

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
ESCUELA DE POSTGRADO

Modelo optimizador de trozado de árboles basado
en funciones de ahusamiento y Programación Dinámica

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico de
Postgrado y Capacitación del Centro Agronómico Tropical
de Investigación y Enseñanza, para optar al grado de

Magister Scientiae

por

JORGE ORLANDO CANCINO CANCINO

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
Turrialba, Costa Rica

1993

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Area de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y Aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales
MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:

M. Sc. José Arze
Profesor Consejero

Ph. D. Pedro Ferreira
Miembro Comité Asesor

M. Sc. Carlos Reiche
Miembro Comité Asesor

M. Sc. Williams Vásquez
Miembro Comité Asesor

Ph. D. Assefaw Tewolde
Jefe, Area de Postgrado

Ph. D. Ramón Lastra
Director, Programa de Enseñanza

Jorge Orlando Cancino Cancino
Candidato

DEDICATORIA

A *Francisca y Verónica,*

quienes me han dedicado su mejor tiempo: el presente

AGRADECIMIENTOS

En especial a los miembros del Comité Asesor, por su confianza en el cumplimiento de la investigación propuesta, y a colaboradores que aportaron en forma desinteresada con el trabajo desarrollado, Señores:

M. Sc. José Arze,	Profesor Consejero
Ph. D. Pedro Ferreira,	Miembro Comité Asesor
M. Sc. Carlos Reiche,	Miembro Comité Asesor
M. Sc. Williams Vásquez,	Miembro Comité Asesor

M. Sc. Leopoldo Gómez,	Colaborador
Ph. D. Luis Ugalde,	Colaborador
Ph. D. Pedro Oñoro,	Colaborador
Proyecto Madeleña 3,	Colaborador
Empresa Forestal los Nacientes,	Colaborador
Centro Agrícola Cantonal Hojancha,	Colaborador

T A B L A D E C O N T E N I D O

MATERIA	PAGINA
Resumen	vii
Summary	viii
Lista de tablas	ix
Lista de figuras	xvii
I INTRODUCCION	1
II REVISION DE LITERATURA	3
2.1 FUNCIONES DE AHUSAMIENTO	3
2.1.1 Tipos de funciones de ahusamiento	5
Modelos simples y Polinomios	5
Modelos segmentados	5
Modelos de forma variable	6
Modelos compatibles	6
2.1.2 Criterios usados para seleccionar modelos	7
2.2 OPTIMIZACION DEL TROZADO	11
III MATERIALES Y METODOS	13
3.1 MUESTREO	13
3.2 COMPONENTES DEL MODELO	15
3.2.1 Función de ahusamiento	16
Modelos probados	17
Indicadores estadísticos	18
Validación de la función de ahusamiento	20
3.2.2 Optimización del trozado	21
3.3 ESTRUCTURACION DEL MODELO OPTIMIZADOR	22

MATERIA	PAGINA
IV RESULTADOS Y DISCUSION	23
4.1 MODELOS DE AHUSAMIENTO. AJUSTE Y VALIDACION	23
4.1.1 AJUSTE DE LOS MODELOS DE AHUSAMIENTO	23
4.1.2 VALIDACION DE LA FUNCION DE AHUSAMIENTO	41
Validación en Tectona grandis	42
Validación en Gmelina arborea	44
Validación en Eucalyptus camaldulensis	46
Validación en Eucalyptus deglupta	47
Validación del sistema de funciones por árbol individual	48
4.2 EL MODELO OPTIMIZADOR DEL TROZADO	52
Datos de entrada	52
Procesos	53
Salidas	53
V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
5.1 CONCLUSIONES	54
5.2 RECOMENDACIONES	55
VI BIBLIOGRAFIA	57
APENDICE A DESARROLLO DE MODELOS DE AHUSAMIENTO	62
APENDICE B OPTIMIZACION MEDIANTE PROGRAMACION DINAMICA	89
APENDICE C MANUAL DE OPERACION DE "OT"	
Modelo optimizador de trozado de fustes	95
APENDICE D PROCEDIMIENTOS DE EVALUACION MEDIANTE "OT"	
Modelo optimizador de trozado de fustes	143

MATERIA	PAGINA	
APENDICE E	ESTRUCTURA DE "OT"	
	Modelo optimizador de trozado de fustes	155
APENDICE F	RESULTADOS DEL ANALISIS DE REGRESION Y VALIDACION DEL MODELO DE AHUSAMIENTO	162
APENDICE G	GRAFICOS DEL AJUSTE DEL MODELO 3 POR ESPECIE, LOCALIDAD Y AGRUPACION DE LOCALIDADES	201

Modelo optimizador de trozado de árboles basado
en funciones de ahusamiento y Programación Dinámica.

Palabras clave: Programación Dinámica, Optimización, Ahusamiento,
Trozado.

RESUMEN

Se desarrolló un modelo optimizador de trozado de fustes de árboles, como una herramienta básica de apoyo a las decisiones en manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales.

El modelo está compuesto por un algoritmo de optimización, basado en Programación Dinámica, y funciones de ahusamiento que describen el perfil fustal de los árboles. Está estructurado en ocho módulos que hacen posible su uso en microcomputadores de baja capacidad de memoria RAM (640 KB).

El modelo procesa de 18 formas alternativas datos de árboles individuales, parcelas de muestreo o rodales. Realiza dos procesos básicos en árboles con o sin defectos: a) cubicación, hasta un diámetro límite, altura límite o total; y b) optimización del trozado, para maximizar el volumen, el ingreso o la utilidad, con o sin producto prioritario.

Las variables que necesita el modelo para operar son el diámetro del fuste con corteza, medido a 1.3 m de la superficie del suelo (DAP), y la altura total del árbol. El usuario selecciona el tipo de operación a realizar y, si corresponde, especifica las características de los productos a obtener del proceso de trozado.

En el proceso de optimización, el modelo determina el patrón de trozado óptimo, señala la posición de los cortes en el fuste y los productos a obtener; además, cubica y clasifica las piezas obtenidas de cada producto según el diámetro menor.

Bucking optimizing model based on
taper functions and Dynamic Programming

Key words: Dynamic Programming, Optimization, Taper, Bucking.

SUMMARY

A model for optimizing tree bucking was developed. It is a basic tool to support decisions in management and harvest of forest stands.

The model utilizes an optimizing algorithm, based on Dynamic Programming, and taper functions that describe the stem profile. It was developed in eight modules that enable its use in microcomputers that have low RAM memory capacity.

The model processes data from individuals trees, sample plots, or stands in 18 alternative ways. It carries out two basic processes in trees with or without defects: a) cubic volume estimation, from stump to limit diameter, limit height or total height; b) stem bucking optimization to maximize cubic volume, income or profit, with or without a specified priority product. The model operates with diameter at breast height (DBH) and total height of the tree.

The user selects the operation to carry out and, if needed, specifies the characteristics of the products that might be obtained in the bucking process. Through optimization the model determines the optimum bucking pattern, indicates the cutting positions in the stem and lists products obtained; furthermore, estimates the cubic volume and classifies the logs in terms of potential products by lower log diameter.

L I S T A D E T A B L A S

TABLA		PAGINA
En el texto principal:		
Tabla 3.1	Antecedentes de las muestras utilizadas en el análisis de regresión por especie y localidad	14
Tabla 4.1.1.1	Estimadores de los coeficientes de regresión y determinación del modelo 3 por especie y localidad	25
Tabla 4.1.1.2	Prueba de homogeneidad de varianza (Chi ²) para agrupaciones de localidades por especie, y Prueba F para agrupaciones con varianza homogénea	29
Tabla 4.1.1.3	Valores estimados y significancia de los coeficientes de regresión del modelo 3 para agrupaciones de localidades por especie	30
Tabla 4.1.1.4	Prueba de homogeneidad de varianzas (Chi ²) para datos clasificados por tamaño de árbol y por especie	34
Tabla 4.1.1.5	Coefficientes de regresión y determinación del modelo 3 para la especie <i>T. grandis</i> , por rango de DAP	35
Tabla 4.1.1.6	Coefficientes de regresión y determinación del modelo 3 para la especie <i>G. arborea</i> , por rango de DAP	36
Tabla 4.1.1.7	Coefficientes de regresión y determinación del modelo 3 para la especie <i>E. camaldulensis</i> , por rango de DAP	37
Tabla 4.1.1.8	Coefficientes de regresión y determinación del modelo 3 para la especie <i>E. deglupta</i> , por rango de DAP	38

TABLA

PAGINA

Tabla 4.1.1.9	Funciones para estimar los coeficientes de regresión del modelo trigonométrico por especie	40
Tabla 4.1.1.10	Estadísticas de la validación interna (I) y externa (E) del modelo trigonométrico para las especies en análisis	50
Tabla 4.1.1.11.	Sesgos detectados por la validación externa e interna del modelo trigonométrico, para la variable diámetro sin corteza.(DSC) en diferentes secciones del fuste de las especies en análisis	51

En el Apéndice F:

Tabla F.1.a.	Coefficiente de determinación múltiple (R^2), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo ($P > F$) y de los coeficientes estimados ($P > |t|$) para la especie <i>Tectona grandis</i> , en la localidad de Santa Cruz	163
Tabla F.1.b.	Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie <i>Tectona grandis</i> , en la localidad de Santa Cruz	163
Tabla F.2.a.	Coefficiente de determinación múltiple (R^2), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo ($P > F$) y de los coeficientes estimados ($P > |t|$) para la especie <i>Tectona grandis</i> , en la localidad de Nicoya	164
Tabla F.2.b.	Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie <i>Tectona grandis</i> , en la localidad de Nicoya	164

Tabla F.3.a. Coeficiente de determinación múltiple (R ²), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo (P>F) y de los coeficientes estimados (P>|t|) para la especie <i>Tectona grandis</i> , en la localidad de Parrita	165
Tabla F.3.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie <i>Tectona grandis</i> , en la localidad de Parrita	165
Tabla F.4.a. Coeficiente de determinación múltiple (R ²), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo (P>F) y de los coeficientes estimados (P>|t|) para la especie <i>Tectona grandis</i> , en la localidad de Panamá	166
Tabla F.4.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie <i>Tectona grandis</i> , en la localidad de Panamá 1 (n = 43)	166
Tabla F.5.a. Coeficiente de determinación múltiple (R ²), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo (P>F) y de los coeficientes estimados (P>|t|) para la especie <i>Tectona grandis</i> , en la localidad de Panamá 2	167
Tabla F.5.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie <i>Tectona grandis</i> , en la localidad de Panamá 2	167
Tabla F.6.a. Coeficiente de determinación múltiple (R ²), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo (P>F) y de los coeficientes estimados (P>|t|) para la especie <i>Gmelina arborea</i> , en la localidad de Puerto Viejo, Sarapiquí	168

Tabla F.6.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie <i>Gmelina arborea</i> , en la localidad de Puerto Viejo, Sarapiquí	168
Tabla F.7.a. Coeficiente de determinación múltiple (R ²), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo (P>F) y de los coeficientes estimados (P>|t|) para la especie <i>Gmelina arborea</i> , en la localidad de Monte Romo, Hojancha	169
Tabla F.7.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie <i>Gmelina arborea</i> , en la localidad de Monte Romo, Hojancha	169
Tabla F.8.a. Coeficiente de determinación múltiple (R ²), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo (P>F) y de los coeficientes estimados (P>|t|) para la especie <i>Gmelina arborea</i> , en la localidad de Santa Marta, Hojancha	170
Tabla F.8.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie <i>Gmelina arborea</i> , en la localidad de Santa Marta, Hojancha	170
Tabla F.9.a. Coeficiente de determinación múltiple (R ²), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo (P>F) y de los coeficientes estimados (P>|t|) para la especie <i>Gmelina arborea</i> , en varias localidades de Costa Rica	171
Tabla F.9.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie <i>Gmelina arborea</i> , en varias localidades de Costa Rica	171

Tabla F.10.a. Coeficiente de determinación múltiple (R ²), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo (P>F) y de los coeficientes estimados (P>|t|) para la especie <i>Gmelina arborea</i> , en la localidad de CATIE	172
Tabla F.10.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie <i>Gmelina arborea</i> , en la localidad de CATIE	172
Tabla F.11.a. Coeficiente de determinación múltiple (R ²), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo (P>F) y de los coeficientes estimados (P>|t|) para la especie <i>Eucalyptus camaldulensis</i> , en la localidad de El Salvador	173
Tabla F.11.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie <i>Eucalyptus camaldulensis</i> , en la localidad de El Salvador	173
Tabla F.12.a. Coeficiente de determinación múltiple (R ²), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo (P>F) y de los coeficientes estimados (P>|t|) para la especie <i>Eucalyptus camaldulensis</i> , en la localidad de Nicaragua	174
Tabla F.12.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie <i>Eucalyptus camaldulensis</i> , en la localidad de Nicaragua	174
Tabla F.13.a. Coeficiente de determinación múltiple (R ²), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo (P>F) y de los coeficientes estimados (P>|t|) para la especie <i>Eucalyptus deglupta</i> , en la localidad de Juan Viñas, Turrialba	175

Tabla F.13.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie <i>Eucalyptus deglupta</i> , en la localidad de Juan Viñas, Turrialba	175
Tabla F.14.a. Coeficiente de determinación múltiple (R ²), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo (P>F) y de los coeficientes estimados (P>|t|) para la especie <i>Eucalyptus deglupta</i> , en la localidad de Florencia Sur 1, Turrialba	176
Tabla F.14.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie <i>Eucalyptus deglupta</i> , en la localidad de Florencia Sur 1, Turrialba	176
Tabla F.15.a. Coeficiente de determinación múltiple (R ²), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo (P>F) y de los coeficientes estimados (P>|t|) para la especie <i>Eucalyptus deglupta</i> , en la localidad de Florencia Sur 2, Turrialba	177
Tabla F.15.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie <i>Eucalyptus deglupta</i> , en la localidad de Florencia Sur 2, Turrialba	177
Tabla F.16.a. Coeficiente de determinación múltiple (R ²), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo (P>F) y de los coeficientes estimados (P>|t|) para la especie <i>Eucalyptus deglupta</i> , en la localidad de El Salvador	178
Tabla F.16.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie <i>Eucalyptus deglupta</i> , en la localidad de El Salvador	178

TABLA

PAGINA

Tabla F.17.	Grados de libertad, suma de cuadrados de los desvíos (SCE) y cuadrado medio residual (CME) del modelo 3 por especie y localidad	179
Tabla F.18.	Grados de libertad, suma de cuadrados de los desvíos (SCE) y cuadrado medio residual (CME) del modelo 3 para la especie <i>T. grandis</i> , por rango de DAP	180
Tabla F.19.	Grados de libertad, suma de cuadrados de los desvíos (SCE) y cuadrado medio residual (CME) del modelo 3 para la especie <i>G. arborea</i> , por rango de DAP	180
Tabla F.20.	Grados de libertad, suma de cuadrados de los desvíos (SCE) y cuadrado medio residual (CME) del modelo 3 para la especie <i>E. camaldulensis</i> , por rango de DAP	181
Tabla F.21.	Grados de libertad, suma de cuadrados de los desvíos (SCE) y cuadrado medio residual (CME) del modelo 3 para la especie <i>E. deglupta</i> , por rango de DAP	181
Tabla F.22.	Estadísticas de la validación del modelo 3 para la especie <i>T. grandis</i>	182
Tabla F.23.	Estadísticas de la validación del modelo 3 para la especie <i>G. arborea</i>	186
Tabla F.24.	Estadísticas de la validación del modelo 3 para la especie <i>E. camaldulensis</i>	190
Tabla F.25.	Estadísticas de la validación del modelo 3 para la especie <i>E. deglupta</i>	191
Tabla F.26.	Estadísticas de la validación interna del modelo 3 para la especie <i>T. grandis</i> , por clase de DAP	194

TABLA

PAGINA

Tabla F.27. Estadísticas de la validación externa del modelo 3 para la especie <i>T. grandis</i> , por clase de DAP	195
Tabla F.28. Estadísticas de la validación interna del modelo 3 para la especie <i>G. arborea</i> , por clase de DAP	196
Tabla F.29. Estadísticas de la validación externa del modelo 3 para la especie <i>G. arborea</i> , por clase de DAP	197
Tabla F.30. Estadísticas de la validación interna del modelo 3 para la especie <i>E. camaldulensis</i> , por clase de DAP	198
Tabla F.31. Estadísticas de la validación externa del modelo 3 para la especie <i>E. camaldulensis</i> , por clase de DAP	198
Tabla F.32. Estadísticas de la validación interna del modelo 3 para la especie <i>E. deglupta</i> , por clase de DAP	199
Tabla F.33. Estadísticas de la validación externa del modelo 3 para la especie <i>E. deglupta</i> , por clase de DAP	200

LISTA DE FIGURAS

FIGURA PAGINA

En el texto principal:

Figura 4.1.1.1. Perfil fustal estimado en base al modelo Trigonométrico 26

Figura 4.1.1.2. Radio de fuste estimado en base a cada variable individual en el modelo Trigonométrico 27

Apéndice A

Figura A.1. Gráfica de la relación diámetro relativo (Y) - altura relativa (X) 65

Figura A.2. Gráfica de la relación diámetro relativo (Y) - altura relativa (Z) 66

Figura A.3. Gráfica de perfil de fuste, ubicación de los puntos de unión a_i de tres submodelos injertados y valores de las variables dicotómicas I_i 82

Apéndice B

Figura B.1. Optimización del trozado mediante Programación Dinámica 93

FIGURA	PAGINA
Apéndice C	
FIGURA 0.1. División de la Pantalla durante la definición del ambiente de trabajo	100
FIGURA 0.2. Presionar cualquier tecla para continuar sesión de trabajo	100
FIGURA 0.3. Seleccionar una alternativa	101
FIGURA 0.4. Corregir selección "S" o confirmarla "N"	102
FIGURA 1.1.1. Ingresar el nombre del archivo de terreno a acceder	104
FIGURA 1.2.1. Decidir sobre tabulación de datos ingresados por árbol	104
FIGURA 1.2.2. Ingresar la amplitud de clase de DAP deseada	105
FIGURA 1.3.1. Decidir sobre la vía de salida de los resultados	106
FIGURA 1.4.1. Seleccionar la forma de evaluar los datos	107
FIGURA 1.5.1. Digitar el nombre y presionar "ENTER"	108
FIGURA 1.5.2. Seleccionar avance por etapa de evaluación	109
FIGURA 1.5.3. Digitar el valor y presionar "ENTER"	109
FIGURA 1.5.4. Digitar el valor y presionar "ENTER"	110

FIGURA	PAGINA
FIGURA 1.5.5. Seleccionar especie / modelo	110
FIGURA 1.6.1. Pantalla durante el proceso de datos sin producto prioritario	111
FIGURA 1.6.2. Pantalla durante el proceso de datos con producto prioritario	112
FIGURA 1.7.1. Mensaje de error en salida de resultados por impresora	113
FIGURA 1.7.2. Estructura general de una tabla de resultados	113
FIGURA 1.7.3. Características de los productos evaluados	114
FIGURA 1.7.4. Sección comercial 'del fuste por producto / clase de DAP	115
FIGURA 1.7.5. Totales por producto evaluado	115
FIGURA 1.7.6. Totales por clase de DAP	116
FIGURA 1.7.7. Totales por producto / clase de DAP	116
FIGURA 1.7.8. Número de piezas por producto / clase de diámetro menor	117
FIGURA 1.7.9. Patron de trozado por clase de DAP	117
FIGURA 1.7.10. Resultados de cubicación hasta un límite determinado	118
FIGURA 1.8.1. Modificación del ambiente de trabajo	119

FIGURA	PAGINA
FIGURA 2.1. Antecedentes de la especie, de la muestra usada en el ajuste de la función de ahusamiento	121
FIGURA 2.2. Fin de archivo de datos de especies	121
FIGURA 3.1. Ingresar los datos	123
FIGURA 3.2. Corrección de un Item errado	123
FIGURA 3.3. Seleccionar el modelo ajustado	124
FIGURA 3.4. Ingresar los coeficientes	124
FIGURA 4.1. Ingresar el nombre del archivo de datos de terreno a crear. Digitar el nombre	126
FIGURA 4.2. Ingresar la altura de tocón a dejar	127
FIGURA 4.3.1. Señalar la procedencia de los datos	128
FIGURA 4.3.2. Ingresar la superficie de la unidad muestral	128
FIGURA 4.4. Señalar el formato de los datos	129
FIGURA 4.4.1.1. Ingresar las marcas de clase y la amplitud. Digitar los valores y presionar	130
FIGURA 4.4.1.2. Ingresar la altura y la frecuencia de la clase de DAP. Digitar el valor	131
FIGURA 4.4.2.1. Ingresar el número de árboles	132

FIGURA	PAGINA
FIGURA 4.4.2.2. Señalar la condición de los fustes	132
FIGURA 4.4.2.3. Ingresar el DAP y la altura	133
FIGURA 4.4.2.4. Ingresar el DAP, la altura y el número de defectos	133
FIGURA 4.4.2.5. Ingresar la altura de inicio y la longitud del defecto. Digitalar el valor	134
FIGURA 5.1. Ingresar el nombre del archivo de datos de productos a crear	136
FIGURA 5.2. Ingresar el número de productos	136
FIGURA 5.3. Ingresar las especificaciones de los productos	137
FIGURA 9.1. Pantalla de término de sesión de trabajo	142
 Apéndice D	
Figura D 1.1.1. Seccionamiento del fuste de árboles sin defectos	146
Figura D 1.1.2 Seccionamiento del fuste de árboles con defectos	147
Figura D 1.3.1. Opción 1 de zonificación del fuste para optimización con producto prioritario. Arbol sin defectos	148

FIGURA	PAGINA
Figura D 1.3.2. Opción 2 de zonificación del fuste para optimización con producto prioritario. Arbol sin defectos	149
Figura D 1.3.3. Zonificación y seccionamiento del fuste para optimización con producto prioritario	150
Figura D 2.1. Cubicación del fuste desde el tocón hasta un diámetro límite de utilización (dlu)	152
Figura D 2.2. Cubicación del fuste desde el tocón hasta una altura límite de utilización (alu)	153
Figura D 2.3. Cubicación del fuste desde el tocón hasta el ápice (total)	154
Apéndice E	
Figura E.1. Diagrama general de flujo de "OT". Relación entre los módulos componentes	156
Figura E.2a. Diagrama de flujo del Módulo de Proceso de Datos (PDT)	157
Figura E.2b. Diagrama de flujo del Módulo de Proceso de Datos (PDT). SUB Programa Evalúa	158
Figura E.2c. Diagrama de flujo del Módulo de Proceso de Datos (PDT). SUB Programa Evalúa	159
Figura E.2d. Diagrama de flujo del Módulo de Proceso de Datos (PDT). SUB Programa Cubica	159

FIGURA	PAGINA
Figura E.3. Diagrama de flujo del Módulo SPE. Especies y modelos de ahusamiento incorporados en el sistema	160
Figura E.4. Diagrama de flujo del Módulo NSP. Incorporación de nueva especie al sistema	160
Figura E.5. Diagrama de flujo del Módulo IDP. Ingreso de datos de productos	160
Figura E.6. Diagrama de flujo del Módulo IDT. Ingreso de datos de terreno	161
Apéndice G	
Figura G 1. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 para <i>Tectona grandis</i> por localidad (Costa Rica)	202
Figura G 2. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 para <i>Tectona grandis</i> por localidad (Panamá)	203
Figura G 3. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos agrupados de <i>Tectona grandis</i> (T1)	204
Figura G 4. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos agrupados de <i>Tectona grandis</i> (T1, T2)	205
Figura G 5. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos agrupados de <i>Tectona grandis</i> (T3)	206
Figura G 6. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos agrupados de <i>Tectona grandis</i> (T4)	207

FIGURA	PAGINA
Figura G 7. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 para <i>Gmelina arborea</i> por localidad	208
Figura G 8. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 para <i>Gmelina arborea</i> por localidad	209
Figura G 9. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos agrupados de <i>Gmelina arborea</i> (G1)	210
Figura G 10. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos agrupados de <i>Gmelina arborea</i> (G1, G2)	211
Figura G 11. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos agrupados de <i>Gmelina arborea</i> (G3)	212
Figura G 12. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos agrupados de <i>Gmelina arborea</i> (G4)	213
Figura G 13. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 para <i>Eucalyptus camaldulensis</i> por localidad	214
Figura G 14. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos agrupados de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> (C1)	215
Figura G 15. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 para <i>Eucalyptus deglupta</i> por localidad	216
Figura G 16. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 para <i>Eucalyptus deglupta</i> por localidad	217
Figura G 17. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos agrupados de <i>Eucalyptus deglupta</i> (D1)	218
Figura G 18. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos agrupados de <i>Eucalyptus deglupta</i> (D2)	219

FIGURA	PAGINA
Figura G 19. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos de <i>Tectona grandis</i> , por clase de DAP	220
Figura G 20. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos de <i>Tectona grandis</i> , por clase de DAP	221
Figura G 21. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos de <i>Tectona grandis</i> , por clase de DAP	222
Figura G 22. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos de <i>Gmelina arborea</i> , por clase de DAP	223
Figura G 23. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos de <i>Gmelina arborea</i> , por clase de DAP	224
Figura G 24. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos de <i>Gmelina arborea</i> , por clase de DAP	225
Figura G 25. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> , por clase de DAP	226
Figura G 26. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> , por clase de DAP	227
Figura G 26. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos de <i>Eucalyptus deglupta</i> , por clase de DAP	228
Figura G 27. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos de <i>Eucalyptus deglupta</i> , por clase de DAP	229
Figura G 28. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos de <i>Eucalyptus deglupta</i> , por clase de DAP	230

I INTRODUCCION

El crecimiento y el rendimiento de las plantaciones forestales son determinados por la calidad de sitio y las actividades de manejo que en ellas se realicen. Actividades como la fertilización, el riego, el control de malezas, el control de plagas y enfermedades, la poda y el raleo deben ser efectuadas en el momento oportuno y con la intensidad adecuada, para obtener el mejor retorno económico posible de la inversión efectuada.

La decisión de ejecutar una o más de estas actividades de manejo debe apoyarse en información, principalmente de los costos que implican y de la respuesta que puede obtenerse en crecimiento y rendimiento de los árboles.

La estimación del rendimiento de productos potenciales, especialmente de aquel hacia el cual se ha orientado el manejo de la plantación, es una necesidad básica. Permite evaluar la plantación (y el manejo) en cualquier momento de su desarrollo (volumen, ingreso) y determinar el punto óptimo de corta en el tiempo (rotación o turno).

Previo a la cosecha debe conocerse el volumen potencial por unidad de área, ya sea total o por tipo de producto. Para ello es necesario un sistema que cubique árboles en pie y que determine el patrón de trozado óptimo, para maximizar el volumen o valor de los productos a obtener.

Cuando se desea obtener sólo un producto en la cosecha final, la operación de trozado es relativamente sencilla; consiste en obtener piezas de una determinada longitud, observando las restricciones de diámetros máximo y mínimo. En cambio, si se desea obtener más de un producto, la operación es más compleja; la complicación aumenta gradualmente, dependiendo del número de productos diferentes a obtener, su longitud y la longitud comercial del fuste, haciendo difícil determinar la alternativa óptima aún mediante algoritmos computacionales iterativos.

El objetivo general de esta investigación fue desarrollar un modelo básico que oriente la toma de decisiones sobre el manejo y el aprovechamiento de especies maderables.

El objetivo general se satisfizo por medio de dos objetivos específicos:

- a) Ajustar una función que describe el perfil del fuste de cada especie considerada;
- b) Implementar un algoritmo optimizador del trozado.

El desarrollo y la implementación computacional del modelo se basó en 2 hipótesis de trabajo:

- H₁ : El perfil fustal puede ser descrito adecuadamente mediante una relación matemática (función de ahusamiento);
- H₂ : El proceso de trozado puede ser optimizado mediante el algoritmo de optimización multietápico de Programación Dinámica.

II REVISION DE LITERATURA

El modelo optimizador de trozado tiene 2 componentes básicos:

- a) Una función que estima el diámetro del fuste en cualquier punto entre la base y el ápice del árbol. Este componente es necesario para procesar las restricciones relativas a diámetros y longitud de los productos.

- b) Un algoritmo optimizador del trozado, que considera las especificaciones de diámetros y longitud de los trozos a obtener y la forma y tamaño de los fustes a trozar.

El elemento a) antes expuesto se estructura en base a una función de ahusamiento que describe el perfil fustal; el elemento b) se estructura en base a Programación Dinámica, método de optimización de procesos multietápicos.

2.1 FUNCIONES DE AHUSAMIENTO.

El término *ahusamiento* se usa para describir la disminución en diámetro que experimenta el fuste de un árbol desde la base hasta el ápice. Una función de ahusamiento describe el perfil del fuste, permitiendo estimar i) el diámetro con o sin corteza en cualquier punto del fuste; ii) el volumen total del fuste; iii) el volumen comercial y la altura comercial para cualquier diámetro límite de utilización y desde cualquier altura de tocón; y iv) volumen de trozos individuales [CLUTTER *et al.*, 1983].

^F Ver detalles del desarrollo de los modelos de ahusamiento en el Apéndice A.

La estimación del diámetro en un punto cualquiera del fuste se hace en función de la altura de ese punto sobre el suelo, la altura total del árbol y el diámetro del árbol a 1.3 m del suelo (DAP); el volumen se estima por integración y la estimación de la altura comercial se realiza reacomodando la función de ahusamiento.

