

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCION**  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente



**" FUNCIONES LOCALES DE VOLUMEN Y ECUACIONES DE  
CRECIMIENTO PARA TRES RODALES DE PINO RADIATA EN LA  
PRECORDILLERA ANDINA DE LA PROVINCIA DE ÑUBLE "**

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

**GONZALO ENRIQUE MUÑOZ PEREZ**

CONCEPCION - CHILE

1 9 9 4



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

"FUNCIONES LOCALES DE VOLUMEN Y ECUACIONES DE CRECIMIENTO  
PARA TRES RODALES DE PINO RADIATA EN LA PRECORDILLERA ANDINA  
DE LA PROVINCIA DE ÑUBLE"



Por

GONZALO ENRIQUE MUÑOZ PEREZ

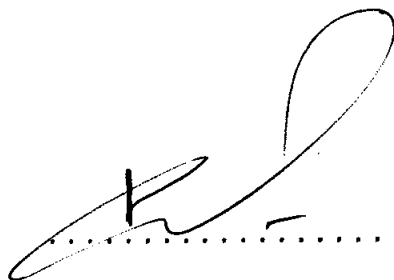
MEMORIA DE TITULO PRESENTADA  
A LA FACULTAD DE CIENCIAS  
FORESTALES DE LA UNIVERSIDAD  
DE CONCEPCION PARA OPTAR AL  
TITULO DE INGENIERO FORESTAL

CONCEPCION - CHILE

1994

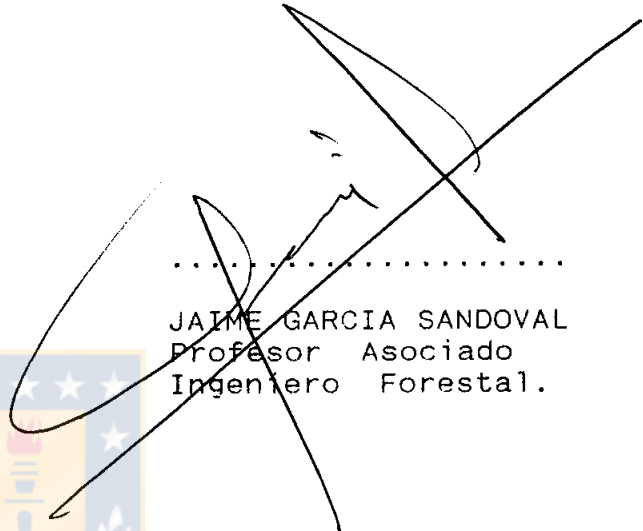
"FUNCIONES LOCALES DE VOLUMEN Y ECUACIONES DE CRECIMIENTO  
PARA TRES RODALES DE PINO RADIATA EN LA PRECORDILLERA ANDINA  
DE LA PROVINCIA DE ÑUBLE"

Profesor Asesor



.....

FERNANDO DRAKE ARANDA  
Profesor Asociado  
Ingeniero Forestal  
Director Departamento  
Manejo de Bosques y  
Medio Ambiente



.....

JAIME GARCIA SANDOVAL  
Profesor Asociado  
Ingeniero Forestal.



.....

Dr. JAIME MILLAN HERRERA  
Profesor Titular  
Ingeniero Forestal  
Decano Facultad de  
Ciencias Forestales

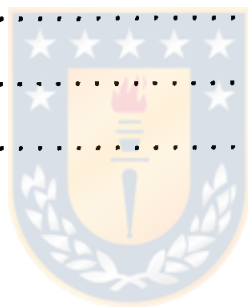
Dedicada a mis hijos, esposa, hermanos y en forma muy especial a mis padres que me han brindado su inagotable apoyo durante el desarrollo de mi vida.



## INDICE DE MATERIAS

CAPITULO		PAGINA
I	INTRODUCCION.....	1
II	REVISION BIBLIOGRAFICA.....	4
	2.1 Antecedentes generales de Pino radiata.....	4
	2.2 Funciones de volumen.....	6
	2.3 Crecimiento de árboles individuales.....	11
III	MATERIALES Y METODOS.....	14
	3.1 Materiales.....	14
	3.2 Métodos.....	17
	3.2.1 Funciones locales de volumen.....	17
	3.2.1.1 Cubicación de árboles muestra....	17
	3.2.1.2 Ajuste y prueba de supuestos de regresión.....	18
	3.2.1.3 Selección del mejor modelo.....	20
	3.2.2 Crecimiento de árboles individuales.....	23
	3.2.3 Funciones de crecimiento.....	24
IV	RESULTADOS Y DISCUSION.....	26
	4.1 Funciones locales de volumen.....	26
	4.2.1 Rodal 1.....	42
	4.2.2 Rodal 2.....	45

CAPITULO		PAGINA
	4.2.3 Rodal 3.....	54
	4.3 Funciones de crecimiento.....	60
	4.3.1 Rodal 1.....	60
	4.3.2 Rodal 2.....	67
	4.3.3 Rodal 3.....	75
V	CONCLUSIONES.....	83
VI	RESUMEN.....	87
	SUMMARY.....	89
VII	BIBLIOGRAFIA.....	91
VIII	APENDICE.....	94



## INDICE DE TABLAS

TABLA		PAGINA
	<u>En el texto</u>	
1	Principales características de los rodales utilizados en el estudio	16
2	Distribución diamétrica de la muestra de cada rodal para la construcción de funciones de volumen.....	17
3	Prueba de Bartlett aplicada a los volúmenes reales de cada rodal estudiado.....	26
4	Prueba de Durbin-Watson aplicada a los residuos obtenidos de los modelos ajustados en el rodal 1.....	27
5	Prueba de Durbin-Watson aplicada a los residuos obtenidos de los modelos ajustados en el rodal 2.....	28
6	Prueba de Durbin-Watson aplicada a los residuos obtenidos de los modelos ajustados en el rodal 3.....	29
7	Prueba T-Student aplicada a los coeficientes de regresión y Prueba F aplicada al modelo en análisis del rodal 1.....	30
8	Prueba T-Student aplicada a los coeficientes de regresión y Prueba F aplicada al modelo en análisis del rodal 2.....	31
9	Prueba T-Student aplicada a los coeficientes de regresión y Prueba F aplicada al modelo en análisis del rodal 3.....	32
10	R <sup>2</sup> ajustado y error estandar de estimación (EEE) para los modelos en análisis del rodal 1.....	33
11	R <sup>2</sup> ajustado y error estandar de estimación (EEE) para los modelos en análisis del rodal 2.....	34



12	R ajustado y error estandar de estimación (EEE) para los modelos en análisis del rodal 3.....	35
13	Estadígrafos de los modelos preseleccionados con distinta variable dependiente en los rodales considerados en el estudio....	36
14	Prueba de T-Student aplicada a la constante (a) y al coeficiente de regresión (b) para clasificación de sesgo.....	41
15	Indicadores de bondad de ajuste de las ecuaciones de crecimiento en DAP del rodal 1.....	60
16	Indicadores de bondad de ajuste de las ecuaciones de crecimiento en altura total del rodal 1.....	62
17	Indicadores de bondad de ajuste de las ecuaciones de crecimiento en área basal del rodal 1.....	65
18	Indicadores de bondad de ajuste de las ecuaciones de crecimiento en volumen del rodal 1.....	65
19	Indicadores de bondad de ajuste de las ecuaciones de crecimiento en DAP del rodal 2.....	68
20	Indicadores de bondad de ajuste de las ecuaciones de crecimiento en altura total del rodal 2.....	69
21	Indicadores de bondad de ajuste de las ecuaciones de crecimiento en área basal del rodal 2.....	69
22	Indicadores de bondad de ajuste de las ecuaciones de crecimiento en volumen del rodal 2.....	72
23	Indicadores de bondad de ajuste de las ecuaciones de crecimiento en DAP del rodal 3.....	75

24	Indicadores de bondad de ajuste de las ecuaciones de crecimiento en altura total del rodal 3.....	76
25	Indicadores de bondad de ajuste de las ecuaciones de crecimiento en área basal del rodal 3.....	81
26	Indicadores de bondad de ajuste de las ecuaciones de crecimiento en volumen del rodal 3.....	81

**En el Apéndice**

1 A	Valores de crecimiento promedio en los parámetros considerados en la determinación de crecimiento corriente y medio anual del rodal 1.....	95
2 A	Valores de crecimiento promedio en los parámetros considerados en la determinación de crecimiento corriente y medio anual del rodal 2.....	96
3 A	Valores de crecimiento promedio en los parámetros considerados en la determinación de crecimiento corriente y medio anual del rodal 3.....	97
4 A	Incrementos medios anuales determinados a partir de análisis fustales de 8 árboles muestra del rodal 1.....	98
5 A	Incrementos medios anuales determinados a partir de análisis fustales de 8 árboles muestra del rodal 2.....	99
6 A	Incrementos medios anuales determinados a partir de análisis fustales de 8 árboles muestra del rodal 3.....	100
7 A	Incrementos corrientes determinados a partir de análisis fustales de 8 árboles muestra del rodal 1.....	101
8 A	Incrementos corrientes determinados a partir de análisis fustales de 8 árboles muestra del rodal 2.....	102

9 A	Incrementos corrientes determinados a partir de análisis fustales de 8 árboles muestra del rodal 3.....	103
10 A	Coefficientes de regresión obtenidos en el ajuste de modelos para cada uno de los rodales en el crecimiento en DAP, AB, volumen y altura - Ecuación de Gompertz.....	104
11 A	Coefficientes de regresión obtenidos en el ajuste de modelos para cada uno de los rodales en el crecimiento en DAP, AB, volumen y altura - Ecuación de Mitscherlich.....	105
12 A	Coefficientes de regresión obtenidos en el ajuste de modelos para cada uno de los rodales en el crecimiento en DAP, AB, volumen y altura - Ecuación de Relaciones Polimórficas.....	106



## INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
	<u>En el texto</u>	
1	Relación entre el volumen real y estimado y el DAP para las funciones seleccionadas en a) Rodal 1; b) Rodal 2); y c) Rodal 3.....	38
2	Distribución de residuos generados por las funciones de volumen escogidos en a) Rodal 1; b) Rodal 2); y c) Rodal 3.....	40
3	Crecimiento promedio y crecimiento corriente en DAP de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 1.....	43
4	Crecimiento medio y crecimiento corriente en DAP de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 1.....	43
5	Crecimiento acumulado en altura promedio de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 1.....	44
6	Crecimiento medio y corriente en altura promedio de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 1.....	44
7	Crecimiento acumulado en área basal promedio de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 1.....	47
8	Crecimiento medio y crecimiento corriente en área basal promedio de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 1.....	47
9	Crecimiento acumulado en volumen promedio de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 1.....	48
10	Crecimiento medio y crecimiento corriente en volumen promedio de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 1.....	48

11	Crecimiento promedio acumulado en DAP de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 2.....	49
12	Crecimiento medio y crecimiento corriente promedio en DAP de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 2.....	49
13	Crecimiento promedio acumulado en altura de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 2.....	50
14	Crecimiento medio y crecimiento corriente en altura promedio de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 2.....	50
15	Crecimiento promedio acumulado en área basal de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 2.....	52
16	Crecimiento medio y crecimiento corriente promedio en área basal de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 2.....	52
17	Crecimiento promedio acumulado en volumen de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 2.....	53
18	Crecimiento medio y crecimiento corriente en volumen promedio de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 2.....	53
19	Crecimiento promedio acumulado en DAP de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 3.....	55
20	Crecimiento medio y crecimiento corriente promedio en DAP de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 3.....	55
21	Crecimiento promedio acumulado en altura de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 3.....	56
22	Crecimiento medio y crecimiento corriente promedio en altura de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 3.....	56

23	Crecimiento acumulado en área basal promedio de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 3.....	58
24	Crecimiento medio y crecimiento corriente promedio en área basal de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 3.....	58
25	Crecimiento promedio acumulado en volumen de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 3.....	59
26	Crecimiento medio y crecimiento corriente promedio en volumen de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 3.....	59
27	Curvas de crecimiento promedio acumulado en DAP generado por las ecuaciones de : a) Gompertz; b) Relaciones Polimórficas; y c) Mitscherlich, para el Rodal 1.....	61
28	Curvas de crecimiento promedio acumulado en altura generadas por las ecuaciones de a) Gompertz; b) Relaciones Polimórficas; y c) Mitscherlich, para el Rodal 1.....	63
29	Curvas de crecimiento acumulado en área basal generados por las ecuaciones de : a) Gompertz; b) Relaciones Polimórficas; y c) Mitscherlich, para el Rodal 1.....	64
30	Curvas de crecimiento promedio acumulado en volumen generadas por las ecuaciones de a) Gompertz; b) Relaciones Polimórficas; y c) Mitscherlich, para el Rodal 1.....	66
31	Curvas de crecimiento promedio acumulado DAP generadas por las ecuaciones de a) Gompertz; b) Relaciones Polimórficas; y c) Mitscherlich, para el Rodal 2.....	70
32	Curvas de crecimiento acumulado en altura generadas por las ecuaciones de : a) Gompertz; b) Relaciones Polimórficas; y c) Mitscherlich, para el Rodal 2.....	71

33	Curvas de crecimiento promedio acumulado en área basal generadas por las ecuaciones de a) Gompertz; b) Relaciones Polimórficas y c) Mitscherlich, para el Rodal 2.....	73
34	Curvas de crecimiento acumulado en volumen generadas por las ecuaciones de : a) Gompertz; b) Relaciones Polimórficas; y c) Mitscherlich, para el Rodal 2.....	74
35	Curvas de crecimiento promedio acumulado en DAP generadas por las ecuaciones de : a) Gompertz; b) Relaciones Polimórficas; y c) Mitscherlich, para el Rodal 3.....	77
36	Curvas de crecimiento promedio acumulado en altura generadas por las ecuaciones de: a) Gompertz; b) Relaciones Polimórficas; y c) Mitscherlich, para el Rodal 3.....	78
37	Curvas de crecimiento promedio acumulado en área basal generadas por las ecuaciones de : a) Gompertz; b) Relaciones Polimórficas; y d) Mitscherlich, para el Rodal 3...	79
38	Curvas de crecimiento promedio acumulado en volumen generadas por las ecuaciones de a) Gompertz; b) relaciones Polimórficas; y c) Mitscherlich, para el Rodal 3.....	80

## I. INTRODUCCION

En 1885 en la Octava Región se introducen coníferas norteamericanas como especies ornamentales, dentro de las cuales se encuentra Pinus radiata D. Don. Posteriormente, se observa que esta especie maderera tiene un buen crecimiento, creándose el interés por plantarlas, especialmente en zonas en que no existía cobertura boscosa capaz de producir madera aserrada de uso general. Las primeras plantaciones se realizan en el cerro Caracol, en la ciudad de Concepción, y poco después en la ciudad de Lota, extendiéndose más tarde a la zona central y sur del país. (Lara y Veblen, 1993; INFOR, 1980; CORFO, 1955, INFOR, 1994).

En la década de 1910, Federico Albert comienza una campaña para conseguir que se plante Pinus radiata D. Don con el objeto de detener el proceso erosivo que afecta a los suelos chilenos (Contesse, 1990).

Alrededor del año 1920 comienza a crearse un recurso forestal artificial más comercial con las plantaciones realizadas por la Compañía Carbonífera de Lota. En la década de 1930 la especie Pinus radiata D. Don representa un



0,5% de la materia prima para la industria del aserrío ( Cavieres et al, 1986, INFOR , 1994 ).

Pino radiata ( Pinus radiata D.Don ) , especie fundamental en el desarrollo forestal del país , crece entre la V y X regiones y cubre un total de 1 millón 300 mil hectáreas aproximadamente.

Las plantaciones de Pino radiata constituyen la base principal del desarrollo forestal chileno, creando así una base de recursos orientados al desarrollo sustentable. Abastecen el 90% de la economía del sector, utilizando solo un 2% del territorio nacional ( 75,7 millones de ha ).

Esta especie, crece en diferentes condiciones con variaciones de importancia en cuanto a clima, suelo y vegetación original, y presenta rendimientos que varían dependiendo de las características específicas de cada zona de crecimiento.

El estudio de las características de crecimiento de esta especie en el área propuesta, es de interés tanto en términos científicos como económicos, especialmente si se considera que la zona precordillerana andina presenta condiciones muy favorables para el desarrollo de masas

forestales con esta especie, la construcción de funciones de volumen, como una herramienta absolutamente necesaria para el manejo de plantaciones tanto de Pino radiata como de cualquier otra especie, cobra importancia sobre todo en el área a estudiar, para la cual no se tiene información suficiente relacionada con este tópico.



## II. REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1 Antecedentes generales de Pino radiata

La especie corresponde al orden Coniferales y familia Pinaceae, sub género Diploxylon, es un árbol de fuste recto que puede alcanzar 30 a 50 m de altura y un diámetro que puede superar los 150 cm.

Crece en forma natural en la costa de California y en la isla mexicana de Guadalupe. El clima de esta zona es mediterráneo y se caracteriza por precipitaciones medias anuales de 424 a 761 mm y humedad relativa alta, 60 a 70%. Las temperaturas medias anuales son de 10 °C en invierno y 14 °C en verano. Los suelos son profundos, bien drenados, pero bastante húmedos, de texturas livianas y originados de granito o de margas arenosas. A su vez, Arteaga y Etchevers (1988), señala que Pino radiata crece en suelos derivados de roca madre de distinta naturaleza que poseen una gran proporción de pizarras, esquistos y areniscas provenientes de depósitos marinos.

En Chile existen aproximadamente 1,3 millones de hectáreas plantadas, que corresponden a un volumen de 170 millones de

<sup>3</sup>  
m ssc. Se distribuye desde la V a la X Región, pero los crecimientos óptimos se obtienen en la zona de Constitución a Valdivia.

Las características de la madera permiten utilizarla para pulpa y papel; en construcción en forma de cerchas, paneles, pisos, cielos, revestimientos exteriores e interiores; para tableros de fibra y partículas, también es apropiado para contrachapados. ( CORMA, 1994 ).

Desde Febrero a Junio, cuando el crecimiento es normalmente más activo la temperatura media varía entre 11 y 16° C y la media de las máximas diarias se encuentra entre 17 y 24° C.

El crecimiento óptimo de la especie se presenta en suelos de texturas franco-arenosa o franco-limosa de una profundidad de 1 a 1,3 m y se restringe en aquellos con menos de 60 a 70 cm de profundidad.

Pino radiata no crece bien en suelos muy pedregosos o de mal drenaje y/o muy arcillosos sin adecuada aireación (Champion y Brasnett, 1959; Gandullo et.al., 1974; La Chica et al, 1979; Schlatter, 1977; Vidal, 1972; citados por Arteaga y Etchevers, 1988).

En su habitat natural, Pino radiata constituye la conifera predominante. Se encuentra asociada con Pinus attenuata, Pinus muricata, Cupressus macrocarpa y Cupressus goveniana, los cuales tienen una distribución muy esporádica. Tolera la sombra mejor que cualquier otro pino del oeste de América (Champion y Brasnett, 1959; Gandullo et al, 1974; citados por Arteaga y Etchevers, 1988).

En sus zonas de origen la especie es de una importancia secundaria. En 1931 las formaciones naturales no superaban las 4.500 ha (INFOR-CORFO, 1986). Sin embargo, como especie exótica en otras regiones del mundo, ha adquirido una gran importancia, constituyendo extensas plantaciones comerciales en países como Nueva Zelanda, Chile, Australia, Sudáfrica y España.

## 2.2 Funciones de volumen

En la estimación de volumen de un rodal, existen dos alternativas para lograr este objetivo :

- La primera, consiste en medir directamente el volumen de cada árbol y realizar la adición de estos valores. Este procedimiento se hace impracticable en rodales grandes por

el alto costo que involucra su ejecución (Husch et al, 1972; Cailliez, 1980).

- La segunda alternativa contempla una función de volumen, la cual permite estimar el volumen por unidad de superficie o por árbol individual, originando una función agregada o una función individual, respectivamente.

Los datos de entrada de las funciones son mediciones realizadas directamente sobre individuos pertenecientes a un rodal.

Los pasos para la construcción de una función de volumen agregada son los siguientes :

Inventario del área de estudio : este contempla el registro de mediciones de diámetro, altura, espesor de corteza para la obtención de las variables área basal, altura dominante y forma, las que se relacionan con el volumen obtenido en cada unidad muestral y superficie de cada una de éstas.

Una función de volumen para árboles individuales, entrega el volumen de un árbol en función de datos de entrada relativos a dicho árbol. Según Cailliez (1980) una función para árboles individuales puede estimar el volumen de un

árbol aislado con buena precisión. Estas funciones se utilizan para estimar el volumen de un grupo de árboles, como la suma de árboles individuales.

Considerando el número de árboles muestra para obtener la base de datos para la construcción de una función, para árboles individuales, existen varios criterios, uno de los cuales indica una cantidad entre 50 y 100 árboles muestra, para construir funciones locales de volumen, mientras que para funciones generales, se debe seleccionar un mínimo entre 80 y 150 árboles muestra (Cailliez, 1980). Otros autores como Lisboa (1960) y Lehmann (1967), sugieren un mínimo de 300 árboles muestra.

Las funciones de volumen se han agrupado de diferentes formas , algunas de estas son las siguientes :

Husch et al , (1972) agrupa los modelos en aritméticos, si la variable dependiente es el volumen, y en logarítmicos, si se utiliza el logaritmo del volumen como variable dependiente. En cambio, Loetsch et al, (1973) agrupa los modelos en diferentes categorías, dependiendo de las variables independientes utilizadas.

Existen algunas funciones de volumen intermedias entre las funciones de árboles individuales y las funciones agregadas, que entregan el volumen de un árbol, como función de variables del propio árbol, y variables relacionadas con el rodal. Estas funciones reciben el nombre de funciones de volumen locales parametrizadas, ya que pueden considerarse como una familia de funciones individuales.

Para la construcción de funciones de volumen, generalmente se utiliza el método estadístico y específicamente el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Bajo ciertos supuestos, este método ofrece algunas propiedades estadísticas muy atractivas, por lo que se ha constituido en uno de los más eficaces métodos de análisis de regresión.

