dominantes presentan un área foliar muy superior a los árboles de las otras clases sociales, no así la sección inferior de la copa, la cual es estadísticamente similar en los árboles de las tres clases de copa estudiadas.

TABLA 9: AREA FOLIAR PROYECTADA (m²) DE CADA SECCION DE COPA DE LOS ARBOLES MUESTRA.

SECCION COPA	INTERMEDIO		CODOMINANTE		DOMINANTE	
	m ²	%	m ²	%	m ²	%
1	13.57	a (1.50) 28.21	38.37	a (10.34) 25.93	49.64	a (18.33) 13.74
2	17.00	a (6.85) 35.50	52.66	a (9.04) 35.51	155.90	b (38.08) 43.15
3	17.49	a (5.68) 36.29	57.27	ab (22.50) 38.56	155.78	b (52.99) 43.11
TOTAL	48.10	a (5.95)	148.30	a (16.70)	361.30	b (87.50)

Error estándar de la media en (). Letras distintas indican que existe diferencia significativa en el área foliar proyectada de los árboles ($P < 5\%$, Test Tukey). Las secciones 1, 2 y 3 corresponden a la base de la copa, la sección media y superior respectivamente.

El que los árboles muestreados dentro de cada clase social presentan un área foliar similar en las secciones superior y media de la copa estaría indicando que los árboles de las clases sociales dominantes, codominantes e intermedios, en su etapa de madurez pierden su forma de copa excurrente característica de las coníferas, y se asemejan a las copas de latifoliadas, como lo señalan Walstad y Kuch (1987), quienes encontraron que a medida que las coníferas se aproximan a la madurez, su forma excurrente se colapsa, debido a que las yemas apicales se atrofian, continuando su crecimiento las yemas laterales. El motivo exacto, no es claro, pero las coníferas pierden su forma excurrente y son menos vigorosas y más susceptibles de ser atacadas por insectos y enfermedades.

Whitehead (1978), estudiando un rodal de Pinus sylvestris de 41 años de edad en Inglaterra, encontró que el área foliar tenía una distribución normal a lo largo de la copa, es decir, en la sección media de ésta se concentra la mayor proporción del área foliar. La misma distribución fue encontrada por Beadle et al. (1982), en Pinus sylvestris de 41 años de edad.

A partir de los datos de área foliar obtenidos, se generó una función de regresión para estimar el área foliar. Luego de probar todas las variables estudiadas, se seleccionó

como la mejor variable predictora el diámetro a la altura del pecho:

$$\ln(AF) = 1.9062 + 0.059151 * DAP$$

$$EEE = 0.3708 \quad ECM = 42.14\% \quad R2 \text{ aj.} = 83.00\% \quad n = 12$$

Donde:

- AF = Área foliar proyectada (m²).
- DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm).
- EEE = Error estándar de estimación.
- ECM = Error cuadrático medio.
- R2 aj. = Coeficiente de determinación ajustado.
- n = Número de unidades muestrales.

Existen antecedentes de otros estudios que utilizaron el DAP como variable predictora del área foliar. Espinosa (1985) determinó funciones para estimar el área foliar en rodales de pino oregón utilizando el DAP como variable independiente, aunque obtuvo mejores resultados utilizando el área de la albura a la altura del pecho. Marshall y Waring (1986), sugieren que en pino oregón se obtendrían mejores resultados en la predicción del área foliar al utilizar el DAP como variable independiente, siempre que se trate de rodales uniformes o de rodales con baja proporción

de duramen. En el rodal en estudio la proporción de duramen oscila entre 35 a 45% del área basal.

En este estudio se obtuvo un índice de área foliar (IAF) de $7.17 \text{ m}^2/\text{m}^2$, aportando los árboles intermedios, codominantes y dominantes el 15.31, 58.94 y 25.75% del total, respectivamente.

Daniel et al.(1982) señalan que en coníferas el IAF oscila entre 3 y $6 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Van Laar (1984), estudiando un rodal maduro de Pinus radiata en Sud Africa, determinó un IAF de $8.76 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Marshall y Waring (1986) estiman que para pino oregón un IAF de $12 \text{ m}^2/\text{m}^2$ es el límite, y que uno mayor dificultaría la llegada de luz a la sección inferior de las copas. Whitehead (1978) determinó un IAF que varía de 2.4 a $3.1 \text{ m}^2/\text{m}^2$ para un rodal de Pinus sylvestris de 41 años de edad en Inglaterra.

