

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
Depto. Manejo de Bosques y Medio Ambiente



EFFECTO DEL TIPO DE PRADERA Y DE LA DENSIDAD DE RODAL SOBRE EL
AHUSAMIENTO DE Pinus radiata D. Don CRECIENDO EN UN ENSAYO
SILVOPASTORAL

Por

MAURICIO ALBERTO FIERRO SURA

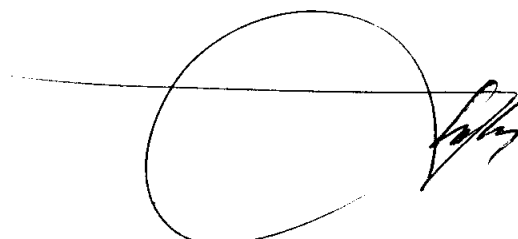
MEMORIA DE TITULO PRESENTADA
A LA FACULTAD DE CIENCIAS
FORESTALES DE LA UNIVERSIDAD
DE CONCEPCION PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO FORESTAL.

CONCEPCION - CHILE

1996

EFFECTO DEL TIPO DE PRADERA Y DE LA DENSIDAD DE RODAL SOBRE EL
AHUSAMIENTO DE Pinus radiata D. Don CRECIENDO EN UN ENSAYO
SILVOPASTORAL

Profesor Asesor



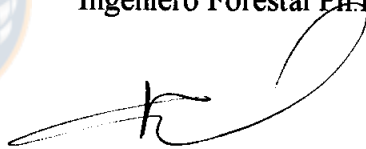
.....
Jorge Cancino Cancino
Profesor Asistente
Ingeniero Forestal

Profesor Asesor



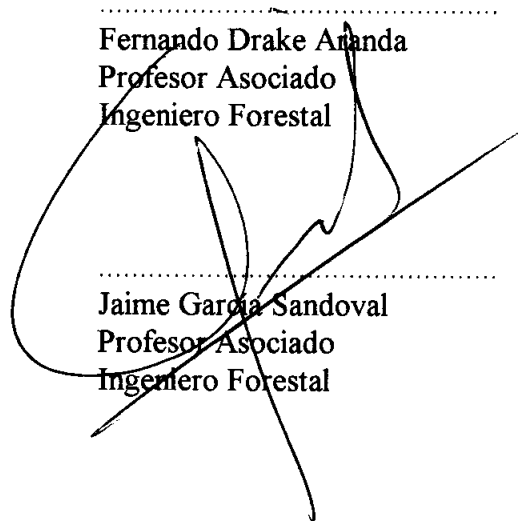
.....
Miguel Espinosa Bancalari
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal Ph.D.

Director de Departamento Manejo de
Bosques y Medio Ambiente

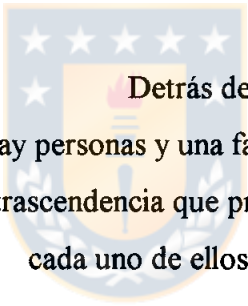


.....
Fernando Drake Aranda
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal

Decano Facultad de
Ciencias Forestales



.....
Jaime García Sandoval
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal



Detrás de este trabajo hay más que una tesis,
hay personas y una familia, que me apoyaron irrestrictos
en convicción de la trascendencia que presenta culminar mi labor, a todos y
cada uno de ellos les dedico la más noble reverencia.



A Dios y a mis Padres

INDICE DE MATERIAS

CAPITULO		PAGINA
I	INTRODUCCION	1
II	REVISION BIBLIOGRAFICA	3
III	MATERIALES Y METODO	6
	3.1 Materiales	6
	3.2 Métodos	8
IV	RESULTADOS Y DISCUSION	15
	4.1 Efecto del tipo de pradera sobre el ahusamiento de pino radiata	19
	4.1.1 Efecto del tipo de pradera en densidad inicial de 625 árb/ha ...	19
	4.1.2 Efecto del tipo de pradera en densidad inicial de 1000 árb/ha .	22
	4.2 Efecto de la densidad sobre el ahusamiento de pino radiata	24
	4.3 Ahusamiento en rodales silvopastoral y tradicional	27
V	CONCLUSIONES	30
VI	RESUMEN	31
	SUMMARY	32
VII	BIBLIOGRAFIA	32
VIII	APENDICE	35

INDICE DE TABLAS

TABLA N°		PAGINA
	<u>En el texto</u>	
1	Tratamientos silvopastorales establecidos en el CEF Tanumé, VI Región	7
2	Características de la muestra obtenida en el CEF Tanumé, VI Región	8
3	Grupos de tratamientos a los cuales se les aplicó la prueba F de comparación de funciones	12
4	Parámetros estimados para cada modelo ajustado a cada tratamiento en el CEF Tanumé, VI Región	16
5	Indices de la estimación del diámetro s.c. con los modelos ajustados a los tratamientos del CEF Tanumé, VI Región	17
6	Parámetros y estadísticos del modelo Gouldin y Murray (1976) para la agrupación de tratamientos con densidad 625 árb/ha en el CEF Tanumé, VI Región	20
7	Valores muestrales y críticos para las pruebas de Bartlett y F para la agrupación de tratamientos con densidad 625 árb/ha en el CEF Tanumé, VI región	20
8	Parámetros y estadísticos del modelo Goulding y Murray (1976) para la agrupación de tratamientos con densidad 740 árb/ha en el CEF Tanumé, VI Región	23
9	Valores muestrales para las pruebas de Bartlett y F aplicadas a la agrupación de tratamientos con densidad 740 árb/ha en el CEF Tanumé, VI Región	23
10	Parámetros y estadísticos del modelo Goulding y Murray (1976) para la agrupación de tratamientos de pradera sembrada y pradera natural en el CEF Tanumé, VI Región	25

11	Valores muestrales para las pruebas de Bartlett y F para la agrupación de tratamientos de pradera sembrada y natural en el CEF Tanumé, VI Región	25
12	Parámetros y estadísticos del modelo Goulding y Murray (1976) para la agrupación de tratamientos con distinto manejo en el CEF Tanumé, VI Región	28
13	Valores muestrales para las pruebas de Bartlett y F para la agrupación de tratamientos con distinto manejo en el CEF Tanumé, VI Región ...	28



INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		PAGINA
	<u>En el texto</u>	
1	Esquema de distribución espacial de los árboles dentro del área silvopastoral establecido en el CEF Tanumé, VI Región	7
2	Curvas de ahusamiento de los tratamientos T ₁ , T ₃ y T ₅ CEF Tanumé, VI Región	20
3	Diferencia de ahusamiento de los tratamientos T ₁ y T ₃ (a), T ₁ y T ₅ (b), T ₃ y (c) y T ₁ , T ₃ y (d) en el CEF Tanumé, VI Región	21
4	Curvas de ahusamiento de los tratamientos T ₂ , T ₄ y T ₆ en el CEF Tanumé, VI Región	23
5	Diferencia de ahusamiento de los tratamientos T ₄ y T ₆ en el CEF Tanumé, VI Región	24
6	Curvas de ahusamiento de los tratamientos T ₁ y T ₂ en el CEF Tanumé, VI Región	26
7	Curvas de ahusamiento de los tratamientos T ₅ y T ₇ el CEF Tanumé, VI Región	26
8	Diferencia de ahusamiento en los tratamientos T ₅ y T ₇ en el CEF Tanumé , VI Región	27
9	Curvas de ahusamiento en los tratamientos T _{silvo} y T ₇ en el CEF Tanumé, VI Región	29
10	Diferencia de ahusamiento en los tratamientos T _{silvo} y T ₇ en el CEF Tanumé, VI Región	29
	<u>En el apéndice</u>	
1A	Análisis de residuos del ajuste de las funciones de ahusamiento de Kozak <i>et al</i> (1969)(a), de Ormerod (1969)(b), de Goulding y Murray (1976)(c) y de Thomas y Parresol (1991)(d) en Las Manchas	35

2A	Análisis de residuos del ajuste de las funciones de ahusamiento de Kozak <i>et al</i> (1969)(a), de Ormerod (1969)(b), de Goulding y Murray (1976)(c) y de Thomas y Parresol (1991)(d) en el El Rincón	36
3A	Análisis de residuos del ajuste de las funciones de ahusamiento de Kozak <i>et al</i> (1969)(a), de Ormerod (1969)(b), de Goulding y Murray (1976)(c) y de Thomas y Parresol (1991)(d) en La Piedra	37
4A	Análisis de residuos del ajuste de las funciones de ahusamiento de Kozak <i>et al</i> (1969)(a), de Ormerod (1969)(b), de Goulding y Murray (1976)(c) y de Thomas y Parresol (1991)(d) en La Turca I	38
5A	Análisis de residuos del ajuste de las funciones de ahusamiento de Kozak <i>et al</i> (1969)(a), de Ormerod (1969)(b), de Goulding y Murray (1976)(c) y de Thomas y Parresol (1991)(d) en La Lagunilla	39
6A	Análisis de residuos del ajuste de las funciones de ahusamiento de Kozak <i>et al</i> (1969)(a), de Ormerod (1969)(b), de Goulding y Murray (1976)(c) y de Thomas y Parresol (1991)(d) en La Turca II	40
7A	Análisis de residuos del ajuste de las funciones de ahusamiento de Kozak <i>et al</i> (1969)(a), de Ormerod (1969)(b), de Goulding y Murray (1976)(c) y de Thomas y Parresol (1991)(d) en Los Junquillos	41

I. INTRODUCCION

El volumen total del fuste de un árbol es frecuentemente estimado mediante tablas o ecuaciones de volumen, usando el diámetro a la altura del pecho (dap) y la altura total del árbol (H) como variables predictoras. Por otro lado, el volumen comercial entre el tocón y alguna altura fija o diámetro límite de utilización, o volumen de una porción del fuste, puede ser estimado mediante una ecuación de ahusamiento o de perfil del fuste (Candy,1989; Rustagi y Loveless,1991). Diferentes tipos de funciones de ahusamiento han sido propuestas por diversos profesionales forestales (Demaerschalk,1972), las que pueden ser clasificadas en dos grandes grupos, aquellas que describen el cambio en diámetro desde el nivel del suelo al ápice mediante una única expresión matemática (e.g. Ormerod,1973; Kozak,1988; Thomas y Parresol,1991), y las que utilizan dos o más funciones unidas de tal manera que la función resultante sea continua y con derivadas iguales por ambos lados en los puntos de unión (e.g. Ormerod,1973; Max y Burkhardt,1976).

Si bien las funciones de ahusamiento permiten obtener una mayor información sobre los productos aprovechables de un rodal que una función de volumen, éstas son afectadas por las condiciones del bosque y las características de cada árbol. Son muchas las variables que determinan el ahusamiento fustal, tales como las condiciones de sitio, el tamaño de la copa y la relación H/Dap (Larson,1963; Newberry y Burkhardt,1986). También existen teorías que intentan explicar el mecanismo mediante el cual el fuste del árbol adquiere una forma determinada, como la teoría nutricional, de conducción de agua, mecánica y hormonal (Larson,1963). Habiendo tantas variables que afectan la forma fustal resulta razonable preguntarse hasta qué punto es válido agrupar rodales con diferentes condiciones de manejo y obtener una única función de ahusamiento. En rodales en los que existe una alta probabilidad de presentar diferencias en el ahusamiento, por una u otra causa, es recomendable verificar si son significativas como para hacer prevalecer

funciones de ahusamiento locales sobre funciones generales aplicables a extensas áreas de manejo.

En este estudio se analizó las diferencias de ahusamiento en **Pinus radiata** D.Don por efecto del tipo de pradera y la densidad de rodal en un ensayo silvopastoral, establecido en el Centro Experimental Forestal Tanumé (CEF) perteneciente a la Corporación Nacional Forestal, VI Región.

Uno de los métodos más populares para evaluar las diferencias entre dos (o más) funciones es la prueba F de Chow (Gujarati,1992). Esta prueba se basa en los supuestos de normalidad, homogeneidad de varianza e independencia de los errores de cada población ($e_{1i}, e_{2i}, \dots, e_{xi}$), y su hipótesis nula es la inexistencia de diferencia significativa entre la regresión obtenida para el grupo completo y las regresiones obtenidas para los grupos por separado, es decir, no hay diferencia significativa en el ahusamiento de los árboles sobre los que actúa una variable conocida.

El objetivo general del estudio es determinar si el tipo de pradera y la densidad de rodal produce diferencias significativas sobre el ahusamiento de los fustes, y comparar el ahusamiento de un rodal con manejo tradicional y uno manejado silvopastoralmente. Para ello se debe seleccionar un modelo de ahusamiento adecuado para el conjunto de datos, es decir, un único modelo fustal que describa adecuadamente los diámetros a diferentes alturas del fuste para todos los tratamientos y analizar, aplicando la prueba F, el efecto del tipo de pradera y la densidad sobre el ahusamiento de los árboles en el CEF Tanumé.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

Entre las variables que afectan la distribución del crecimiento en el fuste, y su consecuente forma, están la densidad o espacio de crecimiento en el rodal, el tamaño o clase de copa, el sitio, los factores hereditarios y el manejo silvícola entre otras, pero ninguna de ellas es capaz de explicar, por sí sola, la distribución del crecimiento en un árbol (Larson,1963). Una variable muy estudiada en Suecia es el efecto del viento, comprobando la importancia de éste en la promoción del incremento diamétrico en el punto de mayor torsión, aunque lo explica sólo parcialmente en el resto del fuste (Valinger,1992). Por esto explicar la forma fustal como respuesta a una variable resulta hasta hoy imposible.