Para la utilización del método de MCO es necesario considerar los siguientes supuestos (Gujarati, 1981) :

1. El valor esperado condicional de las diferencias entre los valores reales y estimados, condicional a las variables explicatorias, es cero.
2. Las desviaciones de los residuos no presentan una



tendencia que pueda ser representada por algún patrón (no existe autocorrelación de residuos).

3. La varianza condicional es un número positivo constante e igual a la varianza poblacional. Técnicamente esto representa el supuesto de homocedasticidad.

4. Las variables explicatorias son no estocásticas (fijas en muestras repetidas) o, de ser estocásticas, están distribuidas independientemente de las perturbaciones.

5. No hay multicolinealidad entre las variables explicatorias.

6. Las perturbaciones están normalmente distribuidas con la media y la varianza dadas en 1. y 2. respectivamente.

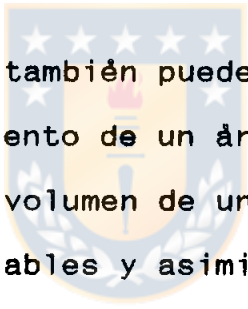
Reafirmando los supuestos del método de MCO, Ostle (1981), Snedecor y Cochran (1981), y Steel y Torrie (1985), indican que para emplear en forma correcta este método, se deben cumplir los siguientes supuestos, tanto para los residuos, como para la variable dependiente : distribución normal, independencia y varianza homogénea u homocedasticidad.

### 2.3 Crecimiento de árboles individuales.

La curva de crecimiento acumulado de cualquier característica de un árbol presenta una forma común, que es de tipo sigmoideo o como generalmente se le la denomina de "S-alargada". Tres etapas bien definidas pueden ser distinguidas en las curvas de crecimiento acumulado: juventud, madurez y senectud. La velocidad de crecimiento hace la diferencia entre estas tres etapas. Así, en la etapa de juventud el crecimiento es lento y luego se acelera hasta encontrar la madurez. En la etapa de senectud el crecimiento comienza a disminuir, hasta que la variable en cuestión alcanza su máximo, es en esta etapa donde la curva se hace asintótica con respecto al máximo tamaño alcanzable por la variable en cuestión.

Para expresar el crecimiento de árboles individuales se puede utilizar diversas características o variables del árbol. De este modo, Chapman y Meyer (1949), señalan que en árboles maduros el crecimiento o incremento se expresa normalmente en términos de volumen total y no en volumen aserrable, ya que este es afectado por algunos supuestos arbitrarios de utilización que invalidan las tendencias de crecimiento.

Otros autores como Husch et al, (1972), señalan la existencia de ventajas en el uso del área basal en lugar del volumen en estimaciones de crecimiento, ya que el volumen se estima a partir del diámetro, la altura y eventualmente la forma, es decir, las estimaciones de volumen involucran errores en las tres variables, en cambio la estimación del área basal solo incluye la medición del diámetro y por ende el error incluido sólo en esta variable.



El diámetro o la altura también pueden ser utilizados como estimadores del crecimiento de un árbol, situación lógica si se considera que el volumen de un árbol es estimado a partir de estas dos variables y asimismo, el área basal se estima a partir del diámetro (Chapman y Meyer, 1949). De igual modo, el crecimiento en altura logra importancia cuando se requiere evaluar la calidad de sitio o los procesos de competencia que se desarrollan en un rodal.

En resumen, si nos remitimos a la variable o característica del árbol a analizar, podemos diferenciar cuatro crecimientos, que son :

- i. Crecimiento en diámetro
- ii. Crecimiento en altura

- iii. Crecimiento en área basal
- iv. Crecimiento en volumen.

Cuando se considera el período de tiempo a utilizar para la descripción del crecimiento, la literatura define tres tipos de crecimiento :

- i. Crecimiento corriente (ICO)
- ii. Incremento periódico anual (IPA)
- iii. Incremento medio anual (IMA)

El ICO es el crecimiento que experimenta alguna característica del árbol en un año. Asimismo, el IPA es el crecimiento que logra alguna variable en un período de años dado, dividido por el número de años de dicho período. Finalmente, el IMA es el crecimiento promedio que experimenta una variable del árbol hasta una edad determinada, y se calcula dividiendo el crecimiento acumulado a la edad "n" por los "n" años.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Materiales

La información utilizada en la elaboración del presente estudio provino de tres rodales de Pinus radiata D. Don establecidos en el fundo "Los Queñes" propiedad de la Empresa Forestal Cholguán S.A. , ubicados en la Comuna de Coihueco, VIII Región.

Los rodales estudiados están establecidos en un suelo que pertenece a la Asociación Santa Bárbara y Serie Santa Bárbara, que de acuerdo a la nomenclatura del sistema taxonómico de la 7ma. Aproximación se clasifica dentro del Orden Inceptisol y Suborden Andepts. El material generador corresponde a cenizas volcánicas modernas. Las texturas son medias en los primeros horizontes y moderadamente finas en profundidad y presentan variaciones de importancia. Los colores están dentro del tono 10 YR y ocasionalmente puede variar al 7.5 YR.

Según INIA (1989), el clima que se presenta en el área en estudio es mediterráneo temperado, con un régimen hídrico mediterráneo. La precipitación media anual varía entre los

1500 y 2000 mm, de los cuales el 20% precipita en primavera, 8% en verano, 22% en otoño y 50% en invierno. La temperatura promedio anual fluctúa entre 14 y 15° C, mientras que la temperatura media del mes de enero oscila entre 20 y 21° C con máximas promedios en este mes de 23 a 24° C (Almeyda, 1958).

La vegetación nativa del área de estudio estaba conformada principalmente por especies del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe, con predominancia de roble (Nothofagus obliqua (Mirb.) Oerst.), raulí (Nothofagus alpina (Poepp. et Endl.) Oerst.), en menor proporción lingue (Persea lingue (R. et P.) Nees ex Koop) y avellano (Gevuina avellana Mol). Al momento de establecer las plantaciones de Pino radiata, la vegetación nativa fue eliminada en su totalidad, pero en la actualidad es posible verificar su presencia en sectores aledaños, e incluso en algunos sectores puntuales en los que, por efecto de la competencia, las plántulas de Pino radiata fueron sobrepasadas por la vegetación nativa.

La base de datos utilizada en el estudio consistió en diámetros con corteza cada 1,5 m a lo largo del fuste y el espesor de corteza en cada punto de medición, los que fueron obtenidos a partir de 30 árboles en el rodal 1,

40 árboles en el rodal 2 y de 38 árboles volteados en el rodal 3.

Las características de los tres rodales considerados en el estudio se presentan en la Tabla 1.

**TABLA 1.- PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS RODALES UTILIZADOS EN EL ESTUDIO.-**

RODAL	DENSIDAD (Arb/ha)	EDAD (años)	ALTURA MEDIA(m)	AREA BASAL (m <sup>2</sup> /ha)	SUPERFICIE (ha)
1	1.142	9	15,2	23,34	174,3
2	1.007	8	13,4	20,81	52,6
3	567	18	27,10	47,42	9,4

La selección de los árboles a ser volteados en cada rodal fue aleatoria y distribuída dentro de los rangos diamétricos del rodal (Tabla 2). Con esta información se procedió a la construcción de funciones locales de volumen para cada rodal en estudio.

**TABLA 2.- DISTRIBUCION DIAMETRICA DE LA MUESTRA DE CADA RODAL PARA LA CONSTRUCCION DE FUNCIONES DE VOLUMEN**

RANGO DAP (cm)	Nro. DE ARBOLES MUESTRA		
	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3
8 - 13	4	7	-
13 - 18	10	12	7
18 - 23	10	8	2
23 - 28	6	10	4
28 - 33	-	3	2
33 - 38	-	-	5
38 - 43	-	-	7
43 - 48	-	-	3
48 - 53	-	-	6
53 - 58	-	-	2
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>38</b>

Además , se tomó una submuestra de ocho árboles por rodal a los que se extrajeron rodela cada 1,5 m a lo largo del fuste, con las que se realizaron los análisis fustales correspondientes, teniéndose información del número de anillos y diámetros sin corteza para las diferentes edades de cada rodela.



## 3.2 Métodos

### 3.2.1. Funciones locales de volumen

#### 3.2.1.1. Cubicación de árboles muestra

La cubicación de cada troza se efectuó utilizando la fórmula de Smalian (Cailliez, 1980), a partir de los diámetros extremos sin corteza de la troza.

Conocido el volumen sólido sin corteza de cada sección, por adición, se obtuvo el volumen de cada árbol muestra hasta un diámetro límite de utilización de 5 cm. Con los volúmenes de cada árbol muestra se realizó la prueba de los supuestos de regresión y el ajuste de los modelos obteniéndose la función que estima en mejor forma el volumen de los árboles muestra.

#### 3.2.1.2. Ajuste y prueba de supuestos de regresión

La metodología utilizada en el ajuste de los modelos y la prueba de supuestos de regresión fue la presentada por Emmanuelli (1992) y que consideró las siguientes etapas:

La prueba del supuesto de homocedasticidad dentro de la

muestra, es decir igual varianza del volumen para los distintos niveles de la variable independiente utilizada, se realizó a través de la prueba de Bartlett (Gujarati, 1981). Esta prueba se aplicó al volumen sólido sin corteza de los árboles muestra de cada rodal y la variable independiente utilizada fue el DAP.

Los modelos considerados en el estudio para la construcción de funciones locales de volumen fueron probados por Emanuelli (1992), además de otros ocho modelos que podían entregar buenos resultados para la base de datos utilizada.

Estos modelos son los siguientes :

1.  $V = BO + B1 * DAP + B2 * DAP^2 + B3 * DAP^3$
2.  $V = BO + B1 * DAP + B2 * DAP^2$
3.  $V = BO + B1 * DAP$
4.  $V = BO + B1 * DAP^2$
5.  $V = BO + B1 * DAP^3$
6.  $V = BO + B1 * DAP + B2 * DAP^3$
7.  $V = BO + B1 * DAP^2 + B2 * DAP^3$
8.  $V = BO + B1 * DAP^3 + B2 * (DAP^2 / (DAP + 10))$
9.  $V = BO + B1 * DAP^3 + B2 * ((DAP)^{1/2})$
10.  $V = BO + B1 * DAP^2 + B2 * ((DAP)^{1/2})$
11.  $V = BO + B1 * DAP + B2 * ((DAP)^{1/2})$
12.  $V = BO + B1 * DAP^2 + B2 * (DAP^2 / DAP + 10)$
13.  $V = BO + B1 * (DAP^2 / DAP + 10) + B2 * ((DAP)^{1/2})$

$$14. \text{LN } V = B_0 + B_1 * ((\text{DAP})^{1/2}) + B_2 * (\text{DAP}^2 / (\text{DAP} + 10))$$

$$15. \text{LN } V = B_0 + B_1 * (1/\text{DAP}^2) + B_2 * (1 / ((\text{DAP})^{1/2})) + B_3 * \text{LN } \text{DAP}$$

$$16. \text{LN } V = B_0 + B_1 * (1/\text{LN } \text{DAP})$$

$$17. \text{LN } V = B_0 + B_1 * \text{LN } \text{DAP}$$

$$18. \text{LN } V = B_0 + B_1 * \text{LN } \text{DAP} + B_2 * (1/\text{LN } \text{DAP})$$

$$19. \text{LN } V = B_0 + B_1 * \text{LN } \text{DAP} + B_2 * (1/\text{DAP}^2)$$

$$20. \text{LN } V = B_0 + B_1 \text{LN } \text{DAP} + B_2 * (1 / ((\text{DAP})^{1/2}))$$

donde :

$V$  = Volumen sólido sin corteza en  $\text{m}^3$

$\text{DAP}$  = Diámetro a la altura del pecho en cm sin corteza

$\text{Ln}$  = Logaritmo natural

$B_0, B_1$  y  $B_3$  = Coeficientes de regresión

El ajuste de los modelos se realizó utilizando el método de mínimos cuadrados ordinarios.

Posterior al ajuste de los modelos, se realizó la comprobación del supuesto de no existencia de autocorrelación de residuos a cada función ajustada, para tal efecto se utilizó la prueba de Durbin-Watson (Gujarati, 1981).

La presencia de autocorrelación de residuos fue causa de la eliminación del modelo en los análisis posteriores.

### 3.2.1.3. Selección del mejor modelo

La preselección de las mejores funciones se realizó en una primera etapa a través de la dõcima de la significancia estadística de los coeficientes de regresión de cada función. Para este efecto se realizó la prueba "t" (Snedecor y Cochran, 1980). Asimismo, se docimó la significancia estadística del modelo general ajustado a través de la prueba "F". La presencia de coeficientes de regresión no significativos o la no significancia del estadígrafo "F", fue causa de la eliminación de la función de los análisis siguientes.

Posteriormente, entre las funciones con igual variable dependiente, se preseleccionó la mejor, utilizando como criterio de selección el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  ajustado) y el error estándar de estimación (EEE). El  $R^2$  ajustado se utiliza para la comparación de funciones con distinto número de variables explicatorias (Guajarati, 1981). La preselección entregó dos funciones que entraron en los análisis posteriores; una cuya variable dependiente es el volumen y otra cuya variable dependiente es el logaritmo natural del volumen.

Conociendo las funciones preseleccionadas para cada rodal

en estudio, se procedió a seleccionar la mejor función, para lo cual se utilizó estadígrafos que permitieron la comparación de modelos con distinta variable dependiente. El criterio de selección utilizado fue el siguiente:

La mejor función fué aquella que poseía un menor Error Cuadrático Medio (ECM) y una menor diferencia agregada (DIFA) (Husch et al, 1972).

Una vez escogida la mejor función para cada rodal en estudio, se procedió a realizar un análisis de residuos que permitió identificar el comportamiento de los residuos con respecto al volumen estimado (Cailliez, 1980).

Con posterioridad, y utilizando la metodología descrita por Vallejos (1979) se determinó el tipo de sesgo que presenta cada función seleccionada, para lo que se ajustó una regresión lineal simple entre el volumen estimado como variable dependiente y el volumen real como variable independiente, para luego determinar la significancia estadística del coeficiente de regresión y del intercepto utilizando para este efecto la prueba "t".

Luego de clasificado el tipo de sesgo que tenía cada función escogida, se determinó su exactitud a través de

la prueba de Freese (Freese, 1960; Vallejos, 1979).

### 3.2.2. Crecimiento de árboles individuales

Utilizando la información obtenida a partir de los análisis fustales se procedió a determinar la altura total a las distintas edades de cada árbol muestra, utilizando el método gráfico de análisis fustal presentado por Husch et al, (1972). Asimismo, se calculó el volumen total sin corteza cubicando cada sección del fuste dada por la altura de extracción de las rodelas y utilizando los diámetros sin corteza inferior y superior de cada troza, medidos para las distintas edades de los árboles muestra en los tres rodales en estudio. Para cubicar las trozas se utilizó la fórmula de Smalian (Husch et al, 1972, Cailliez, 1980).

Además, mediante la fórmula de superficie de una circunferencia y el diámetro a la altura del pecho, se determinó el área basal de cada árbol muestra a las edades correspondientes.

En resumen, se obtuvo información que incluye el DAP sin corteza, el Área basal, la Altura Total y el Volumen sólido sin corteza para las distintas edades de cada árbol

muestra de los tres rodales en análisis.

A partir de la información de los análisis fustales se construyeron las curvas de crecimiento promedio a nivel de árboles individuales para las cuatro variables incluidas en el análisis, es decir, DAP, área basal, altura total y volumen total. Las curvas obtenidas fueron las de crecimiento acumulado, crecimiento medio anual y crecimiento corriente.

### 3.2.3. Funciones de crecimiento

Utilizando la información obtenida de los análisis fustales se ajustaron tres modelos teóricos a cada variable en estudio, utilizando la edad como variable independiente. Los modelos utilizados fueron los presentados por Emanuelli (1992), en la descripción del crecimiento de árboles individuales de Pino oregón; estos son:

1. Ecuación de Gompertz (Sweda, 1981).

$$Y = a * \text{EXP} ( - \text{EXP} ( p - b * E ) )$$

2. Ecuación de relaciones Polimórficas (Sprinz et al., 1990)

$$Y = a * ( 1 - \text{EXP} ( - b * E ) ) ^ c$$

### 3. Ecuación de Mitscherlich (Sweda, 1981)

$$Y = a * (1 - L * \text{EXP}(-b * E))$$

donde :

$$p = \ln(\ln(a / Y_0))$$

Y = Dimensión del parámetro a la edad "E"

Y<sub>0</sub> = Dimensión inicial del parámetro

E = Edad del individuo

$$L = a - Y_0 / a$$

a, b y c = Coeficientes de regresión

El ajuste de los modelos se realizó utilizando el método de mínimos cuadrados para curvas no lineales y no reducibles a la forma lineal (Alder et al, 1980).

Para seleccionar el mejor modelo para cada variable y rodal considerado, se probó la bondad de ajuste de cada función de crecimiento en base al error cuadrático medio (ECM) y al promedio de las desviaciones al cuadrado (PDC).



#### IV. RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se entregan los resultados obtenidos en la construcción de funciones locales de volumen y funciones de crecimiento de árboles individuales de los tres rodales de Pino radiata utilizados en el presente estudio, además de los indicadores del crecimiento de árboles individuales.

##### 4.1. Funciones locales de volumen

A través de la prueba de Bartlett, aplicada a los datos de cada rodal (Tabla 3), se confirmó la presencia de homocedasticidad de varianza del volumen real ( $\alpha = 0,05$ ), por lo cual el método de mínimos cuadrados ordinarios para el ajuste de modelos de regresión puede ser aplicado sin necesidad de realizar ponderación.

**TABLA 3. PRUEBA DE BARTLETT APLICADA A LOS VOLUMENES REALES DE CADA RODAL ESTUDIADO**

RODAL	G.L.	X <sup>2</sup> Muestra	X <sup>2</sup> Tabla	N
1	4	1,52	9,49	30
2	5	7,51	11,07	40
3	5	8,37	11,07	38

A través de esta prueba se pudo determinar que en el rodal 1 solo el modelo 5 no presentó autocorrelación de residuos (Tabla 4). En el resto de los modelos 1, 2, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 19 y 20 la prueba de Durbin - Watson fue indecisa para determinar la correlación serial positiva. Asimismo, en los modelos 3, 4, 16 y 17 existe correlación serial positiva, por lo cual estos modelos fueron eliminados de los análisis posteriores.

**TABLA 4.- PRUEBA DE DURBIN-WATSON APLICADA A LOS RESIDUOS OBTENIDOS DE LOS MODELOS AJUSTADOS EN EL RODAL 1.**

MODE- LO	K	N	d Muestral	dl Tabla	dv Tabla	CORRELAC. Ser. Pos.	CORRELAC. Ser. Neg.
1	3	30	1,310	1,21	1,65	NEC	NO
2	2	30	1,331	1,28	1,57	NEC	NO
3	1	30	1,286	1,35	1,49	SI	NO
4	1	30	1,286	1,35	1,49	SI	NO
5	1	30	1,525	1,35	1,49	NO	NO
6	2	30	1,327	1,28	1,57	NEC	NO
7	2	40	0,313	1,28	1,57	NEC	NO
8	2	30	1,317	1,28	1,57	NEC	NO
9	2	30	1,346	1,28	1,57	NEC	NO
10	2	30	1,344	1,28	1,57	NEC	NO
11	2	30	1,342	1,28	1,57	NEC	NO
12	2	30	1,319	1,28	1,57	NEC	NO
13	2	30	1,341	1,28	1,57	NEC	NO
14	2	30	1,341	1,28	1,57	NEC	NO
15	3	30	1,305	1,21	1,65	NEC	NO
16	1	30	1,247	1,35	1,49	SI	NO
17	1	30	1,109	1,35	1,49	SI	NO
18	2	30	1,367	1,28	1,57	NEC	NO
19	2	30	1,387	1,28	1,57	NEC	NO
20	2	30	1,354	1,28	1,57	NEC	NO

SI = Existe correlación serial

NO = No existe correlación serial

NEC = La prueba no es concluyente para determinar correlación serial.

Las funciones ajustadas al Rodal 2 no presentaron correlación serial negativa (Tabla 5). Sin embargo, los modelos 3, 5 y 16 presentaron correlación serial positiva; estos modelos fueron eliminados de los análisis posteriores.

TABLA 5.- PRUEBA DE DURBIN-WATSON APLICADA A LOS RESIDUOS OBTENIDOS DE LOS MODELOS AJUSTADOS EN EL RODAL 2.

MODE- LO	K	N	d Muestral	d1 Tabla	dv Tabla	CORRELAC. Ser. Pos.	CORRELAC. Ser. Neg.
1	3	40	2,123	1,34	1,66	NO	NO
2	2	40	1,920	1,39	1,60	NO	NO
3	1	40	1,140	1,44	1,54	SI	NO
4	1	40	1,596	1,44	1,54	NO	NO
5	1	40	1,671	1,44	1,54	SI	NO
6	2	40	1,806	1,39	1,60	NO	NO
7	2	40	2,041	1,39	1,60	NO	NO
8	2	40	1,885	1,39	1,60	NO	NO
9	2	40	1,671	1,39	1,60	NO	NO
10	2	40	1,889	1,39	1,60	NO	NO
11	2	40	2,045	1,39	1,60	NO	NO
12	2	40	1,947	1,39	1,60	NO	NO
13	2	40	2,054	1,39	1,60	NO	NO
14	2	40	1,892	1,39	1,60	NO	NO
15	3	40	1,859	1,34	1,66	NO	NO
16	1	40	1,214	1,44	1,54	SI	NO
17	1	40	1,760	1,44	1,54	NO	NO
18	2	40	1,959	1,39	1,60	NO	NO
19	2	40	1,957	1,39	1,60	NO	NO
20	2	40	1,958	1,39	1,60	NO	NO

SI = Existe correlación serial

NO = No existe correlación serial

En el rodal 3, a diferencia de los rodales analizados anteriormente, el test de Durbin Watson es indeciso para la determinación de correlación serial negativa (Tabla 6), en los modelos 1, 6, 8, 9 y 16 por lo que no es posible asumir la ausencia de este supuesto de regresión en los modelos señalados. Dentro de este rodal los modelos 5, 17 y 19 presentaron correlación serial positiva, por lo que fueron eliminados de los análisis siguientes.