La función de ahusamiento es muy útil, especialmente cuando del fuste de un árbol se pueden obtener varios productos alternativos; en esa situación puede ser usada como parte de un algoritmo para determinar el patrón de trozado óptimo, buscando maximizar el volumen o valor de los productos. También puede ser útil para determinar el momento oportuno para realizar cada intervención en un programa de podas para obtener un cilindro nudoso de determinado tamaño.

Dada la gama de aplicaciones, una función de ahusamiento es una alternativa más adecuada que las funciones de volumen para la cubicación de árboles, especialmente cuando se tienen estándares cambiantes para los productos [REED y GREEN, 1984].

La tasa de disminución del diámetro es variable a través de toda la longitud del fuste [KOZAK, 1988], de manera que la forma que éste adquiere en cada sección se asemeja a diferentes sólidos geométricos. La forma de la sección basal es similar a un tronco de niloide, la sección intermedia a un cilindro o tronco de paraboloides y el extremo a un cono o paraboloides [NEWNHAM, 1992].

En el desarrollo de algunos modelos usados para describir el perfil del fuste se ha considerado la existencia de esas formas básicas en el fuste; otros modelos, en cambio, son puramente empíricos, pero no por ello menos efectivos. En general, las mayores dificultades de ajuste para los modelos se presentan en la base y en la parte superior del fuste.

2.1.1 Tipos de funciones de ahusamiento

Para la modelación del perfil del fuste se han propuesto una gran variedad de modelos; a continuación una propuesta de ordenación en cuatro líneas basada en la complejidad de los modelos desarrollados. Aquí se entrega una descripción general de los modelos; ver en el Apéndice A los detalles del desarrollo.

Modelos simples y Polinomios

Esta línea consiste en modelos que describen el perfil del árbol en base a una función simple [BRUCE *et al*, 1968; KOZAK *et al*, 1969; LOWELL, 1986-1987; AMATEIS y BURKHART, 1987]. En general, estos modelos son fáciles de ajustar y de integrar para calcular el volumen y fáciles de reorganizar para calcular la altura comercial. La desventaja de ellos es el sesgo en la estimación de diámetros en la base y otras partes del fuste [KOZAK, 1988].

Modelos segmentados

Esta línea consiste en modelos compuestos por submodelos que describen cada porción del fuste [MAX y BURKHART, 1976; BENNETT *et al*, 1978; CAO *et al*, 1980; FARRAR y MURPHY, 1987-1988; FARRAR, 1987; CZAPLEWZKI y McCLURE, 1988; CZAPLEWZKI *et al*, 1989]. Los submodelos se unen de tal forma que el modelo resultante sea continuo y con pendiente común en los puntos de unión. La ventaja de estos modelos es un menor sesgo en las estimaciones de diámetro que los modelos simples, pero la estimación de los parámetros es más complicada y la derivación de las fórmulas de volumen y de altura comercial es engorrosa o éstas no existen [KOZAK, 1988].

Modelos de forma variable

Esta línea consiste en la utilización de un modelo exponencial simple, con un exponente cambiante desde la base al ápice del fuste para compensar las formas de niloide, paraboloides y cono [ORMEROD, 1973; KOZAK, 1988; REED y BYRNE, 1985; PEREZ *et al.*, 1990]. Un modelo de este tipo es fácil de desarrollar, reduce el tiempo de cálculo y las estimaciones de diámetro son menos sesgadas. Sin embargo, algunos de ellos tienen dos desventajas: i) no pueden ser integrados para calcular el volumen, el cual debe ser calculado a partir de los diámetros estimados y la longitud de los trozos; ii) no permiten calcular directamente la altura comercial para un diámetro límite de utilización determinado, valor que debe obtenerse por iteración. Aunque algunas de las funciones pueden ser integradas, las relaciones resultantes son complicadas [KOZAK, 1988].

Modelos compatibles

Esta línea consiste en derivar la función de ahusamiento a partir de una función de volumen total o comercial [DEMAERSCHALK, 1971-1972; GOULDING y MURRAY, 1976; CLUTTER, 1980; GORDON, 1983; REED y GREEN, 1984; BYRNE y REED, 1986; LENHART *et al.*, 1987; CANDY, 1989]. De la derivación se obtiene una función de ahusamiento compatible, denominación que recibe por el hecho de que el volumen estimado mediante la integración de ésta es igual al obtenido mediante la función de volumen original. Esta es una característica deseable cuando las estimaciones realizadas con la última función son precisas.

2.1.2 Criterios usados para seleccionar modelos

La siguiente simbología se usa en lo que sigue:

- SCT : es la suma de cuadrados total corregida
 SCR : es la suma de cuadrados de la regresión
 CMR : es el cuadrado medio de la regresión
 SCE : es la suma de cuadrados del error
 CME : es el cuadrado medio del error
 α : es el nivel de significación
 p : es el número de parámetros en el modelo
 n : es el tamaño de la muestra
 b_i : es el valor del coeficiente i
 $S(b_i)$: es el error estandar del coeficiente i
 C : número de restricciones establecidas para el modelo
 Y_i : valor observado
 \hat{Y}_i : valor estimado mediante el modelo
 \hat{Y}_{i1} : valor estimado para la observación i mediante el modelo ajustado sin considerar esta observación en el proceso
 \bar{Y} : promedio de las observaciones Y_i

$$SCT = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$$

$$SCR = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$$

$$SCE = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n e_i^2$$

$$CMR = SCR / p-1$$

$$CME = SCE / n-p$$

Usualmente el primer paso en el análisis de un modelo es una inspección de los residuos, para evaluar su aptitud. Para ello son muy valiosos los gráficos de los residuos contra los valores ajustados de la variable dependiente y contra la(s) variable(s) independiente(s) para descubrir si el efecto de ésta(s) es diferente del supuesto en el modelo.

El siguiente paso puede ser determinar si hay o no relación entre la variable dependiente y la(s) independiente(s), lo que puede determinarse en forma general, para el modelo completo, mediante una prueba F .

$$F = \text{CMR} / \text{CME} \quad \text{valor que se compara con } F(1-\alpha, p-1, n-p)$$

También se acostumbra realizar las pruebas de significancia de los coeficientes de regresión, mediante una prueba t

$$t = |b_1 / S(b_1)| \quad \text{valor que se compara con } t(1-\alpha/2, n-p)$$

Para el proceso de selección entre diferentes modelos, se han propuesto varios criterios basados en los residuos. A continuación algunos para modelos lineales [HOCKING, 1976].

1.- Cuadrado medio del error (varianza de los desvíos S^2)
CME

2.- Coeficiente de determinación (simple, múltiple)
 $R^2 = 1 - \text{SCE} / \text{SCT} = \text{SCR} / \text{SCT}$

3.- Coeficiente de determinación (simple, múltiple) ajustado
 $R_a^2 = 1 - (n-1)(1-R^2) / n-p$

4.- Suma de cuadrados de la predicción

$$PRESS = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_{i1})^2$$

5.- Error estandar de estimación

$$SEE = [SCE / (n-p)]^{1/2}$$

Específicamente aplicadas a modelos de ahusamiento, las pruebas de *t* y *F* son habituales. Otros indicadores tradicionales como *R*² tienen un valor limitado para evaluar modelos de ahusamiento, porque no indican la habilidad del modelo para ser integrado y estimar el volumen [LOWELL, 1986]. Los criterios más utilizados se basan en los desvíos o residuos [KOZAK *et al*, 1969; CAO *et al*, 1980; GORDON, 1983; REED y BYRNE, 1985; BYRNE y REED, 1986; LOWELL, 1986; FARRAR y MURPHY, 1987; FARRAR, 1987; KOZAK, 1988; CZAPLEWSKY y McCLURE, 1988; PEREZ *et al*, 1990], entre ellos los que se indican más abajo. En las estimaciones pueden surgir sesgos debido a la introducción de restricciones en los modelos (p.ej. no hay intercepto en los modelos que se ajustan), por ello el uso de esta medida como indicador.

1.- Error estandar de estimación

$$SEE = [SCE / (n-p+C-1)]^{1/2}$$

2.- Sesgo (media de los desvíos)

$$B = \sum_{i=1}^n e_i / n$$

3.- Desvío medio absoluto

$$| \bar{D} | = \sum_{i=1}^n |e_i| / n$$

4.- Desviación estandar de los desvíos

$$S = \left\{ \left[\sum_{i=1}^n e_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n e_i)^2}{n} \right] / n-1 \right\}^{1/2}$$

5.- Rango de los desvíos

6.- Porcentaje de variación explicada

$$PVE = 100 (SCT - SCE) / SCT$$

En las relaciones anteriores:

e_i : es un desvío $e_i = M_i - \bar{M}_i$

\bar{M}_i : es el valor estimado para la variable

M_i : es el valor observado para la variable; puede representar las variables:

- diámetro, volumen o altura
- diámetro sin corteza a una altura determinada
- volumen total o comercial hasta un diámetro o altura límite
- altura o longitudes a diámetros determinados

2.2 OPTIMIZACION DEL TROZADO^o.

El proceso de trozado consiste en obtener uno o más trozos de la porción comercial del fuste, observando que éstos cumplan con requisitos de longitud y de diámetros mínimo y máximo. Si este proceso no es realizado eficientemente puede reducir el aprovechamiento total.

Si se considera que la producción de trozos es uno de los componentes más difíciles y caros del proceso de cosecha y conversión de ésta a productos útiles [PNEVMATICOS y MANN, 1972], en el proceso de trozado debe obtenerse el mejor aprovechamiento de los árboles una vez que son talados, mediante métodos de utilización eficientes, establecidos uno o más objetivos o restricciones. Un beneficio adicional de una eficiencia mayor en el aprovechamiento es la reducción en la presión sobre los recursos forestales.

El fuste de un árbol de determinado tamaño y forma puede convertirse en trozos en forma óptima, buscando por ejemplo un retorno económico máximo; dadas las características del proceso de trozado, puede ser optimizado mediante el método de optimización de Programación Dinámica.

La Programación Dinámica es un método de optimización de procesos multietápicos, que consiste en obtener la solución óptima, de un problema de asignación de recursos, etapa por etapa; este método ha sido sugerido para planificar la producción de trozos [PNEVMATICOS y MANN, 1972; DYKSTRA, 1984] y la conversión primaria de la madera [GEERTS, 1984].

^o Ver detalles de la optimización del trozado en el Apéndice B.

Para utilizar el método en la producción de trozos es necesario conocer el número de productos alternativos o tipos de trozos diferentes a obtener de los árboles; asociados a estos productos están los precios de venta, los costos de producción y las especificaciones de mercado.

Mediante un trozado óptimo se puede determinar el número de árboles de cada tamaño que es necesario talar para obtener los trozos del tamaño deseado. También se puede maximizar el retorno obtenido de cada árbol, determinando el número de trozos a cortar, su longitud y diámetro y la localización de los cortes [PNEVMATICOS y MANN, 1972].

En el optimizador de trozado se utiliza la función de ahusamiento como base para estructurar el algoritmo de Programación Dinámica. El optimizador de trozado es un componente básico indispensable en modelos de simulación del crecimiento de árboles y rodales y puede ser útil en modelos de evaluación de tierras.

III MATERIALES Y METODOS

3.1 MUESTREO

Para implementar el modelo se consideró cuatro especies. Tres definidas como prioritarias por el Proyecto Madeleña 3 (*Eucalyptus camaldulensis* DEHNH, *Tectona grandis* L.F. y *Gmelina arborea* ROXBURGH) y una importante en la zona atlántica. En la Tabla 3.1. se entregan características de las muestras utilizadas en el proceso.

Los datos que se necesitan para obtener una función de ahusamiento de cada especie son diámetros de fuste sin corteza, medidos a diferentes alturas en el fuste, el DAP (diámetro con corteza medido a 1.3 m. de la superficie del suelo) y la altura total.

Los antecedentes utilizados en el ajuste de las funciones de ahusamiento provienen de tres fuentes diferentes. Las localidades señaladas con los supraíndices C, R y P (Tabla 3.1) corresponden a datos de archivos del Proyecto Madeleña 3 (serie drnr7000), recopilados durante el raleo o el aprovechamiento de árboles en experimentos, o en el momento de la cosecha de plantaciones existentes, para efectos de cubicación; las localidades señaladas con el superíndice F corresponden a datos de análisis fustal, facilitados por el Profesor Fernando Mora de la Universidad Nacional de Heredia; las localidades señaladas con el superíndice A corresponden a datos recopilados específicamente para ajustar funciones de ahusamiento.

Tabla 3.1. Características^v de las muestras utilizadas en el análisis de regresión por especie y localidad.

Especie ^e	Localidad ^l	n ^a			DAP (mm)		HT (dm)		CE(m/cm)	
		a	b	c	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.
<i>T.g.</i>	TS ^f	(1)	25	6	108	389	82	251	.556	.912
	TN ^f	(4)	39	10	100	403	94	255	.582	1.256
	TP ^f	(4)	112	28	108	482	79	338	.449	1.065
	TPA1 ^r		20	5	100	200	90	177	.475	1.336
	TPA2 ^p		34	7	140	270	145	235	.681	1.243
<i>G.a.</i>	MP ^a		48	12	100	351	154	265	.586	1.653
	MR ^a		12	3	235	388	161	216	.513	.723
	MM ^a		9	2	245	385	257	289	.709	1.053
	MC ^c		40	7	170	560	190	350	.555	1.394
	MCC ^c		36	10	118	408	129	268	.657	1.321
<i>E.c.</i>	CS ^c		9	2	52	171	74	147	.860	1.574
	CN ^c		46	10	52	198	61	181	.831	1.375
<i>E.d.</i>	DJ ^p		53	11	125	318	148	267	.728	1.353
	DF1 ^c		29	6	112	492	144	464	.860	1.640
	DF2 ^c		6	0	516	736	356	427	.580	.762
	DS ^p		17	4	98	281	146	265	.818	1.495

^a Muestreo para ajustar función de ahusamiento

^c Cosecha

^r Raleo

^f Análisis fustal

^p Aprovechamiento

^v DAP: diámetro con corteza a 1.3 m del suelo

HT: altura total del árbol

CE: coeficiente de esbeltez $CE = HT / DAP$

^e *T.g.*: *Tectona grandis*

G.a.: *Gmelina arborea*

E.c.: *E. camaldulensis*

E.d.: *Eucalyptus deglupta*

^l TS: Santa Cruz

TN: Nicoya

TP: Parrita

TPA1: Panamá 1

TPA2: Panamá 2

MP: Puerto Viejo

MR: Monte Roao

MM: Santa Marta

MC: Varias

MCC: CATIE

CS: El Salvador

CN: Nicaragua

DJ: Juan Viñas

DF1: Florencia Sur 1

DF2: Florencia Sur 2

DS: El Salvador

^a a: número de árboles medidos para el análisis fustal

b: número de árboles utilizados en el ajuste

c: número de árboles utilizados en la validación externa.

El análisis fustal es una técnica utilizada para estimar el crecimiento en diámetro, altura y volumen de los árboles a través del tiempo. Consiste en trozar el árbol y obtener rodelas a diferentes alturas en el fuste; posteriormente se identifican y se miden los anillos de crecimiento que corresponden a cada año. De esta forma se determina el diámetro a diferentes alturas en el fuste para cada año de crecimiento del árbol.

La diferencia entre esas fuentes de información está en la intensidad de las mediciones de diámetro a lo largo del fuste. Las mediciones realizadas específicamente para el ajuste de los modelos de ahusamiento se efectuaron cada 1/10 de la altura total del árbol. Los datos provenientes del análisis fustal y los del Proyecto Madeleña 3 consisten en mediciones efectuadas en posiciones relativas variables, determinadas por la longitud de los productos a obtener o por una distancia de avance constante en el fuste. En el caso de los datos de Madeleña la última medición se realizó en la altura comercial del árbol (punto de ramificación).

3.2 COMPONENTES DEL MODELO

El modelo optimizador fue estructurado en base a dos elementos:

- a) La función de ahusamiento. Para la estimación del diámetro en cualquier punto del fuste y procesar las restricciones relativas a diámetros y longitud de los productos.

- b) El algoritmo optimizador de trozado basado en Programación Dinámica. Compatibiliza las especificaciones de diámetros y longitud de los trozos a obtener con la forma y tamaño de los fustes a trozar (generados a partir del componente a).

3.2.1. Función de ahusamiento.

El 80% de los árboles de cada especie y localidad se utilizó para realizar el ajuste y la validación interna; una submuestra aleatoria de 20%, cubriendo el rango diamétrico observado, se mantuvo para la validación externa.

Se realizó tres tipos de ajustes para cada especie: a) por localidad (todos los modelos en análisis); b) agrupaciones de localidades (el mejor modelo seleccionado en a); c) el conjunto global de datos separado por clases de DAP (el mejor modelo seleccionado en a).

Para cada especie y localidad se ajustaron los modelos de ahusamiento que se entregan a continuación; la selección del más adecuado se realizó en base a los indicadores estadísticos que se señalan más adelante.

Modelos probados

Se probaron modelos simples (1, 2, 3) y modelos segmentados compuestos de dos (4, 5, 6) y tres submodelos (7,8). Para el ajuste de los modelos lineales se utilizó el procedimiento GLM [SAS, 1988]. Los modelos no lineales se ajustaron mediante el procedimiento NLIN [SAS, 1988], utilizando el método de Gauss-Newton; en aquellos casos en que no se logró convergencia se utilizó el método de MARQUARDT.

1. $Y^2 = b_1 (X-1) + b_2 (X^2-1) + e_1$
[Cuadrático; KOZAK *et al*, 1969]
2. $Y^2 = b_1 Z + b_2 Z^2 + b_3 Z^3 + b_4 Z^4 + b_5 Z^5 + e_1$
[Polinomio de 5° grado; LOWELL, 1986]
3. $Y^2 = b_1 (X-1) + b_2 [\sin (2\pi X)] + b_3 [1/\tan (\pi X/2)] + e_1$
[Trigonométrico; THOMAS y PARRESOL, 1991]
4. $Y^2 = b_1 (X-1) + b_2 (X^2-1) + b_3 (\alpha_1-X)^2 I_1 + e_1$
[Cuadrático-Cuadrático; MAX y BURKHART, 1976]
5. $Y^2 = b_1 Z + b_2 Z^2 + b_3 Z^3 + (Z - \alpha_1)^2 [b_4 - b_3(Z+2\alpha_1)] I_1 + e_1$
[Cúbico-Cuadrático]
6. $Y^2 = Z^2 (b_1 + b_2 Z) + (Z - \alpha_1)^2 [b_3 + b_4 (Z + 2\alpha_1)] I_1 + e_1$
[Cúbico-Cúbico; THOMAS y PARRESOL, 1991]
7. $Y^2 = b_1(X-1) + b_2(X^2-1) + b_3(\alpha_1-X)^2 I_1 - b_2(\alpha_2-X)^2 I_2 + e_1$
[Cuadrático-Lineal-Cuadrático; MAX y BURKHART, 1976]
8. $Y^2 = b_1(X-1) + b_2(X^2-1) + b_3(\alpha_1-X)^2 I_1 + b_4(\alpha_2-X)^2 I_2 + e_1$
[Cuadrático-Cuadrático-Cuadrático; MAX y BURKHART, 1976]

Donde:

$X = h/H$	$Y = d/D$	$Z = (H-h)/H$
$I_1 = 1, X \leq \alpha_1$	$I_1 = 0, X > \alpha_1$	
$I_1 = 1, Z \geq \alpha_1$	$I_1 = 0, Z < \alpha_1$	
b_1 : coeficiente de regresión	α_1 : punto de inflexión	
h : altura desde el suelo	H : altura total del árbol	
d : diámetro sin corteza a la altura h		
D : DAP, diámetro con corteza medido a 1.3 m de altura		

En una etapa preliminar se descartó los modelos 5 y 7, en los que se detectó un mal ajuste a los datos bajo análisis.

Indicadores estadísticos

La selección del mejor modelo lineal se basó en los siguientes criterios, definidos en el punto 2.1.2:

- 1.- Coeficiente de determinación múltiple
 $R^2 = 1 - SCE / SCT = SCR / SCT$
- 2.- Cuadrado medio del error.
 $CME = (SCE / n-p)^{1/2}$
- 3.- Significancia de los coeficientes de regresión (prueba t)
- 4.- Error estandar de los coeficientes de regresión.

En los modelos no lineales se observó la estabilidad, comparando el signo, el valor y el error estandar asintótico de los coeficientes entre localidades; también se observó el éxito o fracaso para lograr la convergencia. El Cuadrado medio del error se utilizó para comparar estos modelos con el mejor de los lineales.

Una vez seleccionado el mejor modelo de ahusamiento, se agruparon localidades por especie, generando nuevos conjuntos de datos a los que se les ajustó el modelo. A cada conjunto se le realizó una prueba de homogeneidad de varianzas (Bartlett), para determinar la validez estadística de la agrupación de antecedentes; una prueba F a aquellas agrupaciones con varianza homogénea, para determinar si la agrupación de localidades tiene más sentido que mantener localidades separadas (obtener una función general por especie).

El conjunto global de datos de cada especie se separó en clases de DAP de 5 cm y se ajustó el modelo a cada una de ellas. Se realizó una prueba de homogeneidad de varianzas (Bartlett), para determinar la validez estadística de la agrupación de antecedentes, cuando éstos son obtenidos de árboles de tamaño diferente.

Posteriormente, se ajustaron funciones para estimar los coeficientes obtenidos por clase de DAP a partir de las variables que representan el tamaño del árbol, generando un sistema de funciones de ahusamiento por árbol individual. En el proceso de ajuste se utilizó el procedimiento STEPWISE (opciones: MAXR STOP=3) [FREUND y LITTELL, 1986], utilizando como predictores los valores promedio de las variables DAP, altura total y coeficiente de esbeltez (CE) por clase de DAP y transformaciones de éstas.

Validación de la función de ahusamiento

La función de ahusamiento obtenida para cada condición descrita se validó para la variable dependiente (Y^2) y para las variables derivadas diámetro y volumen total sin corteza.

La validación de la función de ahusamiento por localidad se realizó sobre los datos usados para ajustar el modelo (validación interna) y en la submuestra independiente mantenida para validación (validación externa).

La función obtenida para cada conjunto de datos, resultante de la agrupación de localidades, fue validada interna y externamente; la validación interna se realizó con el conjunto de datos usados para el ajuste; la validación externa se realizó con el conjunto de datos para validación y los datos para ajuste de cada localidad por separado. Esto último para determinar la importancia práctica de una significancia estadística en las pruebas antes descritas para las agrupaciones.

La validación de la función obtenida para cada clase de DAP se realizó sobre los datos usados para ajustar el modelo (validación interna) y a la submuestra independiente mantenida para validación (validación externa), en la clase de DAP respectiva.

El sistema de funciones de ahusamiento por árbol individual, generado estimando los coeficientes a partir de las variables que representan el tamaño del árbol, fue validado interna y externamente sobre el conjunto global de datos por especie.

La validación se basó en los siguientes criterios, definidos en el punto 2.1.2:

1.- Error estandar de estimación

$$SEE = [SCE / (n-p)]^{1/2}$$

2.- Sesgo (media de los desvíos)

$$B = \sum_{i=1}^n e_i / n$$

3.- Porcentaje de variación explicada

$$PVE = 100 (SCT - SCE) / SCT = 100 (1 - SCE / SCT)$$

3.2.2. Optimización del trozado

El trozado óptimo se obtiene mediante el procedimiento de optimización de Programación Dinámica, en base a la relación recursiva que maximiza una función de valor V_n (que representa volumen, ingreso o utilidad) hasta la etapa n . Primero se determina el trozado óptimo para cada etapa entre el tocón y el ápice del árbol y luego se selecciona el mayor valor obtenido entre esos óptimos (ver más detalles en Apéndice B).

$$V^*_n(S) = \max_{X_n} [V_n(X_n) + V^*(S-X_n)] \quad 0 \leq n \leq N$$

donde:

N : número total de etapas necesarias para trozar un fuste
 n : etapa de trozado, definida a lo largo del eje del árbol
 S : longitud de fuste trozado hasta la etapa n ($S=n*K$)
 K : avance por etapa
 X_n : longitud de trozo a obtener en la etapa n

- $V^*_n(S)$: valor^v máximo en la etapa n para la sección de fuste trozada entre 0 y la etapa n
- $V_n(X_n)$: valor^v del trozo a obtener en la etapa n
- $V^*(S-X_n)$: valor^v máximo para la sección de fuste trozada entre 0 y la posición $S-X_n$

Sujeta a las restricciones siguientes:

- a) La longitud total de los trozos obtenidos no sobrepasa la del fuste comercial .
- b) Los diámetros de los trozos deben estar dentro de los límites de los diámetros del fuste remanente
- c) Los diámetros y longitudes de los trozos deben estar dentro de los límites especificados por el mercado

3.3 ESTRUCTURACION DEL MODELO OPTIMIZADOR*

El modelo se estructuró en base a módulos y se implementó mediante el lenguaje de programación QuickBASIC [FELDMAN y RUGG, 1988]. Los módulos se compilaron para generar un programa independiente del software que se utilizó para generarlo.

^v El valor puede corresponder a: Volumen, Ingreso o Utilidad dependiendo de cual de estas variables se esté optimizando.

* Ver detalles de la estructura del modelo en los diagramas de flujo del Apéndice E.

IV RESULTADOS Y DISCUSION.

4.1. MODELOS DE AHUSAMIENTO. AJUSTE Y VALIDACION.

4.1.1. AJUSTE DE LOS MODELOS DE AHUSAMIENTO.

Los resultados del ajuste de los modelos de ahusamiento se presentan en el Apéndice F. Las tablas F.1 a F.16 corresponden a los resultados del ajuste por especie y localidad, en base a los cuales se seleccionó el mejor modelo de ahusamiento.

En general, los valores de R^2 indican que todos los modelos lineales explican bien la variación del diámetro de las diferentes especies y localidades muestreadas. El modelo 1 es el que presenta menor proporción de variación explicada y los valores mayores de cuadrado medio del error (CME) (Tablas F.1.a a F.16.a).

El comportamiento más consistente lo presenta el modelo 3, independientemente de la especie o localidad (Tabla 4.1.1.1), esto en relación a los signos, el valor estimado y el error estandar de los coeficientes de regresión. Sólo en las localidades de Panamá 1 y Panamá 2 esa estabilidad no se mantiene; en ambas el coeficiente de regresión b_2 no difiere de cero (Tablas F.4.a y F.5.a); en esas localidades, aunque el porcentaje de explicación de la variación de la variable dependiente es alto, ningún modelo completo (excepto el 1 en la primera localidad) se comporta bien, ya que uno o más de sus coeficientes no difieren de cero (Tablas F.4.a y b, F.5.a y b).

Los modelos no lineales presentan un comportamiento menos estable que los modelos lineales, en términos de valor de los coeficientes de regresión estimados. Aunque en varios casos exhiben CME menores que aquellos de los lineales (p.ej. modelos 4 y 8; Tablas F.1.a, F.2.a, F.3.a y F.7.a) y coeficientes significativamente diferentes de cero (basado en el intervalo de confianza asintótico); en otros el CME es mayor al del modelo lineal 3 (p.ej. Tablas F.6.a y F.8.a); en los casos más críticos uno o más de sus coeficientes no difieren de cero (p.ej. modelo 8; Tablas F.2.b, F.3.b y F.4.b) o el procedimiento de estimación no converge, impidiendo conocer el valor de esos coeficientes y la precisión de la estimación (p.ej. modelo 8; Tablas F.9.b, F.13.b y F.15.b).

Esto último es válido en particular para el modelo 6, con el cual no se logró convergencia en la mayoría de las localidades (en los casos en que no hay convergencia, todos los coeficientes del modelo en las Tablas F.i.b tienen error estandar = 0).

El modelo 3 se seleccionó como el más adecuado entre los seis modelos en análisis, por la consistencia, la significancia y los reducidos errores estandar que presentan los coeficientes de regresión estimados. En la Tabla 4.1.1.1 se presentan los coeficientes de regresión y determinación del modelo 3, estimados para cada especie y localidad (otros resultados en la Tabla F.17, Apéndice F).

Tabla 4.1.1.1. Estimadores de los coeficientes de regresión y determinación del modelo 3^o por especie y localidad.

Especie ^e	Localidad ^l	b1	b2	b3	R ²
<i>T.g.</i>	TS	-.60904244	.10488764	.01964825	.97
	TN	-.64907714	.07102044	.02073460	.94
	TP	-.60247641	.06194787	.02211733	.96
	TPA1	-.59505809	.01916963	.00519999	.93
	TPA2	-.67754032	-.01481091	.00496351	.93
<i>G.a.</i>	MP	-.65951332	.04151336	.00648452	.95
	MR	-.68329202	.08042603	.00664511	.97
	MM	-.74053128	.03367922	.00282778	.97
	MC	-.56655910	.01974015	.02108742	.97
	MCC	-.71088619	.04562043	.00371731	.97
<i>E.c.</i>	CS	-.70512058	.08626471	.00623672	.93
	CN	-.69989365	.04225086	.00512229	.95
<i>E.d.</i>	DJ	-.84400797	.05753799	.00481341	.97
	DF1	-.81976583	.07098595	.00190567	.97
	DF2	-.66823298	.07750246	.02111359	.96
	DS	-.83168472	.06934535	.00221723	.97

$$Y^2 = b_1 (X-1) + b_2 [\sin (2\pi X)] + b_3 [1/\tan (\pi X/2)] + e_1$$

^e *T.g.*: *Tectona grandis*
E.c.: *E. samalutensis*

G.a.: *Gaelina arborea*
E.d.: *Eucalyptus deglupta*

^l TS: Santa Cruz TN: Nicoya TP: Parrita TPA1: Panamá 1 TPA2: Panamá 2
MP: Puerto Viejo MR: Monte Romo MM: Santa Marta MC: Varias MCC: CATIE
CS: El Salvador CN: Nicaragua
DJ: Juan Viñas DF1: Florencia Sur 1 DF2: Florencia Sur 2 DS: El Salvador

En la Figura 4.1.1.1 se presenta un perfil fustal estimado a partir del modelo seleccionado (en adelante modelo trigonométrico). La base del fuste es similar a un tronco de niloide, la parte intermedia a un tronco de paraboloides y el extremo a un cono o paraboloides, concordando en términos generales con la forma teórica esperada [NEWNHAM, 1992].