El ahusamiento o perfil fustal es definido como la tasa de disminución del diámetro en relación al incremento en altura a lo largo del fuste del árbol (Larson,1963; Husch *et al.*,1972; Newberry y Burkhart,1986; Forslund,1991). Las funciones de ahusamiento, o modelos fustales, se definen como la expresión analítica del diámetro del fuste en función de la altura de medición. En numerosas ocasiones los investigadores han caracterizado la forma del fuste reduciéndolo a una fórmula matemática como prerrequisito para determinar con exactitud el volumen fustal.

Behre (1927), citado por Bruce (1972), propuso una función de ahusamiento hiperbólica que se caracteriza por su flexibilidad para modificar el diámetro límite de utilización. La principal dificultad de las primeras aproximaciones fue la labor computacional envuelta, por esto se utilizó ecuaciones de ahusamiento simplificadas que no describían satisfactoriamente el abultamiento basal y el ápice de los árboles. Estas partes del fuste se describen adecuadamente usando funciones polinómicas de alto grado para la parte baja del fuste, y grados $3/2$ y 3 para la parte superior a los $4/5$ del fuste (Gordon, 1983). En la dendrometría tradicional es común asumir que el fuste se aproxima a varios sólidos

geométricos. La parte baja se asemeja a un tronco de niloide, la porción media a un tronco de paraboloides y la parte superior a un cono (Husch *et al.*, 1972). Basados en este principio, Max y Burkhart (1976) probaron diversos modelos polinómicos segmentados que mejoraron el ajuste al ser comparados con modelos no injertados. La unión de estos modelos se restringe de modo que la función resultante sea continua y con primera derivada igual por ambos lados a cada punto de unión.

El modelo de Ormerod (1973) es ampliamente conocido en el ámbito científico forestal. Corresponde a una ecuación simple que estima diámetros a cualquier altura del fuste en árboles escurrentes, y puede ser subdividido para secciones del fuste. Basados en este modelo, Reed y Byrne (1985) proponen una función de ahusamiento de forma variable. Siguiendo esta línea de desarrollo, Newberry y Burkhart (1986) proponen, para **Pinus taeda L.**, una función que incorpora cambios de forma y ahusamiento dentro de un modelo. Kozak (1988) propone una función de ahusamiento de exponente variable, la que describe la forma del fuste con una función continua y con un exponente variable desde el nivel del suelo hasta el ápice, lo que compensaría la forma de niloide, paraboloides y cono. El autor reconoce dos debilidades de este modelo: no puede ser integrado para calcular el volumen, y la altura comercial para un diámetro límite dado no puede ser obtenida directamente.

Otro modelo que describe el perfil del fuste corresponde a la función de ahusamiento trigonométrica, la que en una de sus formas se caracteriza por ser lineal, tener pocos parámetros a estimar y reducir los costos computacionales. Por otra parte puede ser fácilmente integrado para obtener estimaciones del volumen. Su desventaja está en la necesidad de iteración numérica para obtener una altura a un diámetro límite dado (Thomas y Parresol, 1991)

Gran parte de los modelos de ahusamiento pueden ser fácilmente convertidos a funciones de volumen, y su exactitud estará sujeta al grado de sesgo de la función de ahusamiento. Por otro lado, funciones locales y generales de volumen han sido largamente utilizadas, y pueden serlo por mucho tiempo más; por esto se han derivado funciones de ahusamiento sujetas a la restricción de que estimen un volumen idéntico a los dados por funciones de volumen existentes, las cuales se llaman funciones de ahusamiento compatibles (Demaerschalk, 1971, 1972). Estas funciones son ideales para el cálculo de volumen en varias categorías de utilización en inventario forestal o en optimización del patrón de corte (Goulding y Murray, 1976). Además, tendrían la ventaja de reducir el error de estimación en la parte baja del fuste (Goulding y Murray, 1976; Mc.Clure y Czapplewski, 1986).

Debido al gran número de modelos y estudios respecto al ahusamiento fustal, se han realizado pruebas para comparar los modelos existentes y determinar cuál de ellos estima con mayor exactitud diámetros, alturas y volúmenes a diferentes alturas o diámetros límites; se ha encontrado que una única función de ahusamiento no cumple todos los requisitos deseados de precisión para todas las variables posibles de obtener (Cao *et al.*, 1980; Gordon, 1983). Existen varias otras metodologías basadas en funciones de ahusamiento que buscan mejorar la exactitud de las estimaciones de variables dasométricas de interés para el inventario forestal (e.g. Ormerod, 1986; Candy, 1989; Forslund, 1991; Yamamoto, 1994).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Materiales

El Centro Experimental Forestal Tanumé (CEF) se ubica al norte de la comuna de Pichilemu en la provincia de Cardenal Caro en la sexta región. El clima de la zona es de tipo templado subhúmedo (Mediterráneo), con cuatro meses de sequía estival y 620 mm de precipitación promedio anual concentrada en los meses invernales. El suelo es derivado de terrazas marinas con una topografía de lomajes suave y restricciones de uso por presentar susceptibilidad a la erosión de manto y cárcavas.

Dentro del Centro Experimental se establecieron plantaciones que tienen por objetivo la investigación, la transferencia tecnológica y la difusión y servir de predio demostrativo de nuevas alternativas de manejo a los pequeños propietarios ubicados en la zona, motivando la forestación con especies de rápido crecimiento. Para esto se realizó plantaciones tradicionales de las especies pino radiata y eucalipto globulus, y un ensayo silvopastoral que estudia tres tipos de pradera asociadas a pino radiata en dos arreglos espaciales de baja densidad. El área silvopastoral se dividió en seis módulos de siete ha cada uno; cada módulo es un tratamiento con una asociación pino radiata - pradera y un arreglo espacial determinado. Además, dos de ellos se encuentran ubicados en un sector microclimático con exposición directa al mar (Conaf, VI Región; 1990).


Los seis módulos (Tabla 1), con 13 años de edad actual, se diferencian en el tipo de pradera: sembrada con trigo y trébol subterráneo, natural mejorada con fertilizaciones y natural o sin manejo; y la densidad de plantación: 625 árb/ha arreglados en grupos de 4 árboles (2m * 2m) separados entre sí cada 6m (figura 1-a), y 1000 árb/ha arreglados en hileras dobles con distancia dentro de hilera de 2m * 3m y entre hileras de 7m (figura 1-b). Estos tratamientos más el rodal de manejo tradicional a densidad de 1600 árb/ha,

adyacente a los tratamientos silvopastorales, constituyen el material experimental que se utilizó en este trabajo.

TABLA 1. TRATAMIENTOS SILVOPASTORALES ESTABLECIDOS EN EL CEF TANUME, VI REGION.

TRATAMIENTO	PRADERA	DENSIDAD (árbo/ha)	NOMBRE
T ₁	Sembrada	625 (192.1)*	Las Machas
T ₂	Sembrada	1000 (199.6)	El Rincón
T ₃	Natural mejorada	625 (184.4)	La Piedra
T ₄	Natural mejorada	1000 (337.4)	La Turca I
T ₅	Natural	625 (171.4)	La Lagunilla
T ₆	Natural	1000 (316.3)	La Turca II
T ₇	sin pradera o Nat.	1600 (510.8)	Los Junquillos

Fuente: Conaf VI Región, 1990. *(Densidad Actual)

 Tratamientos en microclima costero

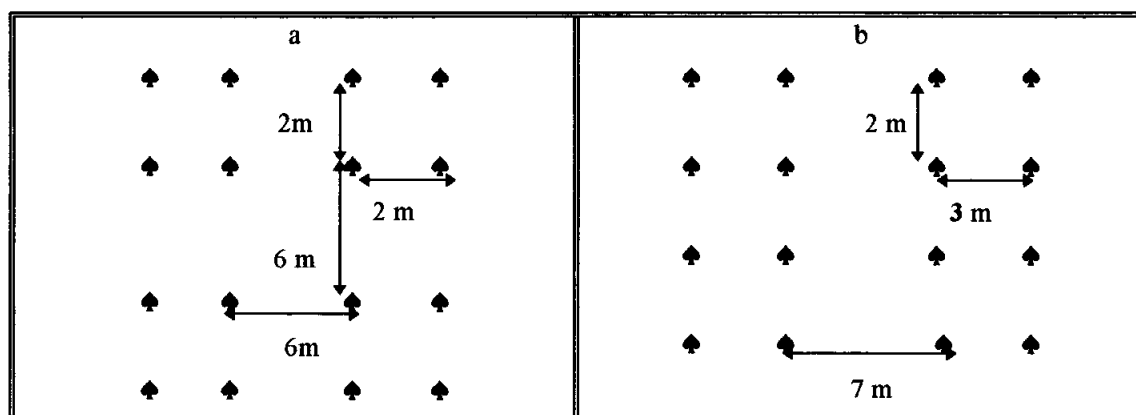


Figura 1. Esquema de distribución espacial de los árboles (♣) dentro del área silvopastoral establecido en el CEF Tanumé, VI Región; a) en grupos; b) en líneas.

3.2 Métodos

Los datos utilizados en este estudio fueron recopilados por Varas (1996). La muestra (Tabla 2) se compone de 9 árboles por cada tratamiento silvopastoral y tradicional. Para obtener una muestra representativa del perfil fustal de cada tratamiento se muestreó tres árboles seleccionados al azar dentro de cada uno de tres rangos iguales de clase diamétrica. El método de medición fue destructivo, con volteo y trozado de los árboles, a los cuales se les midió el diámetro a la altura del tocón (dat), diámetro a la altura del pecho (dap), diámetro a la altura de la base de la copa viva (dbcv) y el diámetro, con y sin corteza, cada 0.1 h (do.x).

TABLA 2. CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA OBTENIDA EN EL CEF TANUME, VI REGION.

Tratam.	n	Rango dap (cm)	Dap medio (cm)	Rango h (m)	h media (m)	Coefic. Esbeltez
T ₁	9	22.7-36.4	29.3	13.67-19.40	16.96	0.58
T ₂	9	24.5-35.5	30.0	14.66-19.23	17.46	0.58
T ₃	9	21.2-35.8	29.4	14.23-19.12	16.48	0.56
T ₄	9	17.0-26.0	20.9	12.10-15.02	13.67	0.65
T ₅	9	19.2-32.2	26.1	11.59-17.31	15.11	0.58
T ₆	9	16.2-27.9	22.5	12.30-14.14	13.16	0.58
T ₇	9	21.2-32.0	25.6	14.81-18.76	17.62	0.69

Fuente: Varas (1996).

Para estudiar las diferencias de ahusamiento entre los tratamientos silvopastorales, y entre éstos y el de manejo tradicional, se seleccionó un modelo de ahusamiento que describiera adecuadamente los perfiles fustales de cada tratamiento. La selección se realizó entre los siguientes modelos extraídos de la literatura y que fueron ajustados con el software estadístico SAS (Statistical Analysis System):

Modelo 1: Modelo cuadrático (Kozak *et al.*, 1969; extraído de Cao *et. al.* 1980)

$$Y^2 = b_1(x-1) + b_2(x^2-1) + e_i$$

Modelo 2: Modelo simple (Ormerod, 1973)

$$d = Dap ((H-h)/(H-1.30))^{b_1} + e_i$$

Modelo 3: Modelo segmentado (Max y Burkhardt, 1976)

$$Y^2 = b_1(x-1) + b_2(x^2-1) + b_3(a_1-x)^2 I_1 + e_i$$

donde, $I_1 = 1$ cuando x es menor o igual a a_1

Modelo 4: Modelo segmentado (Max y Burkhardt, 1976)

$$Y^2 = b_1(x-1) + b_2(x^2-1) + b_3(a_1-x)^2 I_1 - b_2(a_2-x)^2 I_2 + e_i$$

donde, $I_i = 1$ cuando x es menor o igual a a_i

$I_i = 0$ cuando x es mayor a a_i

$i = 1, 2$

Modelo 5: Modelo segmentado (Max y Burkhardt, 1976)

$$Y^2 = b_1(x-1) + b_2(x^2-1) + b_3(a_1-x)^2 I_1 + b_4(a_2-x)^2 I_2 + e_i$$

donde, $I_i = 1$ cuando x es menor o igual a a_i

$I_i = 0$ cuando x es mayor a a_i ,

$i = 1, 2$

Modelo 6: Modelo compatible (Goulding y Murray, 1976)

$$d^2KH/V - 2z = b_1(3z^2 - 2z) + b_2(4z^3 - 2z) + b_3(5z^4 - 2z) + b_4(6z^5 - 2z) + e_i$$

Modelo 7: Modelo trigonométrico de Thomas y Parresol (1991)

$$Y^2 = b_1(x-1) + b_2 \operatorname{sen}(2\pi x) + b_3 \operatorname{cotan}(\pi x/2) + e_i$$

La siguiente es la simbología utilizada:

Y : Diámetro relativo a la altura de medición h (d/dap)

bi : Parámetro estimado i

d : diámetro sin corteza medido a la altura h (cm)

h : Altura al diámetro medido (m)

H : Altura total del árbol (m)

V : Volumen total del árbol (m³ ssc)

x : Altura relativa (h/H)

z : Altura relativa (1-x)

ai : Puntos de unión de modelos segmentados

ei : Error de estimación



La selección del modelo más adecuado para desarrollar el estudio se basó en los estadísticos R^2 ajustado, Error Estándar de la Estimación y Desviación Estándar de los Desvíos de la estimación del diámetro a diferentes alturas del fuste. Además de un Análisis de Residuos para cada estimación, los que se describen a continuación:

1. Coeficiente de determinación ajustado de la estimación del diámetro del fuste :

$$R^2 \text{ ajustado} = 1 - (n-1)(1 - (SCE / SCT)) / n-p$$

2. Error Estándar de la Estimación, de la variable diámetro de fuste :

$$EEE = (SCE / n-p)^{1/2}$$

3. Desviación Estándar de los desvíos de la variable diámetro de fuste :

$$S = (\sum e_i^2 - (\sum e_i)^2 / n) / n-1$$

4. Análisis de residuos (Gráficos)

Donde:

SCT: Suma cuadrado total.