TABLA 6.- PRUEBA DE DURBIN-WATSON APLICADA A LOS RESIDUOS OBTENIDOS DE LOS MODELOS AJUSTADOS EN EL RODAL 3.

MODE- LO	K	N	d Muestral	d1 Tabla	dv Tabla	CORRELAC. Ser. Pos.	CORRELAC. Ser. Neg.
1	3	38	2,425	1,32	1,66	NO	NEC
2	2	38	2,393	1,37	1,59	NO	NO
3	1	38	1,718	1,43	1,54	NO	NO
4	1	38	2,101	1,43	1,54	NO	NO
5	1	38	1,016	1,43	1,54	SI	NO
6	2	38	2,418	1,37	1,59	NO	NEC
7	2	38	2,337	1,37	1,59	NO	NO
8	2	38	2,413	1,37	1,59	NO	NEC
9	2	38	2,412	1,37	1,59	NO	NEC
10	2	38	2,398	1,37	1,59	NO	NO
11	2	38	2,346	1,37	1,59	NO	NO
12	2	38	2,388	1,37	1,59	NO	NO
13	2	38	2,326	1,37	1,59	NO	NO
14	2	38	2,352	1,37	1,59	NO	NO
15	3	38	2,270	1,32	1,66	NO	NO
16	1	38	2,468	1,43	1,54	NO	NEC
17	1	38	1,239	1,43	1,54	SI	NO
18	2	38	2,237	1,37	1,59	NO	NO
19	2	38	0,670	1,37	1,59	SI	NO
20	2	38	2,270	1,37	1,59	NO	NO

SI = Existe correlación serial

NO = No existe correlación serial

NEC = La prueba no es concluyente para determinar la existencia de correlación serial.

Al realizar el análisis de significancia estadística de los coeficientes de regresión de las funciones del rodal 1 (Tabla 7), se encontró que las funciones 1, 2, 6, 9, 10, 11, 13, 15 y 18, presentaron coeficientes de regresión no significativos. Además, el F muestral indica que todos los modelos son estadísticamente significativos.

TABLA 7.- PRUEBA T-STUDENT APLICADA A LOS COEFICIENTES DE REGRESION Y PRUEBA F APLICADA AL MODELO EN ANALISIS DEL RODAL 1.-

MODELO	T MUESTRAL	G.L.	T	F	G.L.	F
B1	B2	B3	Tabla	Muestral	Tabla	Tabla
1	-0,368NS	0,928NS	-1,062NS	26	2,056	130,256 (3,26) 2,98
2	4,110*	-1,672NS		27	2,052	193,895 (2,27) 3,35
5	12,139*			28	2,048	147,363 (1,28) 4,20
6	6,316*	-1,759NS		27	2,052	195,967 (2,27) 3,35
7	6,461*	-4,308*		27	2,052	201,775 (2,27) 3,35
8	-2,282*	6,381*		27	2,052	198,562 (2,27) 3,35
9	-0,397NS	6,187*		27	2,052	190,935 (2,27) 3,35
10	-0,299NS	4,019*		27	2,052	190,424 (2,27) 3,35
11	-0,186NS	1,496NS		27	2,052	190,013 (2,27) 3,35
12	-2,220*	4,181*		27	2,052	196,715 (2,27) 3,35
13	-0,174NS	1,976NS		27	2,052	189,978 (2,27) 3,35
14	7,581*	-5,544*		27	2,052	263,495 (2,27) 3,35
15	1,241NS	-1,732NS	-1,595NS	26	2,052	171,517 (3,26) 2,98
18	-1,379NS	-3,662*		27	2,052	247,062 (2,27) 3,35
19	2,799*	-3,468*		27	2,052	238,139 (2,27) 3,35
20	-2,176*	-3,769*		27	2,051	252,190 (2,27) 3,35

\* = Significativo, a un nivel de significancia de 0,05

NS = No significativo, a un nivel de significancia de 0,05

En el caso del Rodal 2, la prueba t de Student demostró la presencia de coeficientes no significativos en los modelos 1 y 15 (Tabla 8) por lo que estos modelos fueron omitidos en los análisis posteriores. La prueba "F", aplicada al modelo general, demostró que la totalidad de los modelos analizados son significativos ( $\alpha = 0,05$ ).

TABLA 8.- PRUEBA T-STUDENT APLICADA A LOS COEFICIENTES DE REGRESION Y PRUEBA F APLICADA A LOS MODELOS EN ANALISIS DEL RODAL 2

MODELO	T MUESTRAL			G.L.	T	F	G.L.	F
	B1	B2	B3		Tabla	Muestral		Tabla
1	-1,535NS	3,086*	-2,472*	36	2,028	879,7	3,36	2,86
2	3,238*	4,773*		37	2,026	1156,8	2,37	3,26
4	42,931*			38	2,025	1843,1	1,38	4,10
6	9,981*	4,303*		37	2,026	1072,8	2,37	3,26
7	11,159*	-3,890*		37	2,026	1271,8	2,37	3,26
8	2,801*	10,376*		37	2,026	1137,1	2,37	3,26
9	8,090*	9,267*		37	2,026	963,1	2,37	3,26
10	9,094*	3,056*		37	2,026	1128,4	2,37	3,26
11	9,805*	-5,281*		37	2,026	1257,2	2,37	3,26
12	3,095*	3,390*		37	2,026	1181,7	2,37	3,26
13	9,854*	-3,586*		37	2,026	1266,4	2,37	3,26
14	12,555*	-6,661*		37	2,026	1146,2	2,37	3,26
15	-0,045NS	-0,344NS	0,6030	36	2,026	769,70	2,37	2,86
17	46,197*			38	2,025	2134,20	2,37	4,10
18	4,761*	-2,269*		37	2,026	1186,2	2,37	3,26
19	15,712*	-2,242*		37	2,026	1182,7	2,37	3,26
20	2,468*	-2,272*		37	2,026	1186,5	2,37	3,26

\* = Significativo , a un nivel de significancia de 0,05  
 NS = No significativo, a un nivel de significancia de 0,05

En el rodal 3 los modelos 1, 15, 18 y 20 presentaron coeficientes no significativos (Tabla 9) ( $\alpha = 0,05$ ); por lo tanto, fueron desechados de los análisis posteriores. Al igual que en los rodales 1 y 2 los modelos generales fueron significativos según los resultados entregados por la prueba "F".

**TABLA 9.- PRUEBA T-STUDENT APLICADA A LOS COEFICIENTES DE REGRESION Y PRUEBA F APLICADA A LOS MODELOS EN ANALISIS DEL RODAL 3**

MODELO	T MUESTRAL		G.L.	T	F	G.L.	F
	B1	B2	B3	Tabla	Muestral		Tabla
1	-1,125NS	0,256NS	0,622NS	34	2,032	465,2	3,34 2,88
2	2,419*	3,564*		35	2,030	410,0	2,35 3,27
3	32,591*			36	2,028	1062,2	1,36 4,11
4	35,302*			36	2,028	1246,2	1,36 4,11
6	7,557*	3,626*		35	2,030	716,9	2,35 3,27
7	7,347*	-2,199*		35	2,030	691,9	2,35 3,27
8	3,060*	7,499*		35	2,030	709,9	2,35 3,27
9	7,691*	7,456*		35	2,030	704,8	2,35 3,27
10	6,708*	2,381*		35	2,030	706,8	2,35 3,27
11	6,767*	-3,600*		35	2,030	714,0	2,35 3,27
12	3,013*	2,362*		35	2,030	705,2	2,35 3,27
13	6,568*	-2,856*		35	2,030	690,1	2,35 3,27
14	11,456*	-7,233*		35	2,030	922,6	2,35 3,27
15	-0,054NS	-9,470*		34	2,032	678,7	3,34 2,88
16	-44,624*			36	2,028	1991,3	1,36 4,11
18	1,527NS	-25,862*		35	2,030	1033,6	2,35 3,27
20	1,530NS	-26,046*		35	2,030	1047,9	2,35 3,27

\* : Significativo, a un nivel de significancia de 0,05  
 NS : No significativo, a un nivel de significancia de 0,05

En el Rodal 1, considerando las funciones con variable dependiente el volumen, el modelo 7 presenta menor EEE (0,017) y a su vez, presenta el mayor  $R^2$  ajustado (0,933).

En los casos en que la variable dependiente es el logaritmo natural del volumen, el modelo 14 presenta el menor EEE (0,121) y a su vez el mayor  $R^2$  ajustado (0,948). (Tabla 10).

TABLA 10.-  $R^2$  AJUSTADO Y ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION (EEE) PARA LOS MODELOS EN ANALISIS DEL RODAL 1.

MODELO	R2 AJUSTADO	EEE
5	0,811	0,026
7	0,933	0,017
8	0,932	0,017
12	0,931	0,017
14	0,948	0,121
19	0,942	0,127
20	0,945	0,123

Dentro de las funciones que poseen volumen como variable dependiente en el Rodal 2, el modelo 7 presentó el menor EEE (0,011) (Tabla 11) y, a su vez, este modelo presenta el mayor  $R^2$  ajustado (0,985). Dentro de este mismo rodal, el modelo 20 presenta el menor EEE (0,096) entre aquellos modelos cuya variable dependiente es el logaritmo natural de volumen. El mismo modelo 20 posee el mayor  $R^2$  ajustado (0,984) por lo cual es el preseleccionado para los



siguientes análisis (Tabla 11).

2  
**TABLA 11.- R AJUSTADO Y ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION (EEE)  
 PARA LOS MODELOS EN ANALISIS DEL RODAL 2.-**

MODELO	R2 AJUSTADO	EEE
2	0,983	0,012
4	0,979	0,013
6	0,982	0,012
7	0,985	0,011
8	0,983	0,012
9	0,980	0,013
10	0,983	0,012
11	0,984	0,011
12	0,984	0,012
13	0,984	0,011
14	0,983	0,098
17	0,982	0,101
18	0,984	0,096
19	0,984	0,096
20	0,984	0,096

En el rodal 3, y dentro de las funciones con volumen como variable dependiente, el modelo 6 presentó los mejores indicadores (Tabla 12) con un EEE de 0,113 y un  $R^2$  ajustado de 0,975. Dentro de las funciones con logaritmo natural de volumen como variable dependiente en el rodal 3, el modelo 16 fue el que logró los mejores indicadores, alcanzando el EEE a 0,124 y el  $R^2$  ajustado a 0,982 (Tabla 12). Como consecuencia de esto, los modelos preseleccionados en este rodal fueron el 6 y el 16.

<sup>2</sup>  
 TABLA 12.- R<sup>2</sup> AJUSTADO Y ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION (EEE)  
 PARA LOS MODELOS EN ANALISIS DEL RODAL 3.-

MODELO	R2 AJUSTADO	EEE
2	0,975	0,113
3	0,966	0,130
4	0,971	0,121
6	0,975	0,113
7	0,974	0,115
8	0,975	0,113
9	0,974	0,114
10	0,974	0,114
11	0,975	0,113
12	0,974	0,113
13	0,974	0,115
14	0,980	0,128
16	0,982	0,124

Al comparar los modelos 7 y 14 del rodal 1, los que poseen distinta variable dependiente, mediante el Error Cuadrático medio (ECM) y la diferencia agregada (DIFA) se puede comprobar que el modelo 14 presenta el menor ECM (10,78%) y el modelo 7 presenta la menor DIFA (-0,08%) (Tabla 13). Considerando esto, la mejor función local de volumen obtenida en el análisis realizado para el Rodal 1 es la 14, cuya forma y coeficiente son los siguientes :

$$\ln V = -12,386962 + 3,370625 \text{ DAP}^{0,5} - 0,331387 \text{ (DAP}^2 / (\text{DAP} + 10))$$

Al comparar los modelos 7 y 20 del rodal 2, los que poseen distinta variable dependiente, mediante el Error Cuadrático Medio (ECM) y la diferencia agregada (DIFA), se puede

comprobar que el modelo 7 presenta el menor ECM (7,34%) y la menor DIFA (-0,17%) (Tabla 13). Así, la mejor función local de volumen, obtenida en el análisis realizado para el Rodal 2, es la 7, cuya forma y coeficientes son los siguientes:

$$V = -0,014898 + 0,000541 \text{ DAP}^2 - 5,827184 \cdot 10^{-6} \text{ DAP}^3$$

**TABLA 13.- ESTADIGRAFOS DE LOS MODELOS PRESELECCIONADOS CON DISTINTA VARIABLE DEPENDIENTE EN LOS RODALES CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO.**

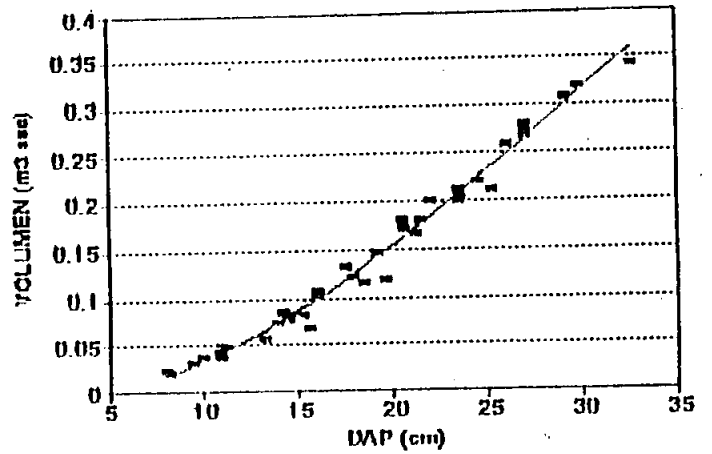
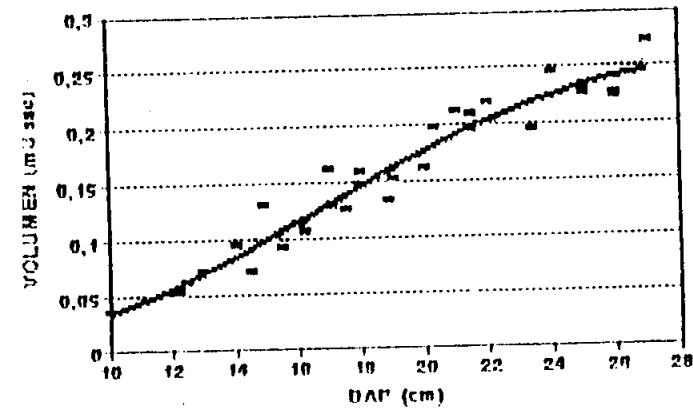
RODAL	MODELO	ESTADIGRAFO	
		ECM (%)	DIFA (%)
1	7	10,82	-0,08
	14	10,78	-0,68
2	7	7,34	-0,17
	20	7,81	1,49
3	6	9,83	0,04
	16	10,28	0,78

En el caso del Rodal 3 se comparó los modelos 6 y 16 y se pudo determinar que el modelo 6 presentó el menor ECM (9,83%) y a su vez la menor DIFA (0,04%) (Tabla 12). De este modo, el modelo que mejor se ajusta a la base de datos del Rodal 3 es el 6, el que posee la siguiente forma y coeficientes:

$$V = -0,458916 + 0,037034 \text{ DAP} + 4,4402901 \cdot 10^{-6} \text{ DAP}^3$$

La función escogida en el Rodal 1 relaciona el Volumen con el  $DAP^{0,5}$  y  $DAP^2 / (DAP+10)$  (Figura 1a). En la Figura 1a es posible apreciar que el comportamiento del volumen estimado, se mantiene siempre entre los volúmenes reales. En el rodal 2 la función seleccionada relaciona el volumen con el  $DAP^2$  y  $DAP^3$  (Figura 1b). En la Figura 1b se aprecia que el volumen estimado se comporta en forma menos adecuada que en el caso del Rodal 1 .

En el Rodal 3 se seleccionó una función con dos variables explicatorias que son  $DAP$  y  $DAP^3$  y al igual que en el rodal analizado anteriormente la variable dependiente es el volumen (Figura 1c). Los volúmenes estimados se mantienen siempre entre los volúmenes reales.

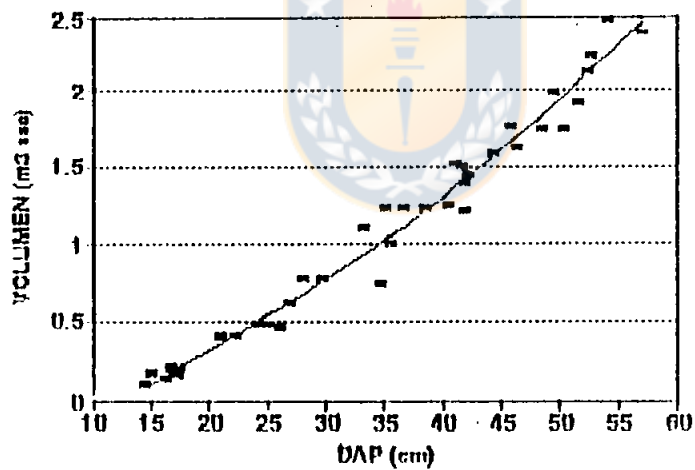


■ VOLUMEN REAL — VOLUMEN ESTIMADO

■ VOLUMEN REAL — VOLUMEN ESTIMADO

a)

b)




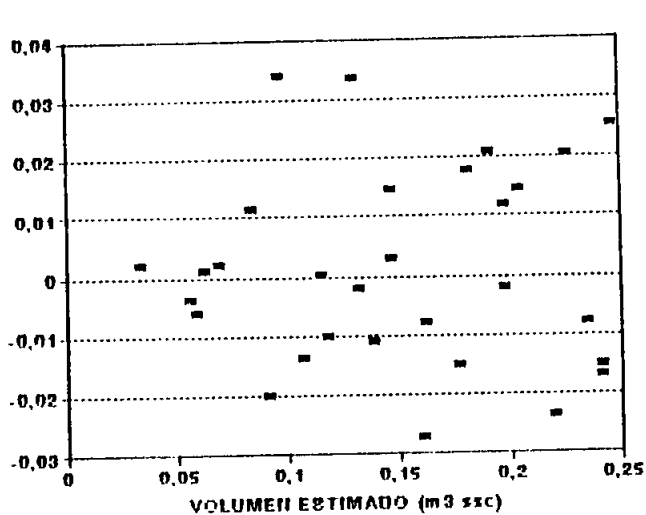
■ VOLUMEN REAL — VOLUMEN ESTIMADO

c)

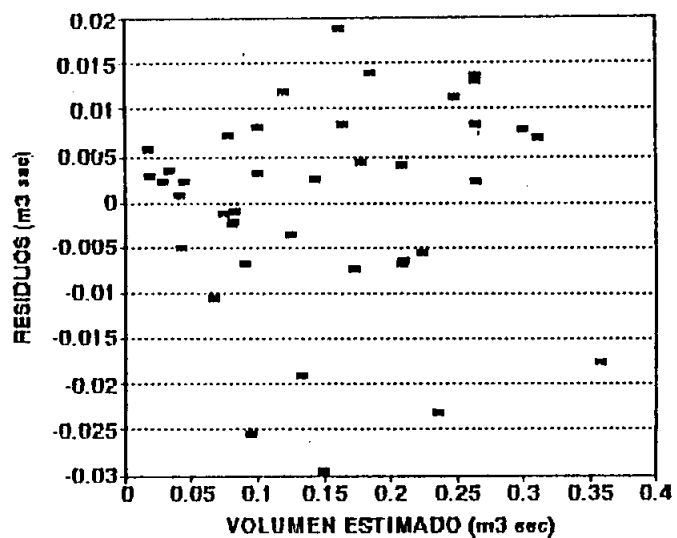
FIGURA 1. Relación entre el volumen real y estimado y el DAP para las funciones seleccionadas en a) Rodal 1; b) Rodal 2; y c) Rodal 3.

La distribución de residuos de la función seleccionada para el Rodal 1, modelo 14, (Figura 2a) muestra un comportamiento aleatorio y no existe evidencia de autocorrelación ni de heterocedasticidad. La Figura 2a muestra la distribución de residuos del modelo 7 seleccionado como el mejor en el Rodal 2. Esta distribución presenta un carácter aleatorio y no existe evidencia de autocorrelación ni de heterocedasticidad. No obstante, la distribución de residuos del modelo 6 elegido en el Rodal 3 (Figura 2c), si bien no presenta signos de autocorrelación si muestra un cierto grado de heterocedasticidad, la cual no es estadísticamente significativa.

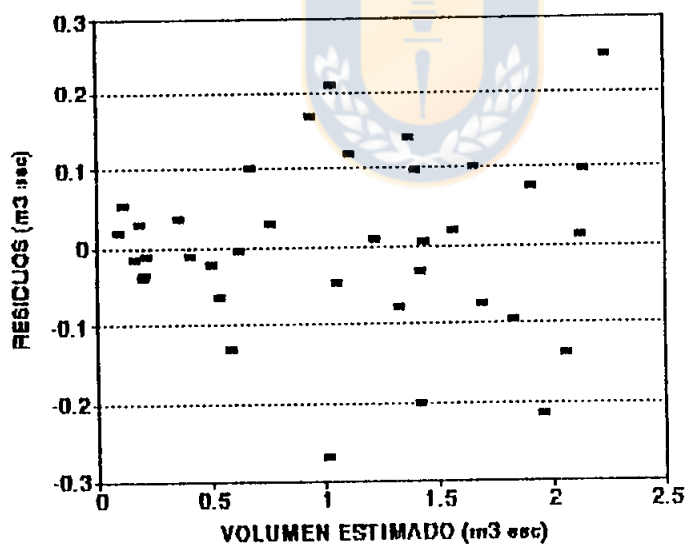




a)



b)



c)

FIGURA 2. Distribución de residuos generados por las funciones de volumen escogidos en a) Rodal 1; b) Rodal 2; y c) Rodal 3.

Se comprobó a través de la prueba t-Student, realizada sobre el intercepto y el coeficiente de regresión del ajuste entre el volumen estimado y el volumen real, que los modelos seleccionados en los Rodales 1, 2 y 3 son insesgados (Tabla 14).