En la Figura 4.1.1.2 se presenta la gráfica del aporte de cada componente en el modelo, representado por el coeficiente respectivo en la figura. Cada línea segmentada horizontal representa el eje del árbol; la curva de puntos para cada variable se obtuvo en base al coeficiente respectivo (eliminando los otros 2 del modelo).

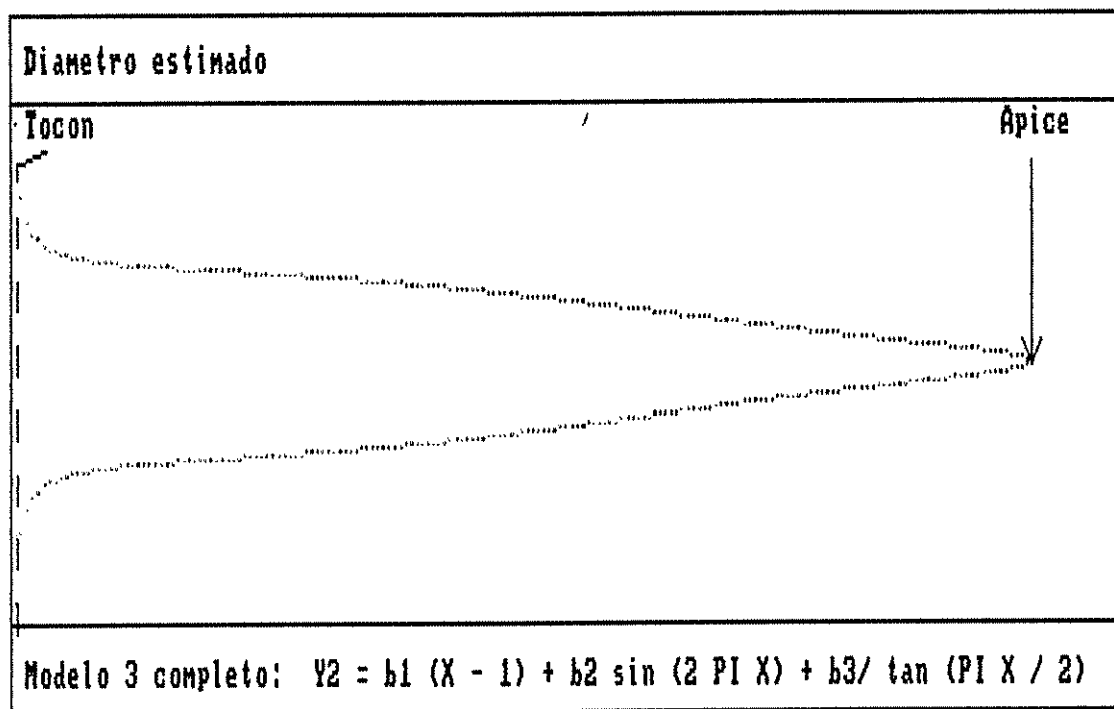


Figura 4.1.1.1. Perfil fustal estimado en base al modelo Trigonométrico.

El componente $b_3(1/\tan(\pi X/2))$ origina una hipérbola, a partir de la cual se genera en el modelo trigonométrico el tronco de niloide en la sección basal del fuste. El componente $b_1(X-1)$ origina una parábola, generando un tronco de paraboloides en la sección fustal central. El componente $b_2(\sin(2\pi X))$ acentúa el tronco de paraboloides hasta la mitad inferior del fuste; en la mitad superior atenúa el efecto de la variable $(X-1)$, acercando la forma que genera ésta a un cono y en algunos casos, quizás, a un niloide dependiendo del valor de los coeficientes respectivos; cuando el coeficiente b_2 es cero, el perfil fustal es más recto, menos convexo en su mitad inferior y menos cóncavo en la mitad superior (ver Figura G.2, Apéndice G).

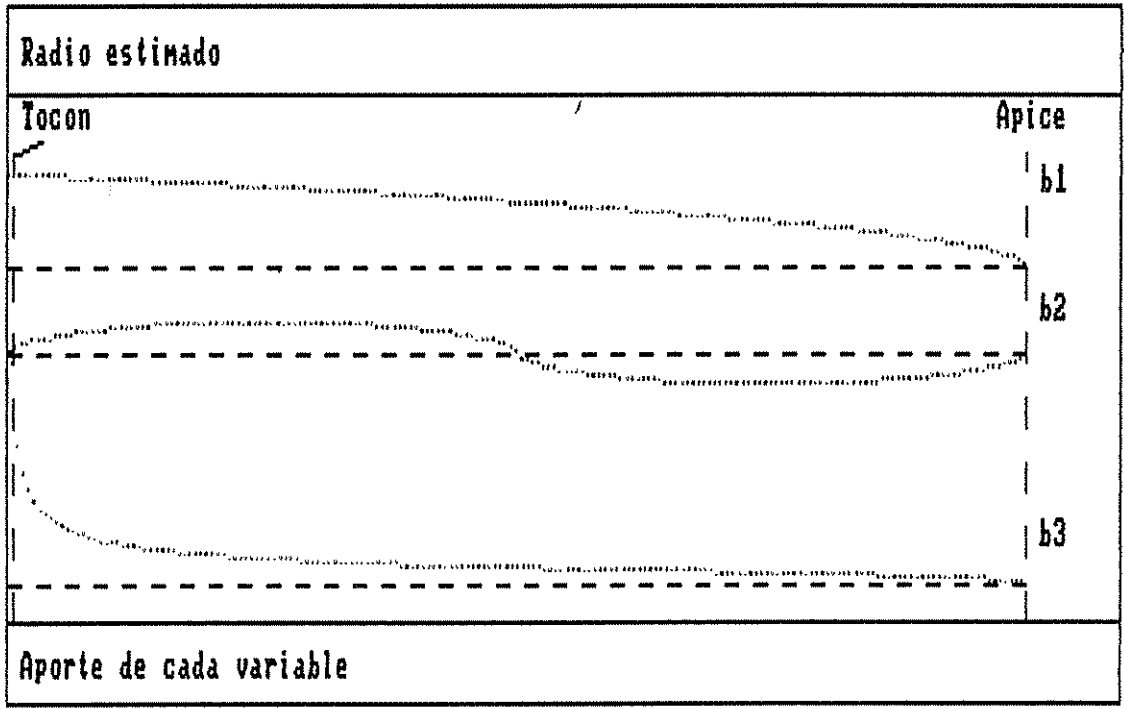


Figura 4.1.1.2. Radio de fuste estimado en base a cada componente del modelo Trigonométrico.

En términos de rendimiento en volumen, el fuste de forma más cercana a un cilindro genera más material aprovechable. La variable $(X-1)$ genera una parábola, forma bastante deseable si se considera al cilindro como figura ideal para el fuste de un árbol. Visto de esta forma, las especies más adecuadas son aquellas en que los coeficientes b_2 y b_3 son iguales a cero.

El modelo trigonométrico tiene 2 inconvenientes asociados a la variable $(1/\tan(\pi X/2))$. Cuando $X=0$ su valor tiende a $+\infty$, generando a la altura de la superficie del suelo ($X=0$) un diámetro excesivamente grande; este inconveniente, sin embargo, puede tener poca importancia práctica si se considera que, en el momento de la corta del árbol, es muy difícil realizar el corte al nivel de la superficie del suelo, quedando un tocón de cierta altura y siempre el abultamiento extremo ocurre en esta zona [THOMAS y PARRESOL, 1991]; luego, cuando se recopilan antecedentes para ajustar el modelo trigonométrico (u otro), se debe registrar la altura real de corte como la altura de la primera medición. En el otro extremo, cuando $X=1$ (ápice del árbol) $(\tan(\pi X/2))$ tiende a $+\infty$ y la variable $(1/\tan(\pi X/2))$ tiende a cero; el inconveniente se soluciona condicionando la variable a que tome el valor cero cuando $X=1$ [PARRESOL y THOMAS, 1991].

Para una especie en particular, la utilidad de una función es mayor cuando puede ser usada en cualquier condición de sitio o manejo. El modelo trigonométrico tiene esa característica de buen ajuste a las diferentes muestras de datos recopiladas. Sin embargo, aún es de mayor utilidad una función única por especie, estadísticamente válida si el ahusamiento es independiente de factores como la calidad de sitio y el manejo. Esto dió origen a la agrupación de localidades, para obtener una función por especie.

Los resultados del ajuste del modelo trigonométrico a los grupos de datos generados se presentan en la Tabla 4.1.1.3. La validez estadística de la agrupación de antecedentes se puede observar en la Tabla 4.1.1.2.

Tabla 4.1.1.2. Prueba de homogeneidad de varianza (Chi^2) para agrupaciones de localidades por especie, y Prueba F para agrupaciones con varianza homogénea.

Especie ^e	Grupo ^o	gl		SCE		Chi ²	F
		Suma	Grupo	Suma	Grupo		
<i>T.g.</i>	T1	2364	2374	18.3529	55.5836	139.96*	
	T2	2093	2097	15.6356	16.4268	129.13*	
	T3	769	772	7.4145	7.6782	81.04*	
	T4	271	274	2.7173	2.7788	.01**	2.021**
<i>G.a.</i>	G1	1389	1401	8.0525	12.3785	183.32*	
	G2	225	228	1.0370	2.1457	3.79**	39.27*
	G3	1164	1170	7.0155	9.8335	173.29*	
	G4	750	755	5.9058	8.2121	38.33*	
<i>E.c.</i>	C1	429	433	3.0330	3.0969	13.37*	
<i>E.d.</i>	D1	1301	1310	4.7131	7.2455	9.38**	50.87*
	D2	1110	1116	3.9717	6.4804	8.83**	72.00*

* significativo al 0.005 ** no significativo al .005

^e *T.g.*: *Tectona grandis*
E.c.: *E. camaldulensis*

G.a.: *Gmelina arborea*
E.d.: *Eucalyptus deglupta*

^o Agrupaciones de localidades por especie:

T1: Todas T2: TS, TN, TP T3: TS, TN T4: TPA1, TPA2
G1: Todas G2: MR, MM G3: MP, MC, MCC G4: MP, MR, MM
C1: CS, CN D1: Todas D2: DJ, DF1, DF2

Localidades:

TS: Santa Cruz TN: Nicoya TP: Farrita TPA1: Panamá 1 TPA2: Panamá 2
MP: Puerto Viejo MR: Monte Roto MM: Santa Marta MC: Varias MCC: CATIE
CS: El Salvador CN: Nicaragua
DJ: Juan Viñas DF1: Florencia Sur 1 DF2: Florencia Sur 2 DS: El Salvador

Tabla 4.1.1.3. Valores estimados y significancia de los coeficientes de regresión del modelo 3 para agrupaciones de localidades por especie.

Especie ^e	Grupo ^a	b1	b2	b3	R ²
<i>T.g.</i>	T1	-.75413895 ^A	.06858124 ^A	.00880077 ^A	.87
	T2	-.61336765 ^A	.07129110 ^A	.02135898 ^A	.96
	T3	-.63303439 ^A	.08784818 ^A	.02032546 ^A	.95
	T4	-.66551491 ^A	-.01102014 ^N	.00498455 ^A	.93
<i>G.a.</i>	G1	-.68960243 ^A	.04126935 ^A	.00500657 ^A	.94
	G2	-.72865006 ^A	.05610537 ^A	.00406422 ^A	.94
	G3	-.67968093 ^A	.03794681 ^A	.00526250 ^A	.94
	G4	-.68338149 ^A	.04536225 ^A	.00566338 ^A	.93
<i>E.c.</i>	C1	-.70121094 ^A	.04150948 ^A	.00526417 ^A	.95
<i>E.d.</i>	D1	-.85123062 ^A	.06273743 ^A	.00219016 ^A	.95
	D2	-.85471366 ^A	.06203140 ^A	.00219678 ^A	.95

^A Altamente significativo $P|t| < .01$ ^a Significativo $0.05 > P|t| > 0.01$ ^N No significativo $P|t| > 0.05$

^e *T.g.*: *Tectona grandis*
E.c.: *E. camaldulensis*

G.a.: *Gmelina arborea*
E.d.: *Eucalyptus deglupta*

^a Agrupaciones de localidades por especie:

T1: Todas T2: TS, TN, TP T3: TS, TN T4: TPA1, TPA2

G1: Todas G2: MR, MH G3: MP, MC, MCC G4: MP, MR, MH

C1: CS, CN D1: Todas D2: DJ, DF1, DF2

Localidades:

TS: Santa Cruz TN: Nicoya TP: Parrita TPA1: Panamá 1 TPA2: Panamá 2
MP: Puerto Viejo MR: Monte Romo MH: Santa Marta MC: Varias MCC: CATIE
CS: El Salvador CN: Nicaragua
DJ: Juan Viñas DF1: Florencia Sur 1 DF2: Florencia Sur 2 DS: El Salvador

De acuerdo con los resultados de la prueba de Bartlett (χ^2 , Tabla 4.1.1.2), los datos de cuatro conjuntos de localidades tienen varianza homogénea y podrían agruparse; estas son las agrupaciones T4 de *Tectona grandis*, G2 de *Gmelina arborea*, D1 y D2 de *Eucalyptus deglupta*. De éstas, sólo en la agrupación T4 la función única es mejor que mantener localidades independientes (Prueba F, Tabla 4.1.1.2).

La heterogeneidad de varianza entre localidades puede deberse a factores relacionados con el manejo. El raleo, por ejemplo, cuando es aplicado en forma selectiva, por lo bajo, elimina aquellos individuos malformados y de tamaño inferior, con lo cual mejora la forma promedio de los árboles remanentes, pero aumenta el ahusamiento de éstos [EVANS, 1984]. Los coeficientes estimados para las funciones de ahusamiento en cada condición de raleo son diferentes [PARRESOL y THOMAS, 1989; THOMAS y PARRESOL, 1991].

Los árboles con copas más largas tienen mayor ahusamiento que aquellos con copas más cortas [REAL *et al.*, 1989; NEWNHAM, 1992]. Luego, la poda de ramas también puede alterar la forma del fuste, ya que altera el tamaño de la copa y el punto en que se produce el máximo incremento diamétrico, que corresponde a la base de la copa viva; a partir de este punto y hasta el ápice del árbol se produce una fuerte disminución del diámetro del fuste.

Otra práctica de manejo que puede alterar la forma del fuste es la fertilización [LOWELL, 1986-1987], factor relacionado con la calidad de sitio. El efecto de la fertilización sobre la forma del fuste se puede entender a partir del hecho de que el árbol, en el proceso de crecimiento, no asigna elementos asimilados de una forma homogénea a todos sus componentes sino que hay una jerarquía de asignación de recursos.

En la jerarquía de asignación de recursos primero está el crecimiento de ramas y crecimiento en altura, entre otras, y en último término el incremento en diámetro [OLIVER y LARSON, 1990]. De esa forma, en los rodales fertilizados se encontrarían árboles más esbeltos que en aquellos sin fertilización; la implicancia mayor de esto es que podría justificar el desarrollo de funciones de ahusamiento por calidad de sitio.

En las muestras utilizadas hay, además, otros factores que pueden aportar a la heterogeneidad de varianza entre localidades; uno de ellos es el origen de los datos. En los datos recopilados por el Proyecto Madeleña 3, utilizados para ajustar funciones de volumen, la última medición de diámetro se realiza en la altura comercial del árbol, de modo que la única curva que puede ajustarse entre este punto y el ápice es una recta, en el ajuste de un modelo de ahusamiento.

La misma especie, medida homogéneamente entre el tocón y el ápice, puede generar funciones de ahusamiento con coeficientes diferentes a los que se obtendrían con mediciones sólo hasta la altura comercial. Aunque esto puede ser de poca importancia práctica, porque este sector del fuste no aporta madera para muchos productos o procesos, dependiendo de la altura total y comercial del árbol.

Como ya se expuso, la importancia práctica de un muestreo poco intenso en la parte superior del fuste puede ser mínima, porque la función no representaría bien sólo el extremo superior, sector de poco valor; lo que sí importa es que el aspecto analizado pueda aportar, en algunos casos, a la heterogeneidad de varianzas entre datos (árboles) que en la realidad son homogéneos, pero que no han sido medidos con la misma intensidad.

La última observación es también válida para árboles de tamaño pequeño, ya que la metodología de medición del Proyecto Madeleña 3 y del análisis fustal genera una intensidad de muestreo variable entre árboles, con más mediciones en los árboles de mayor longitud de fuste; así, aunque los árboles tengan la misma forma, los coeficientes de las funciones de ahusamiento pueden tomar valores diferentes, entre árboles de distinto tamaño, como resultado de la variabilidad en la intensidad de muestreo.

Otro factor que puede agregar variabilidad a los antecedentes es el rango de muestreo. El tamaño de los árboles entre localidades es variable y el rango de tamaños depende del origen de los datos; así los datos que provienen de raleo tienen un rango más estrecho y son de árboles más pequeños que aquellos que provienen de una cosecha o un aprovechamiento (Tabla 3.1). El rango de muestreo para los datos provenientes del análisis fustal es amplio y muy similar entre localidades; no obstante presentan heterogeneidad de varianza. Ello puede deberse a que esos datos, que corresponden a mediciones de los mismos árboles a través del tiempo, no representan la variabilidad de la forma entre árboles sino el cambio de forma de unos pocos árboles a medida que crecen.

El último factor que podría estar involucrado es la procedencia de las plántulas o semillas que dieron origen a las plantaciones muestreadas [AMATEIS y BURKHART, 1987]. La silvicultura de plantaciones es relativamente joven a nivel centroamericano, de modo que es posible que muchos de los antecedentes recopilados puedan provenir de plantaciones de diferente procedencia.

En los párrafos anteriores se mencionan varios factores que podrían ser fuentes de variación en el ahusamiento de los árboles, pero por ahora es difícil comprobar y manejar adecuadamente esos factores, debido al reducido desarrollo de la silvicultura de plantaciones de las especies en análisis. Por ahora es necesario aceptar la existencia de esa variabilidad, conociendo sí su efecto práctico.

Una variable que está implícita en varios de los factores mencionados es el tamaño del árbol, ya que éste es influido por el manejo, la calidad de sitio y el tipo de corta que se realice. En la Tabla 4.1.1.4. se presentan los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas (Bartlett) para datos clasificados por tamaño de árbol y por especie; otros resultados del ajuste del modelo trigonométrico a datos agrupados por tamaño se entregan en las Tablas F.18 a F.21 del Apéndice F.

Tabla 4.1.1.4. Prueba de homogeneidad de varianzas (χ^2) para datos clasificados por tamaño de árbol y por especie.

Especie ^e	gl		SCE		Chi ²
	Suma	Grupo	Suma	Grupo	
<i>T.g.</i>	2350	2374	29.9290	55.5836	1204.06*
<i>G.a.</i>	1374	1401	10.7296	12.3785	79.35*
<i>E.c.</i>	424	433	1.8618	3.0969	30.59*
<i>E.d.</i>	1227	1310	5.2590	7.2455	90.53*

* significativo al 0.005

^e *T.g.*: *Tectona grandis*
E.c.: *E. camaldulensis*

G.a.: *Gmelina arborea*
E.d.: *Eucalyptus deglupta*

Según los resultados de la Tabla 4.1.1.4, la varianza entre tamaños es heterogénea; luego, agrupar datos para ajustar un modelo único no es estadísticamente válido cuando el tamaño de los árboles en cada subgrupo es diferente.

De acuerdo a los resultados del ajuste del modelo trigonométrico a datos agrupados por tamaño, el ahusamiento de los árboles es dependiente del tamaño (Tablas 4.1.1.5 a 4.1.1.8).

Tabla 4.1.1.5. Coeficientes de regresión y determinación del modelo 3 para la especie *T. grandis*, por rango de DAP.

DAP (cm)	b1	b2	b3	R ²
10	-.99506144 ^a	.01357720 ^a	.00389682 ^a	.83
15	-.79252072 ^a	.00366972 ^a	.00432991 ^a	.83
20	-.84033872 ^a	.03724952 ^a	.00591072 ^a	.86
25	-.70428020 ^a	.05292190 ^a	.01274427 ^a	.90
30	-.57282982 ^a	.05861767 ^a	.02305579 ^a	.97
35	-.58029342 ^a	.07506815 ^a	.02142243 ^a	.98
40	-.57689664 ^a	.06917191 ^a	.01948342 ^a	.98
45	-.48200346 ^a	.04602809 ^a	.02808939 ^a	.99
50	-.40879363 ^a	.05182543 ^a	.03235241 ^a	.99

^a Altamente significativo $P|t| < .01$ ^b Significativo $0.05 > P|t| > 0.01$ ^c No significativo $P|t| > 0.05$

En la especie *T. grandis* (Tabla 4.1.1.5) puede observarse una tendencia clara de aumento de los coeficientes b1 y b3 a medida que incrementa el DAP (tamaño) de los árboles. Los árboles más pequeños tienden a tener un perfil de fuste más recto, lo cual es claro en las clases de DAP 10 y 15 en las que b2 no es diferente de cero. A medida que los árboles aumentan en tamaño disminuye la conicidad del fuste (aumento del coeficiente b1) e incrementa el abultamiento basal (aumento del coeficiente b3).

Para la especie *G. arborea* (Tabla 4.1.1.6), puede observarse un aumento de los coeficientes b1 y b3 en las clases de DAP superiores (40 a 55). En las clases inferiores no se detecta una tendencia clara para b1, pero sí una disminución de b3.

Tabla 4.1.1.6. Coeficientes de regresión y determinación del modelo 3 para la especie *G. arborea*, por rango de DAP.

DAP (cm)	b1	b2	b3	R ²
10	-.68296534 ^a	.04132891 ^b	.00743969 ^a	.94
15	-.69932192 ^a	.02899791 ^a	.00584307 ^a	.95
20	-.69012646 ^a	.01911470 ^b	.00557978 ^a	.95
25	-.69219424 ^a	.04404157 ^a	.00506958 ^a	.93
30	-.68815877 ^a	.06040354 ^a	.00463973 ^a	.96
35	-.65759626 ^a	.04923631 ^a	.00489173 ^a	.94
40	-.70389029 ^a	.04366267 ^a	.00301721 ^a	.95
45	-.52087783 ^a	.02752576 ^b	.02308282 ^a	.99
50	-.52061257 ^a	.02548837 ^b	.02583333 ^a	.96
55	-.35276819 ^a	.04354729 ^b	.03632921 ^a	1.00

^a Altamente significativo $P|t| < 0.01$ ^b Significativo $0.05 > P|t| > 0.01$ ^c No significativo $P|t| > 0.05$

En la especie *E. camaldulensis* (Tabla 4.1.1.7) puede observarse una tendencia clara de aumento del coeficiente b1 (menor conicidad del fuste) y de disminución del coeficiente b3 a medida que incrementa el DAP (tamaño) de los árboles. Los árboles más pequeños tienden a ser más rectos, lo cual es claro en la clase de DAP 5 en la que b2 no es diferente de cero.

Tabla 4.1.1.7. Coeficientes de regresión y determinación del modelo 3 para la especie *E. camaldulensis*, por rango de DAP.

DAP (cm)	b1	b2	b3	R ²
5	-.71631876 ^a	.03563144 ⁿ	.01050234 ^a	.96
10	-.69329945 ^a	.04117802 ^a	.00568607 ^a	.98
15	-.67240515 ^a	.05445234 ^a	.00507439 ^a	.96
20	-.63522574 ^a	.04442791 ^a	.00432783 ^a	.97

^a Altamente significativo $P|t| < .01$ ⁿ No significativo $P|t| > 0.05$

En la especie *E. deglupta* (Tabla 4.1.1.8) hay una tendencia general de incremento en el coeficiente b1 en los árboles más grandes, implicando una disminución de la conicidad del fuste a medida que los árboles aumentan en tamaño. También se observa una disminución del coeficiente b3, pero con una tendencia menos definida.

Tabla 4.1.1.8. Coeficientes de regresión y determinación del modelo 3 para la especie *E. deglupta*, por rango de DAP.

DAP (cm)	b1	b2	b3	R ²
10	-.84484208 ^a	.06859846 ^a	.00306543 ^a	1.00
15	-.83222857 ^a	.07213362 ^a	.00250849 ^a	.98
20	-.86912817 ^a	.05070007 ^a	.00210991 ^a	.96
25	-.86404535 ^a	.05899647 ^a	.00284500 ^a	.97
30	-.83737305 ^a	.07220398 ^a	.00178955 ^a	.96
35	-.75654888 ^a	.12617724 ^a	.00215116 ^a	.98
45	-.71692982 ^a	.05753299 ^a	.00196222 ^a	.99
50	-.77532890 ^a	.07927523 ^a	.00140992 ^a	.91
55	-.76358212 ^a	.05457256 ^a	.02622937 ^a	1.00
60	-.64692034 ^a	.07574168 ^a	.02737844 ^a	.99
65	-.64053138 ^a	.09483760 ^a	.02109105 ^a	.99
75	-.62197420 ^a	.08680285 ^a	.01309589 ^a	.98

^a Altamente significativo $P|t| < .01$

En algunas especies se ha detectado una dependencia clara del ahusamiento con respecto al tamaño de los individuos, ajustando funciones por árbol individual; una vez ajustada la función de ahusamiento se estiman sus coeficientes en base a variables que representan el tamaño del árbol, para obtener un sistema de funciones para árboles individuales [REAL y MOORE, 1988].

El procedimiento anterior no generó resultados satisfactorios en el estudio actual, debido probablemente a la heterogeneidad de los datos en análisis; sin embargo, la separación de datos por clases de DAP genera resultados que presentan cierta tendencia respecto al tamaño de los individuos. Ello implica que los valores obtenidos para los coeficientes del modelo trigonométrico pueden ser estimados a partir de variables como DAP y altura total del árbol o variables derivadas.

En la Tabla 4.1.1.9 se presentan las funciones ajustadas para la estimación de los coeficientes del modelo trigonométrico que se obtuvo por clase de DAP. Esos resultados evidencian que, en general, los coeficientes del modelo trigonométrico pueden ser estimados a partir de las variables que representan el tamaño del árbol; una gran proporción de la variación en los coeficientes es explicada por las variables en el modelo, respectivo (R^2). La excepción es el coeficiente b_2 , en la especie *E. deglupta*, el cual no muestra una dependencia clara respecto del tamaño de los árboles.

Tabla 4.1.1.9. Funciones para estimar los coeficientes de regresión del modelo trigonométrico por especie.

Especie / Función ^f	R ²
<i>Tectona grandis</i>	
b1 = -2.36953771 ^a + 0.55075518 LHT ^a	.9423
b2 = 0.44426970 ^a - 0.13156411 b1 ^b - 0.53324101 SCE ^a	.9354
b3 = 0.08489436 ^a + 0.15289861 b1 ^a + 0.07052522 b12 ^b	.9678
<i>Gmelina arborea</i>	
b1 = -0.66555838 ^a - 0.00018268 DC2 ^b + 0.00000506 DC3 ^a	.9425
b2 = 0.47856193 ^a - 0.14457239 LDC ^a - 0.25546056 LCE ^a	.6521
b3 = 0.04801779 ^a - 0.09008221 b12 ^a	.9763
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	
b1 = -0.72535014 ^a + 0.00025438 DC2 ^b	.9765
b2 = -0.30223260 ^b + 0.00599478 DC ^b + 0.58503456 b12 ^b	.9992
b3 = -0.00641805 ^a + 0.00028183 DC ^a + 0.00675072 CE3 ^a	1.0000
<i>Eucalyptus deglupta</i>	
b1 = -2.95335823 ^a + 0.03107382 DC ^b	
- 0.00035676 DH ^b + 1.53081099 SCE ^b	.9238
b2 = 0.11453891 ^a - 0.06720888 b12 ^a	.1877
b3 = 0.04379586 ^a - 0.09270896 CE2 ^a + 0.058148137 CE3 ^a	.7457

^a Altamente significativo $P|t| < .01$ ^b Significativo $.01 < P|t| < .05$ * No significativo $P|t| > .05$

^f Variables:

DC : diámetro con corteza a 1.3 m del suelo (DAP)(cm)
 HT : altura total del árbol (m)
 CE : coeficiente de esbeltez CE = HT / DAP (m/cm)
 Log: Logaritmo en base 10
 b1, b2, b3: coeficientes

b12=b1² CE3=CE³ DC2=DC² DC3=DC³ DH=DC*HT
 LHT=Log(HT) LDC=Log(DC) LCE=Log(CE) SCE=CE⁻²

4.1.2 VALIDACION DE LA FUNCION DE AHUSAMIENTO

La validación de la función de ahusamiento se realizó sobre los datos usados para ajustar el modelo (validación interna) y a la submuestra independiente mantenida para validación (validación externa). La validación se efectuó para la variable dependiente (Y^2) y para las variables derivadas diámetro sin corteza (DSC) y volumen total sin corteza (VOL).