SCE: Suma de cuadrados del error ($\sum e_i^2$)

p : Número de parámetros en el modelo.

n : Tamaño de la muestra.

e_i : Error de Estimación

Una vez seleccionado un modelo fustal se realizó la prueba estadística para determinar si existía diferencia significativa en el ahusamiento de árboles de dos o más tratamientos. La metodología del análisis utilizado corresponde a una comparación estadística de los ajustes del modelo fustal a cada tratamiento sobre los cuales actúa una variable (pradera o densidad) y el ajuste del mismo modelo a todo el grupo de tratamientos analizados.

Primero se analizó el efecto del tipo de pradera sobre el ahusamiento fustal de árboles creciendo en dos densidades, para lo cual se agruparon los tres tratamientos con densidad inicial de 625 árb/ha (T_1 , T_3 y T_5) en todas sus combinaciones posibles, y se agruparon los tratamientos T_2 , T_4 y T_6 creciendo en densidad inicial de 1000 árb/ha; las combinaciones realizadas en el segundo grupo de tratamientos se restringe debido a que los tratamientos 4 y 6 presentan el microclima como factor variable, por esta razón son analizados en forma independiente (T_4 - T_6) y luego estudiados con el otro tratamiento de igual densidad (T_2). En segundo lugar se estudió el efecto de la densidad a través de dos agrupaciones; en pradera sembrada con los tratamientos T_1 y T_2 , y en pradera natural, o sin manejo, con los tratamientos T_3 y T_7 . Finalmente se evaluó el ahusamiento fustal de los tratamientos manejados silvopastoralmente entre sí, y el tratamiento con manejo tradicional con los tratamientos del silvopastoreo (Tabla 3). Estas últimas agrupaciones presentan más de un factor variable dentro de la agrupación, por esto no permiten medir

el efecto de alguno de ellos, pero permiten apoyar conclusiones obtenidas en los pasos anteriores.

TABLA 3. GRUPOS DE TRATAMIENTO A LOS CUALES SE LE APLICO LA PRUEBA F DE COMPARACION DE FUNCIONES

EFEECTO	TRATAMIENTOS	GRUPOS
Pradera en densidad 625 árb/ha	T ₁ , T ₂ , T ₃	T ₁₋₃ , T ₃₋₅ , T ₁₋₅ , T ₁₋₃₋₅
Pradera en densidad 1000 árb/ha	T ₂ , T ₄ , T ₆	T ₄₋₆ , T ₂₋₍₄₋₆₎
Densidad en pradera sembrada	T ₁ , T ₂	T ₁₋₂
Densidad en pradera natural	T ₅ , T ₇	T ₅₋₇
COMPARACION	TRATAMIENTOS	GRUPOS
Silvopastoral	T ₁ , T ₂ , T ₃ , ..., T ₆	T ₁₋₂₋₃₋₄₋₅₋₆ (T _{silvo})
Diferencias de manejo	T ₁ , T ₂ , T ₃ , ..., T ₇	T _{silvo} -T ₇

La diferencia de ahusamiento fustal se midió estadísticamente con la prueba F para la cual es prerequisite contar con igualdad de varianzas entre los tratamientos que se agrupan. La heterocedasticidad se detectó con el test de Bartlett, quien ha demostrado que la hipótesis nula (igualdad de varianzas) se puede evaluar por medio de la relación A/B, que sigue una distribución χ^2 con k-1 g de l. (Gujarati,1992).

$$A = f \ln s^2 - \sum (f_i \ln s_i^2)$$

$$B = 1 + 1/(3(k-1))[\sum(1/f_i) - 1/f]$$

donde: $f = \sum^k f_i$

$$f_i = (n_i - p)$$

$$s^2 = \sum f_i s_i^2 / f$$

n_i = tamaño de la muestra en el i-esimo grupo

p = parámetros de la regresión

α = Nivel de confianza

k = nº de poblaciones agrupadas

La varianza de cada población (s_i^2) se obtuvo del cuadrado medio residual del ajuste de la función de ahusamiento electa para los tratamiento del estudio (Ostle, 1968).

La prueba F permite determinar si hay diferencia significativa en las regresiones de los tratamientos independientes y la regresión de los tratamientos agrupados. Si la diferencia en el perfil de los árboles no es significativa, se puede obtener una función de ahusamiento para el grupo de tratamientos, el cual puede ser comparado con otro tratamiento o grupo de ellos en el CEF Tanumé. El valor F muestral se compara con el valor de tabla F ($1-\alpha, j, j-s$).

$$F = (SCE_j - SCE_s) / SCE_s * s / (j-s)$$

Donde:

SCE_j = Suma de cuadrados del error de los datos agrupados

$SCE_s = \sum SCE_i \quad i = 1, \dots, k$ tratamientos

j = grados de libertad del conjunto de datos

s = suma de grados de libertad de los niveles del factor

k = nº de poblaciones

Para apoyar los estadísticos se utilizó el análisis gráfico como herramienta de evaluación. El primer análisis se efectuó con las curvas de ahusamiento generadas por las funciones de ahusamiento que se ajustan en el estudio, y el segundo, con las curvas generadas por la diferencia entre la función de ahusamiento que representa al grupo de tratamientos y aquellas que describen a cada tratamiento por separado, llamadas Diferencia de

Ahusamiento. Este último tiene la ventaja de indicar gráficamente dónde se concentra la diferencia entre los perfiles fustales de los árboles de cada tratamiento agrupado.



IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de los ajustes (Tabla 4) y posterior aplicación de los indicadores estadísticos (Tabla 5), demuestran que el modelo de Ormerod (1973) es la función que ajusta con mayor precisión (según R^2 ajustado y EEE) en cinco de los siete tratamientos. Sin embargo, a pesar que el modelo de Goulding y Murray (1976) es levemente superado por el primero en esos cinco tratamientos, este último proporciona ajustes muy superiores para los otros tratamientos (ambos de pradera sembrada), con las más bajas Desviación Estándar de los Desvíos, factor de importancia para el tipo de prueba estadística que se utiliza en este estudio.

El modelo de Kozak *et al.* (1969) presenta un buen ajuste para todos los tratamientos, caracterizándose por su simplicidad, tanto en el aspecto computacional como en el tipo de fuste al que se ajustan mejor (escurrentes), por esto su utilidad se relaciona con la precisión esperada y los costos de inventario y evaluación, ya que el modelo posee pocos parámetros, estimando mejor perfiles de poco ahusamiento (que no presentan una gradiente de cambio de diámetros muy elevada), en caso contrario no produce una buena estimación del perfil de los árboles ni del volumen al ser integradas (Cao *et al.*, 1980). Los modelos de Thomas y Parresol (1991) y Goulding y Murray (1976), son semejantes en cuanto a ser lineales y a poseer otras formas de la variable dependiente (uno utiliza funciones trigonométricas y el otro exponenciales), por esto son más adecuados para describir perfiles de árboles de ahusamiento intermedio. El último modelo tiene la ventaja de ser una función de ahusamiento compatible y polinómica, lo que mejora la estimación en las secciones bajas de los fustes. Los modelos segmentados (Max y Burkhart, 1976) ajustan varias funciones en forma restringida a diferentes secciones del fuste, por lo cual son buenos para fustes muy ahusados o con varias formas fustales dentro de cada árbol (cónico, cilíndrico o nilóidico).

TABLA 4. PARAMETROS ESTIMADOS PARA CADA MODELO AJUSTADO A CADA TRATAMIENTO EN EL CEF TANUME, VI REGION.

MODELO	TRATAMIENTO		B1	B2	B3	B4	A1	A2
1.- KOZAK Y OTROS (1969)	LAS MANCHAS	T1	-2.198	1.058				
	EL RINCON	T2	-2.071	0.976				
	LA PIEDRA	T3	-2.135	1.049				
	LA TURCA I	T4	-2.218	1.095				
	LA LAGUNILLA	T5	-2.020	0.918				
	LA TURCA II	T6	-2.227	1.075				
	LOS JUNQUILLOS	T7	-1.919	0.856				
2.- ORMEROD (1973)	LAS MANCHAS	T1	0.992					
	EL RINCON	T2	0.963					
	LA PIEDRA	T3	1.052					
	LA TURCA I	T4	1.032					
	LA LAGUNILLA	T5	0.933					
	LA TURCA II	T6	1.012					
	LOS JUNQUILLOS	T7	0.918					
3.- MAX Y BURKHART (1976)	LAS MANCHAS	T1	-1.911	0.851	26.103		0.091	
	EL RINCON *	T2	-1.749	0.742	56.115		0.069	
	LA PIEDRA	T3	-1.774	0.782	33.083		0.087	
	LA TURCA I *	T4	-2.037	0.959	13.017		0.081	
	LA LAGUNILLA	T5	-1.991	0.878	61.207		0.000	
	LA TURCA II *	T6	-1.710	0.682	3.642		0.195	
	LOS JUNQUILLOS	T7	-0.242	-0.344	3.122		0.407	
4.- MAX Y BURKHART (1976)	LAS MANCHAS	T1	1.039	-0.951	11.547		0.178	0.988
	EL RINCON	T2	0.746	-0.756	11.935		0.198	1.000
	LA PIEDRA	T3	1.067	-0.941	56.427		0.073	1.000
	LA TURCA I	T4	1.054	-0.910	9.716		0.218	1.000
	LA LAGUNILLA	T5	1.034	-0.940	10.516		0.186	0.990
	LA TURCA II *	T6	1.002	-0.915	14.681		0.171	0.999
	LOS JUNQUILLOS	T7	1.022	-0.929	11.868		0.161	0.998
5.- MAX Y BURKHART (1976)	LAS MANCHAS	T1	0.114	-0.187	30.749	0.982	0.080	1.000
	EL RINCON	T2	-1.142	-0.471	-118.854	0.439	0.023	0.986
	LA PIEDRA	T3	-0.424	0.085	5.151	0.615	0.201	1.000
	LA TURCA I	T4	0.091	-0.098	13.434	1.061	0.102	1.000
	LA LAGUNILLA	T5	-1.501	0.518	5.612	0.020	0.000	1.000
	LA TURCA II *	T6	-0.009	-0.181	2.542	1.193	0.080	0.888
	LOS JUNQUILLOS	T7	-1.502	0.596	38.893	0.099	0.071	1.000
6.- GOULDING Y MURRAY (1976)	LAS MANCHAS	T1	-7.422	22.340	-23.705	8.785		
	EL RINCON	T2	-5.504	18.817	-21.248	8.236		
	LA PIEDRA	T3	-7.554	22.986	-24.603	9.207		
	LA TURCA I	T4	-1.713	7.897	-8.827	3.419		
	LA LAGUNILLA	T5	-4.618	16.198	-18.227	7.015		
	LA TURCA II	T6	-2.941	11.600	-12.789	4.827		
	LOS JUNQUILLOS	T7	-4.486	15.484	-17.281	6.611		
7.- THOMAS Y PARRESOL (1991)	LAS MANCHAS	T1	-0.722	0.132	0.009	2.000		
	EL RINCON	T2	-0.724	0.104	0.008	2.000		
	LA PIEDRA	T3	-0.675	0.114	0.009	2.000		
	LA TURCA I	T4	-0.697	0.108	0.011	2.000		
	LA LAGUNILLA	T5	-0.737	0.105	0.009	2.000		
	LA TURCA II	T6	-0.717	0.122	0.011	2.000		
	LOS JUNQUILLOS	T7	-0.738	0.097	0.007	2.000		

* El modelo no converge.

TABLA 5. INDICES DE LA ESTIMACION DEL DIAMETRO S.C. DE LOS MODELOS AJUSTADOS A LOS TRATAMIENTOS EN EL CEF TANUME, VI REGION.