**TABLA 14. PRUEBA DE T-STUDENT APLICADA A LA CONSTANTE (a) Y AL COEFICIENTE DE REGRESION (b) PARA CLASIFICACION DE SESGO**

RODAL	MODELO	G.L.	t (a) Muestral	t (b) Muestral	t Tabla
1	14	28	(NS) 0,119	(NS) 0,009	2,048
2	7	38	(NS) 0,476	(NS) -1,141	2,025
3	6	36	(NS) 0,795	(NS) -0,957	2,028

NS = No significativo a un nivel de significancia de 0.05

\* = Significativo a un nivel de significancia de 0,05

Asimismo, a través de la prueba de Freese, se determinó que la función seleccionada en el Rodal 1 (Modelo 14) posee un error máximo de 10,29 %; el modelo 7, escogido para el Rodal 2, tiene un error máximo de 17,7%. El modelo 6 seleccionado como mejor en el Rodal 3, posee un error máximo de 22,4%.



## **4.2. Crecimiento de árboles individuales**

### **4.2.1. Rodal 1**

El desarrollo en DAP de árboles individuales de Pino radiata del rodal 1 muestra un comportamiento sigmoideo (Figura 3). La curva de crecimiento en DAP del Rodal 1 presenta un punto de inflección en el año 3, a partir del cual las tasas de crecimiento son relativamente constantes hasta los 9 años. El DAP promedio de la muestra alcanza a los 9 años los 10,3 cm aproximadamente.

El crecimiento corriente en DAP culmina a los 5 años (Figura 4) y alcanza un valor de 1,7 cm, mientras que el crecimiento medio anual aún no ha alcanzado su máximo a los 9 años.

El crecimiento acumulado en altura del Rodal 1 genera una curva sigmoidea, alcanzando una altura total superior a los 15 m a los 9 años de edad (Figura 5). El crecimiento corriente en esta variable alcanza su máximo a los 5 años de edad, con un crecimiento de aproximadamente 3,4 m. El incremento medio anual culmina entre los 5 y 6 años alcanzando un valor de 1,8 m (Figura 6).

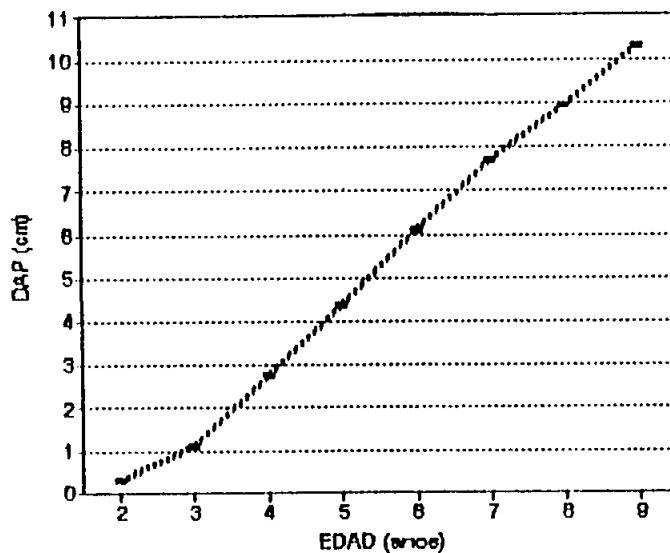


FIGURA 3. Crecimiento promedio acumulado en DAP de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 1.

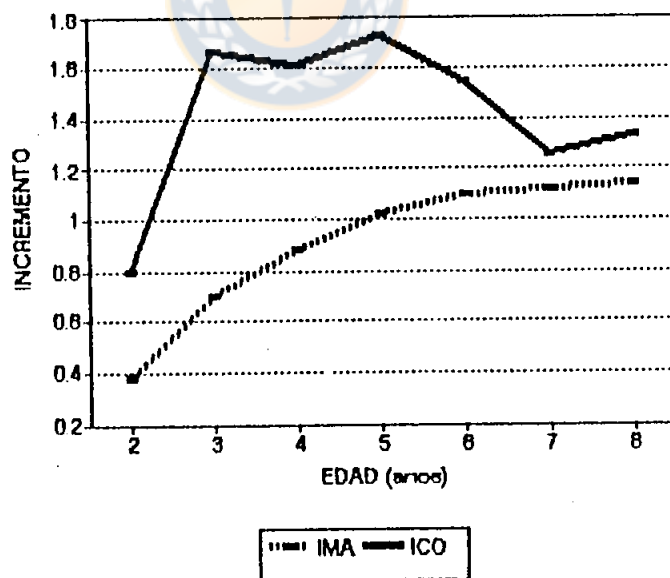


FIGURA 4. Crecimiento medio y crecimiento corriente en DAP de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 1

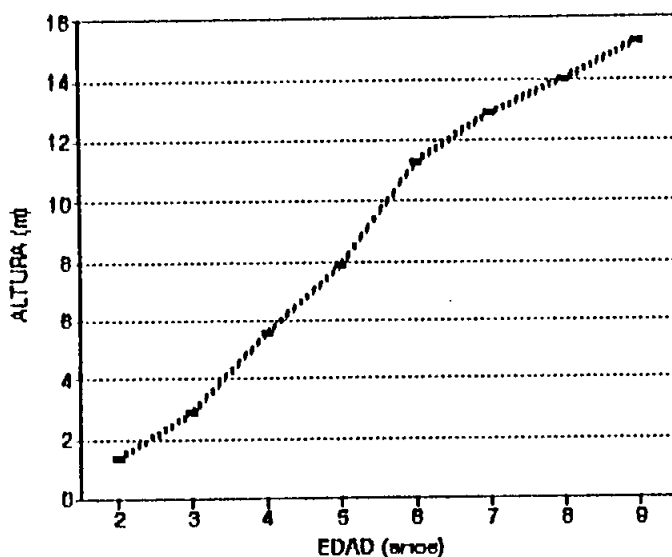


FIGURA 5. Crecimiento acumulado en altura promedio de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 1.

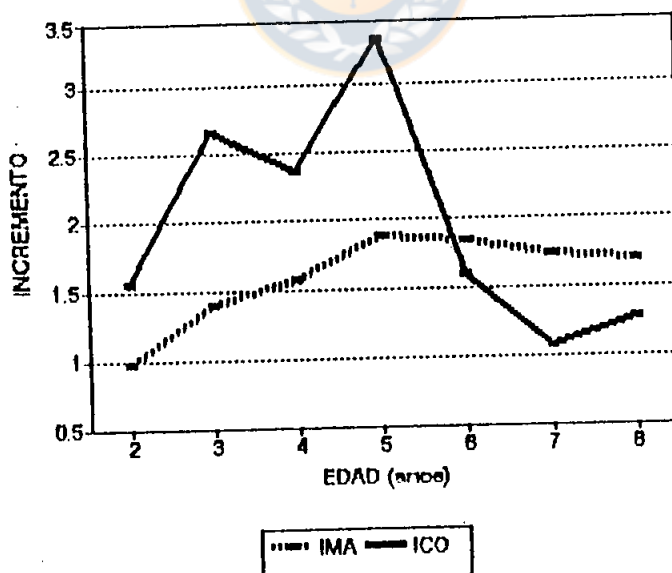


FIGURA 6. Crecimiento medio y crecimiento corriente en altura promedio de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 1.

La curva de crecimiento de área basal promedio de árboles individuales, muestra una forma exponencial, con un punto de cambio de pendiente entre los 4 y 5 años (Figura 7).

El incremento corriente en esta variable no ha alcanzado su máximo (Figura 8); similar situación se observa para el incremento medio anual que no ha culminado a los 9 años.

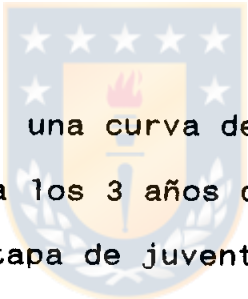
El comportamiento en volumen acumulado tiene iguales características al del área basal, generando una curva sigmoidea, pero el rodal no ha llegado aún a la etapa de senectud, por lo cual crece a tasas crecientes (Figura 9). Es evidente en esta curva de crecimiento la etapa juvenil bien diferenciada de la etapa de madurez. El volumen promedio de los árboles muestra a los 9 años de edad alcanza una magnitud de 0,36 m<sup>3</sup>.

Los crecimientos corrientes y medios anuales, al igual que en el caso del área basal, no han logrado su máximo y se mantienen creciendo a tasas crecientes (Figura 10).

#### 4.2.2. Rodal 2

La curva de crecimiento acumulado en DAP del para árboles individuales presenta similares características al del

Rodal 1, visualizándose una tendencia lineal con un punto de cambio de pendiente a la edad de 3 años ( Figura 11 ); a diferencia del Rodal 1, el DAP alcanzado por los árboles a los 8 años es muy superior, llegando a los 17 cm. Asimismo el incremento corriente máximo también se logra a los 5 años, pero con un valor de 3,4 cm, superior en 1,7 cm al logrado en el Rodal 1. El crecimiento medio anual no ha culminado a los 8 años, pero la tendencia de las curvas (Figura 12) de ICO e IMA señalan que éstas se unirán en breve tiempo.



La altura total genera una curva de tipo sigmoideo con un cambio de pendiente a los 3 años de edad, en donde los árboles pasan a la etapa de juventud (Figura 13). La altura total llega aproximadamente a los 13 m a los 8 años de edad, valor un tanto inferior a la altura que alcanzan los árboles del rodal 1 a esa misma edad (14 m). El crecimiento corriente en su máximo, a los 3 años, alcanza un valor cercano a los 3 m, mientras que el incremento medio anual no ha alcanzado su máximo a los 8 años de edad (Figura 14).

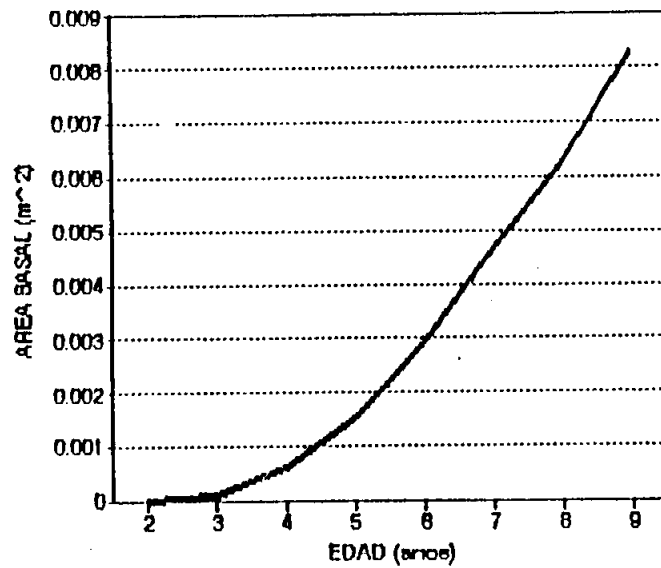


FIGURA 7. Crecimiento acumulado en área basal promedio de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 1.

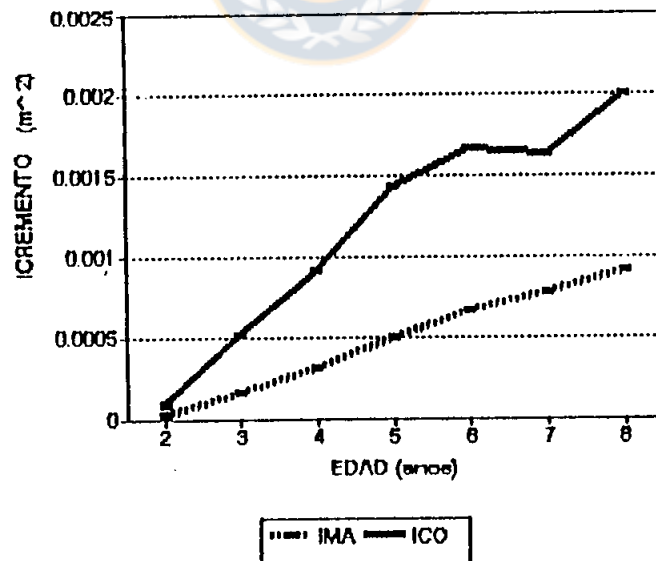


FIGURA 8. Crecimiento medio y crecimiento corriente en área basal promedio de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 1.

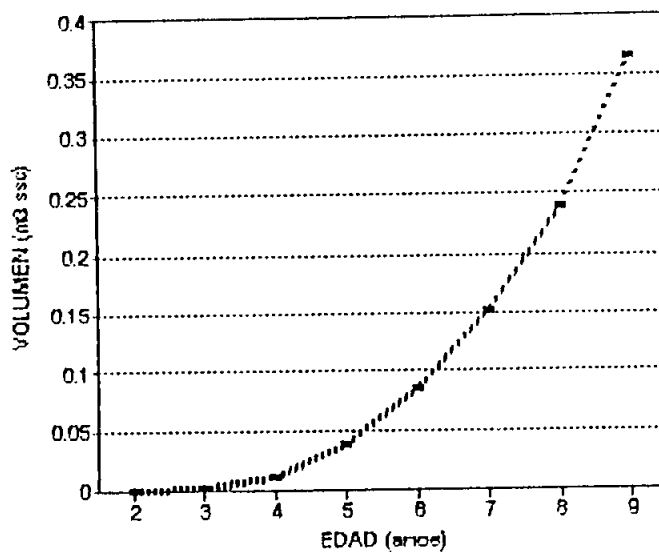


FIGURA 9. Crecimiento acumulado en volumen promedio de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 1.

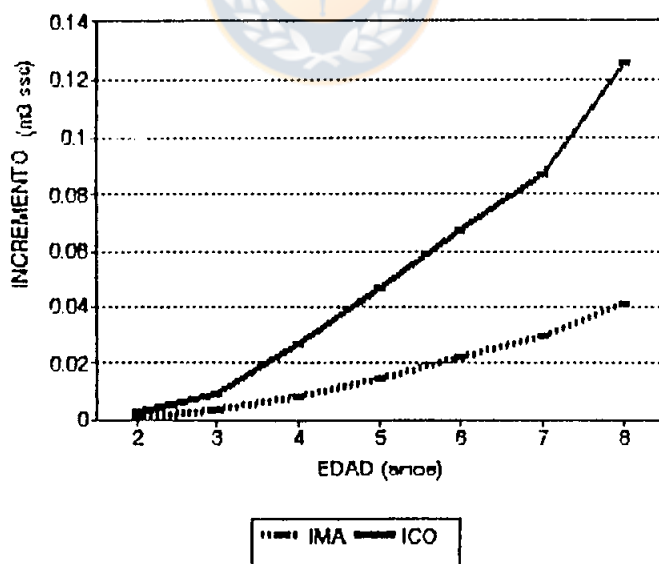


FIGURA 10. Crecimiento medio y crecimiento corriente en volumen promedio de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 1.

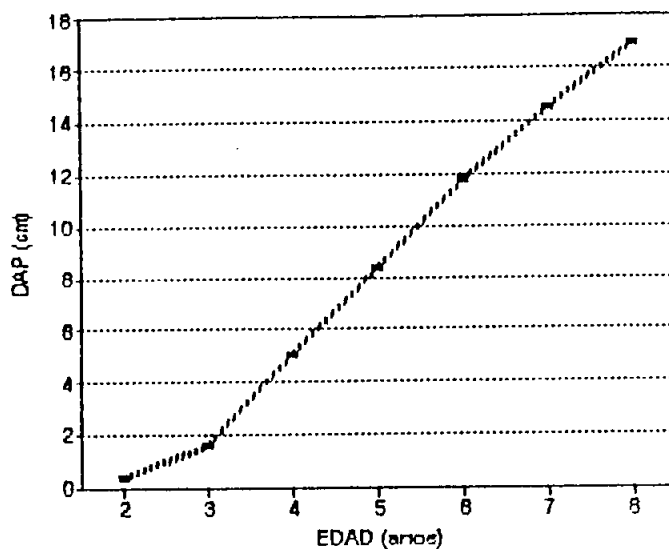


FIGURA 11. Crecimiento promedio acumulado en DAP de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 2.

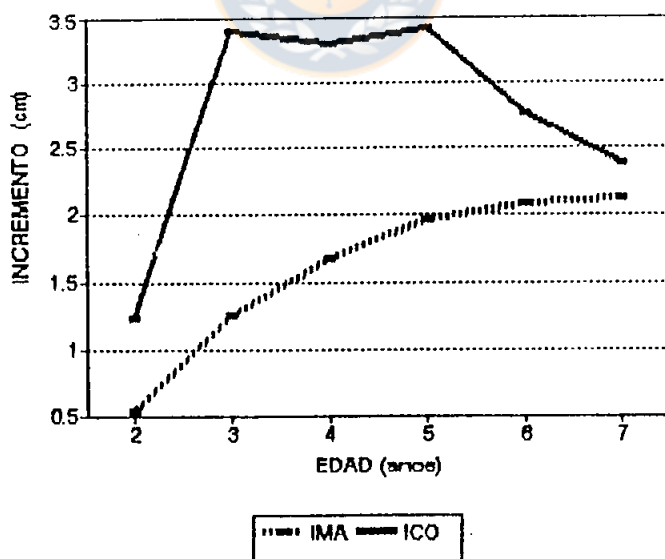


FIGURA 12. Crecimiento medio y crecimiento corriente promedio en DAP de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 2.



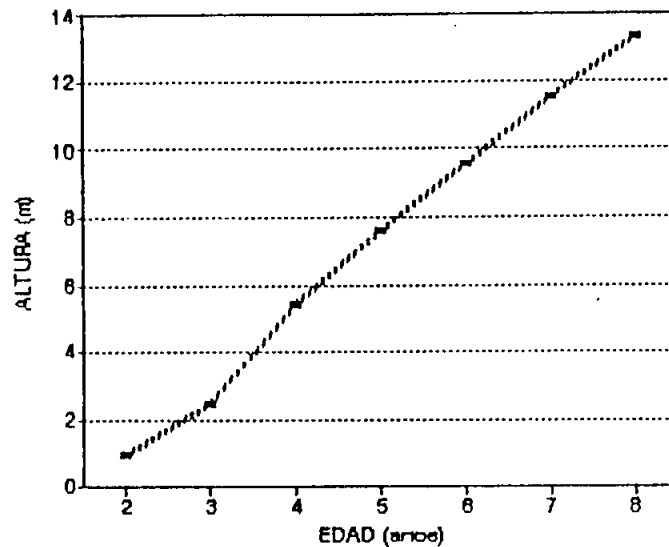


FIGURA 13. Crecimiento promedio acumulado en altura de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 2.

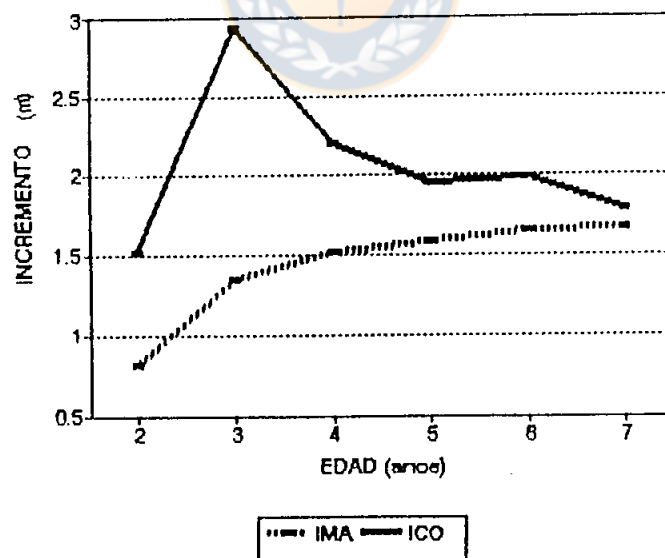


FIGURA 14. Crecimiento medio y crecimiento corriente en altura promedio de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 2.

A los 8 años de edad el área basal promedio por árbol llega a los  $0,023 \text{ m}^2$  en el rodal en análisis y la curva generada por los árboles es del tipo sigmoideo, visualizándose las etapas de juventud y madurez (Figura 15). Tanto el incremento corriente como el incremento medio anual en el área basal no han logrado su máximo a los 8 años, manteniéndose ambas curvas creciendo con pendientes positivas (Figura 16).

El volumen promedio acumulado en árboles individuales presenta un comportamiento típico sigmoideo, evidenciándose las dos primeras etapas de la curva de crecimiento acumulado: juventud y madurez (Figura 17). De este modo, a los 8 años de edad el volumen promedio de árboles individuales de Pino radiata en el rodal en análisis alcanza  $0,13 \text{ m}^3$ .

Las curvas de incremento corriente e incremento medio anual aún no han intersectado a los 8 años y ambas crecen a tasas crecientes (Figura 18).

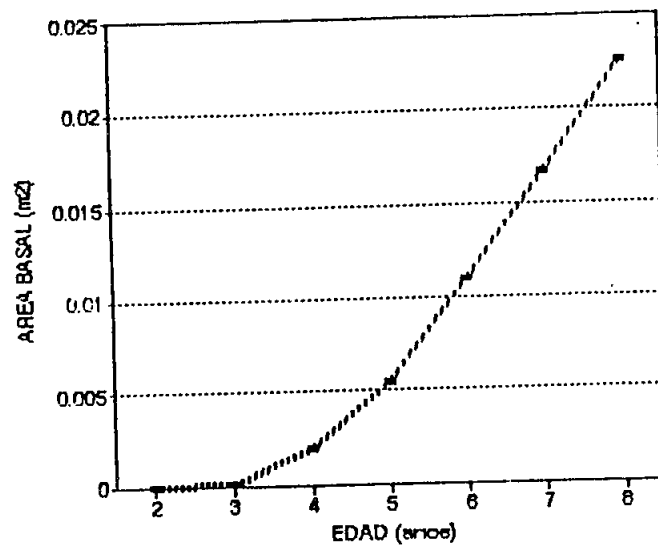


FIGURA 15. Crecimiento promedio acumulado en Area Basal de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 2.