La validación interna se justifica para las variables derivadas diámetro y volumen; especialmente para la primera dado que se obtiene a partir de una transformación de la variable original (Y^2), transformación que puede ser fuente de sesgo aunque la estimación de la variable original sea insesgada [CZAPLEWSKI y BRUCE, 1990].

Los indicadores estadísticos calculados son el porcentaje de variación explicada (PVE), error estandar de estimación (SEE) y sesgo de la variable correspondiente, expresados en las unidades de medición originales (Y^2 sin unidades; DSC en cm; volumen en m^3); la prueba t para datos pareados es sobre el sesgo.

Los resultados de la validación de las funciones obtenidas para cada localidad y agrupación de localidades se presentan en las Tablas F.22 a F.25 del Apéndice F; los gráficos respectivos pueden verse en las Figuras G.1 a G.18 del Apéndice G.

Los resultados de la validación de las funciones obtenidas por clase de DAP se presentan en las Tablas F.26 a F.33 del Apéndice F; los gráficos respectivos pueden verse en las Figuras G.19 a G.28 del Apéndice G.

En algunas estimaciones se detectan sesgos, pero tienen poca importancia práctica debido a su pequeño valor, aunque son estadísticamente significativos. Un sesgo negativo señala que el modelo sobreestima los valores.

Validación en *Tectona grandis*.

En general, en todas las localidades puede observarse que el modelo trigonométrico tiene validez interna y externa (Tabla F.22, Apéndice F; Figuras G.1 y G.2, Apéndice G). En algunos casos hay presencia de sesgos en las estimaciones, cuyo valor es pequeño aunque estadísticamente significativo.

En la localidad de Santa Cruz, la estimación de las tres variables es insesgada; en la localidades de Nicoya y Parrita la estimación de DSC es sesgada, aunque el tamaño del sesgo tanto en la validación interna como externa es pequeño (inferior a 1 cm); en la localidad de Panamá 1 la validación externa indica una estimación sesgada de Y^2 ; en Panamá 2 la validación interna indica una estimación sesgada de VOL.

La agrupación de todas las localidades para obtener una sola función de ahusamiento no es buena a juzgar por la presencia de sesgo significativo, coincidiendo con los resultados de la prueba de homogeneidad de varianza entre localidades. La agrupación de datos disminuye el PVE y aumenta el sesgo de las estimaciones en las tres variables analizadas (Tabla F.22, Apéndice F; Figuras G.3 y G.4, Apéndice G).

El modelo general sobreestima Y^2 en sector central del fuste; la estimación de esta variable es insesgada para las localidades de Nicoya y Parrita, probablemente debido al efecto del mayor número de observaciones de estas localidades.

La validación interna de la agrupación de todos los datos provenientes del análisis fustal indica estimaciones sesgadas (Tabla F.22, Apéndice F; Figura G.4, Apéndice G). La validación externa indica estimaciones insesgadas de Y^2 y VOL; la estimación de ambas variables es insesgada para la localidad de Nicoya y Y^2 es insesgado en Parrita, probablemente debido al efecto del mayor número de observaciones de estas localidades.

La validación interna de la agrupación de datos provenientes del análisis fustal indica estimaciones sesgadas, exceptuando la variable Y^2 (Tabla F.22, Apéndice F; Figura G.5, Apéndice G). La validación externa indica estimaciones insesgadas de Y^2 y VOL; la estimación de las tres variables es insesgada para la localidad de Nicoya, pero sesgada en Santa Cruz; la causa probable se menciona en los párrafos anteriores.

La agrupación de datos provenientes de Panamá es la que presenta el comportamiento más aceptable en términos estadísticos (Tabla F.22, Apéndice F; Figura G.6, Apéndice G). Aún así, hay sesgo en las estimaciones de VOL (validación interna y Panamá 2) y DSC (Panamá 1), aunque son sesgos de pequeño valor. Estos resultados coinciden con aquellos de la prueba de homogeneidad de varianzas y prueba *F*.

La agrupación de datos y separación de acuerdo el tamaño de los árboles genera resultados variables (Tablas F.26 y F.27, Apéndice F; Figuras G.19 a G.21, Apéndice G). La validación interna señala estimaciones insesgadas de Y^2 en todas las clases de diámetro; sesgadas para DSC, excepto en las clases 35, 40 y 50; y sesgada para VOL en las clases inferiores a 30 cm.

La validación externa señala estimaciones insesgadas de Y^2 en todas las clases de diámetro, exceptuando la clase 20; sesgadas para DSC en las clases 20, 30 y 35; y sesgada para VOL en la clase 20. La clase de 20 cm es la que presenta el mayor sesgo en DSC (-1.19 cm), valor que debe corresponder a menos de 10% del DSC promedio de un fuste de esa clase.

Validación en *Gmelina arborea*

En términos generales, tanto la validación interna como la externa indican un buen comportamiento del modelo trigonométrico a nivel de localidad (Tabla F.23, Apéndice F; Figuras G.7 y G.8, Apéndice G).

En las localidades de Puerto Viejo y Monte Romo sólo la estimación de DSC es sesgada, pero los sesgos son inferiores a 0.5 cm; en las localidades de Santa Marta y aquella catalogada como "varias" las estimaciones de las tres variables son insesgadas; para la localidad de CATIE las validaciones interna y externa indican estimaciones sesgadas de DSC (la primera) y VOL (ambas).

La agrupación de todas las localidades para obtener una función de ahusamiento general no es buena (Tabla F.23, Apéndice F; Figuras G.9 y G.10, Apéndice G). En términos generales, hay aumento del sesgo de las estimaciones y reducción en PVE, especialmente para las localidades de CATIE y la catalogada como "varias", en las que las estimaciones de las tres variables son sesgadas; esos sesgos, sin embargo, son de tamaño pequeño.

La validación interna sobre el conjunto global de datos indica estimaciones sesgadas de DSC y la externa señala sesgos en VOL; la estimación de DSC es sesgada para las localidades de Puerto Viejo y Monte Romo y la de VOL en Santa Marta.

La agrupación de datos de las localidades de Monte Romo y Santa Marta para obtener una función de ahusamiento general es buena, exceptuando el sesgo en la estimación de DSC evidenciado por la validación interna (Tabla F.23, Apéndice F; Figura G.10, Apéndice G). Las estimaciones de las tres variables por localidad, en base a la función única, tienen una validez similar a las realizadas en base a las funciones por localidad; por ejemplo, la estimación de DSC en Monte Romo es sesgada, como con la función original para la localidad.

La similitud en los resultados puede deberse a que entre estas localidades hay una distancia pequeña (alrededor de 30 km), lo que genera similitud de clima y posiblemente de suelo; otro factor común es un tamaño relativamente homogéneo en los árboles de ambas muestras.

La agrupación de datos de Puerto Viejo, CATIE y "varias" no genera resultados satisfactorios; en ellas la mayoría de las variables son estimadas con sesgo (Tabla F.23, Apéndice F; Figura G.11, Apéndice G).

La agrupación de datos de las localidades de Puerto Viejo, Monte Romo y Santa Marta (tres localidades muestreadas con el mismo procedimiento) no es totalmente buena (Tabla F.23, Apéndice F; Figura G.12, Apéndice G). La validación interna evidencia sesgo en la estimación de DSC y VOL; en Puerto Viejo y Monte Romo es sesgada la estimación de DSC y en Santa Marta la de VOL.

La agrupación de datos y separación de acuerdo el tamaño de los árboles genera resultados aceptables (Tablas F.28 y F.29, Apéndice F; Figuras G.22 a G.24, Apéndice G). La validación interna señala estimaciones insesgadas de Y^2 en todo el rango de DAP, sesgos en la estimación de DSC en las clases 25 a 40 y sesgo en VOL en la clase 25. La validación externa señala estimaciones sesgadas de Y^2 en las clases de DAP 10 y 20, sesgos en la estimación de DSC en las clases menores de 25 cm y estimaciones insesgadas de VOL.

Validación en *Eucalyptus camaldulensis*

Las validaciones interna y externa indican un buen comportamiento del modelo trigonométrico en ambas localidades, a excepción de la predicción sesgada de DSC para los datos de Nicaragua (validación externa); ese sesgo, sin embargo, es pequeño (Tabla F.24, Apéndice F; Figura G.13, Apéndice G).

La agrupación de los datos de las dos localidades para obtener una función de ahusamiento general es factible en la práctica (Tabla F.24, Apéndice F; Figura G.14, Apéndice G), aunque hay heterogeneidad de varianza entre localidades (Tabla 4.1.1.2). La calidad de la predicción de las variables en base a la función única es tan buena como aquella de las funciones individuales por localidad; el modelo es válido externa e internamente, exceptuando a DSC que es estimado con sesgo en los datos usados para el ajuste; la estimación de DSC se mantiene sesgada para los datos de Nicaragua.

La agrupación de datos y separación de acuerdo al tamaño de los árboles, para obtener una función de ahusamiento para cada clase de DAP, genera resultados menos exactos que los obtenidos a partir de las funciones de ahusamiento por localidad (Tablas F.30 y F.31, Apéndice F; Figuras G.25 y G.26, Apéndice G). Aunque la validación externa no detecta presencia de sesgos en ninguna de las tres variables, la validación interna detecta estimaciones sesgadas de VOL en las clases inferiores a 20 cm.

Validación en *Eucalyptus deglupta*

El comportamiento del modelo trigonométrico es bueno en las cuatro localidades, especialmente en las estimaciones de Y^2 y VOL (Tabla F.25, Apéndice F; Figuras G.15 y G.16, Apéndice G). La estimación de DSC, es sesgada en todas las localidades, pero el sesgo es pequeño (inferior a 1 cm); la estimación de Y^2 es sesgada en Juan Viñas y Florencia Sur 1, según la validación interna y externa respectivamente.

La agrupación de los datos de las cuatro localidades, para obtener una función de ahusamiento única, genera resultados variables (Tabla F.25, Apéndice F; Figura G.17, Apéndice G). Se mantienen las estimaciones insesgadas de VOL y el sesgo en DSC; en la localidad de Florencia Sur 2, el sesgo en DSC es de -3.03 cm.

La agrupación de los datos de las tres localidades de Turrialba, no mejora la situación antes descrita (Tabla F.25, Apéndice F; Figura G.18, Apéndice G). Se mantienen las estimaciones insesgadas de VOL y el sesgo en DSC; en la localidad de Florencia Sur 2, el sesgo en DSC es de -3.11 cm, el valor más alto de todos los detectados para esta variable.

La agrupación de datos y separación de acuerdo el tamaño de los árboles, para obtener funciones por clase de DAP, genera resultados aceptables (Tablas F.32 y F.33, Apéndice F; Figuras G.26 y G.27, Apéndice G). La estimación de VOL es insesgada en todas las clases de DAP; un comportamiento similar tiene la variable Y^2 , a excepción de la clase 30 en la cual la validación externa detecta sesgo; la validación externa detecta sesgo en la estimación de DSC en las clases 20 a 30 y la externa, además, detecta sesgo en las clases 15 y 50.

Validación del sistema de funciones por árbol individual

Los resultados de la validación de la función de ahusamiento obtenida para el conjunto global de datos por especie, prediciendo sus coeficientes a partir de variables que representan el tamaño del árbol, se presentan en la Tabla 4.1.1.10.

En la especie *T. grandis* se obtienen mejores predicciones mediante este procedimiento que aquellas que se obtienen a través de la función de ahusamiento general (Tabla F.22, Apéndice F); tanto la validación interna como la externa detectan un incremento en el porcentaje de variación explicada (PVE) y una disminución del sesgo, en las tres variables estimadas.

La mejor respuesta de *T. grandis* puede deberse a que la muestra de esta especie, proveniente principalmente de análisis fustal, abarca un rango amplio de DAP y tiene una frecuencia de árboles medidos por clase de DAP más homogénea que la de las otras especies (compárese n de VOL en las Tabla F 26, F 28, F 30 y F 32 del Apéndice F).

En las cuatro especies se obtienen mejores predicciones de DSC mediante este procedimiento que aquellas que se obtienen a través la función de ahusamiento general (Tabla F.23, Apéndice F); tanto la validación interna como la externa detectan una disminución del sesgo en las estimaciones. El efecto sobre Y^2 y VOL es variable, habiendo en algunos casos disminución y en otros incremento del sesgo respecto de la función de ahusamiento general (Tabla F.23 a F25, Apéndice F).

El porcentaje de sesgo en las estimaciones de DSC, es siempre inferior a 5%, un valor bastante bajo aunque significativo en algunos casos (Tabla 4.1.1.10); esos valores representan el desvío promedio de las mediciones de DSC a lo largo del fuste de todos los árboles en cada muestra. En la Tabla 4.1.1.11 se presentan los resultados de la validación del modelo trigonométrico, para la variable diámetro sin corteza (DSC) a diferentes alturas en el fuste.

Las estimaciones de la variable DSC en diferentes secciones de fuste presentan sesgos de pequeño valor (Tabla 4.1.1.11); en *G. arborea* *E.* y *camaldulensis* el sesgo es siempre inferior a 1 cm y en *T. grandis* y *E. deglupta* no sobrepasa los 2 cm. En las cuatro especies el sesgo es inferior a 9% hasta el 85% de la altura total del árbol; el mayor porcentaje de sesgo se obtiene en la sección terminal del fuste, sector de poca importancia económica como se explicó antes.

Tabla 4.1.1.10. Estadísticas^e de la validación interna (I) y externa (E) del modelo trigonométrico para las especies en análisis.

Especie	n	PVE	SEE	.....	SESGO	.....
Variable				(valor)	(%)	P>|t|
<i>Tectona grandis</i>						
(I) Y2	2376	90	.00874	-.0145	-4.4	.0001
(I) DSC	2376	96	.22362	-.4276	-3.3	.0001
(I) VOL	218	97	.02772	.0091	1.7	.0720
(E) Y2	598	90	.01750	-.0136	-4.1	.0159
(E) DSC	598	96	.44002	-.3848	-3.0	.0001
(E) VOL	55	97	.05249	.0059	1.1	.5745
<i>Gmelina arborea</i>						
(I) Y2	1404	89	.01002	-.0066	-1.8	.0428
(I) DSC	1404	96	.26769	-.3477	-2.5	.0001
(I) VOL	145	97	.03343	.0143	2.5	.0124
(E) Y2	336	89	.02309	.0169	4.2	.0298
(E) DSC	336	96	.52433	.0230	0.2	.8251
(E) VOL	34	95	.05785	.0431	7.7	.0008
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>						
(I) Y2	436	94	.01788	-.0049	-1.3	.2782
(I) DSC	436	97	.22807	-.0871	-1.3	.0152
(I) VOL	55	97	.00662	.0042	6.1	.0010
(E) Y2	96	88	.03701	-.0101	-2.7	.4269
(E) DSC	96	97	.49220	.0277	0.4	.7608
(E) VOL	12	94	.01375	.0072	9.6	.0476
<i>Eucalyptus deglupta</i>						
(I) Y2	1313	82	.00971	-.0218	-6.0	.0001
(I) DSC	1313	97	.31776	-.5688	-4.1	.0001
(I) VOL	105	99	.09975	-.0143	-2.1	.1124
(E) Y2	275	89	.02105	-.0156	-4.3	.0257
(E) DSC	275	95	.46592	-.4934	4.1	.0001
(E) VOL	21	97	.05601	-.0034	-0.8	.7445

$$e \quad SEE = [SCE / (n-p-C-1)]^{1/2}$$

$$SeSGO = \sum_{i=1}^n e_i / n$$

$$PVE = 100(SCT-SCE) / SCT$$

SCE : suma de cuadrados del error SCT : suma de cuadrados total e_i : desvíos

Tabla 4.1.1.11. Sesgos detectados por la validación externa e interna del modelo trigonométrico, para la variable diámetro sin corteza (DSC) en diferentes secciones del fuste de las especies en análisis.

Altura en el fuste (%)	Especie							
	<i>T. grandis</i> (cm)	<i>G. arborea</i> (%)	<i>G. arborea</i> (cm)	<i>E. camaldulensis</i> (%)	<i>E. camaldulensis</i> (cm)	<i>E. deglupta</i> (%)	<i>E. deglupta</i> (cm)	<i>E. deglupta</i> (%)
Validación interna								
<= 5	0.40	1.3	-0.18	-0.6	-0.06	-0.5	-0.61	-2.3
6-15	0.45	2.0	0.72	3.2	0.52	3.9	0.66	2.6
16-25	-0.56	-2.6	-0.15	-0.7	0.04	0.4	-0.42	-1.8
26-35	-1.22	-6.7	-0.83	-4.4	-0.29	-3.4	-0.88	-4.2
36-45	-1.17	-6.7	-0.90	-5.3	-0.19	-2.2	-1.00	-5.5
46-55	-0.56	-3.7	-0.50	-3.4	-0.29	-4.0	-0.67	-4.1
56-65	-0.91	-6.9	-0.32	-2.5	0.05	0.8	-0.28	-2.0
66-75	-0.32	-2.8	-0.09	-0.9	-0.04	-0.9	-0.34	-3.3
76-85	-0.64	-8.5	-0.42	-5.5	-0.15	-4.0	-0.46	-6.3
86-95	-0.78	-18.5	-0.91	-22.4	-0.26	-11.1	-1.27	-32.5
=> 96	-0.15	-17.3	-0.10	-64.8	-0.02	-23.7	-0.22	-46.3
Validación externa								
<= 5	0.65	2.0	0.96	3.1	-0.42	-3.2	0.38	1.6
6-15	0.60	2.6	0.95	4.2	0.88	6.3	0.62	3.0
16-25	-0.82	-4.1	0.17	0.9	0.11	1.2	-0.38	-1.9
26-35	-1.04	-5.8	-0.17	-0.8	0.14	1.3	-0.63	-3.5
36-45	-1.64	-9.9	-0.49	-2.9	-0.11	-1.2	-0.77	-4.8
46-55	-0.62	-4.1	-0.04	-0.3	-0.27	-3.4	-1.00	-6.9
56-65	-0.88	-7.1	-0.12	-0.9	0.13	1.9	-0.67	-5.5
66-75	0.08	0.7	0.05	0.5	0.23	4.3	-0.32	-3.2
76-85	-0.69	-9.3	-0.01	-0.1	0.32	7.2	-0.53	-7.7
86-95	-0.82	-19.5	-0.62	-15.1	0.03	1.3	-1.04	-28.1
=> 96	-0.06	-7.1	-0.12	-79.4	0.00	0.0	-0.25	-51.5

$$s = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n}$$

e_i : desvíos

4.2. EL MODELO OPTIMIZADOR DEL TROZADO.

El modelo optimizador del trozado debe su nombre a que la optimización es el proceso más valioso que realiza, pero éste no es el único (ver detalles en: Manual de Operación de "OT", Apéndice C; Procedimientos de Evaluación mediante "OT", Apéndice D; Estructura de "OT", Apéndice E).

El modelo puede ser usado para estimar el rendimiento de cualquier especie forestal maderable, que desarrolle un fuste principal. Para ello es necesario que el usuario ajuste una función de ahusamiento para la especie de interés y haga el ingreso de los coeficientes obtenidos al modelo.

La estructura modular que tiene el modelo permite el uso del programa aún en equipos con pequeña capacidad de memoria RAM. Cada módulo es ejecutado independientemente, permitiendo incluso la ejecución directa de cada uno de ellos por parte del usuario. El modelo está compuesto por 8 módulos que ocupan en total menos de 0.5 Megabytes de memoria. Algunas características de operación del modelo son las siguientes:

Datos de entrada

El modelo permite procesar datos provenientes de diferentes escenarios. El origen de éstos pueden ser mediciones realizadas en árboles individuales, parcelas de muestreo o rodales completos. Las variables que necesita el modelo para operar son el diámetro fustal con corteza a 1.3 m de suelo y la altura total del árbol; también se pueden especificar defectos. El ingreso de los datos puede ser por clase de DAP o por árbol individual.

De los productos a evaluar se especifica la longitud, los diámetros extremos mínimo y máximo y un diámetro mínimo intermedio si lo hubiera como restricción. También es necesario ingresar valores de venta de los productos y los costos de producción, si ellos fueran necesarios en el proceso.

Procesos

El modelo permite procesar datos de 18 formas alternativas. Las operaciones básicas que realiza son: optimización del trozado, para maximizar el volumen, el ingreso (bruto) o la utilidad (ingreso neto), con o sin producto prioritario; cubicación, hasta un diámetro límite, altura límite o total. La optimización y la cubicación puede efectuarse sobre árboles con y sin defectos.

Salidas

Como resultado de la optimización genera: tablas de volumen; número de piezas de cada producto evaluado, clasificadas por tamaño; patrón de trozado óptimo, señalando la posición de los cortes en el fuste. El proceso de cubicación genera tablas de volumen

V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. CONCLUSIONES

- 1.- El modelo trigonométrico, una función de ahusamiento lineal en los parámetros, describe adecuadamente el perfil fustal y tiene flexibilidad suficiente para representar el ahusamiento de diferentes especies en distintas localidades.
- 2.- El ahusamiento de los árboles entre localidades y entre árboles de diferente tamaño no fue constante en los datos analizados..
- 3.- El desarrollo de un sistema de funciones de ahusamiento por clase diamétrica es la mejor opción para estimar las variables diámetro y volumen sin corteza, en la especie *T. grandis*. Para las otras especies en análisis la selección del procedimiento depende de la variable a estimar.
- 4.- Las estimaciones de las variables diámetro y volumen sin corteza, a partir de las funciones de ahusamiento obtenidas, son exactas. El sesgo que se presenta en algunas de las estimaciones es de poca importancia práctica debido a su valor pequeño.
- 5.- Las estimaciones del diámetro sin corteza en el extremo terminal del fuste presentan porcentajes de sesgo altos, pero ésto es irrelevante en la práctica debido a la baja utilización de esta sección del fuste.

- 6.- El trozado del fuste puede ser optimizado eficientemente mediante Programación Dinámica. El uso del método de optimización junto a la función de ahusamiento permite incorporar las restricciones de mercado en el proceso.

- 7.- El modelo básico optimizador de trozado desarrollado es una herramienta útil para la evaluación y apoyo a las decisiones en aprovechamiento y manejo de plantaciones. Es un modelo flexible que evalúa antecedentes de acuerdo a varios procedimientos diferentes, según criterios definidos por el usuario.

5.2. RECOMENDACIONES

- 1.- Es necesario investigar el efecto de la calidad de sitio en el ahusamiento de los árboles desarrollando, por ejemplo, funciones por calidad de sitio.

- 2.- Para el ajuste de funciones de ahusamiento se debe medir completamente el fuste de los árboles, desde el tocón hasta el ápice y con mayor intensidad en el sector basal, ya que éste es el sector más valioso del árbol y es el que presenta la mayor tasa de decrecimiento en diámetro.

- 3.- La intensidad de medición de los fustes debe ser homogénea para todos los árboles, independientemente de su tamaño. Se debe utilizar una intensidad alta de medición, por ejemplo cada 1/15 o 1/20 de la altura total.

- 4.- Cuando se dispone de información sobre árboles de una especie, medidos con diferente intensidad a lo largo del fuste, y se desea ajustar una función de ahusamiento, un procedimiento práctico es reunir toda la información y generar funciones de ahusamiento por clase de DAP. En este estudio una amplitud de clase de 5 cm dió buenos resultados.

- 5.- Se debe perfeccionar el ambiente de trabajo del modelo optimizador de trozado, para facilitar la utilización y dominio rápido del modelo por una gama amplia de usuarios. En el modelo actual el aprendizaje de su operación está supeditada al uso del manual respectivo; en versiones posteriores se pueden incluir menús de ayuda como parte del modelo.

Otros componentes que serán de gran utilidad son los siguientes: un graficador de patrones de trozado; graficador de las diferentes modalidades de evaluación; generador de tablas de trozado para conjuntos de productos específicos.

VI BIBLIOGRAFIA

- AMATEIS, R. L. y BURKHART, H. E. 1987. Tree Volume and Taper of Loblolly Pine varies by Stand Origin. South. J. Appl. For. 11(4):185-189.
- BENNETT, F. A., LLOYD, F. T., SWINDEL, B. F. y WHITEHORNE, E. W. 1978. Yields of Veneer and Associated Products from Unthinned, Old-Field Plantations of Slash Pine in the North Florida and South Georgia Flatwoods. USDA SE-176.
- BRUCE, D., CURTIS, R. O. y VANCOEVERTING, C. 1968. Development of a System of Taper and Volume Tables for Red Alder. For. Sci 14(3):339-350.
- BUONGIORNO, J. y GILLESS, J. K. 1987. Forest Management and Economics. A Primer in Quantitative Methods. MacMillan, N.Y., 285p.
- BYRNE, C. J. y REED, D. D. 1986. Complex Compatible Taper and Volume Estimation Systems for Red and Loblolly pine. For. Sci 32(2):423-443
- CANDY, S. G. 1989 Compatible Tree Volume and Variable-Form Stem Taper Models for Pinus radiata in Tasmania. N. Z. J. For. Sci. 5(3):313-322
- CAO, Q. V., BURKHART, H. E. y MAX, T. A. 1980. Evaluation of Two Methods for Cubic-Volume Prediction of Loblolly Pine to Any Merchantable Limit. For. Sci 26(1):71-80.
- CLUTTER, J. L. 1980. Development of Taper Functions from Variable-Top Merchantable Volume Equations. For. Sci 26(1):117-120.
- CLUTTER, J. L., FORTSON, J. C., PIENAAR, L. V., BRISTER, G. H. y BAILEY, R. L. 1983. Timber Management: A Quantitative Approach. John Wiley & Sons N.Y. 333p
- CZAPLEWSKI, R. L. y McCLURE, J. P. 1988. Conditioning a Segmented Stem Profile Model for two Diameter Measurement. For. Sci. 24(2):512-522.

- CZAPLEWSKI, R. L., BROWN, A. S y GUENTHER, D. G. 1989. Estimating Merchantable Tree Volume in Oregon and Washington Using Stem Profile Models. USDA Research Paper RM-286. 17 p
- CZAPLEWSKI, R. L. y BRUCE, D. 1990. Retrasformation Bias in a Stem Profile Model. Can. J. For. Res. 20:1623-1630.
- DEMAERSCHALK, J. P. 1971. Taper Functions can be Converted to Volume Equations and Point Sampling Factors. For. Chron. 47(6):352-354
- DEMAERSCHALK, J. P. 1972. Converting Volume Equations to Compatible Taper Equations. For. Sci. 18(3):241-245.
- DYKSTRA, D. P. 1984. Mathematical Programming for Natural Resource Management. McGraw-Hill. N.Y. 318 p.
- EVANS, J. 1984. Plantation Forestry in the Tropics. Oxford University Press, N. Y. 472 P.
- FARRAR, R. M. 1987. Stem-profile functions for predicting multiple product volumes in natural longleaf pines. South. J. Appl. For. 11(3):161-167.
- FARRAR, R. M. y MURPHY, P. A. 1987. Taper Functions for Predicting Product Volumes in Natural Shortleaf Pines. USDA SO-234.
- FARRAR, R. M. y MURPHY, P. A. 1988. A Versatile Volume-Defining Function for Natural Loblolly Pine Trees. USDA SO-243.
- FELDMAN, P. y RUGG, T. 1988. Using QuickBASIC 4. Que Corp. Indiana. 713 p.
- FREUND, R. J. y LITTELL, R. C. 1986. SAS System for Regression. SAS Institute Inc., Cary, NC. 165p.
- GALLANT, A. R. y FULLER, W. A. 1973. Fitting Segmented Polynomial Regression Models Whose Joint Point Have to be Estimated. Jour. Am. Stat. Assoc. 68(341):144-147.

- GEERTS, J. M. P. 1984. Mathematical Solution for Optimising the Sawing Pattern of a Log given its Dimensions and its Defect Core. N. Z. J. For. Sci. 14(1):124-134.
- GORDON, a. 1983. Comparison of Compatible Polynomial Taper Equations. N. Z. J. For. Sci. 13(2):146-155
- GOULDING, C. J. y MURRAY, J. C. 1976. Polynomial Taper Equations that are Compatible with Tree Volume Equations. N. Z. J. For. Sci. 5(3):313-322
- HOCKING, R. R. 1976. The Analysis and Selection of Variables in Linear Regression. Biometrics 32:1-49.
- KOZAK, A., MUNRO, D. D. y SMITH, J. H. G. 1969. Taper Functions and their Application in Forest Inventory. For. Chron. 45:278-283
- KOZAK, A. 1988. A Variable-exponent Taper Equation. Can. J. For. Res. 18:1363-1368.
- LENHART, J. D., HACKETT, T. L. y LAMAN CH. J. 1987. Tree Content and Taper Functions for Loblolly and Slash Pine Trees Planted on Non-Old-Fields in East Texas. South. J. Appl. For. 11(3):147-151.
- LOWELL, K. E. 1986. A Flexible Polynomial Taper Equation and Its Suitability for Estimating Stem Profiles and Volumes of Fertilized and Unfertilized Radiata Pine Trees. Aust. For. Res. 16:165-174.
- LOWELL, K. E. 1987. A Distributional Taper-based Volume System for Fertilized and Unfertilized Radiata Pine Plantations in Pigeon Valley, New Zealand. Aust. For. Res. 17:251-262.
- MARTIN, A. J. 1981. Taper and Volume Equations for Selected Appalachian Hardwood Species. USDA Research Paper NE-490.