El IAF del rodal en estudio está dentro de los valores encontrados para otras especies. Para pino radiata, no existen antecedentes en el país con los que se puedan comparar.

En el rodal estudiado la razón área foliar:área de albura (Figura 12) varía en todas las secciones del fuste y es de mayor magnitud en los árboles dominantes. La relación

incrementa desde el tocón a la base de la copa viva (C1), porque el área foliar se mantiene constante mientras el área de la albura decrece (Tabla 9). Dentro de la copa viva la razón crece debido a que el área foliar decrece proporcionalmente menos que el área de la albura en los árboles intermedios y dominantes. En los árboles codominantes en cambio, esta relación continúa aumentando debido a que el área de la albura decrece proporcionalmente más que el área foliar.



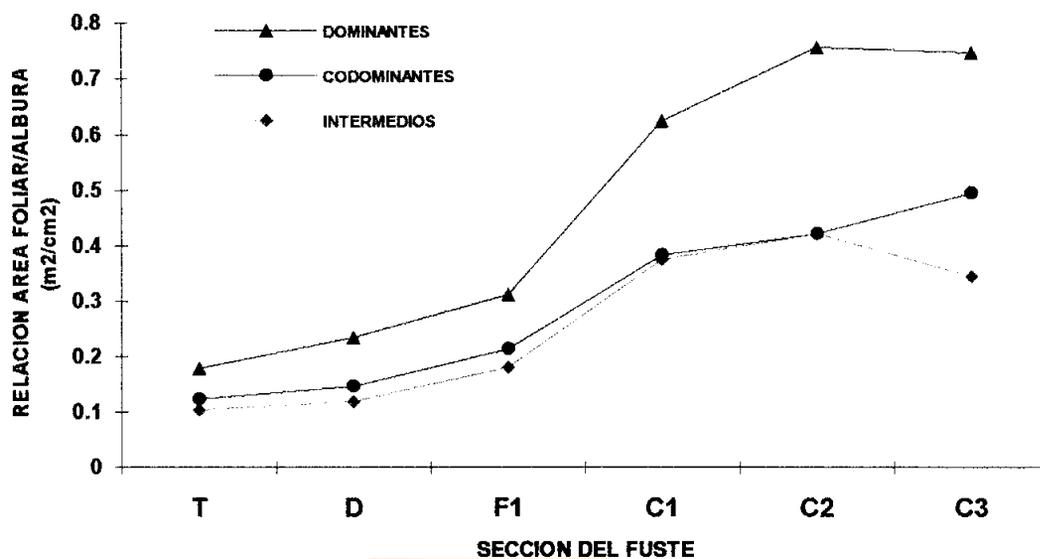


FIGURA 12: Relación entre el área foliar y el área de la albura en las distintas secciones del fuste de los árboles intermedios, codominantes y dominantes.

V. CONCLUSIONES.

5.1 Estudio de crecimiento.

- La culminación del crecimiento en altura se produce en el período 3-7 años en los árboles codominantes, y en el período 8-12 años en los árboles muestra dominantes e intermedios.

- El crecimiento en diámetro tiene su culminación en el período 3-7 años en las tres clases de copa estudiadas. Esta culminación se logra a edades más tempranas que la culminación del crecimiento en altura en los árboles dominantes e intermedios, y en el mismo período en los árboles codominantes.

- El crecimiento en área basal logra su culminación a los 8-12 años en los árboles intermedios, y a los 23-27 años en los codominantes y dominantes.

- El crecimiento en volumen logra su máximo crecimiento a los 23-27 años.

- El máximo incremento radial se encuentra en al 50% de la altura total en los primeros períodos de crecimiento,

luego se desplaza hacia el ápice. En los últimos cuatro periodos de crecimiento, el incremento radial es más bien homogéneo a lo largo de todo el fuste.

- El rodal en estudio alcanzó su rotación biológica aproximadamente a los 45 años de edad.

5.2 Estudio de biomasa.

- El aporte de cada componente a la biomasa total del árbol es en la siguiente proporción: madera 86.85%, corteza 9.33%, acículas 1.16%, ramillas 0.96% y ramas 1.70%.

- Los árboles representativos de las tres clases sociales estudiadas son proporcionalmente iguales, teniendo una cantidad similar de madera, corteza, acículas, ramillas y ramas.