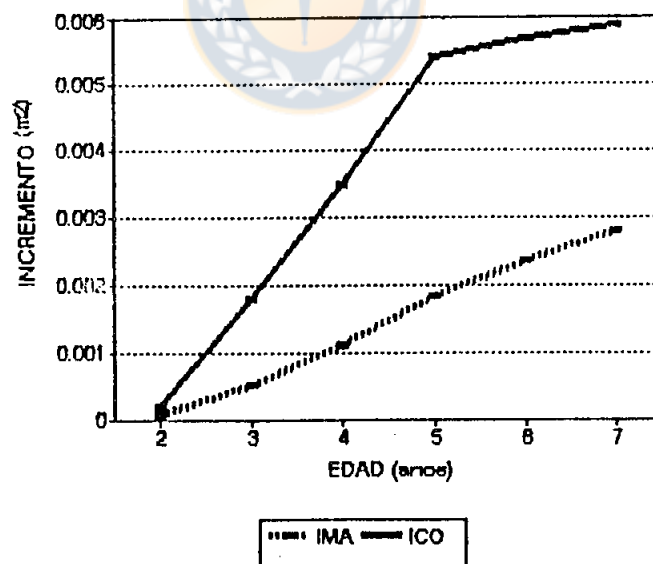


FIGURA 16. Crecimiento medio y crecimiento corriente promedio en Area Basal de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 2.

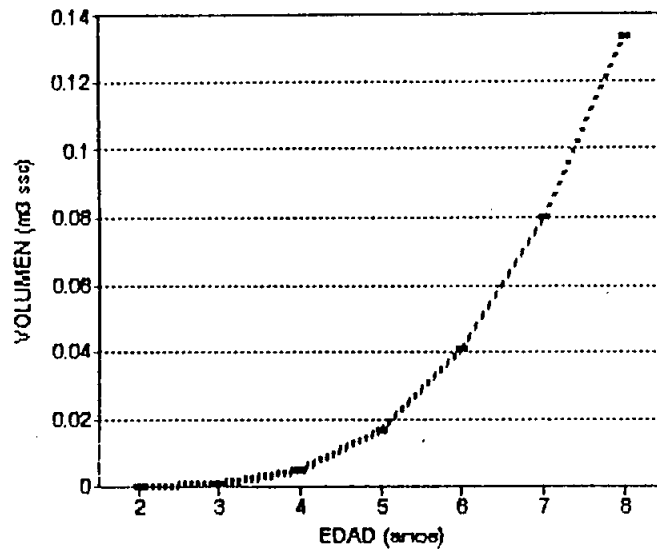


FIGURA 17. Crecimiento promedio acumulado en volumen de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 2.

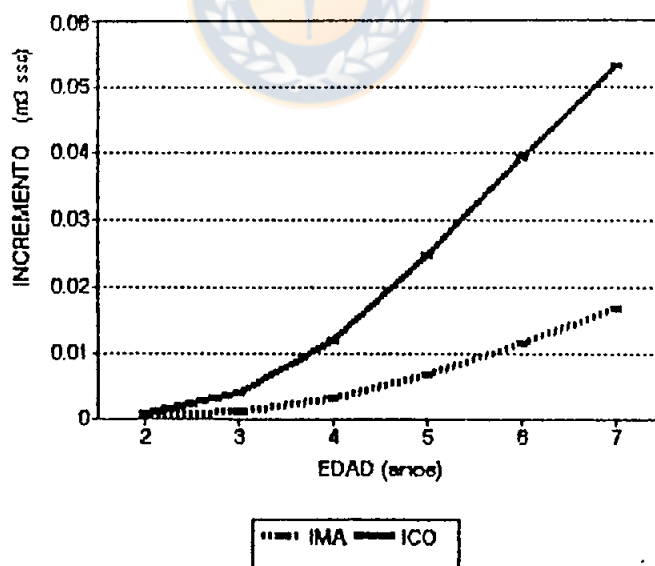


FIGURA 18. Crecimiento medio y crecimiento corriente en volumen promedio de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 2.

#### 4.2.3. Rodal 3

El crecimiento acumulado en DAP genera una curva del tipo lineal con una etapa de juventud hasta los 3-4 años; a partir de esta edad y hasta aproximadamente los 14 años se presenta la etapa de madurez (Figura 19). A los 18 años de edad el DAP promedio de árboles individuales alcanza 31 cm aproximadamente.

La curva de incremento corriente alcanza su máximo a los 5 años, con un valor de 2,5 cm ; mientras que el crecimiento medio anual culmina a los 10 años; con un valor de 1,8 cm (Figura 20). La curva de incremento corriente presenta irregularidades entre los 15-16 años, lo que puede ser atribuible a condiciones climáticas adversas que se presentaron durante el desarrollo del rodal.

La altura total genera una curva sigmoidea con algunas irregularidades (Figura 21) que se reflejan en las curvas de incremento corriente e incremento medio anual (Figura 22).

La altura a los 18 años llega a 27 m aproximadamente, mientras que el máximo incremento corriente se encuentra a los 8 años con un valor de 2,3 m. El incremento medio

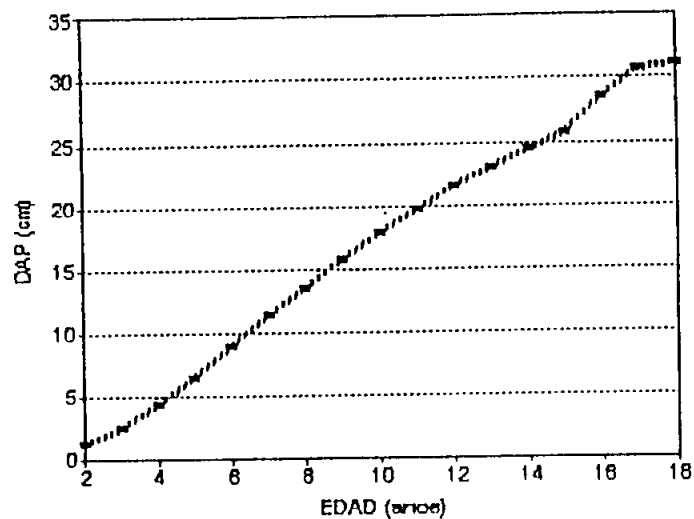


FIGURA 19. Crecimiento promedio acumulado en DAP de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 3.

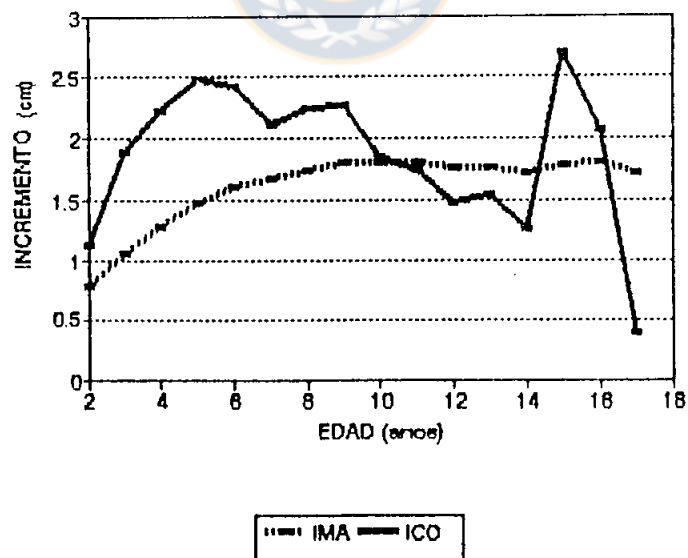


FIGURA 20. Crecimiento medio y crecimiento corriente promedio en DAP de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 3.

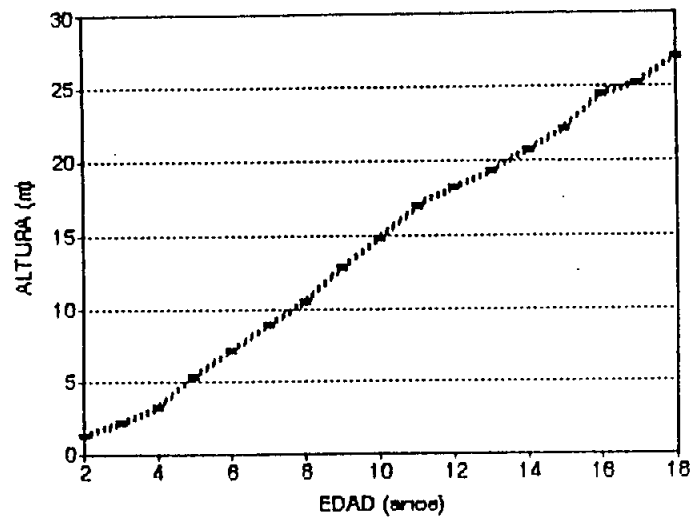


FIGURA 21. Crecimiento promedio acumulado en altura de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 3.

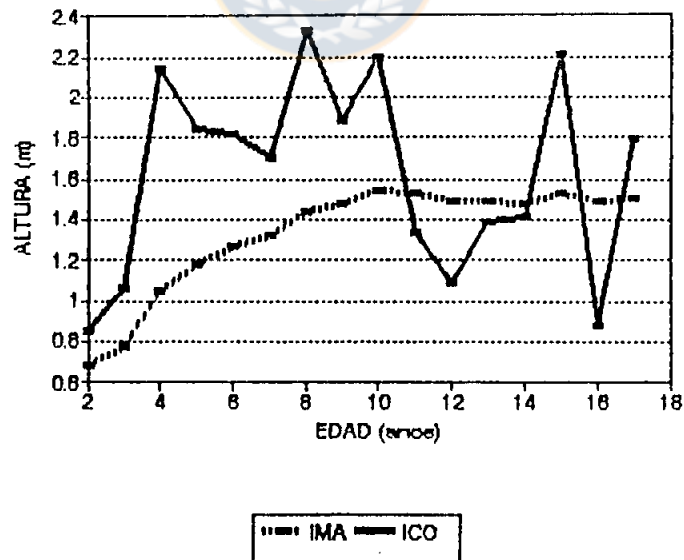


FIGURA 22. Crecimiento medio y crecimiento corriente promedio en altura de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 3.

culmina a los 11 años, edad donde esta curva se intersecta con la curva de incremento corriente.

La curva de área basal acumulada presenta similares características a las obtenidas en los rodales anteriormente analizados, con la diferencia que la edad del Rodal 3 permite que se aprecie el inicio de la etapa de senectud (Figura 23). A los 18 años el área basal alcanzada, en promedio, por los árboles muestra es de  $0,083 \text{ m}^2$  aproximadamente, mientras que el máximo incremento medio anual se puede encontrar a los 17 años con un valor de  $0,0043 \text{ m}^2$  (Figura 24).

Finalmente, el volumen acumulado a través de la edad posee una curva del tipo sigmoideo con las dos primeras etapas de crecimiento teóricas : juventud y madurez (Figura 25).

El volumen alcanzado a los 18 años llega aproximadamente a  $1,05 \text{ m}^3$  ssc, mientras que los máximos incrementos corrientes y medios anuales no se ha logrado a los 18 años de edad (Figura 26).



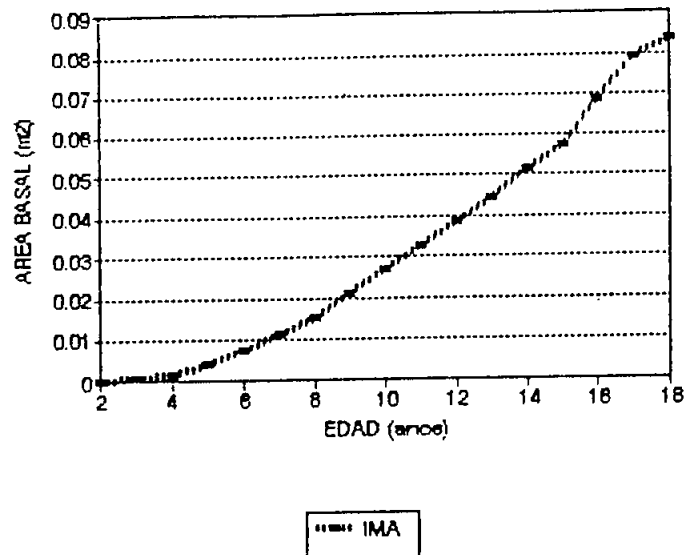


FIGURA 23. Crecimiento acumulado en área basal promedio de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 3.

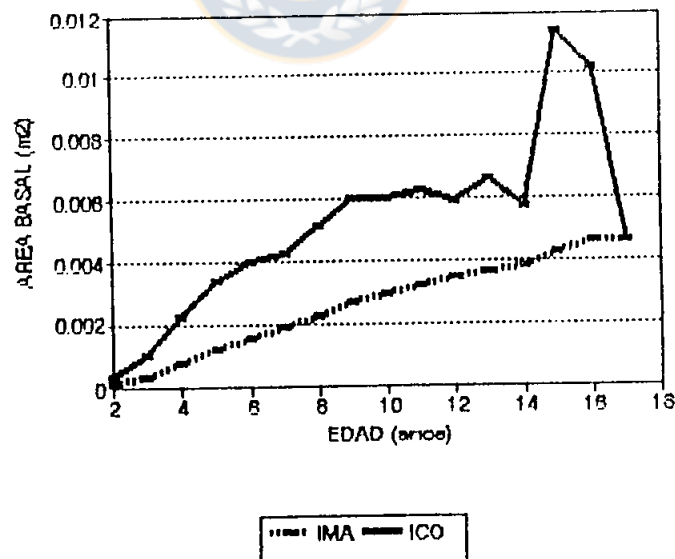


FIGURA 24. Crecimiento medio y crecimiento corriente promedio en área basal de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 3.

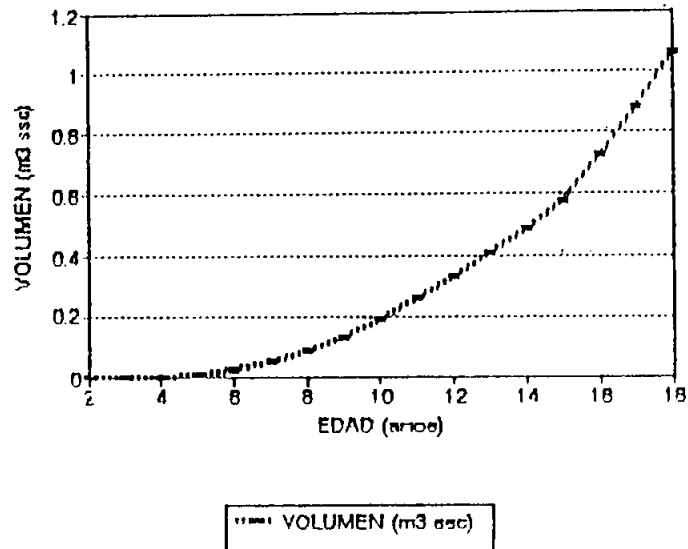


FIGURA 25. Crecimiento promedio acumulado en volumen de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 3.

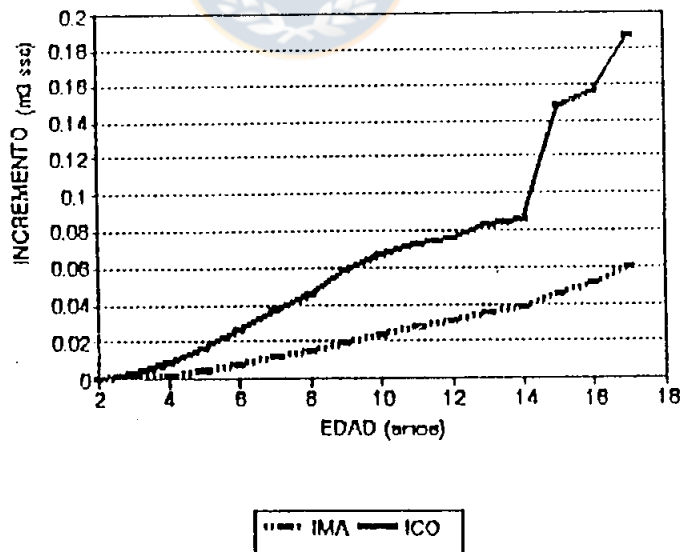


FIGURA 26. Crecimiento medio y crecimiento corriente promedio en volumen de árboles individuales de Pino radiata en el Rodal 3.

### 4.3. Funciones de crecimiento

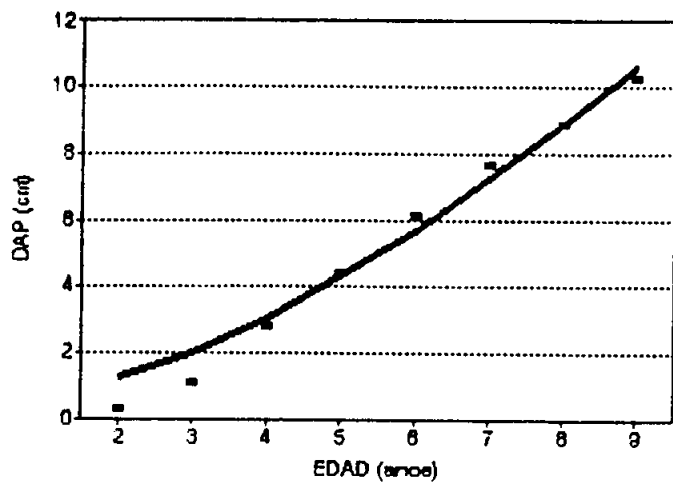
#### 4.3.1. Rodal 1

La Ecuación de Relaciones Polimórficas logró el mejor ajuste a los datos de crecimiento en DAP del Rodal 1. El promedio de las desviaciones al cuadrado de este modelo alcanzó un valor de 0,007 y el error cuadrático medio llegó a 1,58 % (Tabla 15). Las otras dos ecuaciones ajustadas presentan un comportamiento similar, sobreestimando en los primeros años y subestimando en el rango intermedio de datos (Figura 27).

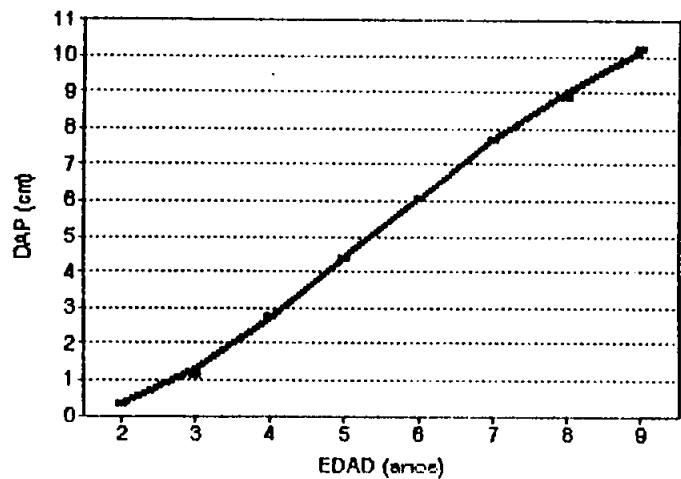
**TABLA 15. INDICADORES DE BONDAD DE AJUSTE DE LAS ECUACIONES DE CRECIMIENTO EN DAP DEL RODAL 1.**

ECUACION	PDC	ECM (%)
Gompertz	0,254	9,70
Relaciones Polimórficas	0,007	1,58
Mitscherlich	0,514	13,80

Al igual que en el caso del DAP la ecuación de Relaciones Polimórficas presentó los mejores indicadores de bondad de ajuste en la variable altura total (Tabla 16). Las dos ecuaciones restantes se comportan en forma similar,



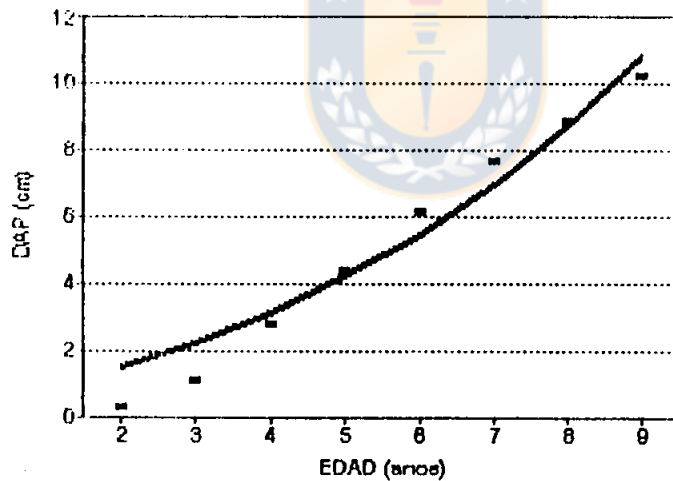
■ REAL — ESTIMADO



■ REAL — ESTIMADO

a)

b)



■ REAL — ESTIMADO

c)

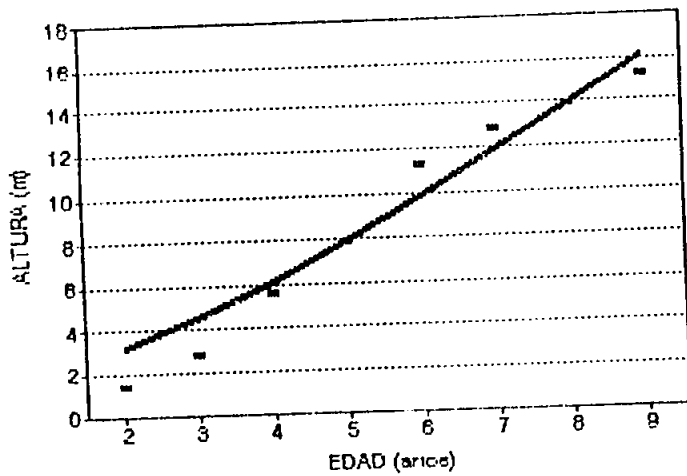
FIGURA 27.- Curvas de crecimiento promedio acumulado en DAP generado por las ecuaciones de : a ) Gompertz; b ) Relaciones Polimórficas y c) Mitscherlich, para el Rodal 1.

generando sobre y subestimaciones en diferentes secciones de la curva de crecimiento en altura total (Figura 28). La ecuación de Relaciones Polimórficas para esta variable logra un ECM de 3,61% y un PDC que se eleva a 0,1029.