- MAX, T. A. y BURKHART, H. E. 1976. Segmented Polynomial Regression Applied to Taper Equations. *For. Sci.* 22(3):283-289.
- NEWNHAM, R. M. 1992. Variable-Form Taper Functions for Four Alberta Tree Species. *Can. J. For. Res.* 22:210-223.
- OLIVER, C. D. y LARSON, B. C. 1990. *Forest Stand Dynamics*. McGraw-Hill. 467 p.
- ORMEROD, D. W. 1973. A Simple Bole Model. *For. Chron.* 49:136-138.
- PARRESOL, B. R. y THOMAS, C. E. 1989. A density-Integral Approach to Estimating Stem Biomass. *For. Ecol. Manage.*, 26: 285-297.
- PEREZ, D. N.; BURKHART, H. E.; STIFF, C. T. 1990. A variable-form taper function for *Pinus oocarpa* Schiede in Central Honduras. *For Sci* 36(1):186-191.
- PNEVMATICOS, S. M. y MANN, S.H. 1972. Dynamic Programming in Tree Bucking. *For. Prod. J.* 22(2):26-30.
- REAL, P. L., MOORE, J. A. y NEWBERRY, J. D. 1989. Principal Component Analysis of Tree Stem Profiles. *Can. J. For. Res.* 19: 1538-1542.
- REAL, P. L. y MOORE, J. A. 1988. An Individual Tree taper System for Douglas-Fir in the Inland-Northwest. *In* Forest Growth Modeling and Predictions. Proceedings of IUFRO Conference, August 24-28, 1987, Minneapolis, MN. Ed. by EK, A. R., SHIFLEY, S.R y BURK, T. E. USDA For Serv. Gen Tech. Rep. NC-120.
- REED, D. D. y BYRNE, C. J. 1985. A Simple, Variable Form Volume Estimation System. *For. Chron.* 61: 87-90.
- REED, D. D. y GREEN, E. J. 1984. Compatible Stem Taper and Volume Ratio Equations. *For Sci* 30(4):977-990.

SAS Institute Inc. 1988. SAS/STAT User's Guide. Release 6.03. SAS Institute Inc., Cary, NC.

THOMAS, C. E. y PARRESOL, B. R. 1991. Simple, Flexible, Trigonometric Taper Equations. Can. J. For. Res. 21:1132-1137

APENDICE A

DESARROLLO DE MODELOS DE
AHUSAMIENTO

I N D I C E

MATERIA	PAGINA
A.1 MODELOS LINEALES (en los parámetros)	66
A.1.1 Modelo cuadrático	66
A.1.2 Modelo polinómico	68
A.1.3 Modelo trigonométrico	69
A.2 MODELOS SEGMENTADOS	70
A.2.1 MODELOS COMPUESTOS DE DOS SUBMODELOS	70
A.2.1.1 Unión de dos submodelos cuadráticos	70
A.2.1.2 Unión de dos submodelos cúbicos completos	72
A.2.1.3 Unión de dos submodelos cúbicos. Uno incompleto	74
A.2.1.4 Unión de dos submodelos cúbicos. Uno incompleto	75
A.2.1.5 Unión de dos submodelos cúbicos incompletos	77
A.2.1.6 Unión de un submodelo cúbico incompleto y un cuadrático completo.	78
A.2.2 MODELOS COMPUESTOS DE TRES SUBMODELOS	80
A.2.2.1 Modelo cuadrático-lineal-cuadrático	80
A.2.2.2 Modelo cuadrático-cuadrático-cuadrático	83
A.3 FUNCIONES DE AHUSAMIENTO DE FORMA VARIABLE	86
A.4 FUNCIONES DE AHUSAMIENTO COMPATIBLES	88

Una función de ahusamiento relaciona diámetros de fuste con la altura de medición de esos diámetros, mediante modelos como los siguientes:

$$Y = f(X)$$

$$Y = f(Z)$$

En esos modelos, Y es el diámetro de fuste a una altura dada, o una variable derivada de éste; X y Z representan la altura de medición del diámetro, o una variable derivada de ésta. Lo normal es usar valores relativos para esas variables con el fin de estabilizar la varianza, lo que se requiere cuando se usan técnicas de regresión tradicionales (mínimos cuadrados no ponderados)[CZAPLEWSKI *et al*, 1989].

$$Y = d / D \quad X = h / H \quad Z = (H - h) / H = 1 - X$$

donde:

H : es la altura total del árbol,

d : es el diámetro sin corteza estimado a la altura h

h : es la altura a la cual se desea estimar el diámetro d

D : es el diámetro con corteza (dap), medido a 1.3 m de la superficie del suelo

Las variables predictoras X ó Z se utilizan dependiendo de la posición en que se sitúe el ápice del árbol. Al usar X el ápice del árbol se sitúa en el punto en que $X = 1$ (Figura E.1); al usar Z, en cambio, el ápice se sitúa en $Z = 0$ (Figura E.2).

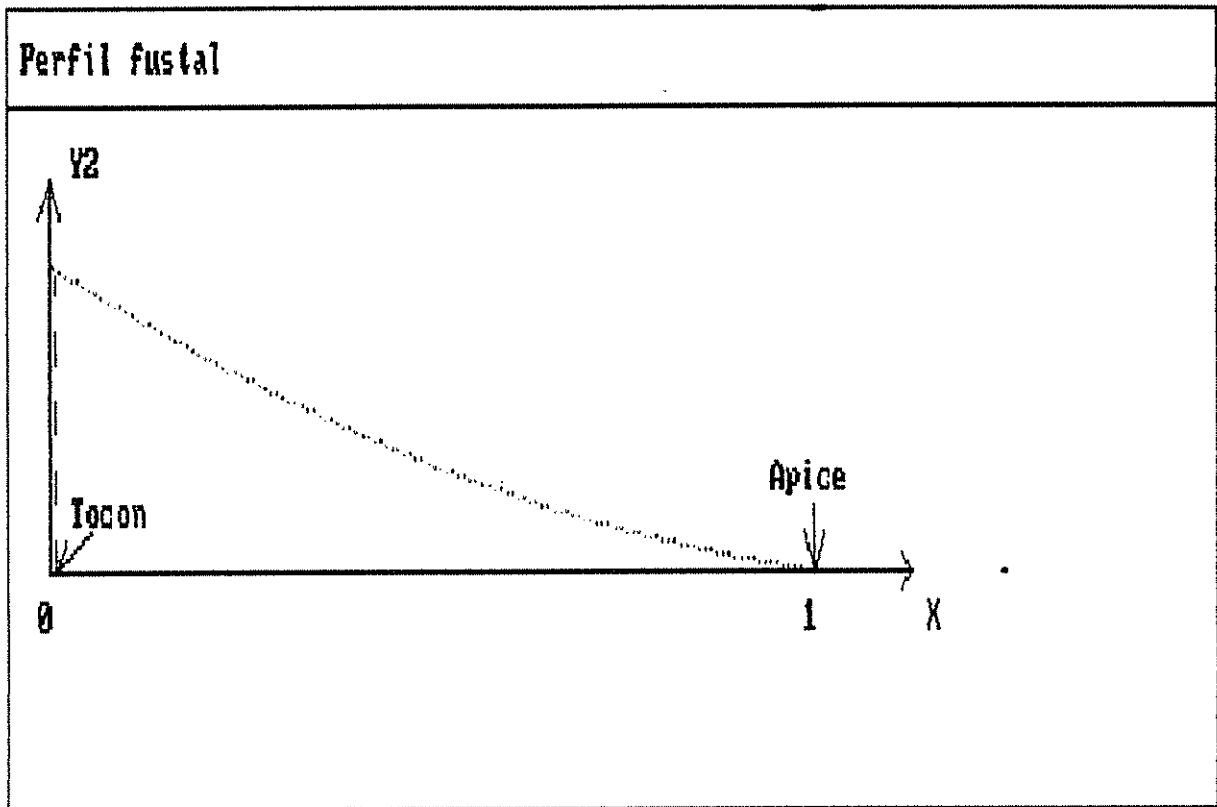


Figura E.1. Gráfica de la relación diámetro relativo (Y) - altura relativa (X).

Hay una gran variedad de modelos usados para describir el ahusamiento de los árboles. A continuación una propuesta de clasificación en 4 tipos generales. Para algunos de los modelos que se presentan, se entregan además las funciones derivadas que permiten realizar el cálculo del diámetro a cualquier altura en el fuste del árbol, el volumen entre dos puntos del fuste y la altura comercial para un diámetro específico.

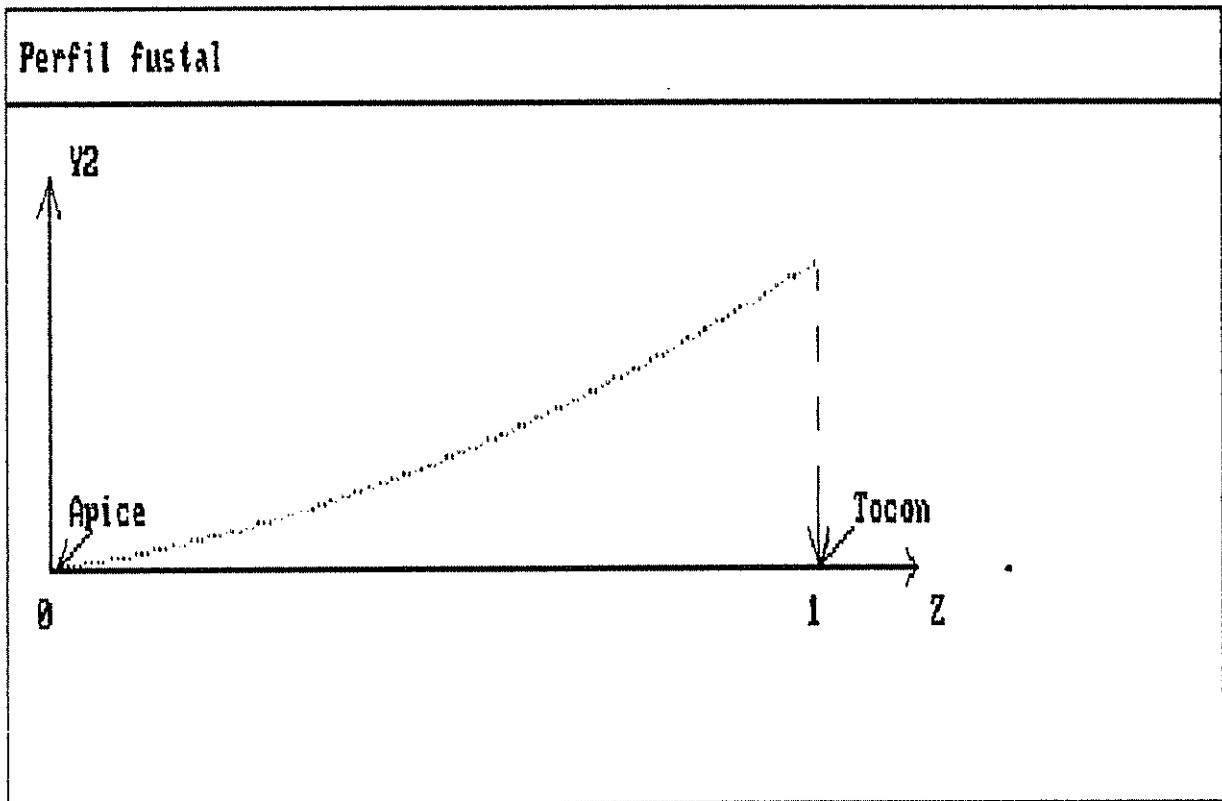


Figura E.2. Gráfica de la relación diámetro relativo (Y) - altura relativa (Z).

A.1 MODELOS LINEALES (en los parámetros).

A.1.1 Modelo cuadrático.

Estos modelos se basan en la relación siguiente:

$$Y^2 = b_0 + b_1X + b_2X^2 \quad (1.1.1)$$

donde:

Y : es el diámetro relativo estimado a la altura relativa X .

b_1 : son coeficientes de regresión.

El diámetro d y la altura comercial h para un diámetro límite determinado se obtienen despejando estas variables de la relación (1.1.1):

$$d = D [b_0 + b_1 X + b_2 X^2]^{1/2} \quad (1.1.2)$$

$$h = \{-b_1 H - [(b_1 H)^2 - 4b_2(b_0 H^2 - d^2 H^2 / D^2)]^{1/2}\} / 2b_2 \quad (1.1.3)$$

La determinación del volumen de trozos de diámetros y longitud específicos se realiza mediante la relación 1.1.4, fórmula resultante de la integración de la relación básica (1.1.1) o del modelo restringido (1.1.7).

$$V = K D^2 H [b_0 (\beta - \alpha) + b_1 / 2 (\beta^2 - \alpha^2) + b_2 / 3 (\beta^3 - \alpha^3)] \quad (1.1.4)$$

donde:

V : volumen (m^3)

K : $\pi/40.000$, para diámetros medidos en cm y alturas en m

α : límite de integración relativo inferior = h_1 / H

β : límite de integración relativo superior = h_2 / H

El modelo general se somete a restricciones para lograr una mejor descripción del perfil del fuste. Estos son requisitos que debe satisfacer a alturas específicas. El modelo (1.1.1) tiene 2 soluciones dadas por:

$$X = [-b_1 \pm (b_1^2 - 4b_0 b_2)^{1/2}] / 2b_2$$

Aplicado a funciones de ahusamiento, la primera condición que debe cumplir es que haya una solución única, lo cual se cumple cuando:

$$b_1^2 - 4b_0 b_2 = 0 \quad (1.1.5)$$

Por otro lado, cuando $X=1$, es decir en el ápice del árbol, el diámetro estimado debe ser cero, de modo que en la relación (1.1.1):

$$b_0 = -b_1 - b_2 \quad (1.1.6)$$

Reemplazando (1.1.6) en (1.1.5) genera:

$$b_1 = -2b_2$$

$$b_0 = b_2$$

Reemplazando esos valores en la relación (1.1.1) permiten obtener el modelo final restringido (1.1.7), un modelo lineal simple sin intercepto [KOZAK *et al*, 1969]:

$$Y^2 = b_2(1 - 2X + X^2) \quad (1.1.7)$$

A.1.2 Modelo polinómico.

En este caso se tienen relaciones como la (1.2.1), que representa un polinomio de grado 5 [Lowell, 1986; modelo 2 usado en el análisis de datos de ahusamiento]; en esta línea hay autores que han usado polinomios de grado 40 [Bruce *et al*, 1968].

$$Y^2 = b_1Z + b_2Z^2 + b_3Z^3 + b_4Z^4 + b_5Z^5 \quad (1.2.1)$$

donde:

Y : es el diámetro relativo estimado a la altura relativa Z .

b_1 : son coeficientes de regresión.

A.1.3 Modelo trigonométrico.

Thomas y Parresol (1991), proponen un modelo basado en funciones trigonométricas (relación 1.3.1; modelo 3 usado en el análisis de datos de ahusamiento):

$$Y^2 = b_1(X-1) + b_2 \sin(2\pi X) + b_3 \cot(\pi X/2) \quad (1.3.1)$$

donde:

Y : es el diámetro relativo estimado a la altura relativa X.

b_1 : son coeficientes de regresión.

sin, cot : son funciones trigonométricas (argumento en radianes)

La integración de la relación (1.3.1) entre dos puntos del fuste permite estimar el volumen fustal (relación 1.3.2):

$$V = K D^2 H \{ b_1(\beta^2 - \alpha^2)/2 - b_1(\beta - \alpha) - b_2[\cos(2\pi\beta) - \cos(2\pi\alpha)]/(2\pi) + 2b_3 [\ln(\sin(\pi\beta/2)/\sin(\pi\alpha/2))] \} \quad (1.3.2)$$

donde:

V : volumen (m³)

K : $\pi/40.000$, para diámetros medidos en cm y alturas en m

α : límite de integración relativo inferior

β : límite de integración relativo superior

ln : logaritmo natural.

A.2 MODELOS SEGMENTADOS.

En este caso el modelo se compone de dos o más submodelos injertados tales que:

$$Y^2 = f(X_1) + e_1$$

$$\begin{aligned} \text{con } f(X) &= f_1(X, B_1) & a \leq X \leq a_1 \\ &= f_2(X, B_2) & a_1 < X \leq a_2 \\ &= f_r(X, B_r) & r-1 < X \leq b \end{aligned}$$

De esta forma se tienen r submodelos unidos en $r-1$ puntos ($a_1 \dots a_{r-1}$), sujetos a restricciones de continuidad y pendiente común en los puntos de unión. El modelo completo también se restringe para que Y sea cero cuando $X=1$.

El modelo resultante reparametrizado puede ajustarse mediante la técnica de regresión lineal múltiple cuando los puntos de unión a_1 son conocidos, de lo contrario es necesario hacer uso de técnicas de ajuste no lineal [GALLANT y FULLER, 1973; MAX y BURHART, 1976].

A.2.1 MODELOS COMPUESTOS DE DOS SUBMODELOS

A.2.1.1 Unión de dos submodelos cuadráticos.

En este caso:

$$\begin{aligned} f_1(X) &= A_0 + A_1X + A_2X^2 & 0 \leq X \leq a_1 \\ f_2(X) &= B_0 + B_1X + B_2X^2 & a_1 < X \leq 1 \end{aligned}$$

donde:

$Y^2 = f_1(X)$: diámetro relativo estimado a la altura relativa X .
 A_1, B_1 : son coeficientes de regresión.

Restricción de continuidad en los puntos de unión:

$$A_0 + A_1\alpha_1 + A_2\alpha_1^2 = B_0 + B_1\alpha_1 + B_2\alpha_1^2$$

Luego:

$$A_0 = B_0 + (B_1 - A_1)\alpha_1 + (B_2 - A_2)\alpha_1^2 \quad (2.1.1.1)$$

Restricción de igualdad de pendiente en los puntos de unión:

$$A_1 + 2A_2\alpha_1 = B_1 + 2B_2\alpha_1$$

Luego:

$$A_1 = B_1 + 2(B_2 - A_2)\alpha_1 \quad (2.1.1.2)$$

Reemplazando (2.1.1.2) en (2.1.1.1):

$$A_0 = B_0 - (B_2 - A_2)\alpha_1^2 \quad (2.1.1.3)$$

Reemplazando (2.1.1.3) y (2.1.1.2) en $f_1(X)$ y sumando

$(B_2X^2 - B_2X^2)$:

$$\begin{aligned} f_1(X) &= B_0 - (B_2 - A_2)\alpha_1^2 + (B_1 + 2(B_2 - A_2)\alpha_1)X + A_2X^2 \\ &= B_0 + B_1X + (B_2X^2 - B_2X^2) + (A_2 - B_2)\alpha_1^2 - 2\alpha_1(A_2 - B_2)X + A_2X^2 \\ &= B_0 + B_1X + B_2X^2 + (A_2 - B_2)(\alpha_1 - X)^2, \end{aligned} \quad (2.1.1.4)$$

Luego:

$$f_1(X) = f_2(X) + (A_2 - B_2)(\alpha_1 - X)^2$$

Restricción de diámetro cero cuando $X=1$ (ápice del árbol):

$$0 = B_0 + B_1 + B_2$$

$$B_0 = -B_1 - B_2 \quad (2.1.1.5)$$

Reemplazando (2.1.1.5) en (2.1.1.4)

$$f_1(X) = B_1(X-1) + B_2(X^2-1) + B_3(\alpha_1-X)^2$$

Reparametrizando e incluyendo el coeficiente I se obtiene el modelo para todo el rango de valores de X (modelo 4 usado en el análisis de datos de ahusamiento).

$$Y_2 = B_1(X-1) + B_2(X^2-1) + (A_2 - B_2)(\alpha_1 - X)^2 I$$

$$I = 1 \text{ cuando } X \leq \alpha_1$$

$$I = 0 \text{ cuando } X > \alpha_1$$

A.2.1.2 Unión de dos submodelos cúbicos completos.

En este caso:

$$\begin{aligned} f_1(X) &= A_0 + A_1X + A_2X^2 + A_3X^3 & 0 \leq X \leq \alpha_1 \\ f_2(X) &= B_0 + B_1X + B_2X^2 + B_3X^3 & \alpha_1 < X \leq 1 \end{aligned}$$

donde:

$Y^2 = f_1(X)$: diámetro relativo estimado a la altura relativa X .

A_1, B_1 : son coeficientes de regresión.

Restricción de continuidad en los puntos de unión:

$$A_0 + A_1\alpha_1 + A_2\alpha_1^2 + A_3\alpha_1^3 = B_0 + B_1\alpha_1 + B_2\alpha_1^2 + B_3\alpha_1^3$$

Luego:

$$A_0 = B_0 + (B_1 - A_1)\alpha_1 + (B_2 - A_2)\alpha_1^2 + (B_3 - A_3)\alpha_1^3 \quad (2.1.2.1)$$

Restricción de igualdad de pendiente en los puntos de unión:

$$A_1 + 2A_2\alpha_1 + 3A_3\alpha_1^2 = B_1 + 2B_2\alpha_1 + 3B_3\alpha_1^2$$

Luego:

$$A_1 = B_1 + 2(B_2 - A_2)\alpha_1 + 3(B_3 - A_3)\alpha_1^2 \quad (2.1.2.2)$$

Reemplazando (2.1.2.2) en (2.1.2.1):

$$A_0 = B_0 + (A_2 - B_2)\alpha_1^2 + (A_3 - B_3)\alpha_1^3 \quad (2.1.2.3)$$

Reemplazando (2.1.2.3) y (2.1.2.2) en $f_1(X)$ y sumando

$$(B_2X^2 - B_2X^2 + B_3X^3 - B_3X^3):$$

$$\begin{aligned} f_1(X) &= B_0 + (A_2 - B_2)\alpha_1^2 + 2(A_3 - B_3)\alpha_1^3 + [B_1 + 2(B_2 - A_2)\alpha_1 \\ &\quad + 3(B_3 - A_3)\alpha_1^2]X + A_2X^2 + A_3X^3 + (B_2X^2 - B_2X^2 + B_3X^3 - B_3X^3) \\ &= B_0 + B_1X + B_2X^2 + B_3X^3 + (A_2 - B_2)(\alpha_1^2 - 2\alpha_1X + X^2) \\ &\quad + (A_3 - B_3)(2\alpha_1^3 - 3\alpha_1^2X + X^3) \end{aligned} \quad (2.1.2.4)$$

Así:

$$f_1(X) = B_0 + B_1X + B_2X^2 + B_3X^3 + (X - a_1)^2[(A_2 - B_2) + (A_3 - B_3)(X + 2a_1)] \quad (2.1.2.5)^1$$

Luego:

$$f_1(X) = f_2(X) + (X - a_1)^2[A_2 - B_2 + (A_3 - B_3)(X + 2a_1)]$$

Restricción de diámetro cero cuando $X=1$ (ápice del árbol):

$$0 = B_0 + B_1 + B_2 + B_3$$

$$B_0 = -B_1 - B_2 - B_3 \quad (2.1.2.6)$$

Reemplazando (2.1.2.6) en (2.1.2.5)

$$f_1(X) = B_1(X-1) + B_2(X^2-1) + B_3(X^3-1) + (X-a_1)^2[A_2 - B_2 + (A_3 - B_3)(X + 2a_1)]$$

Reparametrizando e incluyendo el coeficiente I se obtiene el modelo para todo el rango de valores de X .

$$Y_2 = b_1(X-1) + b_2(X^2-1) + b_3(X^3-1) + (X-a_1)^2[b_4 + b_5](X + 2a_1)I$$

$$I = 1 \text{ cuando } X \leq a_1$$

$$I = 0 \text{ cuando } X > a_1$$

¹ Para reducir términos en (2.1.2.4) y obtener (2.1.2.5), se realiza la siguiente división de polinomios:

$$\begin{array}{r} 2a_1^3 - 3a_{12}X + X^3 \quad : \quad a_1^2 - 2a_1X + X^2 = 2a_1 \\ (-) \quad 2a_1^3 - 4a_{12}X + 2a_1X^2 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} X^3 - 2a_1X_2 + a_{12}X \quad : \quad a_1^2 - 2a_1X + X^2 = 1 \\ (-) \quad X^3 - 2a_1X_2 + a_{12}X \\ \hline \end{array}$$

$$\text{Luego: } (2a_1^3 - 3a_{12}X) + X^3 = (X - a_1)^2(a_1 + 2a_1)$$

A.2.1.3 Unión de dos submodelos cúbicos. Uno incompleto.

En este caso:

$$\begin{aligned} f_1(Z) &= A_1Z + A_2Z^2 + A_3Z^3 & 0 \leq Z \leq a_1 \\ f_2(Z) &= B_0 + B_1Z + B_2Z^2 + B_3Z^3 & a_1 < Z \leq 1 \end{aligned}$$

donde:

$Y^2 = f_1(Z)$: diámetro relativo estimado a la altura relativa Z .

A_1, B_1 : son coeficientes de regresión.

Restricción de continuidad en los puntos de unión: •

$$A_1a_1 + A_2a_1^2 + A_3a_1^3 = B_0 + B_1a_1 + B_2a_1^2 + B_3a_1^3$$

Luego:

$$B_0 = (A_1 - B_1)a_1 + (A_2 - B_2)a_1^2 + (A_3 - B_3)a_1^3 \quad (2.1.3.1)$$

Restricción de igualdad de pendiente en los puntos de unión:

$$A_1 + 2A_2a_1 + 3A_3a_1^2 = B_1 + 2B_2a_1 + 3B_3a_1^2$$

Luego:

$$B_1 = A_1 + 2(A_2 - B_2)a_1 + 3(A_3 - B_3)a_1^2 \quad (2.1.3.2)$$

Reemplazando (2.1.3.2) en (2.1.3.1):

$$B_0 = (B_2 - A_2)a_1^2 + 2(B_3 - A_3)a_1^3 \quad (2.1.3.3)$$

Reemplazando (2.1.3.3) y (2.1.3.2) en $f_2(Z)$ y sumando

$(A_2Z^2 - A_2Z^2 + A_3Z^3 - A_3Z^3)$:

$$\begin{aligned} f_2(Z) &= (B_2 - A_2)a_1^2 + 2(B_3 - A_3)a_1^3 + [A_1 + 2(A_2 - B_2)a_1 \\ &\quad + 3(A_3 - B_3)a_1^2]Z + B_2Z^2 + B_3Z^3 + (A_2Z^2 - A_2Z^2 + A_3Z^3 - A_3Z^3) \\ &= A_1Z + A_2Z^2 + A_3Z^3 + (B_2 - A_2)(a_1^2 - 2a_1Z + Z^2) \\ &\quad + (B_3 - A_3)(2a_1^3 - 3a_1^2Z + Z^3) \end{aligned} \quad (2.1.3.4)$$

Así:

$$f_2(Z) = A_1Z + A_2Z^2 + A_3Z^3 + (Z - \alpha_1)^2[(B_2 - A_2) + (B_3 - A_3)(Z + 2\alpha_1)] \quad (2.1.3.5)^2$$

Luego:

$$f_2(Z) = f_1(Z) + (Z - \alpha_1)^2[(B_2 - A_2) + (B_3 - A_3)(Z + 2\alpha_1)]$$

Reparametrizando (2.1.3.5) e incluyendo el coeficiente I se obtiene el modelo para todo el rango de valores de Z.

$$Y^2 = B_1Z + B_2Z^2 + B_3Z^3 + (Z - \alpha_1)^2[B_4 + B_5(Z + 2\alpha_1)]I$$

$$I = 0 \text{ cuando } Z \leq \alpha_1$$

$$I = 1 \text{ cuando } Z > \alpha_1$$

A.2.1.4 Unión de dos submodelos cúbicos. Uno incompleto.

En este caso:

$$f_1(Z) = A_2Z^2 + A_3Z^3 \quad 0 \leq Z \leq \alpha_1$$

$$f_2(Z) = B_0 + B_1Z + B_2Z^2 + B_3Z^3 \quad \alpha_1 < Z \leq 1$$

donde:

$Y^2 = f_1(Z)$: diámetro relativo estimado a la altura relativa Z.

A_1, B_1 : son coeficientes de regresión.