TRATAMIENTO	ESTADISTICO	Kozak <i>et al.</i> (1969)	Ormerod (1973)	Goulding y Murray (1976)	Thomas y Parresol (1991)
LAS MANCHAS T ₁	R ² AJUST.	0.959	0.960	0.984	0.957
	EEE	1.970	1.940	1.236	2.091
	S	3.721	3.725	1.449	4.174
EL RINCON T ₂	R ² AJUST.	0.982	0.978	0.989	0.985
	EEE	1.255	1.384	0.973	1.143
	S	1.531	1.826	0.783	1.159
LA PIEDRA T ₃	R ² AJUST.	0.958	0.980	0.979	0.965
	EEE	1.919	1.335	1.355	1.763
	S	3.562	1.552	1.626	2.971
LA TURCA I T ₄	R ² AJUST.	0.980	0.983	0.982	0.963
	EEE	0.937	0.876	0.889	1.291
	S	0.869	0.686	0.595	1.599
LA LAGUNILLA T ₅	R ² AJUST.	0.962	0.986	0.985	0.983
	EEE	1.648	0.999	1.014	1.084
	S	2.687	0.970	0.875	1.141
LA TURCA II T ₆	R ² AJUST.	0.982	0.984	0.984	0.969
	EEE	0.994	0.953	0.956	1.320
	S	0.928	0.831	0.640	1.688
LOS JUNQUILLOS T ₇	R ² AJUST.	0.981	0.988	0.988	0.985
	EEE	1.070	0.834	0.849	0.942
	S	1.094	0.537	0.615	0.821

Estos modelos presentaron problemas de ajuste al no lograr minimizar la suma de cuadrados del error, es decir, el software estadístico no lograba converger a una solución para alguno o varios de los tratamientos.

El modelo de Kozak *et al.* (1969) y el de Thomas y Parresol (1991) presentan buenos ajustes pero son siempre superados por los modelos de Ormerod (1973) y de Goulding y Murray (1976).

El modelo de Goulding y Murray (1976) fue seleccionado como el mejor entre los siete modelos estudiados. Presenta muy buenos resultados, explicando casi totalmente la variación en diámetro sin corteza, con un R^2 ajustado mínimo igual a 0.979 para La Piedra (T_3) y máximo igual a 0.989 en El Rincón (T_2); el EEE del diámetro fustal es del orden de 1 cm; además, logra una baja Desviación Estándar de los Desvíos (S) para la mayoría de los tratamientos, variable de alta incidencia en la prueba que se aplica en este estudio. Ventaja que también se logra en la estimación de la variable $d^2 KH/V$, utilizada en la aplicación de la prueba F. De acuerdo a lo evaluado, tanto o más importante que la precisión del ajuste es obtener un nivel de precisión similar para todas las regiones estudiadas.

El análisis de residuos indica que el modelo de Kozak *et al.* (1969) sobreestima en las secciones basal y apical de los fustes y subestima en la porción intermedia. El modelo de Ormerod (1973) presentan un análisis de residuos muy similar al anterior para todos los tratamientos, sobreestima en la porción basal y apical, pero mejora el ajuste a la altura del tocón y en las secciones intermedias del fuste (ver apéndice).

El modelo seleccionado de Goulding y Murray (1976) subestima el diámetro sin corteza en una sección del ápice de los fustes. A su vez, el modelo trigonométrico de Thomas y Parresol (1991) sobreestima en la sección media del fuste y subestima en la otras secciones (ver apéndice).

4.1 Efecto del tipo de pradera sobre el ahusamiento de pino radiata

4.1.1 Efecto del tipo de pradera en densidad inicial de 625 árb/ha. Los resultados presentados en las tablas 6 y 7 indican que la agrupación de los tratamientos con pradera natural mejorada y pradera natural, y la agrupación de los tres tratamientos, a densidad de 625 árb/ha, presentan diferencia significativa en el ahusamiento fustal, lo que significa que existe diferencia en el perfil fustal de los tratamientos T₃ y T₅, y en los tratamientos T₁, T₃ y T₅. Estos resultados se comprueban en el gráfico de curvas de ahusamiento de los tratamientos (figura 2) y los gráficos de diferencia de ahusamiento (figura 3). De estos se desprende que de los fustes de pradera sembrada y pradera natural mejorada, los últimos son más ahusados desde la base hasta el 20% de la altura total de los árboles. Los fustes de árboles creciendo en pradera sembrada se hacen levemente más ahusados, no marcando diferencia significativa sobre esta altura al ápice (figura 3-a). Los fustes de la pradera sembrada y la pradera natural a densidad 625 árb/ha, no son significativamente diferentes; gráficamente los primeros son más ahusado desde la base hasta la altura relativa igual a 35 %, y en el último decil de altura (figura 3-b). La diferencia se hace significativa entre los fustes de árboles en pradera natural mejorada y los de pradera natural (figura 3-c), donde en la primera son más ahusados en la sección basal del fuste para pasar a ser los menos ahusado sobre el 35% de la altura total. En conjunto, la pradera sembrada no presenta diferencia significativa con la pradera natural mejorada ni con la pradera natural, acercándose más al perfil de la pradera natural mejorada, en esta última los fustes son más ahusados en la base, y al contrario en las secciones superiores. La pradera natural presenta los perfiles fustales menos ahusados (figura3-d), y esta diferencia es significativa sólo con los fustes de árboles desarrollados en pradera natural mejorada. Los elementos que explicarían gran parte de estas diferencias son el nivel de intervención humana a través de la preparación del sitio y las fertilizaciones realizadas en las praderas sembrada y natural mejorada y, posiblemente, en la primera el ahusamiento es menor en la base de los fustes debido a la mayor competencia que ejercen especies forrajeras a la plantación de pino radiata por nutrientes y agua.

TABLA 6. PARAMETROS Y ESTADISTICOS DEL MODELO GOULDING Y MURRAY (1976) PARA LA AGRUPACION DE TRATAMIENTOS CON DENSIDAD 625 árb/ha EN EL CEF TANUME, VI REGION.

GRUPO	B1	B2	B3	B4	R ²	EEE
T ₁₋₃	-7.4507	22.5815	-24.0806	8.9724	0.9058	0.1504
T ₃₋₅	-6.0922	19.6488	-21.5004	8.1497	0.9026	0.1431
T ₁₋₅	-6.0447	19.3135	-21.0052	7.9139	0.8988	0.1398
T ₁₋₃₋₅	-6.5294	20.5184	-22.2022	8.3487	0.9014	0.1454

TABLA 7. VALORES MUESTRALES PARA LAS PRUEBAS DE BARTLETT Y F PARA LA AGRUPACION DE TRATAMIENTOS CON DENSIDAD 625 árb/ha EN EL CEF TANUME, VI REGION.

GRUPO	χ^2_c	1- α	$\chi^2_c < \chi^2_m$	F _m	1- α	F _m < F _c
T ₁₋₃	0.105	0.95	APROBADO	1.315	0.95	APROBADO
T ₃₋₅	3.361	0.95	APROBADO	6.667	0.95	RECHAZADO
T ₁₋₅	4.597	0.975	APROBADO	2.076	0.95	APROBADO
T ₁₋₃₋₅	9.483	0.95	APROBADO	3.162	0.95	RECHAZADO

m: estadístico muestral; c: estadístico crítico

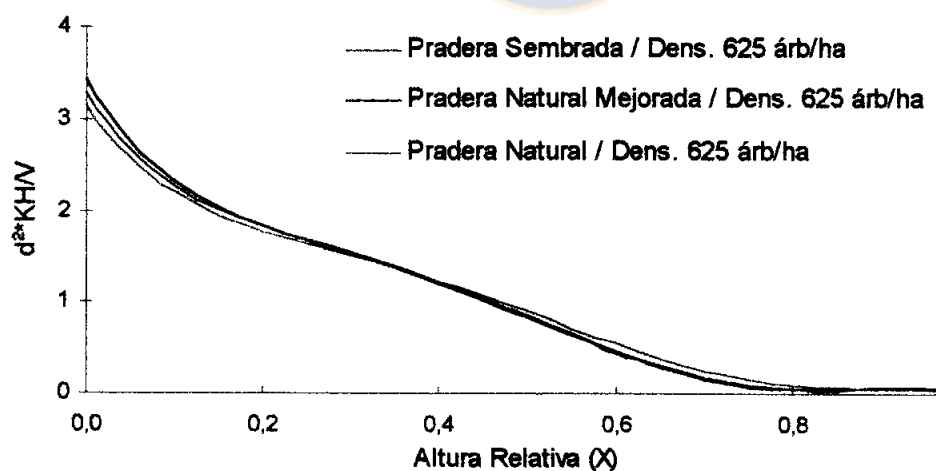


Figura 2. Curvas de ahusamiento de los tratamientos T₁, T₃ y T₅ en el CEF Tanumé, VI Región.

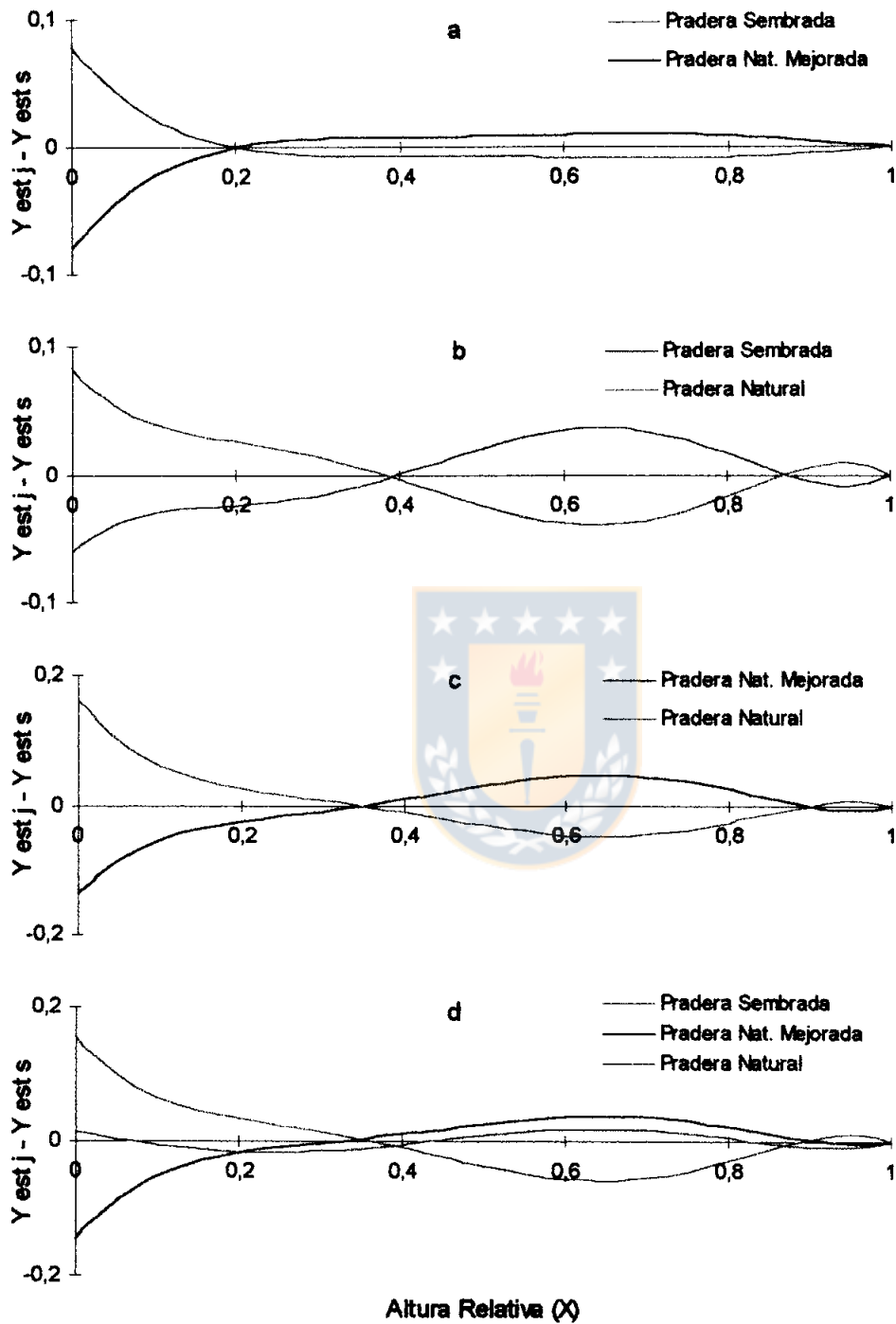


Figura 3. Diferencia de ahusamiento en los tratamiento T_1 y T_3 (a), T_1 y T_5 (b), T_3 y T_5 (c) y T_1 , T_3 y T_5 (d) en el CEF Tanumé, VI Región.

4.1.2 Efecto del tipo de pradera en densidad inicial de 1000 árb/ha. Los resultados (Tabla 8 y 9) indican que no existe diferencia significativa en el ahusamiento de los fustes de árboles creciendo en pradera natural mejorada y pradera natural a densidad de 1000 árb/ha, ambos tratamientos ubicados en la zona geográfica con influencia del mar. Las curvas de ahusamiento (figura 4) y diferencia de ahusamiento (figura 5), muestran la mínima diferencia en el ahusamiento de los fustes en ambas praderas; además se aprecia la conicidad de los perfiles de ambos tratamientos, coincidiendo con los resultados obtenidos para las praderas con densidad 625 árb/ha, ya que los fustes en pradera natural mejorada son nuevamente más ahusada en la base de los fustes hasta el 20% y en la sección apical sobre el 60% de la altura de los árboles.