- En las funciones generadas para la estimación de biomasa de la madera, corteza, acículas, ramas, total de la copa y total del árbol, se incluye el diámetro a la altura del pecho como variable predictora. El diámetro en la base de la copa viva está incluida en las funciones que involucran a las ramas, ramillas y total de la copa.

5.3 Nutrientes, área de la albura y área foliar.

- No se presentan diferencias significativas en los niveles de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en las tres secciones de la copa.

- La cantidad de nutrientes en la sección inferior de la copa es menor a las secciones superiores en las tres clases de copa estudiadas.

- Los árboles dominantes muestreados presentan una cantidad de nutrientes inferior a las otras clases sociales en la sección inferior de la copa. Teniendo además, una cantidad similar en sus secciones superior y media.

- El área de la albura, el radio y el número de anillos de crecimiento incluidos en ella tienen un comportamiento similares en los árboles representativo de las tres clases de copa: mayor en la base de árbol para ir disminuyendo hacia el ápice.

- El porcentaje de albura respecto al total de la sección es descendente desde el tocón hasta la sección F1 (dap+5m), luego del cual aumenta hacia el ápice.

- Las tres clases de copa estudiadas presentan mayor área foliar en las secciones superior y media de la copa, siendo sus valores similares y superiores a la sección inferior.
- La relación área foliar:área albura es creciente desde la base del árbol hasta la sección media de la copa para las tres clases de copa estudiadas, desde este punto continúa creciendo sólo en los árboles codominantes.
- El índice de área foliar del rodal es de $7.17 \text{ m}^2/\text{m}^2$.



VI. RESUMEN.

En un rodal de Pinus radiata D. Don de 52 años de edad se diferenciaron las clases de copa dominante, codominante e intermedia. Se determinaron curvas de crecimiento a través del método de análisis de tallo. Con las curvas de incremento periódico anual e incremento medio anual del rodal, se determinó que la rotación biológica se alcanza a los 45 años de edad.

Se determinó la biomasa sobre el suelo para todas las componentes del árbol. Al confeccionar las funciones predictoras de biomasa, se observó que el dap se presenta como la mejor variable predictora en las componentes madera, corteza, acículas, total copa y total árbol.

Se estudió la variación a lo largo de la copa de los nutrientes N, P, K, Ca y Mg, y se evidenciaron similares concentraciones en las tres secciones de copa estudiadas. La albura presentó un comportamiento similar a los encontrados en otros estudios, tanto en área como en número de anillos y radio. El índice de área foliar del rodal alcanzó un valor de $7.17 \text{ m}^2/\text{m}^2$.

VII. SUMMARY.

In a 52 year old Pinus radiata D. Don stand, the dominant-codominant and intermediate crown classes were differentiated. Growth curves were determined by means of the stem analysis. With the curves of periodic annual stand increment and annual mean increment, the biological rotation of the stand was found to be reached at the age of 45 years.

The aboveground biomass for all tree components (leaves, stems, etc.) was determined. When establishing the predicting biomass functions, it was found that the diameter at breast height was the best predicting variable for estimating the wood, bark, needle, total crown and total tree components.

Variation of the nutrients N, P, K, Ca and Mg was studied along the crown and similar concentrations were found among the researched crown sections. The sapwood showed a behavior similar to that perceived in other research papers, not only in cross-sectional areas but also in the radius and number of rings. The stand leaf area index index reached a value of $7.17 \text{ m}^2/\text{m}^2$.

VIII. BIBLIOGRAFIA.

1. Adams, P.W. 1982. Estimating biomass in northern lower michigan forest stands. Forest ecology and management. 4(3): 275-286.
2. Almeyda, E. y F. Sáez. 1958. Recopilación de datos climáticos de Chile y mapas sinópticos respectivos. Santiago, Chile, Ministerio de Agricultura, Dirección General de Producción Agraria y Pesquera. 195p.
3. Assman, E. 1970. The principles of forest yield study. Pergamon Press, Oxford.
4. Baker, T.G., Attiwill, P.M. y H.T.L. Stewart. 1984. Biomass equations for Pinus radiata in Gippsland, Victoria.
5. Beadle, C.L., Talbot, H. y P.G. Jarvis. 1982. Canopy structure and leaf area index in mature scots pine forest. Forestry. 55: 105-123.
6. Bruce, D. y F.X. Schumacher. 1965. Medición forestal. Editorial Herrera S.A. México.