Restricción de continuidad en los puntos de unión:

$$A_2\alpha_1^2 + A_3\alpha_1^3 = B_0 + B_1\alpha_1 + B_2\alpha_1^2 + B_3\alpha_1^3$$

² Para reducir términos en (2.1.3.4) y obtener (2.1.3.5), se realiza la siguiente división de polinomios:

$$\begin{array}{r} 2\alpha_1^3 - 3\alpha_{12}\bar{l} + \bar{l}^3 \quad ; \quad \alpha_1^2 - 2\alpha_1\bar{l} + \bar{l}^2 = 2\alpha_1 \\ (-) \quad 2\alpha_1^3 - 4\alpha_{12}\bar{l} + 2\alpha_1\bar{l}_2 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \bar{l}^3 - 2\alpha_1\bar{l}_2 + \alpha_{12}\bar{l} \quad ; \quad \alpha_1^2 - 2\alpha_1\bar{l} + \bar{l}^2 = \bar{l} \\ (-) \quad \bar{l}^3 - 2\alpha_1\bar{l}_2 + \alpha_{12}\bar{l} \\ \hline \end{array}$$

$$\text{Luego: } 2\alpha_1^3 - 3\alpha_{12}\bar{l} + \bar{l}^3 = (\bar{l} - \alpha_1)^2(\bar{l} + 2\alpha_1)$$

Luego:

$$B_0 = -B_1\alpha_1 + (A_2 - B_2)\alpha_1^2 + (A_3 - B_3)\alpha_1^3 \quad (2.1.4.1)$$

Restricción de igualdad de pendiente en los puntos de unión:

$$2A_2\alpha_1 + 3A_3\alpha_1^2 = B_1 + 2B_2\alpha_1 + 3B_3\alpha_1^2$$

Luego:

$$B_1 = 2(A_2 - B_2)\alpha_1 + 3(A_3 - B_3)\alpha_1^2 \quad (2.1.4.2)$$

Reemplazando (2.1.4.2) en (2.1.4.1):

$$B_0 = (B_2 - A_2)\alpha_1^2 + 2(B_3 - A_3)\alpha_1^3 \quad (2.1.4.3)$$

Reemplazando (2.1.4.3) y (2.1.4.2) en $f_2(Z)$ y sumando $(A_2Z^2 - A_2Z^2 + A_3Z^3 - A_3Z^3)$:

$$f_2(Z) = (B_2 - A_2)\alpha_1^2 + 2(B_3 - A_3)\alpha_1^3 + [2(A_2 - B_2)\alpha_1 + 3(A_3 - B_3)\alpha_1^2]Z + B_2Z^2 + B_3Z^3 + (A_2Z^2 - A_2Z^2 + A_3Z^3 - A_3Z^3)$$

$$= A_2Z^2 + A_3Z^3 + (B_2 - A_2)(\alpha_1^2 - 2\alpha_1Z + Z^2) + (B_3 - A_3)(2\alpha_1^3 - 3\alpha_1^2Z + Z^3) \quad (2.1.4.4)$$

$$= A_2Z^2 + A_3Z^3 + (Z - \alpha_1)^2 [(B_2 - A_2) + (B_3 - A_3)(Z + 2\alpha_1)] \quad (2.1.4.5)^3$$

Luego:

$$f_2(Z) = f_1(Z) + (Z - \alpha_1)^2 [(B_2 - A_2) + (B_3 - A_3)(Z + 2\alpha_1)]$$

Reparametrizando (2.1.4.5) e incluyendo el coeficiente I se obtiene el modelo para todo el rango de valores de Z (modelo 6 usado en el análisis de datos de ahusamiento).

$$Y_2 = b_1Z^2 + b_2Z^3 + (Z - \alpha_1)^2 [b^3 + b_4(Z + 2\alpha_1)]I$$

$$I = 0 \text{ cuando } Z \leq \alpha_1$$

$$I = 1 \text{ cuando } Z > \alpha_1$$

³ Para reducir términos en (2.1.4.4) a obtener (2.1.4.5), ver pie de página 2.

A.2.1.5 Unión de dos submodelos cúbicos incompletos.

En este caso:

$$\begin{aligned} f_1(Z) &= A_1Z + A_2Z^2 + A_3Z^3 & 0 \leq Z \leq \alpha_1 \\ f_2(Z) &= B_1Z + B_2Z^2 + B_3Z^3 & \alpha_1 < Z \leq 1 \end{aligned}$$

donde:

$Y^2 = f_1(Z)$: diámetro relativo estimado a la altura relativa Z .

A_1, B_1 : son coeficientes de regresión.

Restricción de continuidad en los puntos de unión: •

$$A_1\alpha_1 + A_2\alpha_1^2 + A_3\alpha_1^3 = B_1\alpha_1 + B_2\alpha_1^2 + B_3\alpha_1^3$$

Luego:

$$B_1 = A_1 + (A_2 - B_2)\alpha_1^2 + (A_3 - B_3)\alpha_1^3 \quad (2.1.5.1)$$

Restricción de igualdad de pendiente en los puntos de unión:

$$A_1 + 2A_2\alpha_1 + 3A_3\alpha_1^2 = B_1 + 2B_2\alpha_1 + 3B_3\alpha_1^2$$

Luego:

$$B_2 = [A_1 - B_1 + 2A_2\alpha_1 + 3(A_3 - B_3)\alpha_1^2] / 2 \quad (2.1.5.2)$$

Reemplazando (2.1.5.2) en (2.1.5.1):

$$B_1 = A_1 + (B_3 - A_3)\alpha_1^3 \quad (2.1.5.3)$$

Reemplazando (2.1.5.3) en (2.1.5.2):

$$B_2 = A_2 + 2(A_3 - B_3)\alpha_1 \quad (2.1.5.4)$$

Reemplazando (2.1.5.3) y (2.1.5.4) en $f_2(Z)$ y sumando

$(A_3Z^3 - A_3Z^3)$:

$$\begin{aligned} f_2(Z) &= A_1Z + (B_3 - A_3)Z\alpha_1^3 + A_2Z^2 + 2(A_3 - B_3)\alpha_1Z^2 + B_3Z^3 + (A_3Z^3 - A_3Z^3) \\ &= A_1Z + A_2Z^2 + A_3Z^3 + (B_3 - A_3)(\alpha_1^2Z - 2\alpha_1Z^2 + Z^3) \\ &= A_1Z + A_2Z^2 + A_3Z^3 + (B_3 - A_3)(Z - \alpha_1)^2Z \quad (2.1.5.5) \end{aligned}$$

Luego:

$$f_2(Z) = f_1(Z) + (B_3 - A_3)(Z - \alpha_1)^2 Z$$

Reparametrizando (2.1.5.5) e incluyendo el coeficiente I se obtiene el modelo para todo el rango de valores de Z.

$$Y_2 = b_1 Z + b_2 Z^2 + b_3 Z^3 + b_4 (Z - \alpha_1)^2 Z I$$

$$I = 0 \text{ cuando } Z \leq \alpha_1$$

$$I = 1 \text{ cuando } Z > \alpha_1$$

A.2.1.6 Unión de un submodelo cúbico incompleto y un cuadrático completo.

En este caso:

$$f_1(Z) = A_1 Z + A_2 Z^2 + A_3 Z^3 \quad 0 \leq Z \leq \alpha_1$$

$$f_2(Z) = B_0 + B_1 Z + B_2 Z^2 \quad \alpha_1 < Z \leq 1$$

donde:

$Y^2 = f_1(Z)$: diámetro relativo estimado a la altura relativa Z.

A_1, B_1 : son coeficientes de regresión.

Restricción de continuidad en los puntos de unión:

$$A_1 \alpha_1 + A_2 \alpha_1^2 + A_3 \alpha_1^3 = B_0 + B_1 \alpha_1 + B_2 \alpha_1^2$$

Luego:

$$B_0 = (A_1 - B_1) \alpha_1 - (B_2 - A_2) \alpha_1^2 + A_3 \alpha_1^3 \quad (2.1.6.1)$$

Restricción de igualdad de pendiente en los puntos de unión:

$$A_1 + 2A_2 \alpha_1 + 3A_3 \alpha_1^2 = B_1 + 2B_2 \alpha_1$$

Luego:

$$B_1 = A_1 - 2(B_2 - A_2) \alpha_1 + 3A_3 \alpha_1^2 \quad (2.1.6.2)$$

Reemplazando (2.1.6.2) en (2.1.6.1):

$$B_0 = (B_2 - A_2) \alpha_1^2 - 2A_3 \alpha_1^3 \quad (2.1.6.3)$$

Reemplazando (2.1.6.3) y (2.1.6.2) en $f_2(Z)$ y sumando
 $(A_2Z^2 - A_2Z^2 + A_3Z^3 - A_3Z^3)$:

$$f_2(Z) = (B_2 - A_2)\alpha_1^2 - 2A_3\alpha_1^3 + [A_1 - 2(B_2 - A_2)\alpha_1 + 3A_3\alpha_1^2]Z \\ + B_2Z^2 + (A_2Z^2 - A_2Z^2 + A_3Z^3 - A_3Z^3)$$

$$= A_1Z + A_2Z^2 + A_3Z^3 + (B_2 - A_2)(\alpha_1^2 - 2\alpha_1Z + Z^2) - A_3(2\alpha_1^3 \\ - 3\alpha_1^2Z + Z^3) \quad (2.1.6.4)$$

$$= A_1Z + A_2Z^2 + A_3Z^3 + (Z - \alpha_1)^2[(B_2 - A_2) - A_3(Z + 2\alpha_1)] \quad (2.1.6.5)^*$$

Luego:

$$f_2(Z) = f_1(Z) + (Z - \alpha_1)^2[(B_2 - A_2) - A_3(Z + 2\alpha_1)]$$

Reparametrizando (2.1.6.5) e incluyendo el coeficiente I se
 obtiene el modelo para todo el rango de valores de Z .

$$Y_2 = b_1Z + b_2Z^2 + b_3Z^3 + (Z - \alpha_1)^2[b_4 - b_3(Z + 2\alpha_1)]I$$

$$I = 0 \text{ cuando } Z \leq \alpha_1$$

$$I = 1 \text{ cuando } Z > \alpha_1$$

* Para reducir términos en (2.1.6.4) y obtener (2.1.6.5), ver día de página 2

A.2.2 MODELOS COMPUESTOS DE TRES SUBMODELOS

A.2.2.1 Modelo cuadrático-lineal-cuadrático.

En este caso:

$$\begin{aligned} f_1(X) &= A_0 + A_1X + A_2X^2 & 0 &\leq X \leq a_1 \\ f_2(X) &= B_0 + B_1X & a_1 &< X \leq a_2 \\ f_3(X) &= C_0 + C_1X + C_2X^2 & a_2 &< X \leq b \end{aligned}$$

donde:

$Y^2 = f_1(X)$: diámetro relativo estimado a la altura relativa X .
 A_1, B_1, C_1 : son coeficientes de regresión. •

Restricción de continuidad en los puntos de unión:

$$A_0 + A_1a_1 + A_2a_1^2 = B_0 + B_1a_1 \quad (2.2.1.1)$$

$$B_0 + B_1a_2 = C_0 + C_1a_2 + C_2a_2^2 \quad (2.2.1.2)$$

Restricción de igualdad de pendiente en los puntos de unión:

$$A_1 + 2A_2a_1 = B_1 \quad (2.2.1.3)$$

$$B_1 = C_1 + C_2a_2 \quad (2.2.1.4)$$

$$\text{De (2.2.1.1): } A_0 = B_0 + (B_1 - A_1)a_1 - A_2a_1^2 \quad (2.2.1.5)$$

$$\text{De (2.2.1.2): } B_0 = C_0 + (C_1 - B_1)a_2 + C_2a_2^2 \quad (2.2.1.6)$$

$$\begin{aligned} \text{De (2.2.1.3) y (2.2.1.4): } A_1 &= B_1 - 2A_2a_1 \\ A_1 &= C_1 + 2C_2a_2 - 2A_2a_1 \end{aligned} \quad (2.2.1.7)$$

Reemplazando (2.2.1.6) en (2.2.1.5):

$$A_0 = C_0 + (C_1 - B_1)a_2 + C_2a_2^2 + (B_1 - A_1)a_1^2 - A_2a_1^2 \quad (2.2.1.8)$$

Reemplazando (2.2.1.4) y (2.2.1.7) en (2.2.1.8):

$$A_0 = C_0 - C_2a_2^2 + A_2a_1^2 \quad (2.2.1.9)$$

Reemplazando (2.2.1.9) y (2.2.1.7) en $f_1(X)$ y sumando $(C_2X^2 - C_2X^2)$:

$$\begin{aligned} f_1(X) &= C_0 - C_2\alpha_2^2 + A_2\alpha_1^2 + (C_1 + 2C_2\alpha_2 - 2A_2\alpha_1)X + A_2X^2 \\ &= C_0 + C_1X - C_2\alpha_2^2 + A_2\alpha_1^2 + (2C_2\alpha_2 - 2A_2\alpha_1)X + A_2X^2 + (C_2X^2 - C_2X^2) \\ &= C_0 + C_1X + C_2X^2 + A_2(\alpha_1^2 + X^2 - 2\alpha_1X) - C_2(\alpha_1^2 + X^2 - 2\alpha_2X) \\ &= C_0 + C_1X + C_2X^2 + A_2(\alpha_1 - X)^2 - C_2(\alpha_2 - X)^2 \quad (2.2.1.10) \end{aligned}$$

Luego:

$$f_1(X) = f_3(X) + A_2(\alpha_1 - X)^2 - C_2(\alpha_2 - X)^2$$

Restricción de diámetro cero cuando $X=1$ (ápice del árbol):

$$0 = C_0 + C_1 + C_2$$

$$C_0 = -C_1 - C_2 \quad (2.2.1.11)$$

Reemplazando (2.2.1.11) en (2.2.1.10):

$$f_1(X) = C_1(X-1) + C_2(X^2-1) + A_2(\alpha_1-X)^2 - C_2(\alpha_2-X)^2$$

Reparametrizando e incluyendo los coeficientes I_1 (Figura E.3) se obtiene el modelo para todo el rango de valores de X (modelo 7 usado en el análisis de datos de ahusamiento):

$$Y_2 = b_1(X-1) + b_2(X^2-1) + b_3(\alpha_1-X)^2I_1 - b_2(\alpha_2-X)^2I_2$$

$$I_1 = 1 \text{ cuando } X \leq \alpha_1$$

$$I_1 = 0 \text{ cuando } X > \alpha_1$$

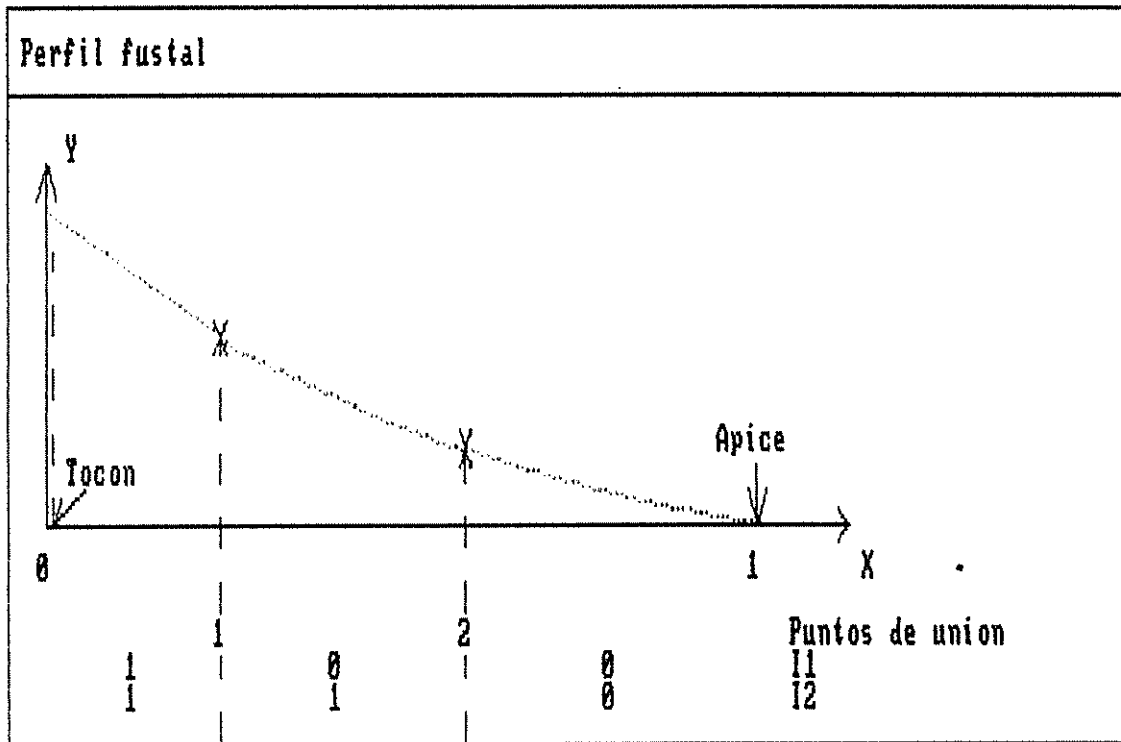


Figura E.3. Gráfica de perfil de fuste, ubicación de los puntos de unión α_1 de tres submodelos injertados y valores de las variables dicotómicas I_1 .

En la Figura E.3. se grafica la estimación de Y_2 a partir del modelo antes desarrollado. En el segmento de la izquierda la variable dependiente es estimada utilizando el modelo completo [$Y_2 = b_1(X-1) + b_2(X^2-1) + b_3(\alpha_1-X)^2I_1 - b_2(\alpha_2-X)^2I_2$]; en el segmento central el coeficiente $I_1=0$, de modo que la variable dependiente es estimada utilizando un modelo reducido [$Y_2 = b_1(X-1) + b_2(X^2-1) - b_2(\alpha_2-X)^2I_2$]; en el segmento de la derecha los coeficientes I_1 e I_2 son iguales a cero, de modo que la variable dependiente es estimada utilizando un modelo más simple, equivalente a operar con un modelo cuadrático con restricción de diámetro cero en el ápice del árbol [$Y_2 = b_1(X-1) + b_2(X^2-1)$].

A.2.2.2 Modelo cuadrático-cuadrático-cuadrático.

En este caso:

$$\begin{aligned} f_1(X) &= A_0 + A_1X + A_2X^2 & 0 &\leq X \leq \alpha_1 \\ f_2(X) &= B_0 + B_1X + B_2X^2 & \alpha_1 &< X \leq \alpha_2 \\ f_3(X) &= C_0 + C_1X + C_2X^2 & \alpha_2 &< X \leq b \end{aligned}$$

donde:

$Y^2 = f_1(X)$: diámetro relativo estimado a la altura relativa X .

A_1, B_1, C_1 : son coeficientes de regresión.

Restricción de continuidad en los puntos de unión: *

$$A_0 + A_1\alpha_1 + A_2\alpha_1^2 = B_0 + B_1\alpha_1 + B_2\alpha_1^2 \quad (2.2.2.1)$$

$$B_0 + B_1\alpha_2 + B_2\alpha_2^2 = C_0 + C_1\alpha_2 + C_2\alpha_2^2 \quad (2.2.2.2)$$

Restricción de igualdad de pendiente en los puntos de unión:

$$A_1 + 2A_2\alpha_1 = B_1 + 2B_2\alpha_1 \quad (2.2.2.3)$$

$$B_1 + 2B_2\alpha_2 = C_1 + C_2\alpha_2 \quad (2.2.2.4)$$

$$\text{De (2.2.1.1): } A_0 = B_0 + (B_1 - A_1)\alpha_1 + (B_2 - A_2)\alpha_1^2 \quad (2.2.2.5)$$

$$\text{De (2.2.1.2): } B_0 = C_0 + (C_1 - B_1)\alpha_2 + (C_2 - B_2)\alpha_2^2 \quad (2.2.2.6)$$

$$\text{De (2.2.1.3): } A_1 = B_1 + 2(B_2 - A_2)\alpha_1 \quad (2.2.2.7)$$

$$\text{De (2.2.1.4): } B_1 = C_1 + 2(C_2 - B_2)\alpha_2 \quad (2.2.2.8)$$

Reemplazando (2.2.2.8) en (2.2.2.6):

$$B_0 = C_0 - (C_2 - B_2)\alpha_2^2 \quad (2.2.2.9)$$

Reemplazando (2.2.2.7) y (2.2.2.9) en (2.2.2.5):

$$A_0 = C_0 + (B_2 - C_2)\alpha_2^2 + (A_2 - B_2)\alpha_1^2 \quad (2.2.2.10)$$

Reemplazando (2.2.2.8) en (2.2.2.7):

$$A_1 = C_1 - 2(B_2 - C_2)\alpha_2^2 - 2(A_2 - B_2)\alpha_1 \quad (2.2.2.11)$$

Reemplazando (2.2.2.10) y (2.2.2.11) en $f_1(X)$ y sumando $(B_2X^2 - B_2X^2 + C_2X^2 - C_2X^2)$:

$$\begin{aligned} f_1(X) &= C_0 + (B_2 - C_2)a_2^2 + (A_2 - B_2)a_1^2 + [C_1 - 2(B_2 - C_2)a_2^2 - 2(A_2 - B_2)a_1]X \\ &\quad + A_2X^2 + (B_2X^2 - B_2X^2 + C_2X^2 - C_2X^2) \\ &= C_0 + C_1X + C_2X^2 + (A_2 - B_2)(a_1^2 - 2a_1X + X^2) + (B_2 - C_2)(a_2^2 - 2a_2X + X^2) \\ &= C_0 + C_1X + C_2X^2 + (A_2 - B_2)(a_1 - X)^2 + (B_2 - C_2)(a_2 - X)^2 \quad (2.2.2.12) \end{aligned}$$

Luego :

$$f_1(X) = f_3(X) + (A_2 - B_2)(a_1 - X)^2 + (B_2 - C_2)(a_2 - X)^2$$

Restricción de diámetro cero cuando $X=1$ (ápice del árbol):

$$0 = C_0 + C_1 + C_2$$

$$C_0 = -C_1 - C_2 \quad (2.2.2.13)$$

Reemplazando (2.2.2.13) en (2.2.2.12):

$$f_1(X) = C_1(X-1) + C_2(X^2-1) + (A_2 - B_2)(a_1 - X)^2 + (B_2 - C_2)(a_2 - X)^2$$

Reparametrizando e incluyendo los coeficientes I_1 (Figura E.3) se obtiene el modelo para todo el rango de valores de X (modelo 8 usado en el análisis de datos de ahusamiento):

$$Y_2 = b_1(X-1) + b_2(X^2-1) + b_3(a_1 - X)^2 I_1 + b_4(a_2 - X)^2 I_2 \quad (2.2.2.14)$$

$$I_1 = 1 \text{ cuando } X \leq a_1$$

$$I_1 = 0 \text{ cuando } X > a_1$$

Para estimar d se utiliza la relación (2.2.2.15), obtenida despejando la variable deseada de la relación (2.2.2.14):

$$d = D [b_1(X-1) + b_2(X^2-1) + b_3(a_1 - X)^2 I_1 + b_4(a_2 - X)^2 I_2]^{1/2} \quad (2.2.2.15)$$

Para estimar h se usa la relación (2.2.2.16) y la (2.2.2.17) para el volumen [MARTIN, 1981]

$$h = H/2A [-B^2 - (B - 4AC)^{1/2}] \quad (2.2.2.16)$$

donde:

$$A = b_2 + b_3L_1 + b_4L_2$$

$$B = b_1 - 2b_3a_1L_1 - 2b_4a_2L_2$$

$$C = -b_1 - b_2 - d^2/D^2 + b_3a_1^2L_1 + b_4a_2^2L_2$$

$$L_1 = 1, d \geq d_1$$

$$= 0, d < d_1$$

$$L_2 = 1, d \geq d_2$$

$$= 0, d < d_2$$

d_1 : es el diámetro estimado a la altura a_1H

$$d_1 = D[b_1(a_1 - 1) + b_2(a_1^2 - 1)]^{1/2}$$

$$d_2 = D[b_1(a_2 - 1) + b_2(a_2^2 - 1) + b_3(a_1 - a_2)^2]^{1/2}$$

$$V = K D H \{b_2/3 (\beta^3 - a^3) + b_1/2 (\beta^2 - a^2) - (b_1 + b_2)(\beta - a) - b/3[(a_1 - \beta)I_1 - (a_1 - a)^3J_1] - b_4/3[(a_2 - \beta)^3I_2 - (a_2 - a)^3J_2]\} \quad (2.2.2.17)$$

donde:

$$I_1 = 1, \beta \leq a_1$$

$$= 0, \beta > a_1$$

$$J_1 = 1, \alpha \leq a_1$$

$$= 0, \alpha > a_1$$

$$I_2 = 1, \beta \leq a_2$$

$$= 0, \beta > a_2$$

$$J_2 = 1, \alpha \leq a_2$$

$$= 0, \alpha > a_2$$

A.3 FUNCIONES DE AHUSAMIENTO DE FORMA VARIABLE

En esta línea el modelo básico es una función exponencial simple [KOZAK, 1988] del tipo:

$$Y = Z^c \quad (3.1)$$

donde:

$$Y = d/DI$$

$$Z = [1 - (h/H)^{1/2} / (1 - P^{1/2})]$$

$$c = b_1X^2 + b_2\ln(X + 0.001) + b_3X^{1/2} + b_4e^X + b_5(D/H) \quad (3.2)$$

$$X = h/H$$

$$DI = a_0D^{a_1}a_2^D \quad (3.3)$$

$$P = 100(HI/H)$$

DI : es el diámetro sin corteza en el punto de inflexión

P : es la posición relativa del punto de inflexión

HI : es la altura del punto de inflexión

Análisis de datos de diferentes especies demuestran que las relaciones (3.2) y (3.3) son adecuadas para estimar el exponente c y el diámetro en el punto de inflexión DI , respectivamente [KOZAK, 1988].

Reemplazando (3.2) y (3.3) en (3.1) y reacomodando la expresión resultante se obtiene (3.4):

$$d = a_0D^{a_1}a_2^D Z^{[b_1X^2+b_2\ln(X+0.001)+b_3X^{1/2}+b_4e^X+b_5(D/H)]} \quad (3.4)$$

Es fácil verificar que el modelo (3.4) cumple con la restricción de diámetro cero ($d=0$) cuando $X=1$; ésto porque en ese punto $Z=0$. Otra característica del modelo es que $d=DI$ cuando $X=P$, punto donde la función cambia de dirección. Esa relación puede linealizarse usando transformación logarítmica, lo cual genera el modelo (3.5) cuyos coeficientes pueden ser estimados mediante regresión lineal múltiple [KOZAK, 1988].

$$\ln d = \ln a_0 + a_1 \ln D + D \ln a_2 + b_1 X^2 \ln Z + b_2 \ln(X + 0.001) \ln Z + b_3 X^{1/2} \ln Z + b_4 e^X \ln Z + b_5 (D/H) \ln Z \quad (3.5)$$

La determinación de la altura comercial se realiza iterativamente mediante la relación (3.6), obtenida de la relación (3.4). El proceso consiste en ingresar el valor de d en (3.6), calcular c para un valor deseado de $(h/H)_0$, ingresar ese valor de c en (3.6) para calcular un valor de $(h/H)_1$. El siguiente valor de h/H usado para calcular c se puede obtener de (3.8), procedimiento que se repite hasta lograr una precisión preestablecida, de por ejemplo 0.01 a través de (3.9). Lograda la precisión deseada se estima la altura comercial mediante (3.10).

$$h_1/H = [1 - (d/a_0 D^{a_1} a_2^D)^{1/c} (1 - P^{1/2})^2] \quad (3.6)$$

donde:

$$c = b_1 (h/H) + b_2 \ln(h/H + 0.001) + b_3 (h/H)^{1/2} + b_4 e^{h/H} + b_5 (D/H) \quad (3.7)$$

$$(h/H)_2 = (h/H)_0 + [(h/H)_1 - (h/H)_0] / 2 \quad (3.8)$$

$$|(h/H)_j - (h/H)_{j+1}| < 0.01 \quad (3.9)$$

$$h_c = H (h/H)_j \quad (3.10)$$

Dado que la función de ahusamiento (3.4) no puede ser integrada, se recomienda estimar el volumen mediante una fórmula de volumen como la de Newton (3.11)

$$V = [A_1 + 4 A_2 + A_3] L / 6 \quad (3.11)$$

donde:

V : volumen de la troza (m^3)

A_1 : área de la sección basal (m^2)

A_2 : área de la sección media (m^2)

A_3 : área de la sección superior (m^2)

L : longitud de la troza (m)

A.4 FUNCIONES DE AHUSAMIENTO COMPATIBLES

Para algunas de las funciones de volumen actualmente en uso se pueden derivar funciones de ahusamiento, sujetas a la restricción de que el volumen estimado mediante ésta sea idéntico al generado por la función de volumen original. Derivación que necesita cierta información sobre ahusamiento [DEMARSCHALK, 1972].

Por ejemplo, si se dispone de una función de volumen total como la de Schumacher (4.1), se puede convertir a una función de ahusamiento, que en este caso particular corresponde al modelo de la relación (4.2) [REED y GREEN, 1984], cuya integración sobre la altura total del árbol genera la relación (4.1).

$$V = a_1 D a_2 H a_3 \quad (4.1)$$

$$d = b_1 D b_2 [H - h] b_3 / H b_4 \quad (4.2)$$

El volumen entre las alturas 0 y h en el fuste se obtiene mediante (4.4), resultantes de la integración de (4.3).

$$V = K \int_0^h d^2 \delta h = K \int_0^h b_1^2 D^2 b_2^2 [H - h]^{2b_3} / H^{2b_4} \delta h \quad (4.3)$$

$$V = K b_1^2 D^2 b_2^2 H^{2b_3+1-2b_4} \{1 - [(H - h)/H]^{2b_3+1}\} / 2b_3+1 \quad (4.4)$$

Cuando $h=H$ la relación (4.4) se transforma en (4.1), en la cual:

$$a_1 = K b_1^2 / 2b_3+1$$

$$a_2 = 2 b_2$$

$$a_3 = 2b_3+1 - 2b_1$$

APENDICE B

OPTIMIZACION MEDIANTE
PROGRAMACION DINAMICA

La Programación Dinámica es un método de optimización multiétapico, que consiste en obtener la solución óptima de un problema de asignación de recursos en forma gradual (etapa por etapa).

Algunas de las características de los problemas que pueden ser resueltos mediante Programación Dinámica son las siguientes [PNEVMATICOS y MANN ,1972; DYKSTRA, 1984]:

- 1.- El problema puede dividirse en etapas, requiriendo una decisión en cada etapa;
- 2.- Cada etapa tiene asociado un número de estados o condiciones posibles del sistema;
- 3.- La decisión en cada etapa transforma el estado actual en un estado asociado con la etapa siguiente;
- 4.- En cada etapa se mantiene el principio de optimalidad, que implica que para cualquier etapa una política óptima para las etapas remanentes es independiente de la política adoptada en las etapas previas;
- 5.- Se puede desarrollar una relación recursiva que identifica la política óptima para cada estado actual con las etapas remanentes.