De acuerdo a los resultados expuestos anteriormente, los tratamientos T_4 y T_6 pueden ser representados con un único modelo fustal sin disminución significativa de la precisión. El modelo resultante es comparado con el tratamiento de pradera sembrada a densidad 1000 árb/ha que no se encuentra presente en el sector de microclima costero. Como indican los resultados (Tabla 8 y 9), la aplicación del test de Bartlett a la agrupación de los tratamientos a densidad 1000 árb/ha indica que las varianzas de los tratamientos son significativamente diferentes, por lo cual sólo es posible estudiar los perfiles en base a gráficos. De acuerdo a las curvas de ahusamiento (figura 4) los fustes en pradera sembrada son más ahusados en la sección bajo el 30% de la altura total, y al contrario para el resto del fuste. En otros terminos los fustes de árboles que se desarrollaron bajo el microclima costero son de forma más cónica (ahusamiento constante). Esta diferencia se puede atribuir al tipo de pradera o al microclima asociado, pero al ser relacionados con los fustes a densidad de 625 árb/ha, se concluye que la variable más importante en estos resultados es el efecto del microclima costero sobre los fustes de los árboles. Además, los individuos de los tratamientos T_4 y T_6 son más pequeños que los del tratamiento T_2 ; diferencia que no es causada por el tipo de pradera ni por la diferencias de densidad actual, sino que por el microclima asociado a los pimeros.

TABLA 8. PARAMETROS Y ESTADISTICOS DEL MODELO GOULDING Y MURRAY (1976) PARA LA AGRUPACION DE TRATAMIENTOS CON DENSIDAD 1000 árb/ha EN EL CEF TANUME, VI REGION.

GRUPO	B1	B2	B3	B4	R ²	EEE
T ₄₋₆	-2.2476	9.5659	-10.6318	4.0623	0.9232	0.1301
T ₂₋₄₋₆	-3.3796	12.7904	-14.3375	5.5203	0.9258	0.1259

TABLA 9. VALORES MUESTRALES PARA LAS PRUEBAS DE BARTLETT Y F PARA LA AGRUPACION DE TRATAMIENTOS CON DENSIDAD 1000 árb/ha EN EL CEF TANUME, VI REGION.

GRUPO	χ^2_c	1- α	$\chi^2_c < \chi^2_m$	F _m	1- α	F _m < F _c
T ₄₋₆	0.288	0.95	APROBADO	1.326	0.95	APROBADO
T ₂₋₄₋₆	11.65	0.975	RECHAZADO	-	-	-

m: estadístico muestral; c: estadístico crítico

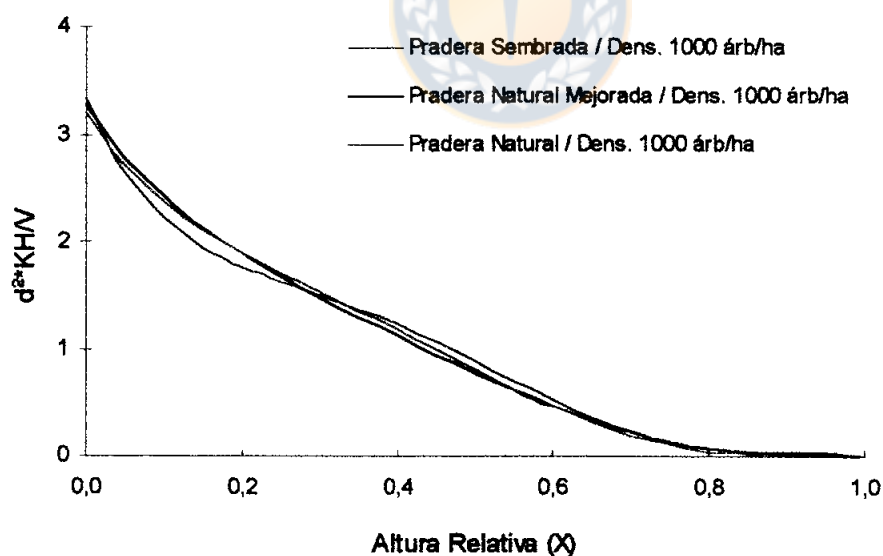


Figura 4. Curvas de ahusamiento de los tratamientos T₂, T₄ y T₆ en el CEF Tanumé, VI Región.

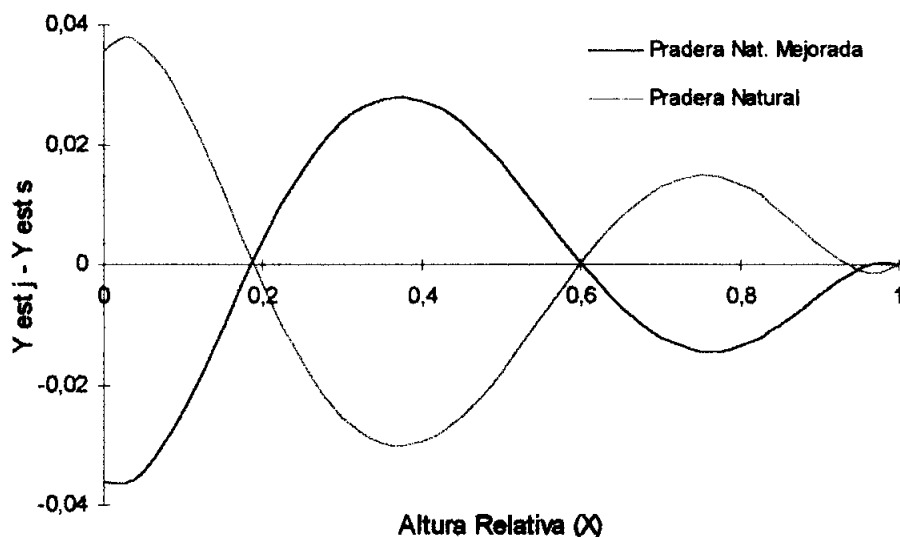


Figura 5. Diferencia de ahusamiento en los tratamientos T_4 y T_6 en el CEF Tanumé, VI Región.

4.2 Efecto de la densidad sobre el ahusamiento de pino radiata

Los resultados que se muestran en las tablas 10 y 11 indican que los tratamientos T_1 y T_2 , ambos con pradera sembrada y densidades de 625 y 1000 árb/ha respectivamente, tienen heterogeneidad de varianza por lo cual sólo es aplicable un análisis gráfico de los fustes. De acuerdo a la figura 6 no hay diferencia de ahusamiento en densidades de 625 y 1000 árb/ha, habiendo más ahusamiento en densidad de 625 árb/ha desde la base hasta el 65% de la altura, superior a ésta son más ahusados los fustes desarrollados a mayor densidad.

Los fustes de los tratamientos T_5 y T_7 , ambos en pradera natural y con densidades de 625 y 1600 árb/ha respectivamente, no presentan diferencia significativa de ahusamiento. No existe diferencia apreciable en las curvas de ahusamiento (figura 7), pero el gráfico de diferencia de ahusamiento (figura 8) permite distinguir pequeñas diferencias en la sección próxima al suelo y desde la mitad del fuste hacia el ápice, donde nuevamente los fustes de

árboles creciendo a menor densidad son más ahusados en la base (no significativo) para decrecer hacia el ápice.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente el factor densidad como causante de diferencias de ahusamiento en fustes de árboles manejados bajo diferentes esquemas espaciales, no es significativo para el caso estudiado. Entre los árboles creciendo en pradera sembrada no existe diferencia gráfica importante por las bajas densidades de las plantaciones y las fertilizaciones antrópicas recibidas; esto determina un nivel mínimo de competencia que se traduce en que dos rodales de diferente densidad no presenten diferencia en el perfil fustal de los árboles. Por otro lado, para los árboles de pradera natural la diferencia no es significativa por la corta edad de las plantaciones, es decir, aún no se expresan las diferencia de manejo en los perfiles fustales.

TABLA 10. PARAMETROS Y ESTADISTICOS DEL MODELO GOULDING Y MURRAY (1976) PARA LA AGRUPACION DE TRATAMIENTOS DE PRADERA SEMBRADA Y PRADERA NATURAL EN EL CEF TANUME, VI REGION.

GRUPO	B1	B2	B3	B4	R ²	EEE
T ₁₋₂	-6.4746	20.5862	-22.4758	8.5091	0.9234	0.1274
T ₅₋₇	-4.5546	15.8377	-17.7443	6.8073	0.9124	0.1183

TABLA 11. VALORES MUESTRALES PARA LA PRUEBAS DE BARTLETT Y F PARA LA AGRUPACION DE TRATAMIENTOS DE PRADERA SEMBRADA Y PRADERA NATURAL EN EL CEF TANUME, VI REGION

GRUPO	χ^2_m	1- α	$\chi^2_c < \chi^2_m$	F _c	1- α	F _m < F _c
T ₁₋₂	20.87	0.975	RECHAZADO	-	-	-
T ₅₋₇	0.436	0.95	APROBADO	0.472	0.95	APROBADO

m: estadístico muestral; c: estadístico crítico

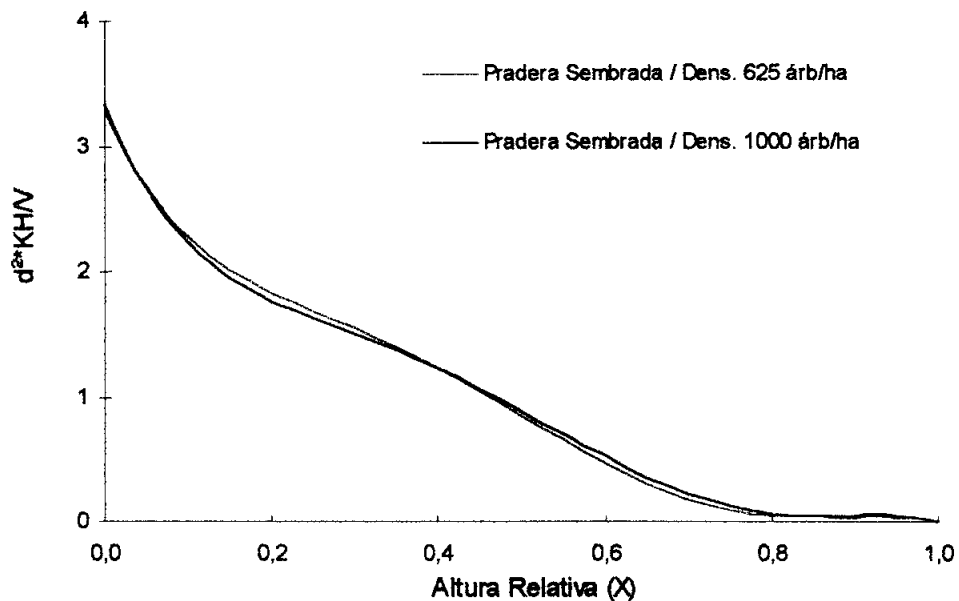


Figura 6. Curvas de ahusamiento de los tratamientos T₁ y T₂ en el CEF Tanumé, VI Región.

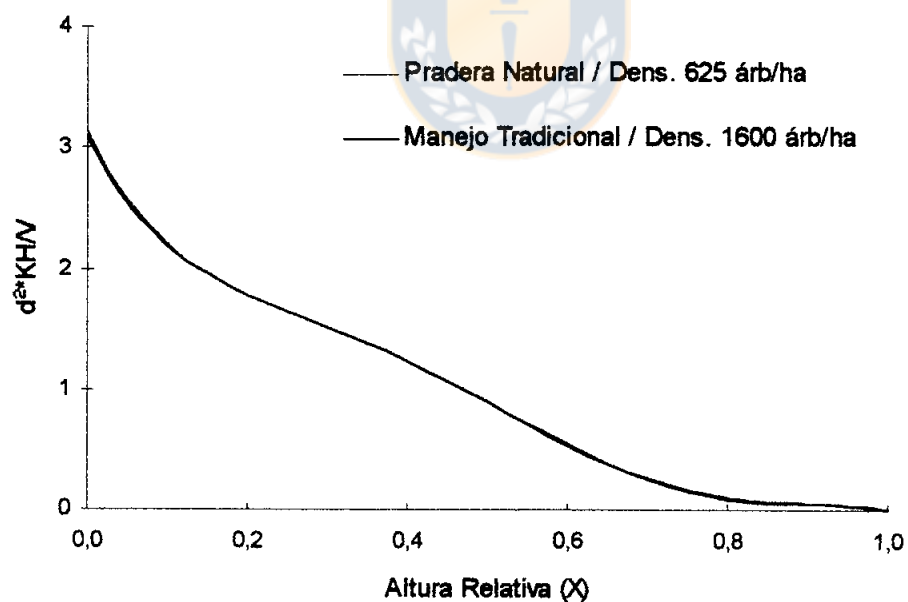


Figura 7. Curvas de ahusamiento de los tratamientos T₅ y T₇ en el CEF Tanumé, VI Región

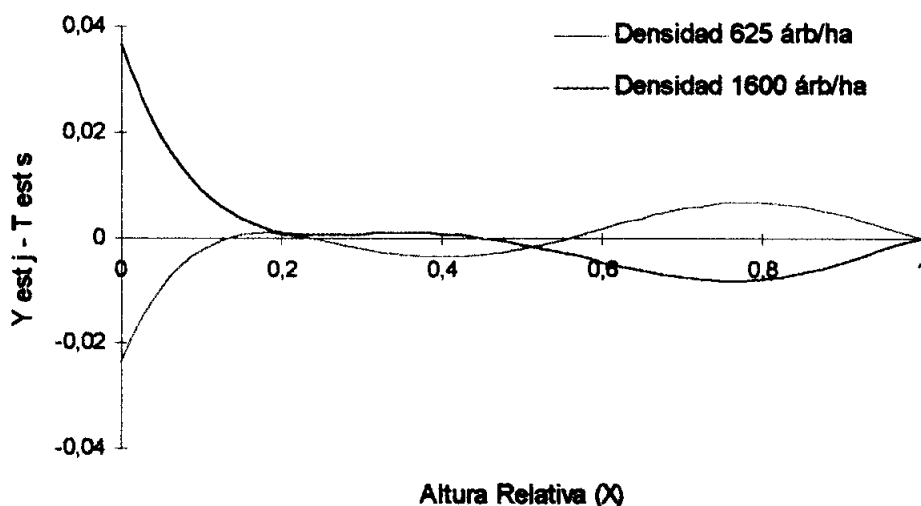


Figura 8. Diferencia de ahusamiento en los tratamientos T_5 y T_7 en el CEF Tanumé, VI Región.