7. Clark, IIIA. 1980. Suggested procedures for measuring tree biomass and reporting tree prediction equations. Forest Resource Inventories Workshop Proceeding, July, 24-27. Edited by W.E. Frayer. Colorado State University, Fort Collins. vol.2.
8. Comeford, N.B. y A.L. Leaf. 1981. The mean accuracy and precision of using stem disc moisture contents to estimate stem dry weight of Pinus resinosa Ait. Forest ecology and management 3(4): 329-334.
9. Daniel, T.W., Helms, J.A. y F.S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. (2ª ed.) McGraw-Hill, México.
10. Edwards, M.B. y W.H. McNad. 1979. Biomass prediction for young southern pines. Journal of Forestry. 77(5): 291-292.
11. Espinosa, M.A. 1985. Growth and structure of three adjacent 22-year-old stand in the Oregon Coast Range. Ph.D. thesis. Oregon State University. Corvallis. OR.
12. Espinosa, M.A. y D.A. 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.
13. Espinosa, M.A., Perry, D.A. y J.D. Marshall. 1987. Leaf area-sapwood area relationship in adjacent young Douglas-fir with different early growth rates. Can. J. For. Res. 17: 174-180.
14. Espinosa, M.A., García, J. y E. Peña. 1988. Evaluación del crecimiento de una plantación de raulí (Nothofagus alpina (Poepp. et Edl.) Oerst.) a los 34 años de edad. Agro-Ciencia 4: 67-74.
15. Espinosa, M.A. 1989. Efectos de la poda en el crecimiento de un rodal de pino radiata en el predio Loma Colorada de FORMIN en el período 1986-1988. Universidad de Concepción. Chillán, Chile.
16. Ferrada, R.E. 1980. Evolución estacional de nutrientes en Pinus radiata D.Don. Tesis de grado. Univ. de Concepción. Escuela de Agronomía. Chillán, Chile.
17. González, G., González, C., Millán, J. y R. Escobar. 1983. Estudio de fertilización en plantaciones de Pinus radiata. Primeros resultados. Documento de trabajo Nº 51. Proyecto de Investigación y

Desarrollo Forestal CONAF/PNUD/FAO-CHI/76/003.
Santiago 159 p.

18. Grier, C.C. y R.H. Waring. 1974. Conifer Foliage mass related to sapwood area. For. Sci. 20(3): 205-206.
19. Hawley, R.C. y D.M. Smith. 1972. Silvicultura práctica. Omega, Barcelona.
20. Hepp, T.E. y G.H. Brister. 1972. Estimating crown biomass in Loblolly pine plantations in the Carolina Flatwoods. For. Sci. 28(1): 115-127.
21. Hernández, M. 1991. Efectos de la poda y el raleo en el crecimiento de rodales jóvenes de Pinus radiata D.Don. en la zona de Arauco, Los Angeles y Temuco. Tesis de grado. Univ. de Concepción. Facultad de Cs. Agropecuarias y Forestales. Depto. de Cs. Forestales. Chillán, Chile.
22. Husch, B., Miller, C.I. y T.W. Beers. 1972. Forest mensuration. (2ª ed.) John Wiley and Sons. New York. USA.
23. INFOR. 1985. Mantención de la productividad de sitio para Pinus radiata D.Don. Funciones de biomasa.

Corporación de fomento de la producción. Gerencia de desarrollo AF 86/46. Diciembre. 66p.

24. Johnson, J.D., Zedaker, S.M. y A.B. Hairston. 1985. Foliage, stem, and rott interactions in young Loblolly pine. *Forest Science* 31(4): 891-898.
25. Kannegiesser, U. 1987. Evaluación de biomasa y boldina en boldo (Peumus boldus Mol.), VII rergión. Tesis de grado. Univ. de Chile. Facultad de Cs. Agrarias y Forestales. Santiago, Chile.
26. Ker, M.F. 1980. Tree biomass equations fos ten major species in Cumberland Country, Nova Scotia. Maritimes Forest Research Enviroment Canada. Information report M-X-108. 26p.
27. Koch, P. 1972. Utilization of the southern pines. Agriculture Handbook Nº 420. Washington D.C. USA.
28. Lastra, G. 1992. indices de sitio y crecimiento de plantaciones de Pinus radiata D.Don. ubicadas en suelos de arena del cono aluvial del rio Laja. Tesis de grado. Univ. de Concepción. Facultad de Cs. Agronómicas, Veterinarias y Forestales. Depto. de Cs. Forestales. Chillán, Chile.