Específicamente aplicadas a un proceso de trozado, las etapas anteriores se describen a continuación (Figura B.1):

- a) El proceso de trozado se realiza en etapas. Cada etapa corresponde a una posición específica en el fuste del árbol;
- b) En cada etapa hay un número de estados posibles, determinados por la longitud de los productos a obtener;
- c) Se mantiene el principio de optimalidad. Dado un patrón de trozado en la porción del fuste hasta la etapa n (Figura B.1), el trozado óptimo de la porción remanente en las etapas posteriores es independiente de las decisiones previas;
- d) Se puede obtener una relación recursiva que permite identificar el patrón de trozado óptimo. La relación recursiva asocia cada estado posible actual con estados en etapas anteriores.

La relación recursiva tiene la siguiente forma general [PNEVMATICOS y MANN, 1972; DYKSTRA, 1984; BUONGIORNO y GILLES, 1987]:

$$V^*_n(S) = \max_{X_n} [V_n(X_n) + V^*(S-X_n)] \quad 0 \leq n \leq N$$

donde:

N : número total de etapas necesarias para trozar un fuste

n : etapa de trozado, definida a lo largo del eje del árbol

S : longitud de fuste trozado hasta la etapa n ($S = n \cdot K$)

K : avance por etapa

$V^*_n(S)$: valor máximo (volumen, ingreso o utilidad) acumulado hasta la etapa n , para la sección de fuste trozada entre 0 y la etapa n , punto en que el proceso ha alcanzado el estado S ;

X_n : longitud de trozo a obtener en la etapa n

$V_n(X_n)$: valor del trozo a obtener en la etapa n

$V^*(S-X_n)$: valor máximo (volumen, ingreso o utilidad) para la sección de fuste trozada entre 0 y la posición $S-X_n$

En la realización del proceso de trozado es necesario considerar tres restricciones básicas [PNEVMATICOS y MANN, 1972]:

- a) La longitud total de los trozos obtenidos no debe sobrepasar la del fuste comercial;
- b) Los diámetros de los trozos deben estar dentro de los límites de los diámetros del fuste remanente;
- c) Los diámetros y longitudes deben estar dentro de los límites especificados por el mercado.

En cada etapa hay un número de posibilidades de corte, dependiendo de las especificaciones comerciales y del número de productos a obtener en el proceso (Figura B.1). La variable de estado describe el cambio que ocurre de etapa en etapa, en respuesta a una decisión. Esa decisión debe considerar las restricciones físicas (a y b) y las restricciones comerciales (c) anteriores.

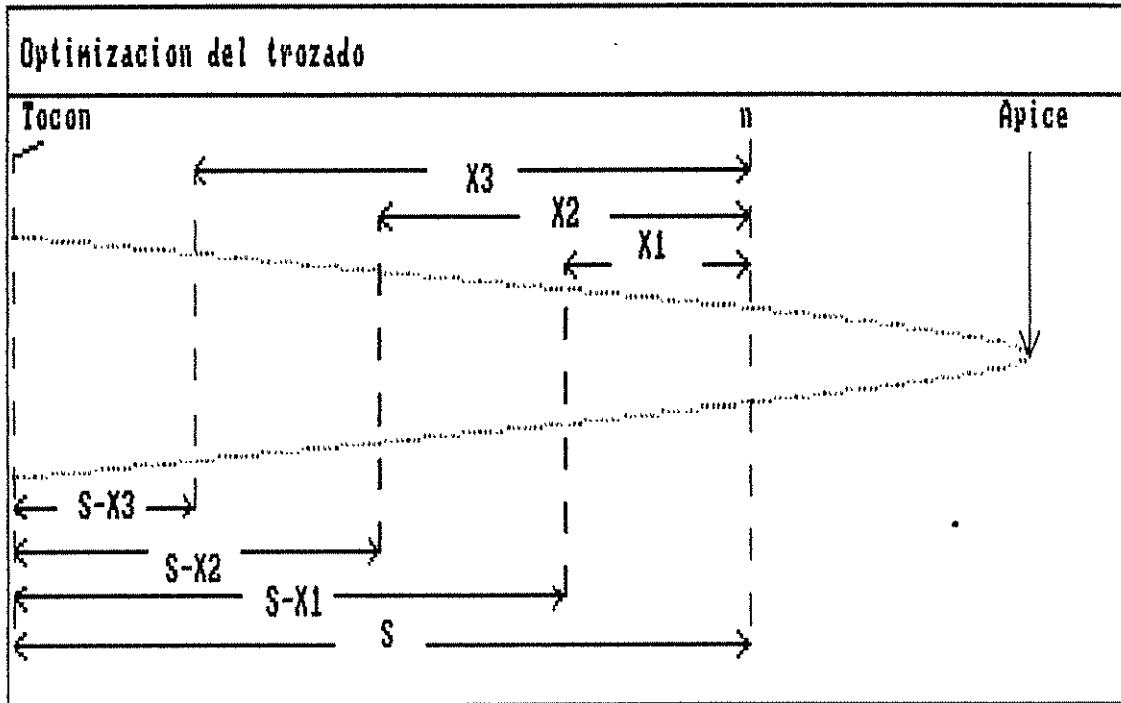


Figura B.1. Optimización del 'trozado mediante Programación Dinámica.

En la Figura B.1 el proceso de trozado ha alcanzado la etapa n , punto en el cual debe decidirse que producto obtener para maximizar el resultado del proceso (volumen, ingreso o utilidad) hasta esa etapa. El trozado avanza desde la base hacia el ápice del árbol; el extremo de la pieza se ubica en la etapa actual (n) y su base en una etapa anterior, la que depende de la longitud del producto a obtener.

En este ejemplo hay tres productos potenciales, cuyas longitudes son X_1 , X_2 y X_3 , respectivamente. Con ese número de productos, en la etapa n hay tres valores que deben compararse para seleccionar el mayor de ellos:

Valor 1) Obtener el producto 1, de longitud X_1 ; el valor de esa pieza se adiciona al valor máximo obtenido en la sección anterior a ese producto ($S-X_1$);

Valor 2) Obtener el producto 2, de longitud X_2 ; el valor de esa pieza se adiciona al valor máximo obtenido en la sección anterior a ese producto ($S-X_2$); •

Valor 3) Obtener el producto 3, de longitud X_3 ; el valor de esa pieza se adiciona al valor máximo obtenido en la sección anterior a ese producto ($S-X_3$).

La comparación de esos valores permite identificar el producto a obtener en la etapa n y el patrón de trozado óptimo hasta esa etapa. El procedimiento se repite etapa por etapa hasta el ápice del árbol.

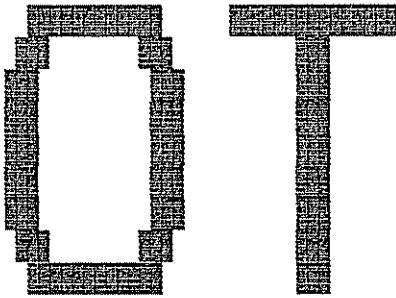
Cuando los productos a obtener no tienen restricciones de diámetro (máximo y mínimo) y la longitud de aquellos es múltiplo de la longitud del producto más corto, puede haber un avance por etapa de evaluación igual a la longitud de este último. En caso contrario es necesario utilizar un avance por etapa de evaluación pequeño, para minimizar pérdidas en el proceso de trozado.

APENDICE C

MANUAL DE OPERACION DE "OT"

Modelo Optimizador de Trozado de
fustes

MANUAL DE OPERACION DE "OT"
MODELO OPTIMIZADOR DE TROZADO

AUTOR : J. CANCINO AÑO : 1993 INSTITUCION : CATIE
 OPTIMIZADOR de TROZADO
Presione una tecla para continuar

INDICE

CONTENIDO	PAGINA
0 INTRODUCCION	
0.1 General	99
0.2 Inicio de una sesión de trabajo	99
0.3 Menú Principal. Selección de operación a ejecutar	101
I PROCESAR DATOS	103
1.1 ARCHIVO DE DATOS DE TERRENO	103
1.2 TABULACION DE DATOS POR CLASE DE DAP	105
1.3 SELECCION DEL PERIFERICO DE SALIDA DE RESULTADOS	105
1.4 SELECCION DE LA FORMA DE EVALUAR LOS DATOS	106
1.5 ARCHIVO DE DATOS DE PRODUCTOS	108
1.6 PANTALLA DURANTE EL PROCESO DE DATOS	111
1.7 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN	112
1.7.1 RESULTADOS : opciones de evaluación 1 a 6	114
1.7.2 RESULTADOS : opciones de evaluación 7 a 9	118
1.8 MODIFICACION DEL AMBIENTE DE TRABAJO	118
II CONOCER ESPECIES EN EL SISTEMA	120

CONTENIDO	PAGINA
III INCORPORAR NUEVA ESPECIE	122
IV INGRESAR DATOS DE TERRENO	125
4.1 NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS DE TERRENO	126
4.2 ALTURA DE TOCON	126
4.3 PROCEDENCIA DE LOS DATOS	127
4.3.1 SUPERFICIE DE LA PARCELA	127
4.4 FORMATO DE LOS DATOS	129
4.4.1 FORMATO : Datos Tabulados	130
4.4.2 FORMATO : Datos sin Tabular. Presencia de defectos	131
V INGRESAR DATOS DE PRODUCTOS	135
VI LISTADO ARCHIVOS DE TERRENO	138
VII LISTADO ARCHIVOS DE PRODUCTOS	139
VIII SALIR AL DOS	140
IX TERMINAR EJECUCION	141

0 INTRODUCCION

0.1 GENERAL

"OT" es un modelo desarrollado para la toma de decisiones en aprovechamiento y manejo de especies arbóreas maderables. Está estructurado en base a módulos que realizan las operaciones que se pueden seleccionar desde el Menú Principal (Figura 0.3). Esas operaciones se describen en los Capítulos I a IX de este manual.

Entre las operaciones que ejecuta está la optimización del trozado de fustes de árboles, según productos y criterios definidos por el usuario. Utiliza para ello una función que describe el perfil fustal (función de ahusamiento) y un algoritmo de optimización mediante Programación Dinámica.

Seleccionada una operación a realizar, el sistema conduce a través de una serie de pantallas en forma interactiva, pidiendo y entregando información hasta que el ambiente de trabajo para la operación en ejecución quede completamente definido.

Cada una de estas pantallas se ha dividido en 4 áreas horizontales (Figura 0.1) para facilitar el trabajo del usuario.

0.2. INICIO DE UNA SESION DE TRABAJO

Posiciónese en el DRIVE y directorio que almacena "OT". digite "OT" y presione "ENTER". Aparece la Pantalla de presentación (Figura 0.2). Presionando una tecla lleva al Menú Principal (Figura 0.3). También se puede acceder al Menú Principal directamente desde el ambiente DOS, digitando "MEP" y presionando <ENTER>.

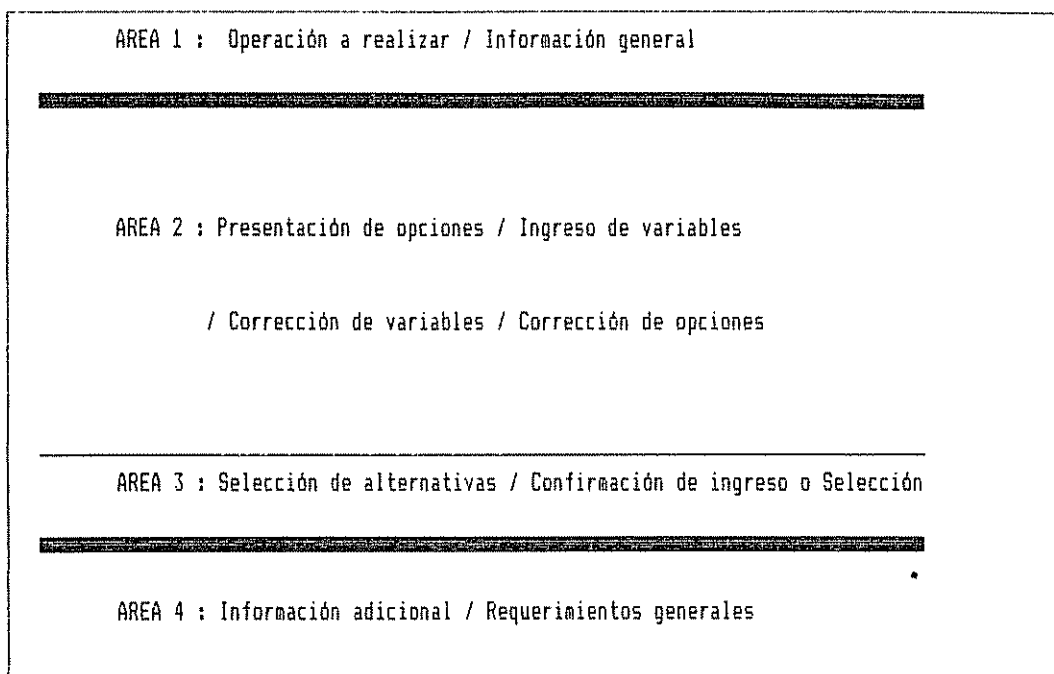


FIGURA O.1. División de la Pantalla durante la definición del ambiente de trabajo

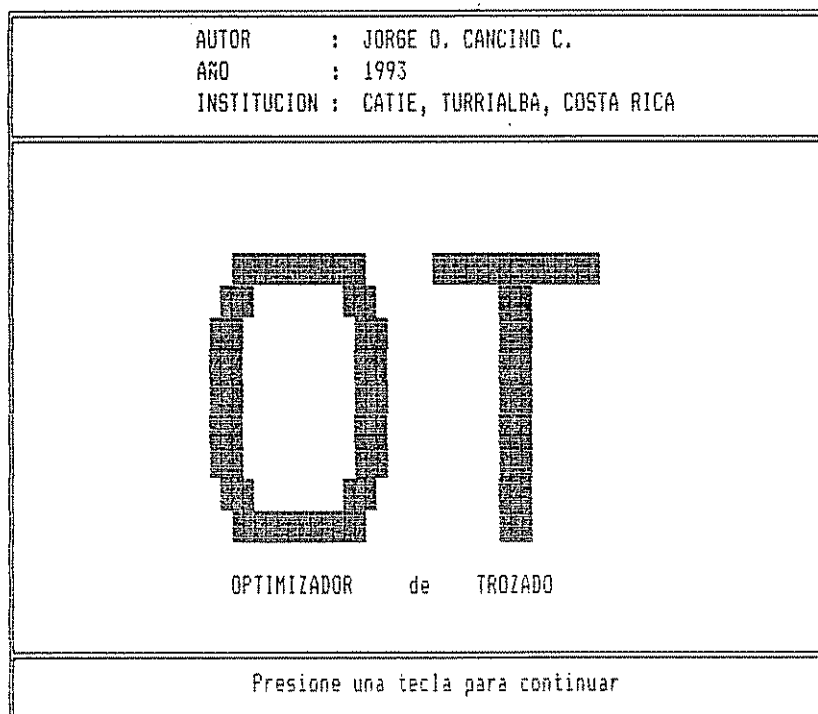


FIGURA O.2. Presionar cualquier tecla para continuar sesión de trabajo

0.3. MENU PRINCIPAL. SELECCION DE OPERACION A EJECUTAR

Hay nueve alternativas para operar en este nivel. En los Capítulos siguientes una descripción de cada una.

SEÑALE OPERACION A REALIZAR

» MENU PRINCIPAL »

1 PROCESAR DATOS
2 CONDCCER ESPECIES EN EL SISTEMA
3 INCORPORAR NUEVA ESPECIE
4 INGRESAR DATOS DE TERRENO
5 INGRESAR DATOS DE PRODUCTOS
6 LISTADO DE ARCHIVOS DE TERRENO
7 LISTADO DE ARCHIVOS DE PRODUCTOS
8 SALIR AL DOS
9 TERMINAR EJECUCION

Seleccione

FIGURA 0.3. Seleccionar una alternativa. Digitar el número y presionar "ENTER"

Seleccionada una alternativa, existe la oportunidad de corregir la elección "S" o de confirmarla "N" (Figura 0.4). "S" vuelve al Menú Principal; "N" sigue operación seleccionada. En toda situación de Ingreso/Selección existe la posibilidad de corregir inmediatamente los errores cometidos.

SEÑALE OPERACION A REALIZAR

« MENU PRINCIPAL »

1 PROCESAR DATOS
2 CONOCER ESPECIES EN EL SISTEMA
3 INCORPORAR NUEVA ESPECIE
4 INGRESAR DATOS DE TERRENO
5 INGRESAR DATOS DE PRODUCTOS
6 LISTADO DE ARCHIVOS DE TERRENO
7 LISTADO DE ARCHIVOS DE PRODUCTOS
8 SALIR AL DOS
9 TERMINAR EJECUCION

[Su selección] : PROCESAR DATOS | ¿desea corregir (S/N) ?

FIGURA O.4. Corregir selección "S" o confirmarla "N".

I PROCESAR DATOS

```

SEÑALE OPERACION A REALIZAR

      * MENU PRINCIPAL *
-----
1  PROCESAR DATOS
2  CONOCER ESPECIES EN EL SISTEMA
3  INCORPORAR NUEVA ESPECIE
4  INGRESAR DATOS DE TERRENO
5  INGRESAR DATOS DE PRODUCTOS
6  LISTADO ARCHIVOS DE TERRENO
7  LISTADO ARCHIVOS DE PRODUCTOS
8  SALIR AL DOS
9  TERMINAR EJECUCION

-----
[Su selección] : PROCESAR DATOS      | Desea corregir (S/N) ?
-----

```

1.1. ARCHIVO DE DATOS DE TERRENO!

La opción de trabajo n°1, "PROCESAR DATOS", permite procesar antecedentes provenientes de distintos escenarios de terreno, según productos, precios y forma de aprovechamiento definidos por el usuario. Esta opción también puede ser ejecutada directamente desde el ambiente DOS digitando "PDT" y <ENTER>.

Opera en base a archivos creados mediante las opciones 3, 4 o 5 (Menú Principal), según corresponda. Realizada la selección de esta opción, el siguiente ingreso es el nombre del archivo de datos de terreno (Figura 1.1.1), creado mediante la opción 4 del Menú Principal.

Ingresado el nombre del archivo de terreno a acceder, el usuario tiene la oportunidad de corregir el nombre "S" o de confirmarlo "N". "S" mantiene esa pantalla (Figura 1.1.1); "N" sigue operación seleccionada (Figura 1.2.1).


```
          ARCHIVO DATOS DE TERRENO
VERIFIQUE QUE EL DISK CONTenga EL ARCHIVO

-----

1  NOMBRE DEL ARCHIVO          | TERRENO

-----

                                Desea corregir (S/N) ?

-----
```

FIGURA 1.1.1. Ingresar el nombre del archivo de terreno a acceder. Digitar el nombre y presionar "ENTER". Corregir el ingreso "S" o confirmarlo "N"

```
          DATOS SIN TABULAR, ARBS. SIN DEFECTOS

          CLASIFICA POR CLASE DE DAP ?

-----

1  NO
2  SI

-----

(Su selección) : SI CLASIFICA          | Desea corregir (S/N) ?

-----
```

FIGURA 1.2.1. Decidir sobre tabulación de datos ingresados por árbol: árboles sin defectos medidos. Digitar el número y presionar "ENTER". Corregir la selección "S" o confirmarla "N"

SALIDA DE RESULTADOS	
<hr/>	
1 IMPRESORA	
2 PANTALLA	
<hr/>	
[Su selección] : PANTALLA	Deses corregir (S/N) ?
<hr/>	

FIGURA 1.3.1. Decidir sobre la vía de salida de los resultados. Digitar el número y presionar "ENTER". Corregir la selección "S" o confirmarla "N"

1.4. SELECCION DE LA FORMA DE EVALUAR LOS DATOS

La selección depende de la información que el usuario haya ingresado sobre los productos. Las opciones 1 a 6 (Figura 1.4.1) optimizan el proceso de trozado mediante Programación Dinámica (PD). La elección de una de estas opciones necesita que se haya creado un archivo con las especificaciones de los productos que se desea evaluar (opción 5, Menú Principal). Las opciones 7 a 9 no necesitan ese archivo.

Operar en un ambiente de evaluación con producto principal (PP) implica que, dentro de la sección comercial de fuste para ese producto, se obtienen todas las piezas enteras de PP. La holgura o remanente de esa sección comercial, puede ser dejada en la base o extremo (opciones de trozado OT1 y OT2, respectivamente), dependiendo de cual OTi maximiza el valor especificado (volumen, ingreso o utilidad) para todo el fuste. El trozado de la porción remanente de fuste es optimizado mediante PD.

Operar en un ambiente de evaluación sin producto principal implica que la probabilidad de obtener un producto va a depender de las especificaciones comerciales (dimensiones, precio, costo) y del valor a maximizar (volumen, ingreso o utilidad). El trozado del fuste es optimizado mediante PD.

FORMA DE EVALUAR SUS DATOS

SIN PP : sin producto prioritario, optimiza trozado de todo el fuste
 CON PP : con producto prioritario; optimiza fuste remanente

1 SIN PP : MAXIMIZAR EL VOLUMEN
 2 SIN PP : MAXIMIZAR EL INGRESO
 3 SIN PP : MAXIMIZAR LA UTILIDAD
 4 CON PP : MAXIMIZAR EL VOLUMEN
 5 CON PP : MAXIMIZAR EL INGRESO
 6 CON PP : MAXIMIZAR LA UTILIDAD
 7 CALCULAR VOLUMEN HASTA UN DIAMETRO LIMITE
 8 CALCULAR VOLUMEN HASTA ALTURA LIMITE
 9 CALCULAR VOLUMEN TOTAL (entre tocón y ápice)

[Su selección] : CALCULAR VOLUMEN HASTA UN DIAM | Desea corregir (S/N) ?

MAXIMIZAR EL VOLUMEN (no considera costos ni ingresos)
 MAXIMIZAR EL INGRESO (considera ingresos según precios)
 MAXIMIZAR LA UTILIDAD (considera precios y costos)

FIGURA 1.4.1. Seleccionar la forma de evaluar los datos. Digitar el número y presionar "ENTER". Corregir el ingreso "S" o confirmarlo "N".

1.5. ARCHIVO DE DATOS DE PRODUCTOS

Si la selección corresponde a una de las 6 primeras opciones el proceso sigue con el ingreso del nombre del archivo de datos de productos (Figura 1.5.1), creado mediante la opción 5 (Menú Principal). Continúa con el ingreso del avance por etapa de evaluación (Figura 1.5.2) y la selección de la especie/modelo de ahusamiento a utilizar (Figura 1.5.5).

El proceso para las opciones 7 y 8 sigue con el ingreso de los valores correspondientes (Figura 1.5.3 y 1.5.4, respectivamente) y la selección de la especie/modelo de ahusamiento a utilizar (Figura 1.5.5). La opción 9 sólo requiere esta última selección.

ARCHIVO DE DATOS DE PRODUCTOS	
VERIFIQUE QUE EL DISK CONTenga EL ARCHIVO	
<hr/>	
1 NOMBRE DEL ARCHIVO	PRODUCTO
<hr/>	
Desea corregir (S/N) ?	
<hr/>	

FIGURA 1.5.1. Digitar el nombre y presionar "ENTER", Corregir el ingreso "S" o confirmarlo "N".

INGRESE Altura Limite de Utilización ALU (m)

ALU (m) | 17

Desea corregir (S/N) ?

USE PTO. DECIMAL

FIGURA 1.5.4. Digitar el valor y presionar "ENTER". Corregir el ingreso "S" o confirmarlo "N".

ANTECEDENTES DE ESPECIES EN ARCHIVO, ARBS. MUESTRA Y MODELO

DURANTE EL PROCESO SELECCIONE PARA PODER SEGUIR

ESPECIE NUMERO : 1

NOMBRE de la ESPECIE	E. Deglupta
PROCEDENCIA de los DATOS	Turrialba
MODELO de AHUSAMIENTO	Kozak 69
PERSONA que AJUSTO el MODELO	J.Cancino
ALTURA MINIMA (m)	16
ALTURA MAXIMA (m)	26
DAP MINIMO (cm)	10
DAP MAXIMO (cm)	35
CDEF. ESBELTEZ MINIMO (H/DAP)	.8
CDEF. ESBELTEZ MAXIMO (H/DAP)	1.3

SELECCIONA ESTA ESPECIE (S/N) ?

SELECCIONE LA QUE DESEE

EN TOTAL HAY 2 REGISTROS EN ARCHIVO

FIGURA 1.5.5. Seleccionar especie / modelo. Presionar "S" para seleccionar; "N" para continuar revisión.

1.6. PANTALLA DURANTE EL PROCESO DE DATOS.

El proceso de optimización es lento. Por ello se presenta en pantalla el valor actual de las variables, junto con el valor máximo que deben alcanzar (entre corchetes "[]").

Hay 2 pantallas diferentes. Una para el proceso sin producto prioritario (Figura 1.6.1) y otra para el proceso con producto prioritario (Figura 1.6.2).

Datos : ARBOLES. SIN CLASE DE DAP, SIN DEFECTOS				
DAP	ALTURA	SECCION	ETAPA	PRODUCTO
10 [25]	11.79 [22]	1 [1]	1179 [2200]	, 3
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> PROCESO DE OPTIMIZACION EN EJECUCION </div>				
Proceso : Maximización ingreso, sin producto orrioritario Avance en el fuste = 1 (ca)				

FIGURA 1.6.1. Pantalla durante el proceso de datos sin producto prioritario.

Datos : ARBOLES, POR CLASE DE DAP, SIN DEFECTOS						
DAP	ALTURA	SECCION	ETAPA	PRODUCTO	OPCION	ZONA
10 [25]	11.23 [22]	1 [1]	1123 [2200]	3	1 [2]	3 [3]
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> PROCESO DE OPTIMIZACION EN EJECUCION </div>						
Proceso : Maximización ingreso, con producto prioritario (1) Avance en el fuste = 1 (cm)						

FIGURA 1.6.2. Pantalla durante el proceso de datos con producto prioritario.

1.7. RESULTADOS DE LA EVALUACION

Si la salida de resultados es por impresora y si ésta no está preparada, en pantalla se presenta un mensaje de error (Figura 1.7.1). Cualquiera sea el error, debe corregirse para continuar la operación.

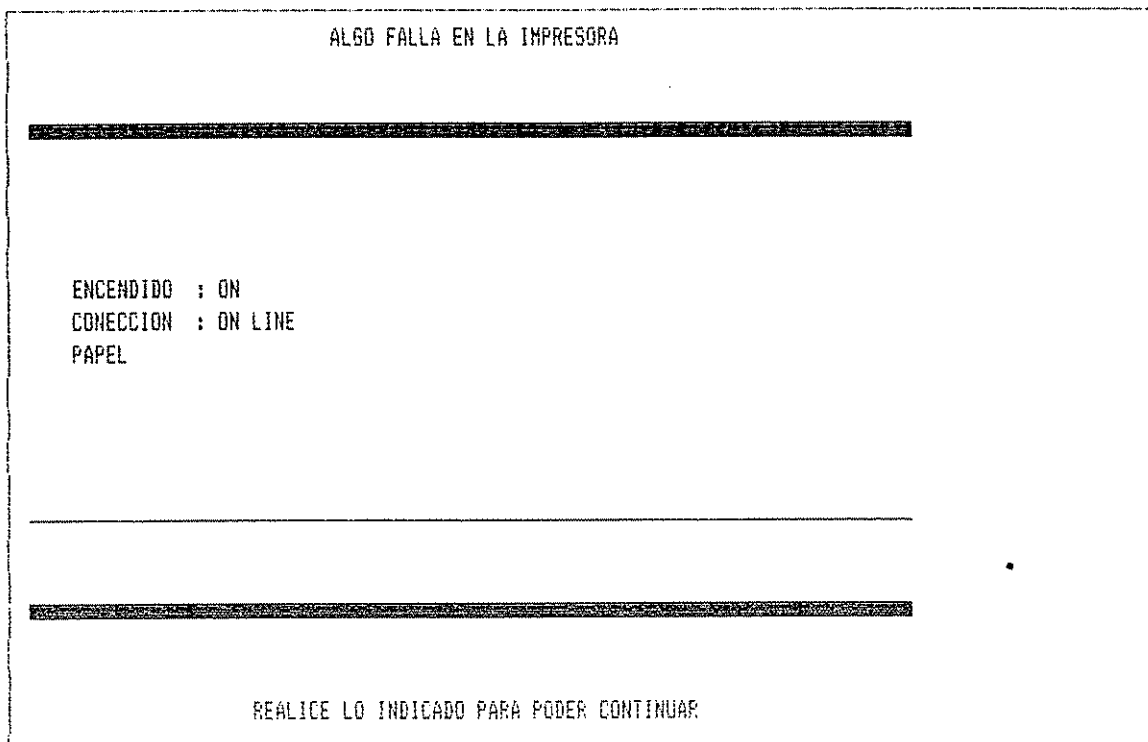


FIGURA 1.7.1. Mensaje de error en salida de resultados por impresora

El formato de las tablas de resultado y el número de tablas entregadas depende del tipo de evaluación realizada. En la Figura 1.7.2. se expone la estructura general de las tablas. Casos particulares se exponen más abajo.

AREA 1	LINEA 1 : Datos de terreno procesados LINEA 2 : Resultados que presenta la tabla
AREA 2	LINEA 1 : Nombre de las variables LINEA 2 : Unidades de las variables
AREA 3	Valores de las variables
AREA 4	LINEA 2 : Proceso realizado LINEA 3 : [opcional] : Avance por etapa de evaluación

FIGURA 1.7.2. Estructura general de una tabla de resultados.