4.3 Ahusamiento en rodales silvopastoral y tradicional

Los resultados (Tablas 12 y 13) muestran que los tratamientos silvopastorales presentan diferencia significativa en las varianzas de cada tratamiento. Por este motivo se excluyó del análisis la agrupación de tratamientos silvopastorales.

En cuanto a la diferencia entre el ahusamiento de los árboles con manejo silvopastoral y el con manejo no silvopastoral o tradicional, los primeros son significativamente más ahusados en la base de los fustes y menos en la sección superior a 30% de la altura total (figura 9), diferencia que es principalmente atribuida a la intervención humana en los módulos con tratamientos silvopastorales, y a la diferencia de densidad como causa secundaria. De acuerdo a los antecedentes hasta aquí recopilados no es estadísticamente conveniente desarrollar una única función de ahusamiento que describa el perfil fustal de los árboles con manejo silvopastoral, sino que utilizar modelos independientes para cada

módulo o agrupaciones de ellos en las cuales no exista diferencia significativa. Similar situación se concluye para el tratamiento con manejo tradicional.

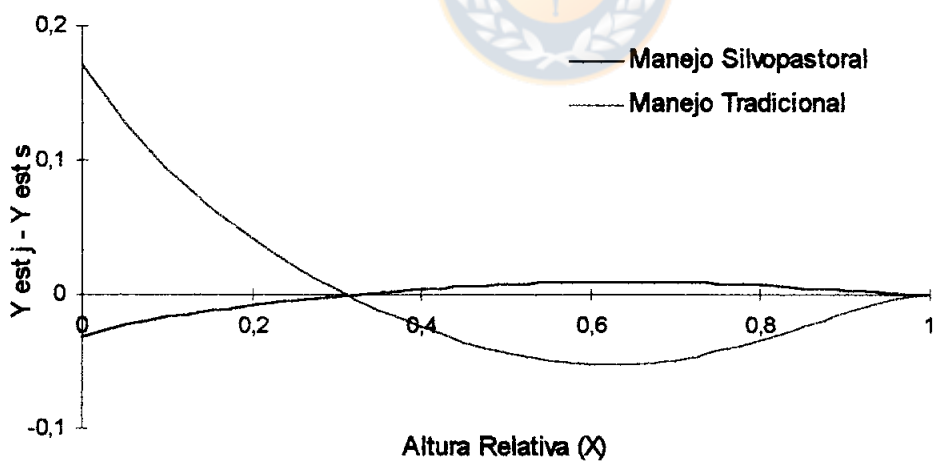
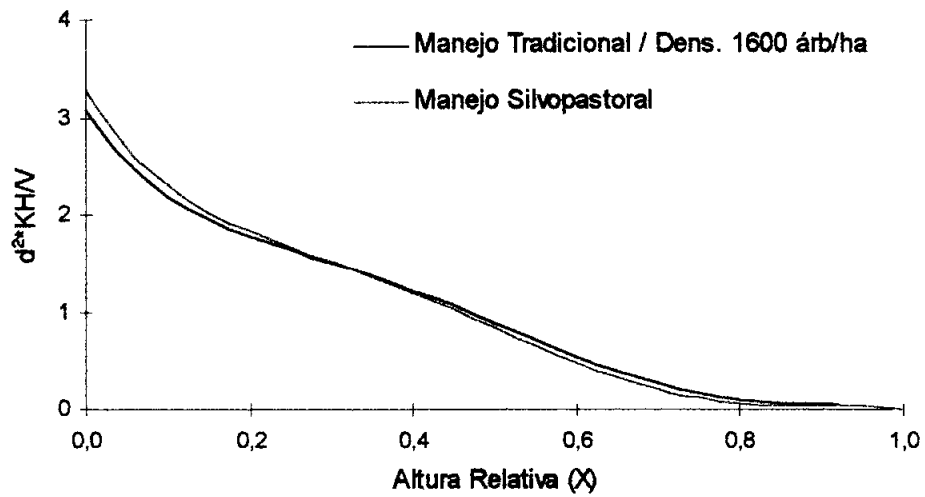
TABLA 12. PARAMETROS Y ESTADISTICOS DEL MODELO GOULDING Y MURRAY (1976) PARA LA AGRUPACION DE TRATAMIENTOS CON DISTINTO MANEJO EN EL CEF TANUME, VI REGION

GRUPO	B1	B2	B3	B4	R ²	EEE
T SILVO	-4.9637	16.6840	-18.3063	6.9493	0.9124	0.1369
T SILVO-7	-4.9168	16.5398	-18.1763	6.9045	0.9091	0.1368

TABLA 13. VALORES MUESTRALES PARA LAS PRUEBA DE BARTLETT Y F PARA LA AGRUPACION DE TRATAMIENTOS CON DISTINTO MANEJO EN EL CEF TANUME, VI REGION.

GRUPO	χ^2_m	1- α	$\chi^2_c < \chi^2_m$	F _m	1- α	F _m < F _c
T SILVO	25.47	0.975	RECHAZADO	-	-	-
T SILVO-7	4.859	0.975	APROBADO	8.351	0.95	RECHAZADO

m: estadístico muestral; c: estadístico crítico



V. CONCLUSIONES

- I. Los análisis aplicados en el estudio permiten concluir que existe diferencia significativa entre los perfiles fustales de árboles creciendo con diferente tipo de pradera asociada, siendo más ahusados en aquellas praderas de mayor intervención humana (pradera sembrada y pradera natural mejorada)
- II. No existe diferencia significativa en el ahusamiento de árboles creciendo con diferente densidades, pero se detectó que los de menor densidad son más ahusados en la base de los fustes y menos en las secciones superiores.
- III. Hay diferencia significativa entre el tratamiento a densidad 1600 árb/ha y los tratamientos silvopastorales en conjunto, efecto que se explicaría mayormente por la pradera asociado a los tratamientos silvopastorales, la que determina el nivel de intervención humana, y en segundo lugar, a la densidad, considerándose que no son los únicos factores variables en la agrupación.
- IV. Los tratamientos T₄ y T₆, ambos ubicados en un sector microclimático diferente, presentan gran similitud de perfil fustal (conicidad), y diferencia gráfica con los árboles creciendo en pradera sembrada a la misma densidad ubicado en un sector climático diferente; ésta diferencia es principalmente atribuida al microclima asociado a dichos tratamientos.
- V. Se detectó diferencia significativa de ahusamiento de árboles con manejo silvopastoral y entre éstos y los con manejo tradicional, lo que indica que (menor error de estimación) es más conveniente desarrollar modelos fustales para subgrupos de tratamientos y no representar el perfil fustal con un único modelo para todos los tratamientos.

VI. RESUMEN

Una de las técnicas más usadas en la dasometría actual corresponde a las funciones de ahusamiento o de perfil fustal. En este estudio se utilizó el modelo fustal de Goulding y Murray (1976) para estudiar la diferencia de ahusamiento entre árboles de pino radiata de 12 años de un ensayo silvopastoral, ubicado en el Centro Experimental Forestal Tanumé, VI región; en el que el tipo de pradera y la densidad de rodal son los factores variables. Se constató que el tipo de pradera, relacionado con un nivel de intervención humana, afecta significativamente el perfil de los árboles y que la densidad sigue una relación inversa con el ahusamiento, que en este caso no presentó diferencia significativa.

SUMMARY

Taper function or stem profile equations are one of the most useful techniques in actual mensuration. In this study the taper model of Goulding y Murray (1976) was used to study the taper difference in 12 year old radiata pine plantation with different shepherd management, located in Tanumé Forest Experimental Center, VI Region; where kind of grassland and density of tree population are the variable factors. This study confirmed that the kind grassland, related with a human intervention level, affect significantly the tree profile, and that the tree population follow s a denial relation with taper, that in this case no significantly difference were found.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Bruce, D. 1972. Note by Donald Bruce. *For. Sci.* 18(2): 164-166.
- Candy, S. G. 1989. Compatible tree volume and variable form stem taper models for *Pinus radiata* in Tasmania. *N. Z. J. For. Sci.* 19(1): 97-111.
- Cao, Q. V., Burkhart, H. E., and T.A. Max. 1980. Evaluation of two methods for cubic-volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit. *For. Sci.* 26(1): 71-80.
- Conaf, VI Región. 1990. Centro experimental forestal Tanumé en el desarrollo forestal de Chile Central. Conaf VI Región, Rancagua, Chile.
- Demaerschalk, J. P. 1971. Taper equation can be converted to volume equations and point sampling factors. *The For. Chron.* 47(6): 352-354.
- Demaerschalk, J. P., 1972. Converting volume equations to compatible taper equations. *For. Sci.* 18:241-245.
- Forslund, R. R. 1991. The power function as a simple stem profile examination tool. *Can. J. For. Res.* 21: 193-198.
- Gordon, A. 1983. Comparison of compatible polynomial taper equations. *N. Z. J. For. Sci.* 13(2): 146-155.

- Goulding, C. J., and J. C. Murray. 1976. Polynomial taper equations that are compatible with tree volume equations. *N. Z. J. For. Sci.* 5(3): 313-322.
- Gujarati, D. 1992. *Econometría*. Mc. Graw-Hill. New York.
- Husch, B., Miller, C. I., and T. W. Beers. 1972. *Forest mensuration*. Roland Press:New York.
- Kozak, A. 1988. A variable exponent taper equation. *Can. J. For. Res.* 18: 1363-1368.
- Larson, P. R. 1963. *Stem form development of forest trees*. For. Sci. Monograph 5
- Max, T. A., and H. E. Burkhart. 1976. Segmented polynomial regression applied to taper equation. *For. Sci.* 22: 283-289.
- Mc.Clure, J. P., and R. L. Czaplewski. 1986. Compatible taper equation for loblolly pine. *Can. J. For. Res.* 16: 1272-1277.
- Newberry, J. D., and H.E. Burkhart. 1986. Variable form stem profile models for loblolly pine. *Can. J. For. Res.* 16: 109-114.
- Ormerod, D. W. 1973. A simple bole model. *The For. Chron.* 49: 136-138.
- Ormerod, D. W. 1986. The diameter-point method for tree taper description. *Can. J. For. Res.* 16: 484-490.
- Ostle, B. 1968. *Estadística Aplicada*. Limusa-Wiley. México.

- Reed, D. D., and J. C. Byrne. 1985. A simple, variable form volume estimation system. *The For. Chron.* 61: 87-90.
- Rustagi, K. P., and R. S. Jr Loveless,. 1991. Compatible variable form volume and stem profile equations for Douglas-fir. *Can. J. For. Res.* 21: 143-151.
- Thomas, C. E., and B. R. Parresol,. 1991. Simple, Flexible, Trigonometric Taper Equation. *Can. J. For. Res.* 21: 1123-1137.
- Valinger, E. 1992. Effects of wind sway on stem form and crown development of Scot pine (*Pinus silvestris* L.). *Aust. For.* 55: 15-21.
- Varas, A. 1996. Análisis del crecimiento y predicción del rendimiento silvícola de un sistema silvopastoral con plantación de *Pinus radiata* D.Don. Memoria de Título. Universidad de Concepción. Facultad de Cs. Forestales. Concepción.
- Yamamoto, K. 1994. A Simple volume estimation system and its application to three coniferous species. *Can. J. For. Res.* 24: 1289-1294.