**TABLA 16.- INDICADORES DE BONDAD DE AJUSTE DE LAS ECUACIONES DE CRECIMIENTO EN ALTURA TOTAL DEL RODAL 1.-**

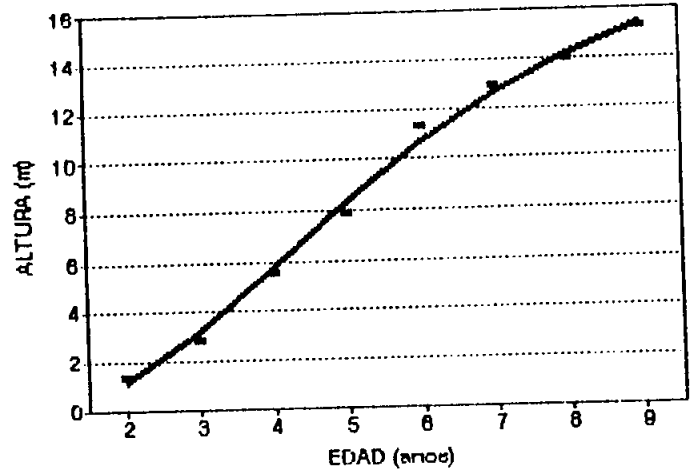
ECUACION	PDC	ECM (%)
Gompertz	1,287	12,77
Relaciones Polimórficas	0,103	3,61
Mirscherlich	1,801	15,11

En el caso de la variable área basal el mejor ajuste lo logra, al igual que en las variables anteriores, la ecuación de Relaciones Polimórficas. La Tabla 17 muestra los indicadores de bondad de ajuste de las tres ecuaciones analizadas y en esta es posible apreciar que el PDC es cercano a cero para los tres modelos; el ECM se presenta menor en la ecuación de Relaciones Polimórficas, llegando a un valor de 2,10%. En términos gráficos (Figura 29) es posible apreciar que la ecuación de Gompertz se ajusta mejor en esta variable, comparada con las variables DAP y altura total analizadas anteriormente.



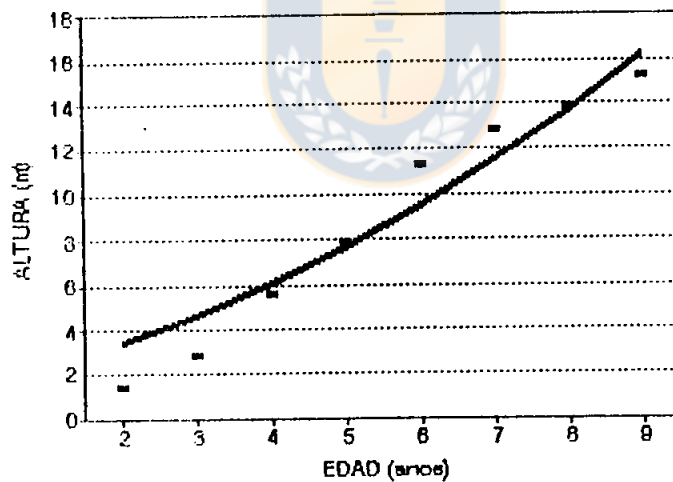
■ REAL — ESTIMADO

a)



■ REAL — ESTIMADO

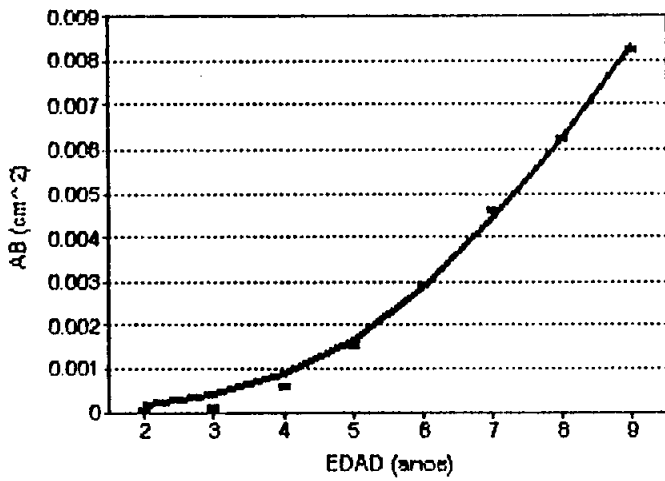
b)



■ REAL — ESTIMADO

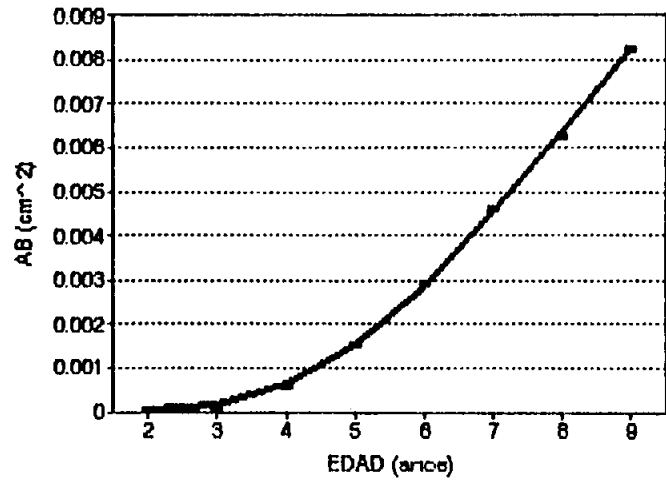
c)

FIGURA 28.- Curvas de crecimiento promedio acumulado en alturas generadas por las ecuaciones de : a) Gompertz; b) Relaciones Polimórficas ; y c) Mitscherlich, para el Rodal 1.



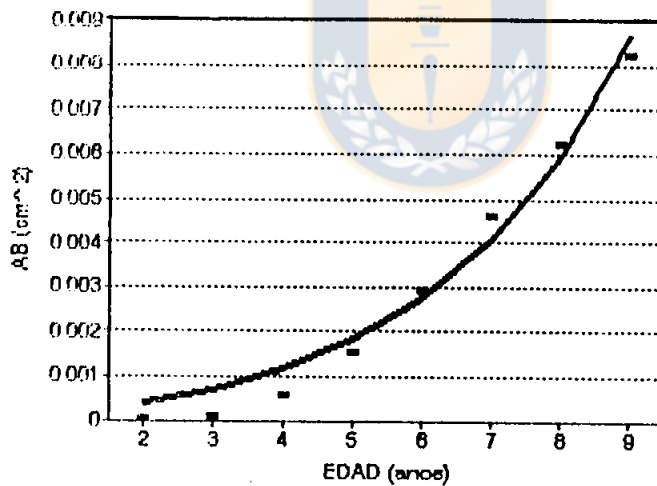
■ REAL — ESTIMADO

a)



■ REAL — ESTIMADO

b)



■ REAL — ESTIMADO

c)

FIGURA 29.- Curvas de crecimiento promedio acumulado en Area Basal generados por las ecuaciones de : a) Gompertz ; b) Relaciones Polimórficas ; y c) Mitscherlich, para el Rodal 1.

**TABLA 17.- INDICADORES DE BONDAD DE AJUSTE DE LAS ECUACIONES DE CRECIMIENTO EN AREA BASAL DEL RODAL 1.-**

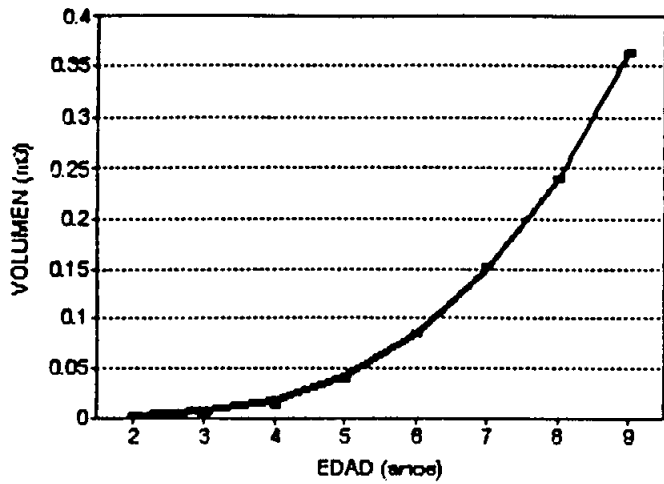
ECUACION	PDC	ECM (%)
Gompertz	0,000	5,72
Relaciones Polimórficas	0,000	2,10
Mitscherlich	0,000	14,27

En la variable volumen la ecuación de Gompertz mostró el mejor ajuste (Figura 30). El error cuadrático medio alcanzó para esta ecuación, un valor de 3,53%. No obstante, la ecuación de Relaciones Polimórficas también presentó un buen ajuste, comportándose en forma similar a la ecuación de Gompertz, pero con un ECM de 4,81 % (Tabla 18).

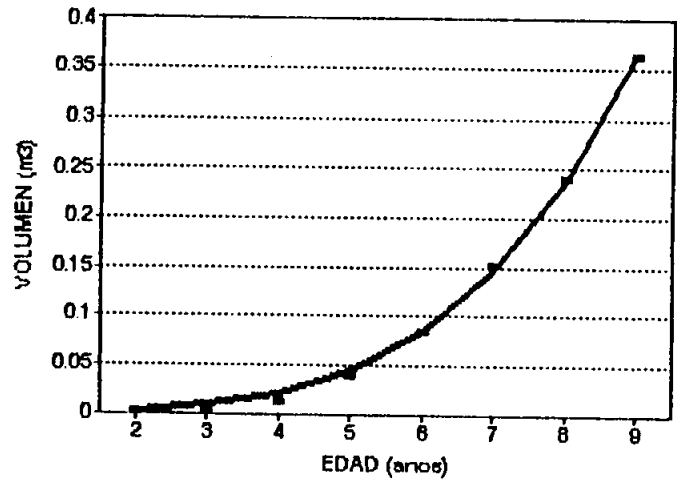
**TABLA 18.- INDICADORES DE BONDAD DE AJUSTE DE LAS ECUACIONES DE CRECIMIENTO EN VOLUMEN DEL RODAL 1.-**

ECUACION	PDC	ECM (%)
Gompertz	0,000	3,53
Relaciones Polimórficas	0,000	4,81
Mitscherlich	0,000	10,30





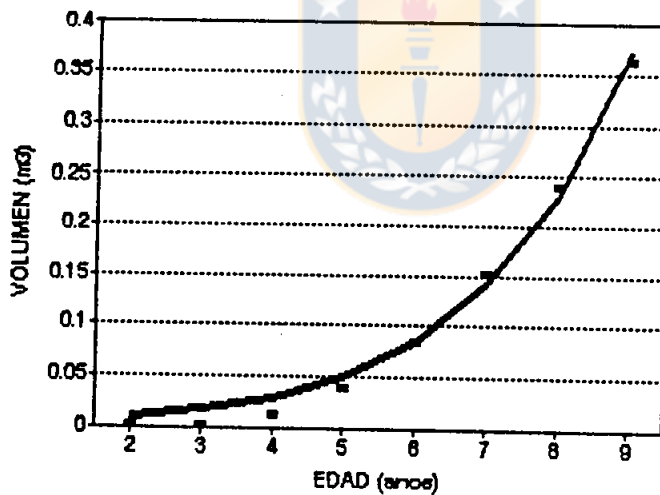
■ REAL    — ESTIMADO



■ REAL    — ESTIMADO

a)

b)



■ REAL    — ESTIMADO

c)

FIGURA 30.- Curvas de crecimiento promedio acumulado en volumen generadas por las ecuaciones de :  
 a) Gompertz ; b) Relaciones Polimórficas ;  
 y c) Mitscherlich, para el Rodal 1.

A continuación se presentan las ecuaciones seleccionadas para cada variable con sus respectivos coeficientes:

- Mejor ecuación estimadora del DAP

$$\text{DAP} = 14,09113 * (1 - \text{EXP}(-0,297105 * E)) ^ 4,5587$$

- Mejor ecuación estimadora de altura total

$$\text{ALTURA} = 18,81164 * (1 - \text{EXP}(-0,330989 * E)) ^ 3,854123$$

- Mejor ecuación estimadora de Area Basal

$$\text{AREA BASAL} = 0,0197 * (1 - \text{EXP}(-0,237854 * E)) ^ 7$$

- Mejor ecuación estimadora de volumen total

$$\text{VOLUMEN} = 3,51537 * \text{EXP}(-\text{EXP}(2,320652 - 0,166881 * E))$$

donde :

E = Edad años del rodal

EXP = e<sup>x</sup> (e = 2,718282)

#### 4.3.2. Rodal 2

Al igual que en el Rodal 1 la ecuación de Relaciones Polimórficas logró los mejores ajustes en las variables DAP, altura total y área basal, mientras que la ecuación de Gompertz fue la que se ajustó en mejor forma a la base de datos de la variable volumen del rodal 2.

En el caso del DAP la ecuación de Relaciones Polimórficas alcanzó un ECM de 2,89 % y un PDC de 0,058 (Tabla 19). En esta ecuación sólo el dato de los 3 años es sobreestimado apreciablemente (Figura 31).

TABLA 19.- INDICADORES DE BONDAD DE AJUSTE DE LAS ECUACIONES DE CRECIMIENTO EN DAP DEL RODAL 2.-

ECUACION	PDC	ECM (%)
Gompertz	0,959	11,71
Relaciones Polimórficas	0,058	2,89
Mitscherlich	1,842	16,23

La altura total a través del tiempo es estimada en forma más apropiada por la ecuación de Relaciones Polimórficas, con un ECM de 2,67 % y un PDC de 0,037 (Tabla 20). Gráficamente es posible apreciar que las dos ecuaciones restantes no logran ajustarse en forma adecuada a la base de datos, produciéndose sobre y subestimaciones claras en ciertos sectores de la curva de crecimiento acumulado (Figura 32).

**TABLA 20.- INDICADORES DE BONDAD DE AJUSTE DE LAS ECUACIONES DE CRECIMIENTO EN ALTURA TOTAL DEL RODAL 2.-**

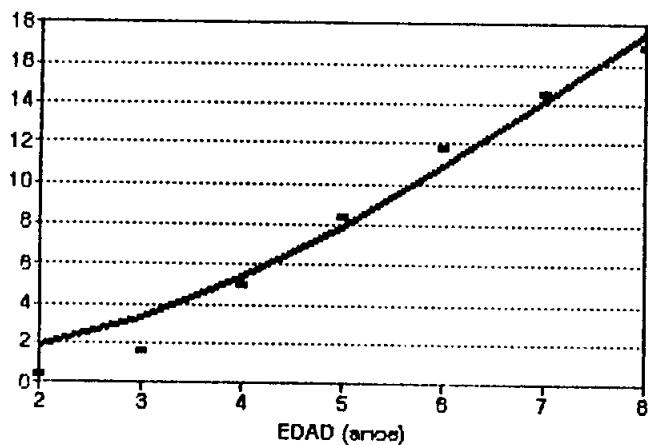
ECUACION	PDC	ECM (%)
Gompertz	0,683	11,41
Relaciones Polimórficas	0,037	2,67
Mitscherlich	0,950	13,46

La ecuación de Relaciones Polimórficas también logró un buen ajuste a los datos de área basal; esta ecuación generó un ECM de 3,03 % y un PDC cercano a cero (Tabla 21).

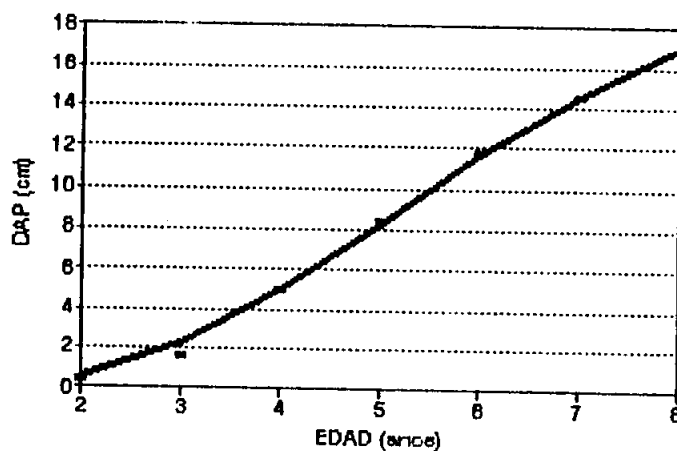
**TABLA 21- INDICADORES DE BONDAD DE AJUSTE DE LAS ECUACIONES DE CRECIMIENTO EN AREA BASAL DEL RODAL 2.-**

ECUACION	PDC	ECM (%)
Gompertz	0,000	7,31
Relaciones Polimórficas	0,000	3,03
Mitscherlich	0,000	16,37

Tanto la ecuación de Gompertz como la de Mitscherlich generan la forma de la curva de crecimiento en área basal, pero no logran situarse en la posición adecuada para describir el comportamiento de la curva de crecimiento real (Figura 33).



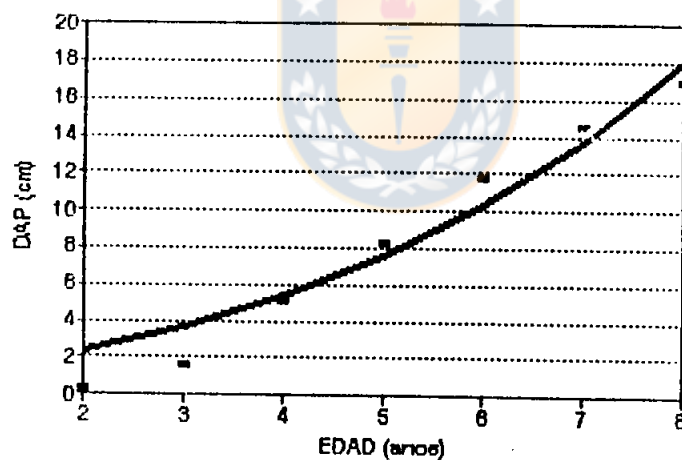
■ REAL    — ESTIMADO



■ REAL    — ESTIMADO

a)

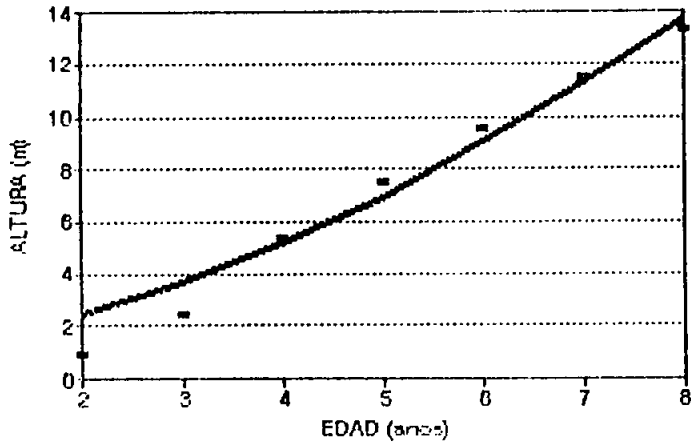
b)



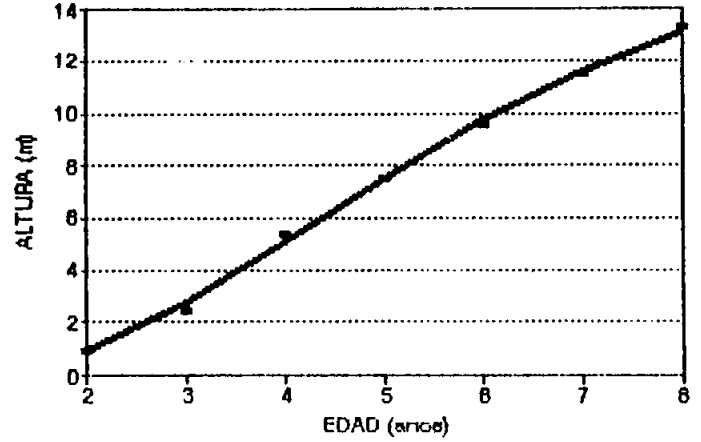
■ REAL    — ESTIMADO

c)

FIGURA 31.- Curvas de crecimiento promedio acumulado en DAP generadas por las ecuaciones de : a ) Gompertz ; b) Relaciones Polimórficas ; y c) Mitscherlich , para el Rodal 2.



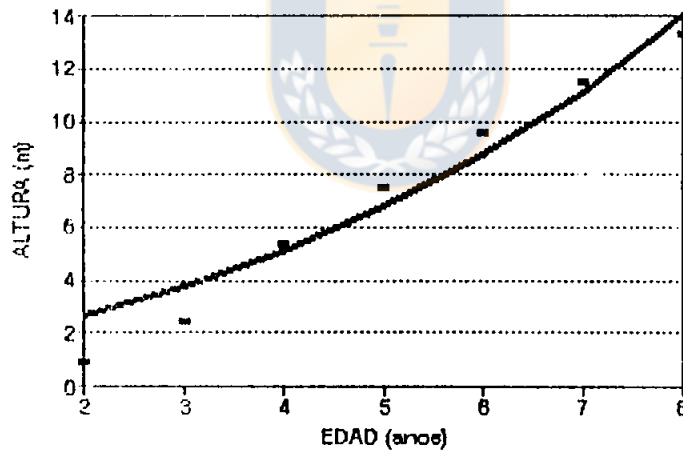
■ REAL    — ESTIMADO



■ REAL    — ESTIMADO

a)

b)



■ REAL    — ESTIMADO

c)

FIGURA 32.- Curvas de crecimiento acumulado en altura generadas por las ecuaciones de: a) Gompertz ; b) Relaciones Polimórficas ; y c) Mitscherlich, para el Rodal 2

Al igual que en el rodal 1 la ecuación de Gompertz logró el mejor ajuste en la variable volumen (Tabla 22). El ECM generado por esta ecuación llega a 5,31 % y el PDC es próximo a cero. El ajuste las ecuaciones de Relaciones Polimórficas y Mitscherlich es muy similar entre sí, sobreestimando en los primeros años (Figura 34).