29. Lineros, M. 1986. Funciones locales de biomasa (madera y corteza) para Pinus radiata D.Don. Tesis de grado. Univ. de Concepción. Fac. de Cs. Agropecuarias y Forestales. Depto. de Cs. Forestales. Chillán, Chile.
30. Madgwick, H.A.I. y R.E. Kreh. 1980. Biomass estimation for Virginia pine tree and stands. Forest Service. 26(1): 107-111.
31. Madgwick, H.A.I., Beets, P.N., Sandberg, A.M. y D.S. Jackson. 1983. Nitrogen concentration in foliage of Pinus radiata as affected by nitrogen nutrition, thinning, needle age, and position in crown. N. Z. J. For. Sci. 13(2): 197-204.
32. Madgwick, H.A.I., Sims, A. y G.R. Oliver. 1988. Nutrient content and uptake of close-spaced Pinus radiata. N. Z. J. For. Sci. 18(1): 65-76.
33. Marshall, J.D. y R.H. Waring. 1986. Comparison of methods of estimating leaf-area index old-growth Douglas-fir. Ecology. 67(4): 975-979.
34. Pardé, J. 1980. Forest Biomass. For. Abst. 41: 343-362.

35. Payn, T.W. y M.E. Clough. 1987. Seasonal variation of foliar nutrient concentrations in Pinus radiata in the Southern Cape. South African Forestry Journal. 43: 37-41.
36. Singh, T. 1982. Biomass equations for ten major tree species of the prairie provinces. Edmonton, Alberta, Canada, Northern Forest Research Centre, Canadian Forestry service, Enviroment Canada. Information Report NOR-X-242.35p.
37. Spurr, S.H. y B.V. Barnes. 1982. Ecologia forestal. A.G.T. Editor. México.
38. Van Laar, A. 1984. The estimation of the leaf area index for a mature Pinus radiata stand. South African Forestry Journal. 128: 8-11.
39. Walstad, J. y P. Kuch. 1987. Forest vegetation management for conifer production. John Wiley and Sons. New York. USA.
40. Waring, R.H. y W.H. Schlesinger. 1985. Forest ecosystems, concept and management. Ed. Academic. Press, Inc. Orlando. Florida. USA.

41. Webber, B. y H.A.I. Madgwick. 1983. Biomass and nutrient content of a 29-year-old Pinus radiata stand. N. Z. J. For. Sci. 13(2): 222-228.
42. Whitehead, D. 1978. The estimation of foliage area from sapwood basal area in Scots pine. Forestry 51: 137-149.
43. Will, G.M. 1978. Nutrient deficiencies in Pinus radiata in New Zealand. N. Z. J. For. Sci. 8(1): 4-14.



IX. ANEXO.

TABLA 1-A: TABLA DE RODAL DEL BOSQUE EN ESTUDIO.

DAP (cm)	Frecuencia (Nº árb/ha)	Area Basal (m ² /ha)
18	5	0.13
22	15	0.55
24	15	0.70
26	23	1.24
28	28	1.74
30	33	2.37
32	34	2.76
34	33	3.04
36	19	1.91
38	14	1.59
40	9	1.13
42	39	5.51
44	34	5.23
46	20	3.37
48	55	9.91
50	49	9.68
52	5	1.03
54	40	9.13
56	15	3.71
58	19	5.07
60	9	2.57
62	9	2.74
64	13	4.16
66	20	6.88
68	5	1.79
70	4	2.96
TOTAL	564	90.89

TABLA 2-A: NIVELES DE NUTRIENTES CONTENIDOS EN EL FOLLAJE RECOMENDADOS POR WILL (1978) PARA INDICAR LOS ESTADOS NUTRICIONALES DE Pinus radiata D.Don.

NUTRIENTE	Estado Nutricional del Elemento			Rango de Confianza.
	Bajo (<)	Marginal	Sat. (>)	
Nitrógeno	1.20	1.20 - 1.50	1.50	**
Fósforo	0.12	0.12 - 0.14	0.14	***
Potasio	0.30	0.30 - 0.50	0.50	*
Calcio	0.10	0.10	0.10	*
Magnesio	0.07	0.07 - 0.10	0.10	**

- *** Buena predicción de respuesta en sitios con niveles de nutrientes bajo y marginal.
- ** Buena predicción de respuesta en sitios con niveles de nutrientes bajo, pero no en el nivel marginal.
- * Insuficiente información y experiencia para predecir confiablemente una respuesta, aún en el nivel bajo de nutrientes en el sitio (basado fundamentalmente en experiencias de ultramar).