VIII. APENDICE

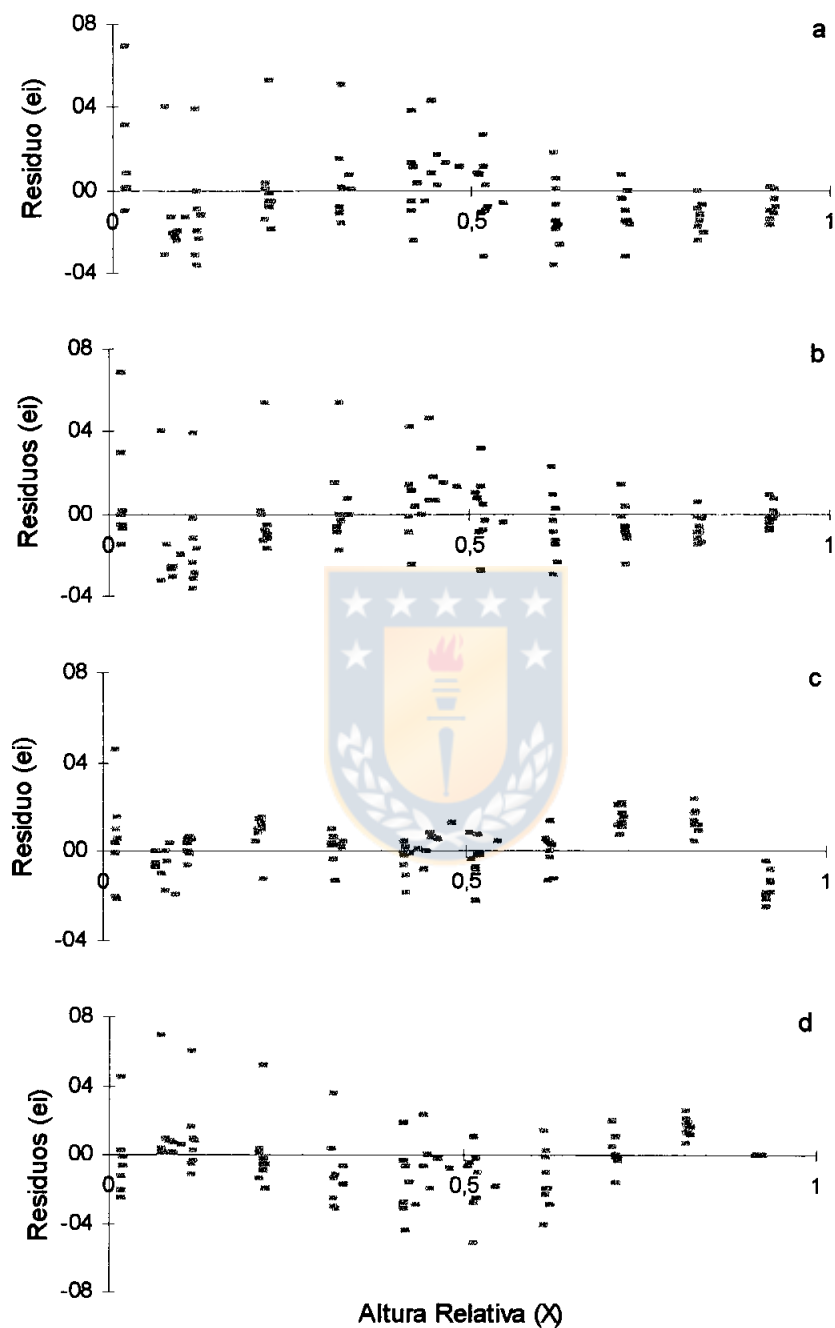


Figura 1-A: Análisis de residuos del ajuste de las funciones de ahusamiento de Kozak *et al.* (1969)(a), de Ormerod (1973)(b), de Goulding y Murray (1976)(c) y de Thomas y Parresol (1991)(d) en Las Manchas.

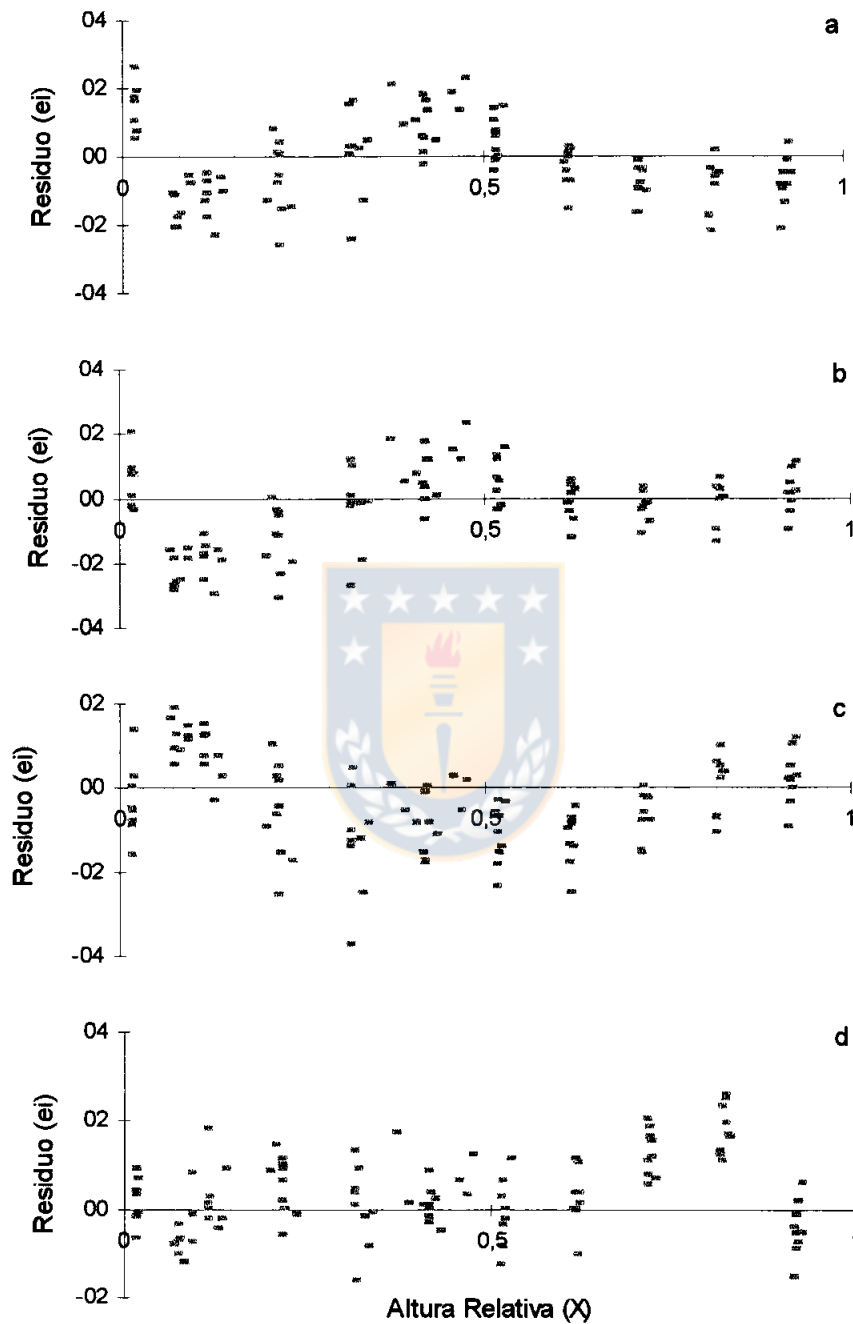


Figura 2-A: Análisis de residuos del ajuste de las funciones de ahusamiento de Kozak *et al.* (1969)(a), de Ormerod (1973)(b), de Goulding y Murray (1976)(c) y de Thomas y Parresol (1991)(d) en El Rincón.

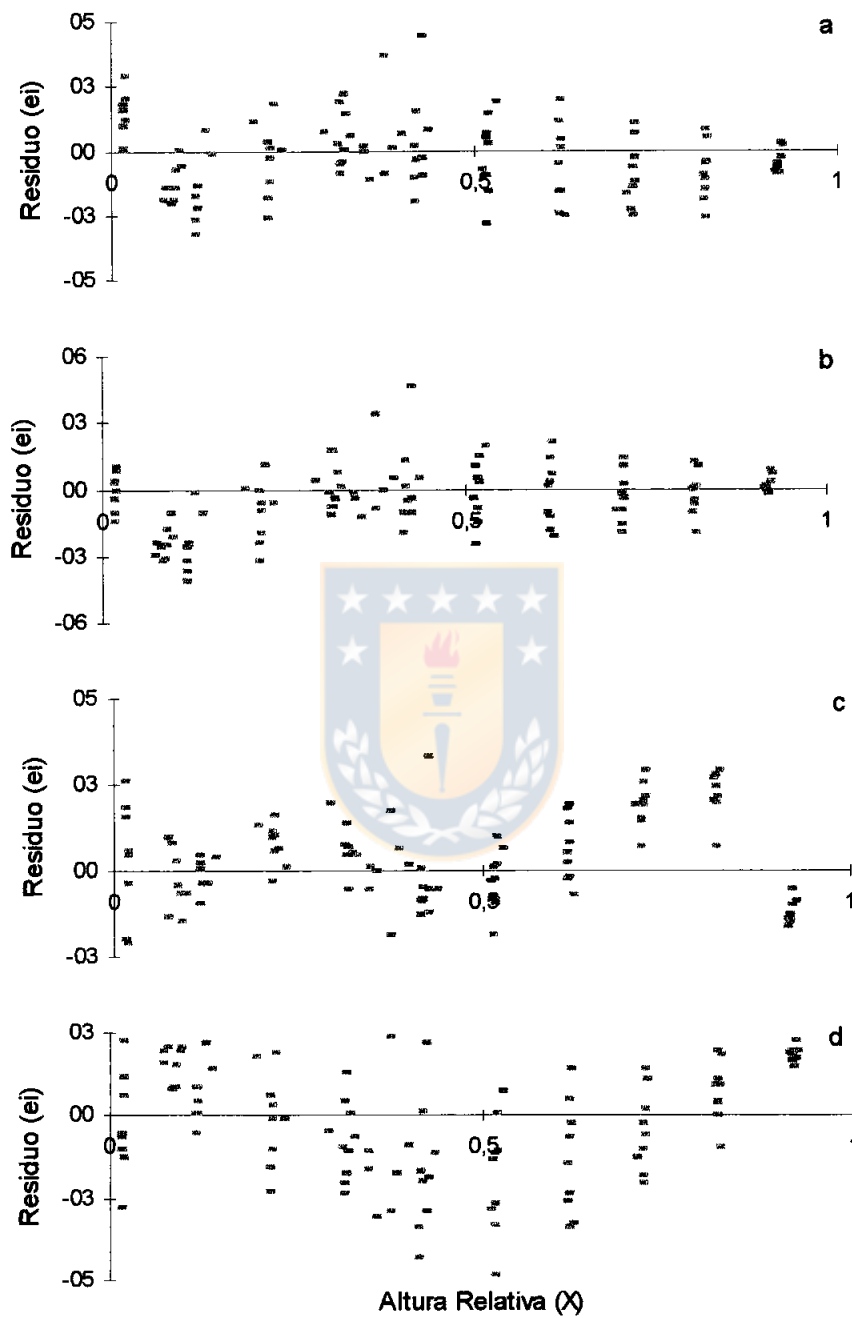


Figura 3-A: Análisis de residuos del ajuste de las funciones de ahusamiento de Kozak *et al.* (1969)(a), de Ormerod (1973)(b), de Goulding y Murray (1976)(c) y de Thomas y Parresol (1991)(d) en La Piedra.