**TABLA 22. INDICADORES DE BONDAD DE AJUSTE DE LAS ECUACIONES DE CRECIMIENTO EN VOLUMEN DEL RODAL 2.-**

ECUACION	PDC	ECM (%)
Gompertz	0,000	5,31
Relaciones Polimórficas	0,000	11,75
Mitscherlich	0,000	11,77

A continuación se presentan las ecuaciones escogidas para cada variable en el Rodal 2.

- Mejor Ecuación estimadora del DAP

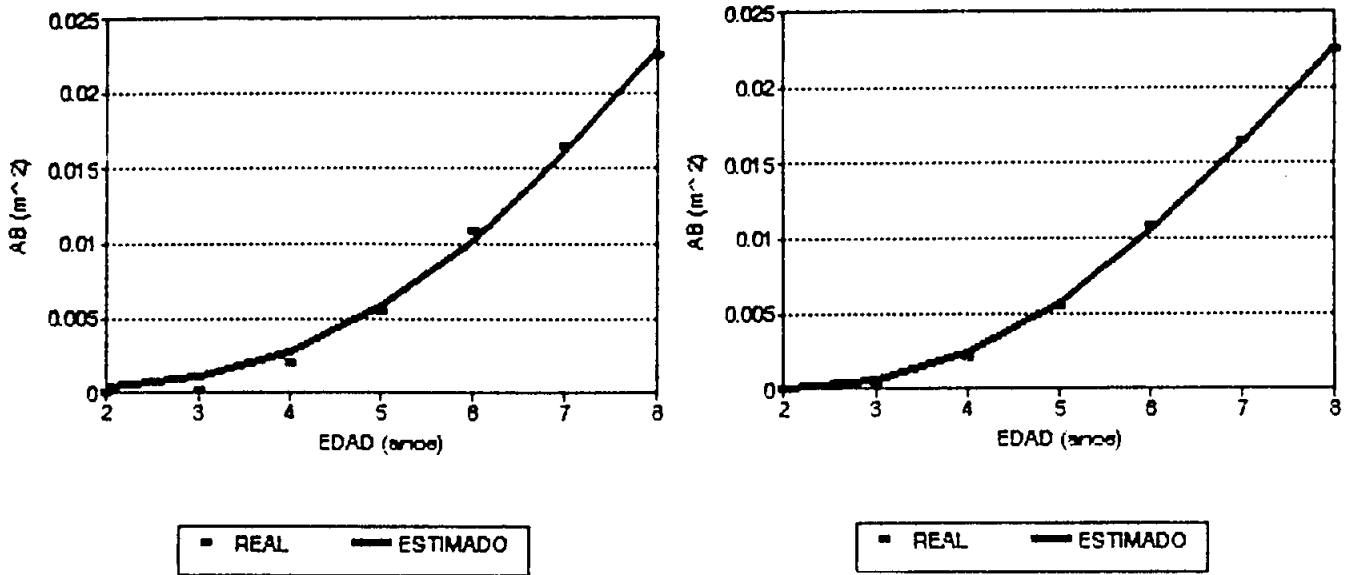
$$\text{DAP} = 24,64656 * (1 - \text{EXP}(-0,33974 * E)) ^ 35,42$$

- Mejor ecuación estimadora de altura total

$$\text{ALTURA} = 17,99693 * (1 - \text{EXP}(-0,321474 * E)) ^ 3,924$$

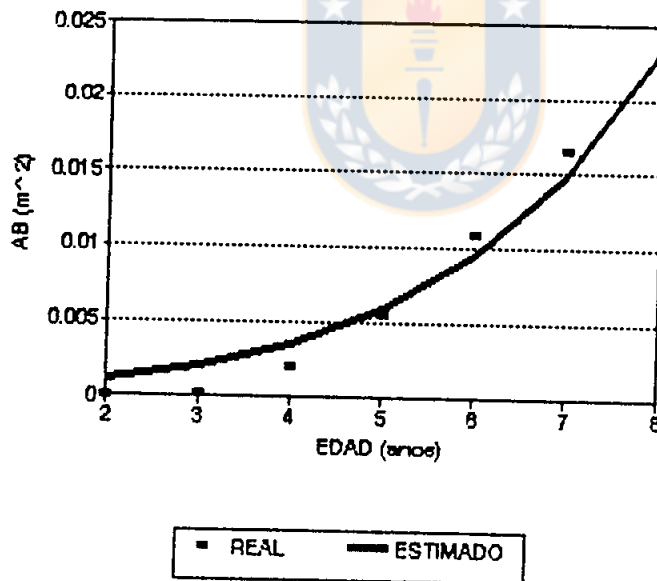
- Mejor ecuación estimadora de área basal

$$\text{AREA BASAL} = 0,057546 * (1 - \text{EXP}(-0,274973 * E)) ^ 7,95$$



a)

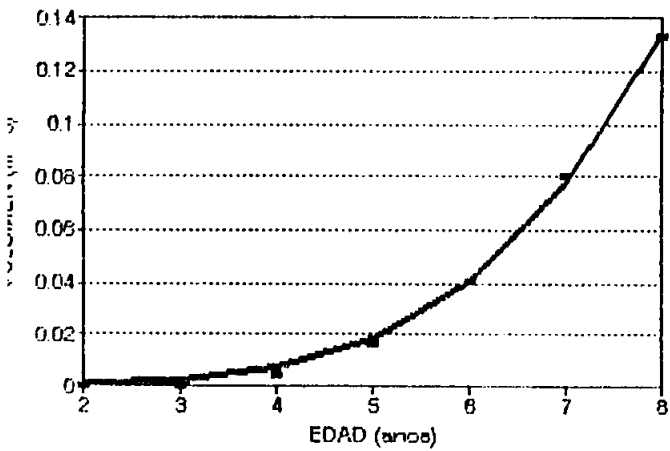
b)



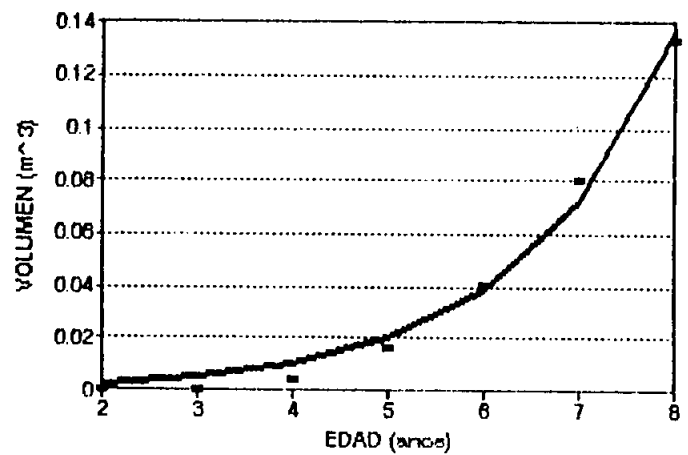
c)

FIGURA 33.- Curvas de crecimiento promedio acumulado en Area Basal generadas por las ecuaciones de :  
 a) Gompertz; b) Relaciones Polimórficas;  
 y c) Mitscherlich, para el Rodal 2.





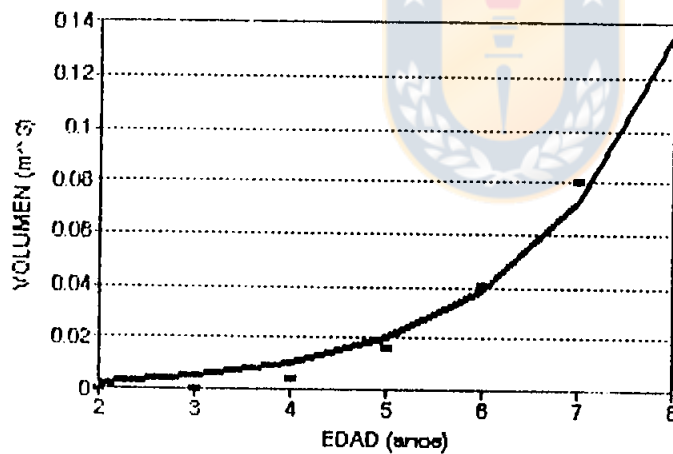
■ REAL    — ESTIMADO



■ REAL    — ESTIMADO

a)

b)



■ REAL    — ESTIMADO

c)

FIGURA 34.- Curvas de crecimiento acumulado en volumen generadas por las ecuaciones de: a) Gompertz; b) Relaciones Polimórficas; y c) Mitscherlich, para el Rodal 2.

- Mejor ecuación estimadora de volumen

$$\text{VOLUMEN} = 2,850308 * \text{EXP} (-\text{EXP} (2,444091 - 0,165974 * E))$$

donde :

E = Edad en años del rodal

$$\text{EXP} = e^x \quad (e = 2,718282)$$

#### 4.3.3. Rodal 3

La ecuación de Relaciones Polimórficas logró en este Rodal el mejor ajuste en las cuatro variables en análisis.

Para la variable DAP la ecuación señalada genera un ECM de 3,03 % y un PDC de 0,261 (Tabla 23). En términos gráficos la ecuación de Mitscherlich genera una recta que no logra captar la tendencia de los datos reales. La ecuación de Gompertz genera una curva muy similar a la de Relaciones Polimórficas, excepto por una sobreestimación de los valores reales en los primeros años (Figura 35).

TABLA 23.- INDICADORES DE BONDAD DE AJUSTE DE LAS ECUACIONES DE CRECIMIENTO EN DAP DEL RODAL 3.-

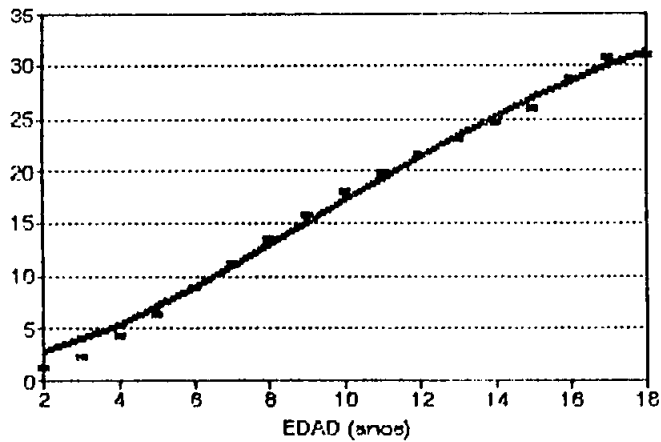
ECUACION	PDC	ECM (%)
Gompertz	0,640	4,74
Relaciones Polimórficas	0,261	3,03
Mitscherlich	2,082	8,54

La ecuación de Relaciones Polimórficas, logró el mejor ajuste para la variable altura total obteniéndose un ECM de 2,58 % y un PDC de 0,133 (Tabla 24). La ecuación de Mitscherlich, al igual que en el caso del DAP, genera una recta que no se ajusta a la base de datos (Figura 36).

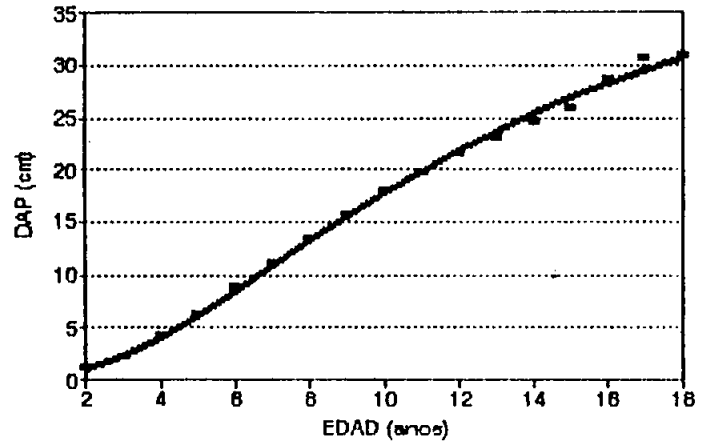
**TABLA 24.- INDICADORES DE BONDAD DE AJUSTE DE LAS ECUACIONES DE CRECIMIENTO EN ALTURA TOTAL DEL RODAL 3.-**

ECUACION	PDC	ECM (%)
Gompertz	0,555	5,27
Relaciones Polimórficas	0,1338	2,58
Mitscherlich	1,728	9,31

El error cuadrático medio generado por la ecuación de Relaciones Polimórficas para la variable área basal alcanzó un valor de 10,40%, mientras que el PDC es aproximadamente cero (Tabla 25). Es posible apreciar en la Figura 37 que el ajuste de la ecuación de Relaciones Polimórficas a los datos de área basal no es la mejor, produciéndose una subestimación sistemática a partir de los 7 años de edad y aumentando hasta los 18 años.



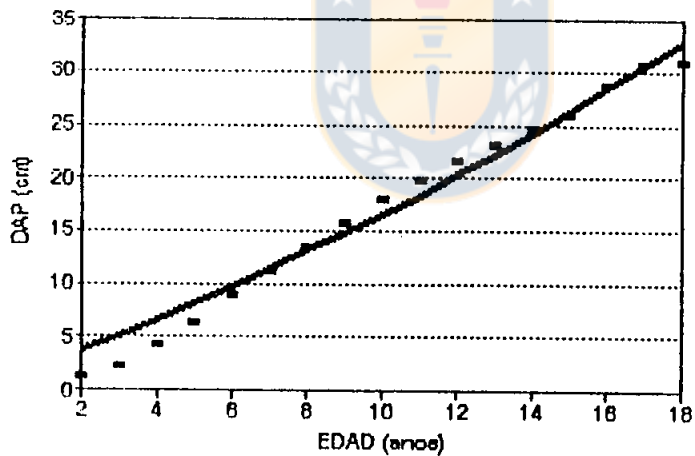
■ REAL    — ESTIMADO



■ REAL    — ESTIMADO

a)

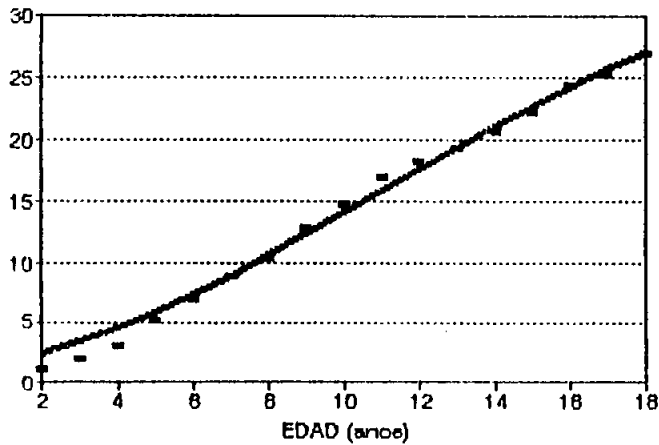
b)



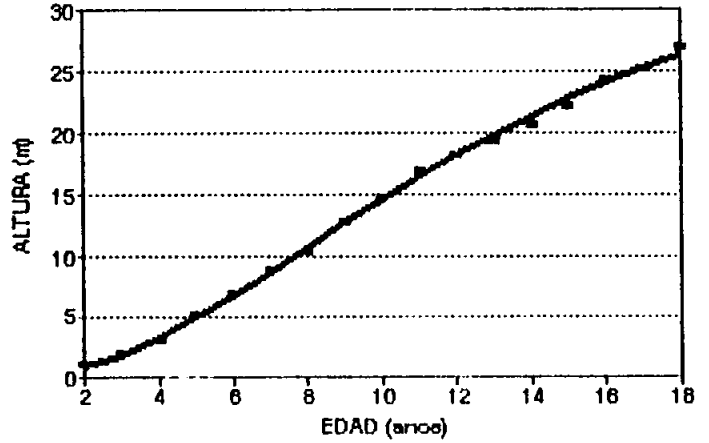
■ REAL    — ESTIMADO

c)

FIGURA 35.- Curvas de crecimiento promedio acumulado en DAP generadas por las ecuaciones para el Rodal 3 a) Gompertz; b) Relaciones Polimórficas; y c) Mitscherlich.



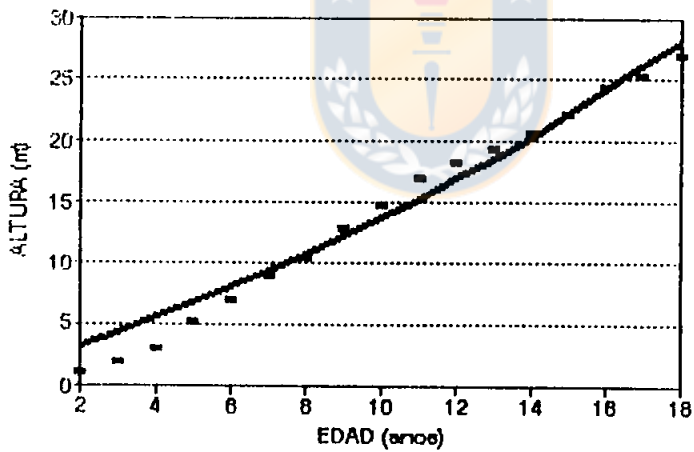
■ REAL    — ESTIMADO



■ REAL    — ESTIMADO

a)

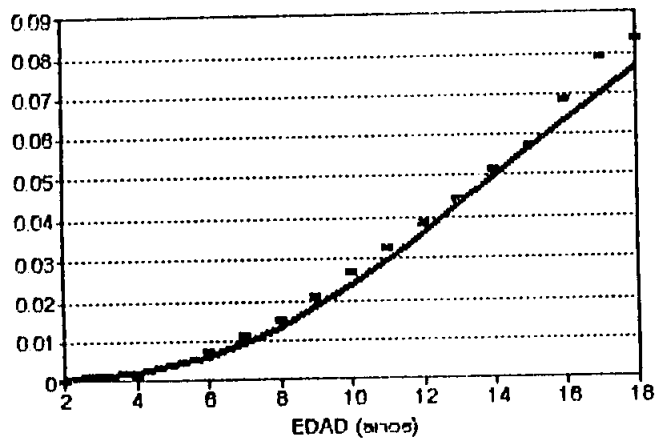
b)



■ REAL    — ESTIMADO

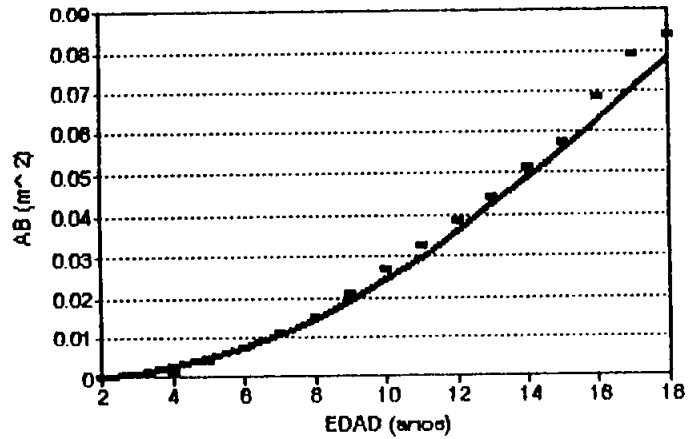
c)

FIGURA 36.- Curvas de crecimiento promedio acumulado en altura generadas por las ecuaciones para el Rodal 3 : a) Gompertz; b) Relaciones Polimórficas; y c) Mitscherlich.



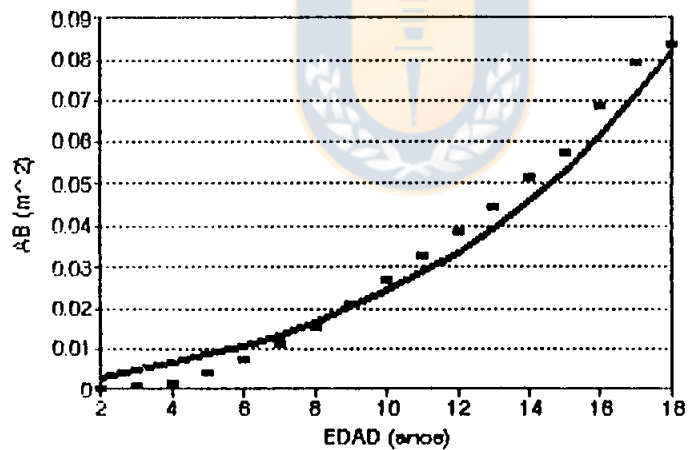
■ REAL    — ESTIMADO

a)



■ REAL    — ESTIMADO

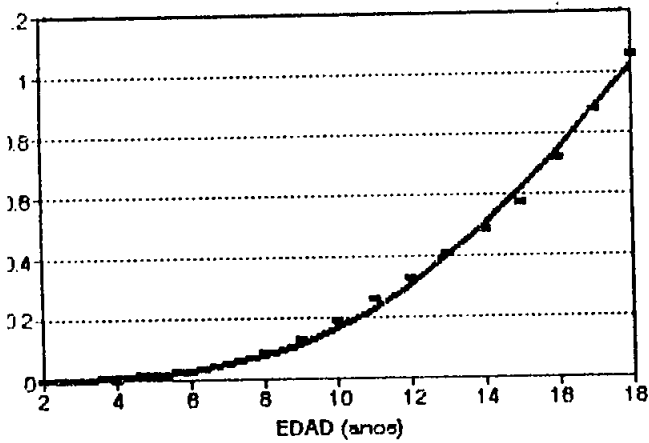
b)



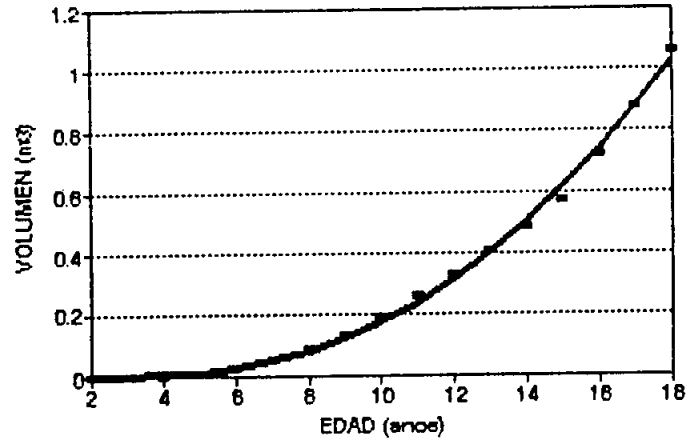
■ REAL    — ESTIMADO

c)

FIGURA 37.- Curvas de crecimiento promedio acumulado en área basal generadas por las ecuaciones para el Rodal 3 de : a) Gompertz; b) Relaciones Polimórficas y c) Mitscherlich.