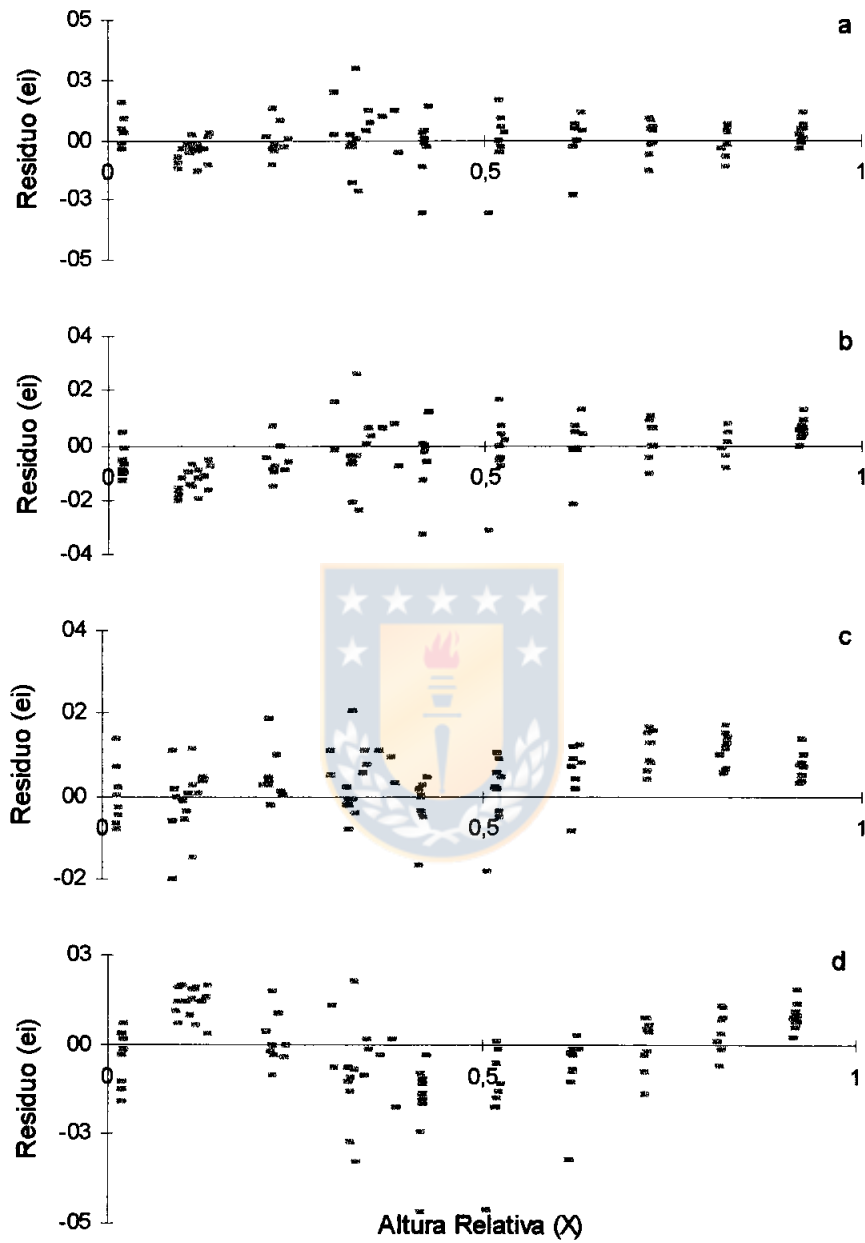


Figura 4-A: Análisis de residuos del ajuste de las funciones de ahusamiento de Kozak *et al.* (1969)(a), de Ormerod (1973)(b), de Goulding y Murray (1976)(c) y de Thomas y Parresol (1991)(d) en La Turca I.

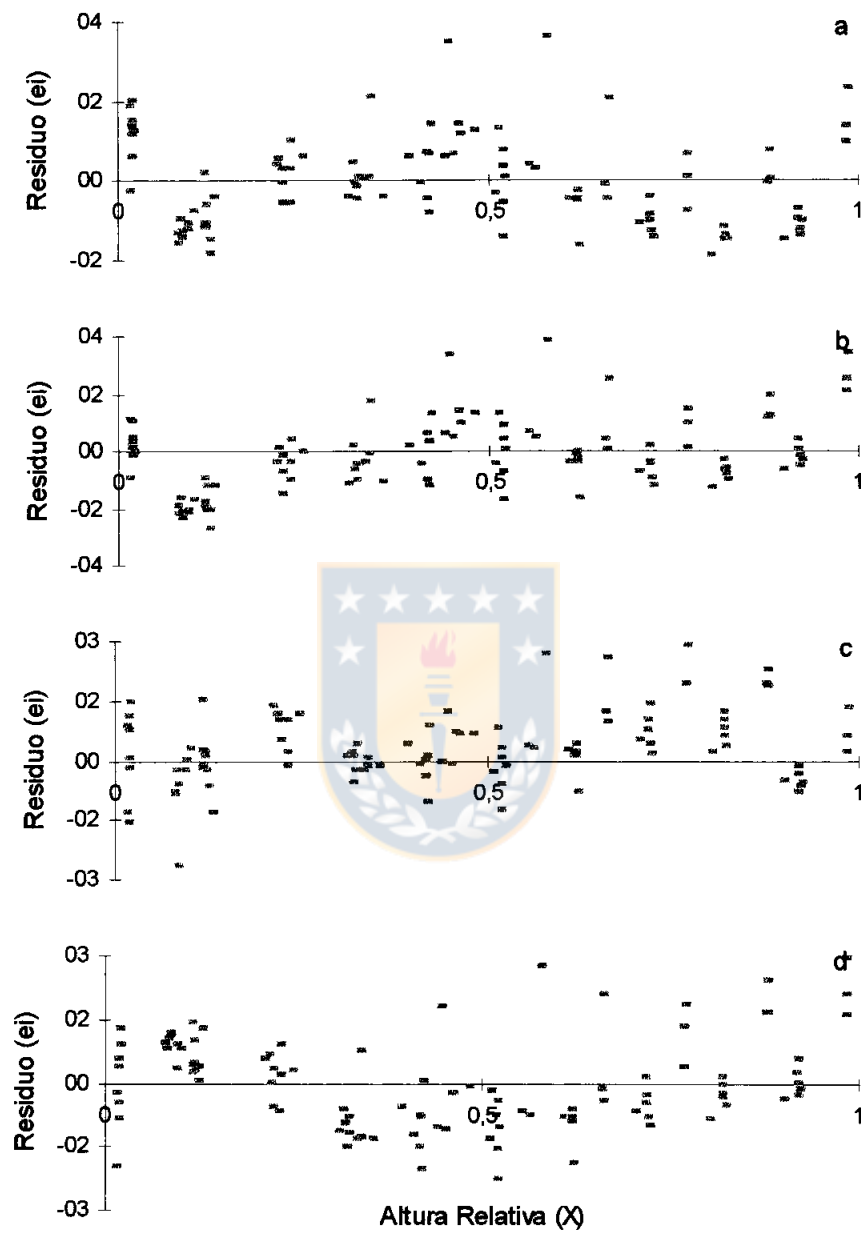


Figura 5-A: Análisis de residuos del ajuste de las funciones de ahusamiento de Kozak *et al.* (1969)(a), de Ormerod (1973)(b), de Goulding y Murray (1976)(c) y de Thomas y Parresol (1991)(d) en La Lagunillas.

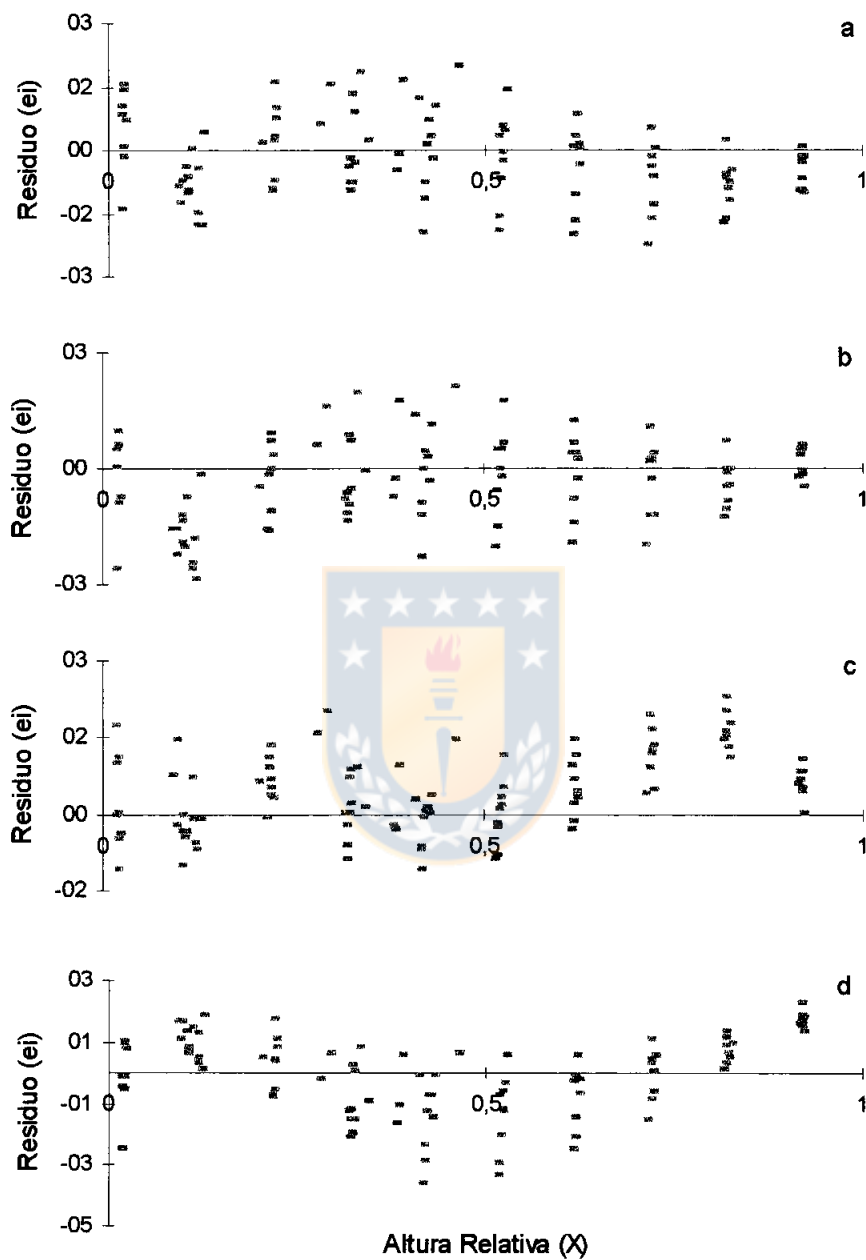


Figura 6-A: Análisis de residuos del ajuste de las funciones de ahusamiento de Kozak *et al.* (1969)(a), de Ormerod (1973)(b), de Goulding y Murray (1976)(c) y de Thomas y Parresol (1991)(d) en La Turca II.

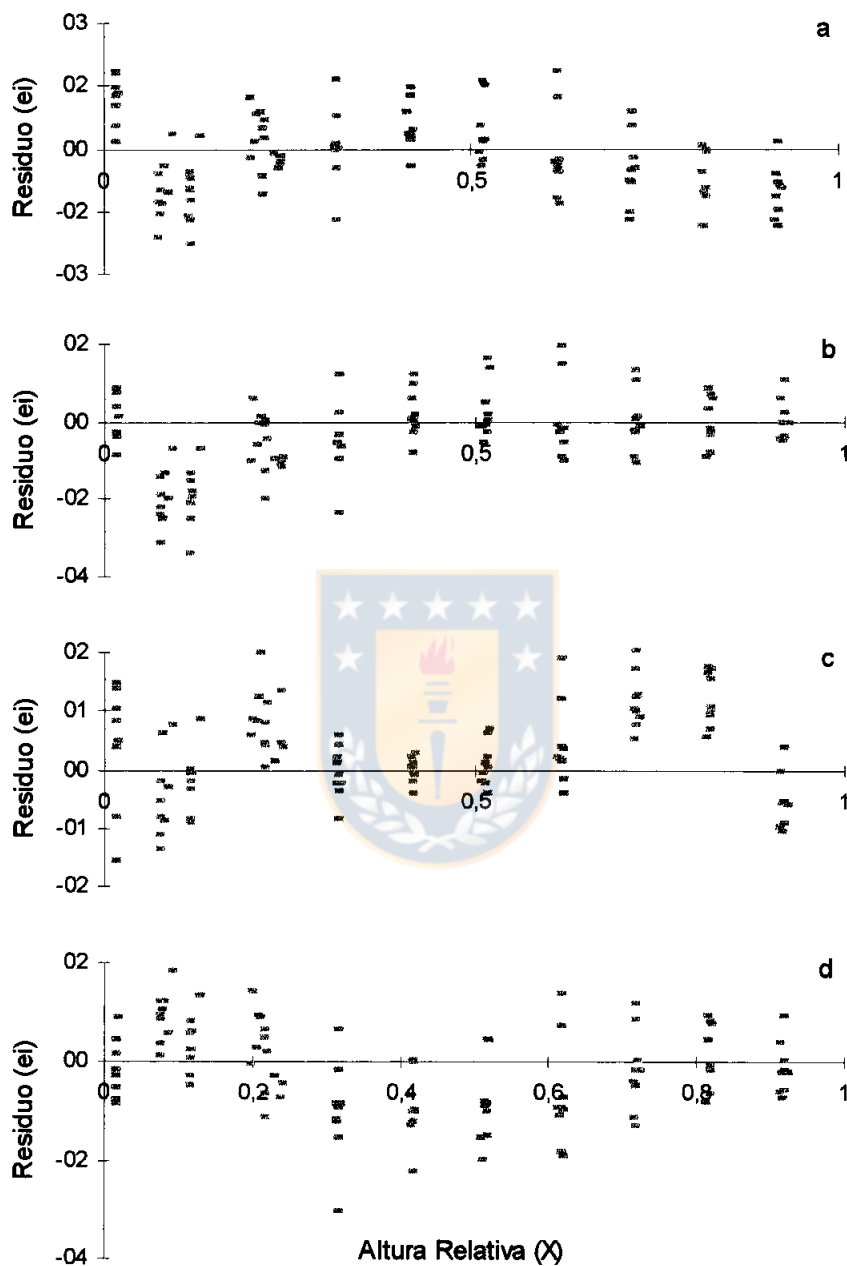


Figura 7-A: Análisis de residuos del ajuste de las funciones de ahusamiento de Kozak *et al.* (1969)(a), de Ormerod (1973)(b), de Goulding y Murray (1976)(c) y de Thomas y Parresol (1991)(d) en Los Junquillos.