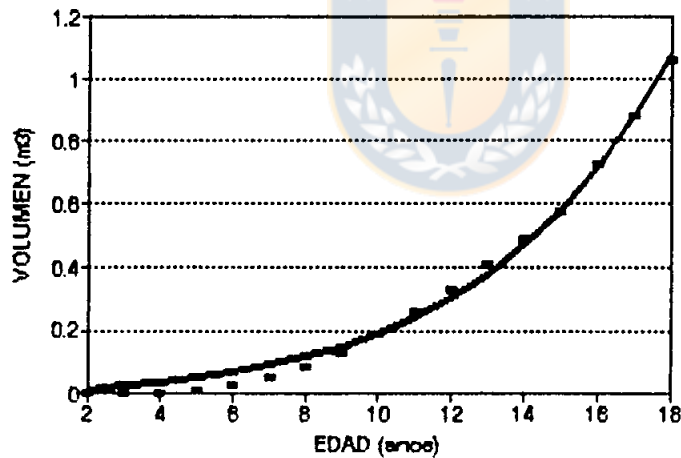
■ REAL — ESTIMADO



■ REAL — ESTIMADO

a)

b)



■ REAL — ESTIMADO

c)

FIGURA 38.- Curvas de crecimiento promedio acumulado en volumen generadas por las ecuaciones para el Rodal 3 de : a) Gompertz; b) Relaciones Polimórficas; y c) Mitscherlich.

**TABLA 25. INDICADORES DE BONDAD DE AJUSTE DE LAS ECUACIONES DE CRECIMIENTO EN AREA BASAL DEL RODAL 3.-**

ECUACION	PDC	ECM (%)
Gompertz	0,000	10,92
Relaciones Polimórficas	0,000	10,40
Mirscherlich	0,000	13,95

Las ecuaciones de Relaciones Polimórficas y de Gompertz logran un ajuste muy similar para la variable volumen (Figura 38); no obstante, los mejores indicadores de bondad de ajuste los presentó la ecuación de Relaciones Polimórficas, con un ECM 5,66 % y un PDC de 0,000 (Tabla 26).

**TABLA 26.- INDICADORES DE BONDAD DE AJUSTE DE LAS ECUACIONES DE CRECIMIENTO EN VOLUMEN DEL RODAL 3.-**

ECUACION	PDC	ECM (%)
Gompertz	0,000	6,62
Relaciones Polimórficas	0,000	5,66
Mitscherlich	0,000	8,14

A continuación se muestran las mejores ecuaciones estimadoras de cada variable en análisis en el rodal 3.



- Mejor ecuación estimadora del DAP

$$\text{DAP} = 39,17922 * (1 - \text{EXP}(-0,132739 * E)) ^ 2,55$$

- Mejor ecuación estimadora de Altura Total

$$\text{ALTURA} = 35,99313 * (1 - \text{EXP}(-0,11844 * E)) ^ 2,4581$$

- Mejor ecuación estimadora de Area Basal

$$\text{AREA BASAL} = 0,307037 * (1 - \text{EXP}(-0,055047 * E)) ^ 2,958$$

- Mejor ecuación estimadora de volumen

$$\text{VOLUMEN} = 10,93737 * (1 - \text{EXP}(-0,047455 * E)) ^ 14,2586$$

donde :

E = Edad en años del rodal

EXP =  $e^x$  (e = 2,718282)



## V. CONCLUSIONES

1. De acuerdo a :  $R^2$  ajustado, error estándar de estimación, error cuadrático medio, diferencia agregada y análisis de residuos, las funciones locales de volumen sólido sin corteza hasta un índice de utilización de 5 cm, que mejor se ajustan son :

- En el rodal de nueve años de edad

$$\ln V = -12,386962 + 3,370625 \text{ DAP}^{0,5} - 0,331387 \left( \frac{\text{DAP}^2}{\text{DAP}+10} \right)$$

$$8 < \text{DAP} < 28$$

$$r^2 = 0,9476$$

$$\text{ECM} = 10,78\%$$

En el rodal de ocho años de edad

$$V = -0,014898 + 0,000541 \text{ DAP}^2 - 5,827184 \cdot 10^{-6} \text{ DAP}^3$$

$$8 < \text{DAP} < 33$$

$$r^2 = 0,9849$$

$$\text{ECM} = 7,34\%$$

### En el rodal de diez y ocho años de edad

$$V = -0,458916 + 0,037034 \text{ DAP} + 4,4402901 * 10^{-6} \text{ DAP}^3$$

$$13 < \text{DAP} < 58$$

$$r^2 = 0,9762$$

$$\text{ECM} = 9,83\%$$

donde :

V = Volumen sólido sin corteza hasta un índice de utilización de 5 cm (m<sup>3</sup>).

Ln V = Logaritmo natural del volumen sólido sin corteza, hasta un índice de utilización de 5 cm (m<sup>3</sup>).

DAP = Diámetro a 1,3 m sobre el suelo con corteza (cm).

2. Considerando los incrementos medios anuales y los incrementos corrientes de los rodales estudiados, se observa que el rodal de nueve años alcanzó su máximo incremento medio anual en altura total entre los cinco y seis años de edad y no así en DAP, área basal y volumen. Además, alcanzó su máximo incremento corriente en DAP y altura total a los cinco años de edad, pero aún no ha alcanzado su máximo incremento anual en área basal y volumen.

El rodal de ocho años aún no presenta sus incrementos medios anuales máximos en DAP, altura total, área basal y volumen. Alcanzó su incremento corriente máximo en altura total, no así en DAP, área basal y volumen.

El rodal de diez y ocho años alcanzó sus incrementos medios anuales máximos en DAP, a los diez años, en altura total a los once años y en área basal a los diez y siete años, no alcanzando aún su máximo incremento corriente en volumen. Alcanzó su incremento corriente máximo en DAP, a los cinco años, en altura total a los ocho años, en área basal a los diez y seis años, pero aún no alcanza su máximo incremento corriente anual en volumen.

3. Las ecuaciones de crecimiento teóricas que lograron los mejores ajustes a los rodales estudiados, son :

- En el rodal 1 la Ecuación de Relaciones Polimórficas en las variables DAP, altura total y área basal . La Ecuación de Gompertz en la variable volumen.

- En el rodal 2 la Ecuación de Relaciones Polimórficas, al igual que el rodal 1, logró los mejores ajustes en las variables DAP, altura total y área basal, mientras que la Ecuación de Gompertz el volumen.

- En el rodal 3 la Ecuación de Relaciones Polimórficas logró los mejores ajustes en todas las variables en análisis (DAP, altura total, área basal y volumen).



## VI RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivos construir tres funciones locales de volumen, determinar el patrón de crecimiento de árboles individuales y ajustar modelos teóricos de crecimiento para tres rodales de Pinus radiata D. Don, de ocho, nueve y diez y ocho años de edad, ubicados en la precordillera andina de la provincia de Ñuble, VIII Región, Chile.

En la primera parte del estudio, se construyó una función local de volumen sólido sin corteza hasta un índice de utilización de 5 cm . Se probaron veinte modelos de regresión y se seleccionó aquél que entregó la mejor bondad de ajuste, en base a los siguientes estadígrafos: error estándar de estimación,  $R^2$  ajustado, error cuadrático medio y diferencia agregada.

Para determinar el patrón de crecimiento de los tres rodales de Pinus radiata D. Don, se construyeron curvas de crecimiento acumulado en DAP, altura total, área basal y volumen y además curvas de incremento corriente e incremento medio anual para estos parámetros.

El ajuste de ecuaciones teóricas de crecimiento se realizó a través del método de mínimos cuadrados para curvas no lineales y no reducibles a la forma lineal. Las mejores ecuaciones para cada parámetro fueron : Para el rodal 1 y 2 la Ecuación de Relaciones Polimórficas en la predicción del DAP, altura total y área basal, y la de Gompertz para la predicción del volumen. Para el rodal 3, la Ecuación de Relaciones Polimórficas fué la mejor para el DAP, altura total, área basal y volumen.



## SUMMARY

The objectives of this study were to fit three local functions of volume, to determine the patterns of growth of individual trees and to adjust theoretical growth equations, in three stands of Pinus radiata D. Don of eight, nine and eighteen year-old located in the precordillera andina in the province of Ñuble, VIII Region, Chile.

First, was fitted a function local of volume solid inside bark up to diameter stem of 5 cm. Twenty regression models were tested and was selected the best evaluating the goodness of fit for each following model by :  $R^2$  adjust, standar error of the estimate, quadratic error mean and aggregate difference.

To determine the pattern of growth of three stands trees of Pinus radiata D. Don were drawn curves of growth in DBH, height, basal area and volume and, moreover, curves of current increment and mean annual increment for these parameters.

The fit of theoretical growth equations was made using the method of least squares for nonlinear equations and no



reducibles to linear equations. The best equations for each parameter were : the Relations Polimorficals equation in prediction of DBH, total heighth and basal area for Stand 1 and 2, and the Gompertz for prediction of volume. The Relations Polimorficals equation was the best for the DBH total heighth, basal area and volume for Stand 3.



## VII. BIBLIOGRAFIA

1. Alder, H., Figueroa, F. y P. Cornejo. 1980. Cálculo Numérico. Universidad de Concepción. Inst. Mat. Concepción, Chile.
2. Almeyda, E. 1958. Recopilación de Datos Climáticos de Chile. Minist. de Agricultura. Santiago. Chile.
3. Cailliez, F. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Estudio FAO Montes Nro.22.
4. CORMA. 1994. Documento técnico Chile país forestal. Corporación chilena de la madera. Santiago, Chile.
5. Emanuelli, P., 1991. Funciones locales de volumen y ecuaciones de crecimiento para un rodal de Pino Oregon (*Pseudotsuga menziesii* (mirb.) Franco) establecidos en la precordillera andina de la Provincia de Bío Bío. Tesis de Grado. Universidad de Concepción. Fac. Cs. Agronom., Vet., For., Dep. Cs. For. Chillán, Chile.

6. Freese, F., 1960, Testing accuracy. For. Sci. 6:139-145.
7. Gujarati, D., 1981, Econometria básica. Mc. Graw-Hill Latinoamericana S.A. Bogotá, Colombia.
8. Husch., B, CH. I. Miller and T.W. Beers. 1972, Forest mensuration. The Ronald Press Company, New York, USA.
9. Novoa, R., y Villaseca, S.. 1989 Mapa agroclimático de Chile. INIA. Santiago, Chile.
10. Snedecor, G.W., W.G.Cochran. 1981. Métodos estadísticos. Compañía Editorial Continental. México.
11. Sweda, T. 1984. Theoretical growth equations and their applications in forestry. Bull. Nagoya Univ. Forests. (7): 199-260.
12. Unda, A. y F. Ravera. 1994. Análisis histórico de sitios de establecimiento de las plantaciones forestales en Chile. Instituto forestal, Unidad de Medio Ambiente. Santiago, Chile.

13. Sprinz, P.T., C.B. Talbert and M.R. Strub. 1989. Height-Age Trends from an Arkansas Seeds Source Study. For. Sci. 35: 677-691.
14. Vallejos, S.J. 1979. Un método para evaluar la exactitud de la función de volumen. Informe Técnico Nro.75. INFOR/CORFO. Santiago, Chile.



## VIII. APENDICE



TABLA 1 A. VALORES DE CRECIMIENTO PROMEDIO EN LOS PARAMETROS CONSIDERADOS EN LA DETERMINACION DE CRECIMIENTO CORRIENTE Y MEDIO ANUAL DEL RODAL 1.

EDAD (años)	DAP MEDIO (cm)	AREA BASAL MEDIA (m <sup>2</sup> )	ALTURA MEDIA (m)	VOLUMEN MEDIO (m <sup>3</sup> ssc)
2	0,39	0,000012	0,93	0,000028
3	1,61	0,000204	2,45	0,000531
4	5,03	0,001983	5,38	0,004251
5	8,34	0,005459	7,58	0,016106
6	11,76	0,010866	9,53	0,040875
7	14,52	0,016569	11,51	0,080042



TABLA 2 A. VALORES DE CRECIMIENTO PROMEDIO EN LOS PARAMETROS CONSIDERADOS EN LA DETERMINACION DE CRECIMIENTO CORRIENTE Y MEDIO ANUAL DEL RODAL 2.

EDAD (años)	DAP MEDIO (cm)	AREA BASAL MEDIA (m <sup>2</sup> )	ALTURA MEDIA (m)	VOLUMEN MEDIO (m <sup>3</sup> ssc)
2	0,33	0,000008	1,34	0,000133
3	1,12	0,000099	2,89	0,002488
4	2,78	0,000609	5,56	0,011508
5	4,39	0,001516	7,92	0,038645
6	6,12	0,002940	11,28	0,085680
7	7,66	0,004614	12,88	0,152441
8	8,92	0,006245	13,96	0,239076
9	10,25	0,008247	15,23	0,364025



TABLA 3 A. VALORES DE CRECIMIENTO PROMEDIO EN LOS PARAMETROS CONSIDERADOS EN LA DETERMINACION DE CRECIMIENTO CORRIENTE Y MEDIO ANUAL DEL RODAL 3.

EDAD (años)	DAP MEDIO (cm)	AREA BASAL MEDIA (m <sup>2</sup> )	ALTURA MEDIA (m)	VOLUMEN MEDIO (m <sup>3</sup> ssc)
2	1,20	0,000110	1,18	0,000340
3	2,34	0,000490	2,03	0,000800
4	4,24	0,001560	3,09	0,003500
5	6,46	0,003830	5,24	0,012170
6	8,93	0,007210	7,08	0,027950
7	11,36	0,011190	8,88	0,054890
8	13,47	0,015450	10,58	0,090750
9	15,72	0,020650	12,90	0,135380
10	17,98	0,026680	14,77	0,193180
11	19,84	0,032680	16,97	0,259940
12	21,59	0,039000	18,31	0,332330
13	23,08	0,044890	19,39	0,407340
14	24,64	0,051520	20,78	0,489860
15	25,91	0,057330	22,19	0,575210
16	28,61	0,068750	24,40	0,722700
17	30,67	0,078960	25,28	0,877480
18	31,07	0,083630	27,08	1,064080



TABLA 4 A. INCREMENTOS MEDIOS ANUALES DETERMINADOS A PARTIR DE ANALIS FUSTALES DE 8 ARBOLES MUESTRA DEL RODAL 1

EDAD (años)	DAP (cm)	AREA BASAL (m <sup>2</sup> )	ALTURA (m)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> ssc)
3	0,37	0,000033	0,97	0,000829
4	0,69	0,000152	1,39	0,002877
5	0,88	0,000303	1,58	0,007729
6	1,10	0,000490	1,88	0,014280
7	1,10	0,000659	1,84	0,021777
8	1,11	0,000781	1,74	0,029885
9	1,14	0,000916	1,69	0,040447



TABLA 5 A. INCREMENTOS MEDIOS ANUALES DETERMINADOS A PARTIR DE ANALIS FUSTALES DE 8 ARBOLES MUESTRA DEL RODAL 2

EDAD (años)	DAP (cm)	AREA BASAL (m <sup>2</sup> )	ALTURA (m)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> ssc)
2	0,54	0,000068	0,82	0,000177
3	1,26	0,000496	1,35	0,001063
4	1,67	0,001092	1,52	0,003221
5	1,96	0,001811	1,59	0,006813
6	2,07	0,002367	1,64	0,011435
7	2,11	0,002808	1,66	0,016683



**TABLA 6 A. INCREMENTOS MEDIOS ANUALES DETERMINADOS A PARTIR DE ANALIS FUSTALES DE 8 ARBOLES MUESTRA DEL RODAL 3**

EDAD (años)	DAP (cm)	AREA BASAL (m <sup>2</sup> )	ALTURA (m)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> ssc)
3	0,78	0,000165	0,68	0,000267
4	1,06	0,000390	0,77	0,000875
5	1,29	0,000765	1,05	0,002434
6	1,49	0,001202	1,18	0,004658
7	1,62	0,001599	1,27	0,007841
8	1,68	0,001932	1,32	0,011343
9	1,75	0,002295	1,43	0,015042
10	1,80	0,002268	1,48	0,019318
11	1,80	0,002971	1,54	0,023631
12	1,80	0,000325	1,53	0,027694
13	1,78	0,003453	1,49	0,031334
14	1,76	0,000368	1,48	0,034990
15	1,73	0,003822	1,48	0,038347
16	1,79	0,004297	1,52	0,045169
17	1,80	0,004644	1,49	0,051616
18	1,73	0,004646	1,50	0,059116

TABLA 7 A. INCREMENTOS CORRIENTES DETERMINADOS A PARTIR DE ANALIS FUSTALES DE 8 ARBOLES MUESTRA DEL RODAL 1

EDAD (años)	DAP (cm)	AREA BASAL (m <sup>2</sup> )	ALTURA (m)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> ssc)
3	0,79	0,000090	1,55	0,002355
4	1,66	0,000510	2,66	0,009020
5	1,61	0,000907	2,37	0,027137
6	1,72	0,001424	3,36	0,047035
7	1,55	0,001674	1,60	0,066761
8	1,25	0,001631	1,08	0,086635
9	1,33	0,002002	1,27	0,124949



**TABLA 8 A. INCREMENTOS CORRIENTES DETERMINADOS A PARTIR DE ANALIS FUSTALES DE 8 ARBOLES MUESTRA DEL RODAL 2**

EDAD (años)	DAP (cm)	AREA BASAL (m <sup>2</sup> )	ALTURA (m)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> ssc)
2	1,22	0,000192	1,52	0,000503
3	3,41	0,001779	2,93	0,003720
4	3,31	0,003476	2,20	0,011855
5	3,42	0,005407	1,95	0,024769
6	2,76	0,005703	1,97	0,039167
7	2,39	0,005895	1,79	0,053418



**TABLA 9 A. INCREMENTOS CORRIENTES DETERMINADOS A PARTIR DE ANALIS FUSTALES DE 8 ARBOLES MUESTRA DEL RODAL 3**

EDAD (años)	DAP (cm)	AREA BASAL (m <sup>2</sup> )	ALTURA (m)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> ssc)
3	1,14	0,000381	0,85	0,000457
4	1,91	0,001067	1,06	0,002701
5	2,21	0,002266	2,15	0,008669
6	2,47	0,003387	1,84	0,015775
7	2,42	0,003978	1,81	0,026940
8	2,11	0,004261	1,69	0,035863
9	2,25	0,005199	2,32	0,044633
10	2,26	0,006031	1,87	0,057799
11	1,86	0,005994	2,19	0,066759
12	1,75	0,006323	1,34	0,072388
13	1,49	0,005888	1,08	0,075019
14	1,56	0,006635	1,39	0,082515
15	1,27	0,005801	1,41	0,085348
16	2,70	0,011428	2,21	0,147494
17	2,06	0,010202	0,88	0,154780
18	0,40	0,004670	1,79	0,186600

**TABLA 10 A. COEFICIENTES DE REGRESION OBTENIDOS EN EL AJUSTE DE MODELOS PARA CADA UNO DE LOS RODALES EN EL CRECIMIENTO EN DAP, AB, VOLUMEN Y ALTURA**

- Ecuación de Gompertz :

DAP	d	B	P
Rodal 1	47,50433	0,196868	1,57046
Rodal 2	24,82967	0,179792	1,463418
Rodal 3	41,67115	0,139485	1,26624

AB	d	B	P
Rodal 1	0,082777	0,241042	2,181073
Rodal 2	0,027832	0,211247	2,090382
Rodal 3	0,132217	0,142789	1,972278

Volumen	d	B	P
Rodal 1	2,850309	0,165974	2,444091
Rodal 2	3,515370	0,166881	2,320652
Rodal 3	3,706846	0,109980	2,229664

Altura	d	B	P
Rodal 1	49,20115	0,141867	1,378656
Rodal 2	37,05945	0,153109	1,199471
Rodal 3	39,49239	0,123232	1,255303

TABLA 11 A. COEFICIENTES DE REGRESION OBTENIDOS EN EL AJUSTE DE MODELOS PARA CADA UNO DE LOS RODALES EN EL CRECIMIENTO EN DAP, AB, VOLUMEN Y ALTURA

- Ecuación de Mitscherlich

DAP	d	B	L
Rodal 1	-2,84804	-0,23306	1,136059
Rodal 2	-2,43723	-0,17433	1,135400
Rodal 3	-45,3993	-0,02901	1,022027

AB	d	B	L
Rodal 1	-0,00074	-0,4335	1,015585
Rodal 2	-0,00036	-0,35511	1,023731
Rodal 3	-0,00937	-0,12587	1,010675

Volumen	d	B	L
Rodal 1	-2,87245	-0,18622	1,323417
Rodal 2	-6,6411	-0,11706	1,202075
Rodal 3	-23,1504	-0,04151	1,050971

Altura	d	B	L
Rodal 1	-0,00094	-0,61915	1,030056
Rodal 2	-0,00488	-0,47989	1,027229
Rodal 3	-0,02981	-0,20046	1,010064



TABLA 12 A. COEFICIENTES DE REGRESION OBTENIDOS EN EL AJUSTE DE MODELOS PARA CADA UNO DE LOS RODALES EN EL CRECIMIENTO EN DAP, AB, VOLUMEN Y ALTURA

- Ecuación de Relaciones Polimórficas

DAP	d	B	U
Rodal 1	24,64656	0,33974	5,42
Rodal 2	14,09113	0,297105	4,5587
Rodal 3	39,17922	0,132739	2,55

AB	d	B	U
Rodal 1	0,057546	0,274973	7,95
Rodal 2	0,0197	0,237854	7
Rodal 3	0,307037	0,055047	2,958

Volumen	d	B	U
Rodal 1	-0,00097	-0,6188	1
Rodal 2	-1,78645	-0,05151	3
Rodal 3	10,93737	0,047455	4,2586

Altura	d	B	U
Rodal 1	17,99693	0,321474	3,924
Rodal 2	18,81164	0,330989	3,854123
Rodal 3	35,99313	0,11844	2,4581