1.7.1 RESULTADOS : opciones de evaluación 1 a 6

Los resultados de las opciones de evaluación 1 a 6 (Figura 1.4.1.) se entregan en 7 tablas diferentes (Figuras 1.7.3 a 1.7.9), incluida la primera correspondiente a las características de los productos evaluados. El formato es el mismo tanto para las salidas por impresora como para aquellas por pantalla; en este último caso es necesario presionar "S" para pasar a la siguiente tabla. De la tabla de la Figura 1.7.7 aparece un ejemplar por cada producto evaluado. Las tablas tienen una columna adicional cuando se procesan árboles con defectos.

Datos : Arboles, sin clase de DAP, sin defectos									
CARACTERISTICAS DE LOS PRODUCTOS. (Diám Min Intermedio VALORación 1m3 2pieza)									
NUM	PRODUCTO NOMBRE	LARGO (m)	DIAMETRO (cm)		DISTA		VALOR	PRECIO COSTO	
			MAXIMO	MINIMO	DMI	DMI		(u.monetarias)	
1	TROZA ASERR	3.00	40.0	20.0	0.0	0.00	2	100.0	5.0
2	TROZA PULPA	2.00	25.0	15.0	0.0	0.00	2	70.0	7.0
3	POSTE	4.00	10.0	5.0	0.0	0.00	2	45.0	10.0

Proceso :
 Maximización de la utilidad, con producto prioritario (1)
 Avance en el fuste = 1 (cm)

FIGURA 1.7.3. Características de los productos evaluados.

Datos : Arboles, sin clase de DAP, sin defectos
SECCION COMERCIAL DEL FUSTE [H mínima|H máxima|Longitud Comercial]

DAP (cm)	PRODUCTO Nº:		
	1	2	3
10.0	0.00	0.00	1.34
	0.00	0.00	13.87
	0.00	0.00	12.54
15.0	0.00	0.00	11.60
	0.00	1.58	20.84
	0.00	1.58	9.25
20.0	0.00	0.00	15.13
	1.46	8.43	21.05
	1.46	8.43	5.92
25.0	0.00	1.52	18.39
	7.34	13.02	22.92
	7.34	11.50	4.53

Proceso :
Maximización de la utilidad, con producto prioritario (1)
Avance en el fuste = 1 (cm)

FIGURA 1.7.4. Sección comercial del fuste por producto / clase de DAP

Datos : Arboles, sin clase de DAP, sin defectos
TOTALES POR PRODUCTO

PRODUCTO NUMERO	PRODUCTO NOMBRE	TROZOS (nºm)	VOLUMEN (m3)	INGRESO COSTO UTILIDAD (unidades monetarias)		
				INGRESO	COSTO	UTILIDAD
1	TROZA ASER	2	0.266	200	10	190
2	TROZA PULP	7	0.373	490	49	441
3	POSTE	7	0.140	315	70	245

Proceso :
Maximización de la utilidad, con producto prioritario (1)
Avance en el fuste = 1 (cm)

FIGURA 1.7.5. Totales por producto evaluado.

Datos : Arboles, sin clase de DAP, sin defectos
 TOTALES POR CLASE DE DAP

DAP (cm)	ALTURA (m)	FRECUENC (núm)	VOLUMEN (m3)	INGRESO (unidades)	COSTO (monetarias)	UTILIDAD
10.0	22.00	1	0.057	135	30	105
15.0	26.00	1	0.040	90	20	70
20.0	24.00	1	0.232	325	38	287
25.0	25.00	1	0.450	455	41	414

Proceso :
 Maximización de la utilidad, con producto prioritario (1)
 Avance en el fuste = 1 (cm)

FIGURA 1.7.6. Totales por clase de DAP.

Datos : Arboles, sin clase de DAP, sin defectos
 TOTAL POR PRODUCTO/ Clase DAP. PRODUCTO : 2 [TROZA/ PULPA]

DAP (cm)	ALTURA (m)	TROZOS (núm)	VOLUMEN (m3)	INGRESO (unidades)	COSTO (monetarias)	UTILIDAD
10.0	22.00	0	0.000	0	0	0
15.0	26.00	0	0.000	0	0	0
20.0	24.00	4	0.209	280	28	252
25.0	25.00	3	0.163	210	21	189

Proceso :
 Maximización de la utilidad, con producto prioritario (1)
 Avance en el fuste = 1 (cm)

FIGURA 1.7.7. Totales por producto / clase de DAP.

Datos : Arboles, sin clase de DAP, sin defectos
TOTAL DE TROZOS POR PRODUCTO /Clase Diámetro Menor

DIAMETRO NUMERO DE TROZOS PRODUCTO Nº:			
MENOR (cm)	1	2	3
5.0	0	0	5
10.0	0	0	2
15.0	0	3	0
20.0	1	4	0
25.0	1	0	0

Proceso :
Maximización de la utilidad, con producto prioritario (1)
Avance en el fuste = 1 (cm)

FIGURA 1.7.8. Número de piezas por producto / clase de diámetro menor.

Datos : Arboles, sin clase de DAP, sin defectos
PATRON DE TROZADO POR CLASE DE DAP [Producto|HBASE|HEXTREMO]

DAP TROZO Nº:					
(cm)	1	2	3	4	5
10.0	3	3	3	0	0
	1.34	5.34	9.34	0.00	0.00
	5.34	9.34	13.34	0.00	0.00
15.0	3	3	0	0	0
	11.60	15.60	0.00	0.00	0.00
	15.60	19.60	0.00	0.00	0.00
20.0	2	2	2	2	3
	0.01	2.01	4.01	6.01	15.14
	2.01	4.01	6.01	8.01	19.14

Proceso :
Maximización de la utilidad, con producto prioritario (1)
Avance en el fuste = 1 (cm)

FIGURA 1.7.9. Patron de trozado por clase de DAP

1.7.2 RESULTADOS : opciones de evaluación 7 a 9

Los resultados de las opciones de evaluación 7 a 9 (Menú Principal) se entregan en una tabla (Figuras 1.6.10)

Datos : Arboles, sin clase de DAP, sin defectos

DAP (cm)	ALTURA (m)	FRECUENC (núm)	VOLUMEN (m3) COMERCIAL
10.00	22.00	1	0.074
15.00	26.00	1	0.186
20.00	24.00	1	0.313
25.00	25.00	1	0.504

Proceso :
Cubicación hasta ALU = 17 (m) (ó = Htotal si ALU>Htotal)

FIGURA 1.7.10. Resultados de cubicación hasta un límite determinado.

1.8. MODIFICACION DEL AMBIENTE DE TRABAJO

DESEA CAMBIAR ALGUNA VARIABLE ?

CAMBIA FORMA DE EVALUAR
 CAMBIA DATOS DE TERRENO
 CAMBIA DATOS DE PRODUCTOS
 PERIFERICO DE SALIDA
 REALIZA CALCULOS

VOLVER A MENU PRINCIPAL

Seleccione

```
DESEA CAMBIAR ALGUNA VARIABLE ?  
  
Cambia Forma de Evaluar  
Cambia Datos de Terreno  
Cambia Datos de Productos  
Periferico de Salida  
Realiza Calculos  
  
Abandona Menu Actual  
  
[Su selección] : CAMBIA FORMA DE EVALUAR      | Desea corregir (S/N) ?
```

FIGURA 1.8.1. Modificación del ambiente de trabajo. Digitar el caracter. Corregir la elección "S" o confirmarla "N".

"F" lleva a la Pantalla de la Figura 1.4.1.

"T" lleva a la Pantalla de la Figura 1.1.1.

"P" lleva a la Pantalla de la Figura 1.5.1.

"R" procesa los datos bajo las nuevas condiciones, establecidas mediante las tres opciones de arriba. Una vez realizados los cambios deseados es necesario ejecutar esta opción para tener los nuevos resultados.

"S" lleva a la Pantalla de la Figura 1.3.1. Si la salida actual se selecciona nuevamente, se repite la entrega de resultados por la misma vía.

"V" lleva al Menú Principal.

II CONOCER ESPECIES EN EL SISTEMA

```
SEÑALE OPERACION A REALIZAR

« MENU PRINCIPAL »

-----

1 PROCESAR DATOS
2 CONOCER ESPECIES EN EL SISTEMA
3 INCORPORAR NUEVA ESPECIE
4 INGRESAR DATOS DE TERRENO
5 INGRESAR DATOS DE PRODUCTOS
6 LISTADO ARCHIVOS DE TERRENO
7 LISTADO ARCHIVOS DE PRODUCTOS
8 SALIR AL DOS
9 TERMINAR EJECUCION

-----

[Su selección] : CONOCER ESPECIES EN EL SISTEMA | Desea corregir (S/N) ?

-----
```

La opción 2 presenta en pantalla datos sobre la muestra y el modelo de ahusamiento incorporado al sistema (Figura 2.1), antecedentes ingresados mediante la opción 3 del Menú Principal. Esta opción también puede ser ejecutada directamente desde el ambiente DOS digitando "SPE" y <ENTER>.

Presentados todos los antecedentes disponibles en archivo, digitando "S" se repite la operación; "N" lleva al Menú Principal (Figura 2.2).

ANTECEDENTES GENERALES DE LAS ESPECIES EN ARCHIVO,
LOS ARBOLES MUESTRA Y EL MODELO UTILIZADO

ESPECIE NUMERO : 1

NOMBRE de la ESPECIE	E. Deglupta
LOCALIDAD o PROCEDENCIA de los DATOS	Turrialba
MODELO de AHUSAMIENTO	Kozak 69
NOMBRE de la PERSONA que AJUSTO el MODELO	J.Cancino
ALTURA MINIMA (m)	16
ALTURA MAXIMA (m)	26
DAP MINIMO (cm)	10
DAP MAXIMO (cm)	35
COEFICIENTE DE ESBELTEZ MINIMO (H/DAP)	.8
COEFICIENTE DE ESBELTEZ MAXIMO (H/DAP)	1.3

Presione una tecla para seguir

EN TOTAL HAY 1 ESPECIES EN ARCHIVO

FIGURA 2.1. Antecedentes de la especie, de la muestra usada en el ajuste de la función de ahusamiento, el modelo ajustado y número total de especies (registros) en archivo

ANTECEDENTES GENERALES DE LAS ESPECIES EN ARCHIVO,
LOS ARBOLES MUESTRA Y EL MODELO UTILIZADO

ESPECIE NUMERO : 1

NOMBRE de la ESPECIE	E. Deglupta
LOCALIDAD o PROCEDENCIA de los DATOS	Turrialba
MODELO de AHUSAMIENTO	Kozak 69
NOMBRE de la PERSONA que AJUSTO el MODELO	J.Cancino
ALTURA MINIMA (m)	16
ALTURA MAXIMA (m)	26
DAP MINIMO (cm)	10
DAP MAXIMO (cm)	35
COEFICIENTE DE ESBELTEZ MINIMO (H/DAP)	.8
COEFICIENTE DE ESBELTEZ MAXIMO (H/DAP)	1.3

Desea revisar de nuevo (S/N) ?

EN TOTAL HAY 1 ESPECIES EN ARCHIVO

FIGURA 2.2. Fin de archivo de datos de especies.

III INCORPORAR NUEVA ESPECIE

```
SEÑALE OPERACION A REALIZAR

« MENU PRINCIPAL »

-----

1 PROCESAR DATOS
2 CONOCER ESPECIES EN EL SISTEMA
3 INCORPORAR NUEVA ESPECIE
4 INGRESAR DATOS DE TERRENO
5 INGRESAR DATOS DE PRODUCTOS
6 LISTADO ARCHIVOS DE TERRENO
7 LISTADO ARCHIVOS DE PRODUCTOS
8 SALIR AL DOS
9 TERMINAR EJECUCION

-----

[Su selección] : INCORPORAR NUEVA ESPECIE      | Desea corregir (S/N) ?
-----
```

La opción 3 permite incorporar al sistema antecedentes generales sobre la especie, el modelo de ahusamiento ajustado y características de la muestra usada en el ajuste (Figura 3.1). Esta opción también puede ser ejecutada directamente desde el ambiente DOS digitando "NSP" y <ENTER>.

También permite incorporar los valores de los coeficientes del modelo de ahusamiento ajustado (Figura 3.4), que debe corresponder a uno de aquellos que el sistema posee en su estructura y que el usuario selecciona previamente (Figura 3.3). Errores en los ingresos deben corregirse oportunamente (por ej. Figura 3.2).

INGRESE LOS SIGUIENTES ANTECEDENTES GENERALES
SOBRE LOS ARROLES MUESTRA Y EL MODELO USADO

1	NOMBRE de la ESPECIE	Tectona grandis
2	LOCALIDAD o PROCEDENCIA de los DATOS	Hojancha
3	MODELO de AHUSAMIENTO	Burkhardt y otros
4	NOMBRE de la PERSONA que AJUSTO el MODELO	V. Sandoval
5	ALTURA MINIMA (m)	12
6	ALTURA MAXIMA (m)	38.5
7	DAP MINIMO (cm)	10
8	DAP MAXIMO (cm)	76
9	COEFICIENTE DE ESBELTEZ MINIMO (H/DAP)	.83
10	COEFICIENTE DE ESBELTEZ MAXIMO (H/DAP)	1.45

Desea corregir (S/N) ?

USE PUNTO DECIMAL CUANDO CORRESPONDA

FIGURA 3.1. Ingresar los datos. Digitar los valores y presionar "ENTER". Corregir los ingresos "S" o confirmarlos "N"

INGRESE LOS SIGUIENTES ANTECEDENTES GENERALES
SOBRE LOS ARBOLES MUESTRA Y EL MODELO USADO

1	NOMBRE de la ESPECIE	Tectona grandis
2	LOCALIDAD o PROCEDENCIA de los DATOS	Hojancha
3	MODELO de AHUSAMIENTO	Burkhardt y otros
4	NOMBRE de la PERSONA que AJUSTO el MODELO	V. Sandoval
5	ALTURA MINIMA (m)	12
6	ALTURA MAXIMA (m)	38.5
7	DAP MINIMO (cm)	10
8	DAP MAXIMO (cm)	76
9	COEFICIENTE DE ESBELTEZ MINIMO (H/DAP)	.83
10	COEFICIENTE DE ESBELTEZ MAXIMO (H/DAP)	1.45

INDIQUE EL NUMERO DEL ITEM A CORREGIR 5

USE PUNTO DECIMAL CUANDO CORRESPONDA

FIGURA 3.2. Corrección de un ítem errado

SELECCIONE EL MODELO QUE AJUSTO

1 DEMAERSCHALK, 1972 : $Y^2 = 10^{(2B0)} * D^{(2B1-2)} * (H-h)^{(2B2)} * H^{(2B3)}$
 2 KOZAK et al, 1969 : $Y^2 = B1(X-1) + B2(X^2-1)$
 3 MAX y BURKHART, 1976 : $Y^2 = B1(X-1) + B2(X^2-1) + B3(A1-X)^2 I1 + B4(A2-X)^2 I2$
 4 ORMEROD, 1973 : $Y^2 = ((H-h)/(H-1.3))^{(2B1)}$
 5 THOMAS y PARRÉSOL, 1991 : $Y^2 = B1(X-1) + B2 \sin(2\pi X) + B3 \cot(\pi X/2)$

[Su selección] : MAX y BURKHART, 1979: $Y^2 = B1($ Desea corregir (S/N) ?

VARIABLES		
Y = d / DAP	d	: diámetro a la altura H (cm)
X = h / H	DAP	: diámetro a 1.3 m de altura (cm)
Z = 1 - h / H	h	: altura de estimación del diámetro d (m)
	H	: altura total del árbol (m)

FIGURA 3.3. Seleccionar el modelo ajustado. Digitar el número y presionar "ENTER".
 Corregir elección "S" o confirmarla "N".

INGRESE LOS VALORES DE LOS COEFICIENTES
 DEL MODELO DE AHUSAMIENTO AJUSTADO
 Modelo Seleccionado :
 MAX y BURKHART, 1979: $Y^2 = B1(X-1) + B2(X^2-1) + B3(A1-X)^2 I1 + B4(A2-X)^2 I2$

1 COEFICIENTE B 1		-.09876
2 COEFICIENTE B 2		3.21222
3 COEFICIENTE B 3		-2.75342
4 COEFICIENTE B 4		2.344555
5 PUNTO DE UNION A 1		.33
6 PUNTO DE UNION A 2		.57

Desea corregir (S/N) ?

DONDE CORRESPONDA USE PUNTO DECIMAL Y SIGNO MENOS '-' para valores negativos

FIGURA 3.4. Ingresar los coeficientes. Digitar los valores y presionar "ENTER".
 Corregir los ingresos "S" o confirmarlos "N"

IV INGRESAR DATOS DE TERRENO.

```
SEÑALE OPERACION A REALIZAR

« MENU PRINCIPAL »

-----

1 PROCESAR DATOS
2 CONOCER ESPECIES EN EL SISTEMA
3 INCORPORAR NUEVA ESPECIE
4 INGRESAR DATOS DE TERRENO
5 INGRESAR DATOS DE PRODUCTOS
6 LISTADO ARCHIVOS DE TERRENO
7 LISTADO ARCHIVOS DE PRODUCTOS
8 SALIR AL DOS
9 TERMINAR EJECUCION

-----

[Su selección] : INGRESAR DATOS DE TERRENO      | Desea corregir (S/N) ?
-----
```

La opción 4 permite crear archivos de datos de terreno, necesarios para ejecutar la opción 1. Es posible incorporar datos de variado origen (árboles individuales, parcela de muestreo), condición (árboles con y sin defectos) y formato (tabulados y no tabulados por clase de DAP). Esta opción también puede ser ejecutada directamente desde el ambiente DOS digitando "IDT" y <ENTER>.

El proceso de ingreso de datos se efectúa por medio de una serie de pantallas que varía según el origen, condición y formato antes indicado.


```

      INGRESE LA ALTURA DE TOCON
      O ALTURA DE CORTE DE LOS FUSTES EN EL MOMENTO DE LA COSECHA
      _____

1 ALTURA DE TOCON (m)           |.3

      _____
                                Desea corregir (S/N) ?
      _____

      SI CORRESPONDE USE PUNTO DECIMAL
  
```

FIGURA 4.2. Ingresar la altura de tocón a dejar. Digitar el valor y presionar "ENTER".
Corregir el ingreso "S" o confirmarlo "N"

4.3. PROCEDENCIA DE LOS DATOS.

Se debe especificar el origen de los datos de terreno (Figura 4.3.1). La alternativa 1 permite ingresar árboles medidos en unidades de muestreo de superficie desconocida, como aquellos de plantaciones en línea. Si se conoce la superficie de la unidad de muestreo se debe seleccionar la alternativa 2, que posibilita la generación de resultados por unidad de superficie (hectárea). Si éste último es el caso, el paso siguiente es el ingreso de la superficie de la parcela o unidad de muestreo (Figura 4.3.2).

4.3.1. SUPERFICIE DE LA PARCELA.

Si corresponde, el sistema pide ingresar la superficie de la unidad de muestreo (Figura 4.3.2).

SELECCIONE LA ALTERNATIVA ADECUADA SOBRE LA PROCEDENCIA DE LOS DATOS

1 ARBOLES INDIVIDUALES (no considera superficie)
 2 PARCELA DE MUESTREO O RODAL (considera superficie)

DIGITE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

SI CORRESPONDE USE PUNTO DECIMAL

FIGURA 4.3.1. Señalar la procedencia de los datos. Digitar el número y presionar "ENTER".
 Corregir el ingreso "S" o confirmarlo "N"

DATOS DE PARCELA O RODAL
 INGRESE LA SUPERFICIE DE LA PARCELA O RODAL

1 SUPERFICIE DE LA PARCELA O RODAL (m²) | 250

Desea corregir (S/N) ?

SI CORRESPONDE USE PUNTO DECIMAL

FIGURA 4.3.2. Ingresar la superficie de la unidad muestral. Digitar el valor y presionar "ENTER". Corregir el ingreso "S" o confirmarlo "N"

4.4. FORMATO DE LOS DATOS.

Se debe especificar el formato los datos de terreno (Figura 4.4.). La alternativa 1 permite ingresar datos tabulados por clase de DAP.

Si los datos no están tabulados por clase de DAP se debe seleccionar la alternativa 2. Durante el proceso de datos (opción 1, Menú Principal) se puede realizar la tabulación, si el usuario lo requiere y los datos así lo permiten. La alternativa 2 da la posibilidad de incorporar árboles con defectos en el fuste, caso en que la tabulación antes mencionada no puede realizarse (no tiene sentido hacerlo).

```

                                DATOS DE PARCELA O RODAL
                                SELECCIONE LA ALTERNATIVA ADECUADA SOBRE EL FORMATO DE LOS DATOS

```

```

1 VALORES ORDENADOS POR CLASE DE DAP (tabulados)
2 VALORES POR ARBOL INDIVIDUAL      (sin tabular)

```

```

                                DIGITE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

```

FIGURA 4.4. Señalar el formato de los datos. Digitar el número y presionar "ENTER".
Corregir el ingreso "S" o confirmarlo "N"

4.4.1. FORMATO : Datos Tabulados.

El ingreso de datos tabulados por clase de DAP, requiere especificar las clases de DAP primera y última y la amplitud de clase usada en la tabulación (Figura 4.4.1.1).

Posteriormente se ingresa para cada clase, debidamente especificada en pantalla, la altura y el número de árboles en la clase (Figura 4.4.1.2). El encabezado de la Figura 4.4.1.2, "DATOS DE ARBOLES INDIVIDUALES", es variable; en este caso aparece ese título porque el ejemplo está tomado de datos con ese origen.

ANTECEDENTES TABULADOS POR CLASE DE DAP

/

1 MARCA DE CLASE DE DAP INICIAL (cm)	10
2 MARCA DE CLASE DE DAP FINAL (cm)	30
3 AMPLITUD DE CLASE (cm)	5

Desea corregir (S/N) ?

FIGURA 4.4.1.1. Ingresar las marcas de clase y la amplitud. Digitar los valores y presionar "ENTER". Corregir los ingresos "S" o confirmarlos "N".

```

DATOS DE ARBOLES INDIVIDUALES TABULADOS POR CLASE DE DAP
INGRESE LOS VALORES MEDIDOS

CLASE DE DAP (cm) : 10. 0      RANGO (mm) ( 75 - 125)
-----

1 ALTURA TOTAL DEL ARBOL (m)      | 14
2 NUMERO de ARBOLES en la CLASE   | 3

-----

Desea corregir (S/N) ?

-----

USE PUNTO DECIMAL DONDE CORRESPONDA

```

FIGURA 4.4.1.2. Ingresar la altura y la frecuencia de la clase de DAP. Digitar el valor y presionar "ENTER". Corregir los ingresos "S" o confirmarlos "N"

4.4.2. FORMATO : Datos sin Tabular. Presencia de defectos.

El ingreso de datos sin tabular por clase de DAP, requiere especificar el número de árboles que componen la muestra (Figura 4.4.2.1).

Posteriormente aparece la pantalla de la Figura 4.4.2.2, dando la posibilidad de evaluar defectos en los fustes de los árboles. Si se selecciona la alternativa 1 (sin defectos), el ingreso continúa con la pantalla de las figuras 4.4.2.3. Para la alternativa 2 (con defectos), el ingreso continúa con las pantallas de las Figuras 4.4.2.4 y 4.4.2.5. En estas figuras no confundirse con el encabezado "DATOS POR PARCELA O RODAL"; es variable; en este caso aparece ese título porque el ejemplo está tomado de datos con ese origen.

DATOS DE PARCELA O RODAL SIN TABULAR POR CLASE DE DAP SIN DEFECTOS
 INGRESE LOS VALORES MEDIDOS
 ARBOL NUMERO : 1

1 DIAMETRO (DAP) (cm) | 20
 2 ALTURA DEL ARBOL (m) | 18

Desea corregir (S/N) ?

USE PUNTO DECIMAL DONDE CORRESPONDA

FIGURA 4.4.2.3. Ingresar el DAP y la altura. Digitar el valor y presionar "ENTER".
 Corregir los ingresos "S" o confirmarlos "N".

DATOS DE PARCELA O RODAL SIN TABULAR POR CLASE DE DAP CON DEFECTOS
 INGRESE LOS VALORES MEDIDOS
 ARBOL NUMERO : 1

1 DIAMETRO (DAP) (cm) | 20
 2 ALTURA DEL ARBOL (m) | 18
 3 NUMERO DE DEFECTOS (máximo 5) | 2

Desea corregir (S/N) ?

USE PUNTO DECIMAL DONDE CORRESPONDA

FIGURA 4.4.2.4. Ingresar el DAP, la altura y el número de defectos. Digitar el valor y presionar "ENTER". Corregir los ingresos "S" o confirmarlos "N".

DATOS DE PARCELA O RODAL SIN TABULAR POR CLASE DE DAF CON DEFECTOS
INGRESE LOS VALORES MEDIDOS
ARBOL NUMERO : 1
DEFECTO NUMERO : 1

1 ALTURA DE INICIO DEL DEFECTO (m) | 12
2 LONGITUD DEL DEFECTO (m) | 3.5

Desea corregir (S/N) ?

USE PUNTO DECIMAL DONDE CORRESPONDA

FIGURA 4.4.2.5. Ingresar la altura de inicio y la longitud del defecto. Digitar el valor y presionar "ENTER". Corregir los ingresos "S" o confirmarlos "N".

V INGRESAR DATOS DE PRODUCTOS.

```
SEÑALE OPERACION A REALIZAR

« MENU PRINCIPAL »

-----

1 PROCESAR DATOS
2 CONOCER ESPECIES EN EL SISTEMA
3 INCORPORAR NUEVA ESPECIE
4 INGRESAR DATOS DE TERRENO
5 INGRESAR DATOS DE PRODUCTOS
6 LISTADO ARCHIVOS DE TERRENO
7 LISTADO ARCHIVOS DE PRODUCTOS
8 SALIR AL DOS
9 TERMINAR EJECUCION

-----

[Su selección] : INGRESAR DATOS DE PRODUCTOS      | Desea corregir (S/N) ?
-----
```

El archivo de datos de productos es necesario para realizar el proceso de optimización (alternativas de evaluación 1 a 6, Menú Principal). Esta opción también puede ser ejecutada directamente desde el ambiente DOS digitando "IDP" y <ENTER>.

El ingreso de los datos de los productos a evaluar, para la creación del archivo correspondiente, se realiza a través de tres pantallas. En la primera se ingresa el nombre del archivo a crear (Figura 5.1), en la segunda el número de productos a evaluar (Figura 5.2) y en la última las especificaciones para esos productos (Figura 5.3)

ESPECIFICACIONES de los PRODUCTOS a EVALUAR
SI DESEA PRODUCTO PRIORITARIO INCLUYALO EN PRIMER LUGAR

PRODUCTO NUMERO : 1

1	NOMBRE del PRODUCTO	Troza aserrable
2	LONSITUD (m)	4
3	DIAMETRO MAXIMO (cm)	50
4	DIAMETRO MINIMO (cm)	25
5	DMI:DIAMETRO MINIMO INTERMEDIO (cm) (CERO si no)	0
6	DISTANCIA BASE-DMI (m) (CERO si no hay DMI)	0
7	FORMA de VALORAR el PRODUCTO (1.- m3) (2.-Pieza)	1
8	PRECIO del PRODUCTO	100
9	CGSTO del PRODUCTO	12

Desea corregir (S/N) ?

USE PUNTO DECIMAL DONDE CORRESPONDA

FIGURA 5.3. Ingresar las especificaciones de los productos. Digitar el valor y presionar "ENTER". Corregir los ingresos "S" o confirmarlos "N".

VI LISTADO ARCHIVOS DE TERRENO.

```
SEÑALE OPERACION A REALIZAR

« MENU PRINCIPAL »

-----

1 PROCESAR DATOS
2 CONOCER ESPECIES EN EL SISTEMA
3 INCORPORAR NUEVA ESPECIE
4 INGRESAR DATOS DE TERRENO
5 INGRESAR DATOS DE PRODUCTOS
6 LISTADO ARCHIVOS DE TERRENO
7 LISTADO ARCHIVOS DE PRODUCTOS
8 SALIR AL DOS
9 TERMINAR EJECUCION

-----

(Su selección) : LISTADO ARCHIVOS DE TERRENO      | Desea corregir (S/N) ?

-----
```

Esta opción permite conocer los archivos de datos de terreno almacenados en disk. Estos archivos tienen la extensión "TE".

VII LISTADO ARCHIVOS DE PRODUCTOS.

```
SEÑALE OPERACION A REALIZAR

« MENU PRINCIPAL »

-----

1 PROCESAR DATOS
2 CONOCER ESPECIES EN EL SISTEMA
3 INCORPORAR NUEVA ESPECIE
4 INGRESAR DATOS DE TERRENO
5 INGRESAR DATOS DE PRODUCTOS
6 LISTADO ARCHIVOS DE TERRENO
7 LISTADO ARCHIVOS DE PRODUCTOS
8 SALIR AL DOS
9 TERMINAR EJECUCION

-----

[Su selección] : LISTADO ARCHIVOS DE PRODUCTOS | Desea corregir (S/N) ?

-----
```

Esta opción permite conocer los archivos de datos de productos almacenados en disk. Estos archivos tienen la extensión "PD".

VIII SALIR AL DOS.

```
SEALE OPERACION A REALIZAR  
« MENU PRINCIPAL »  
-----  
1 PROCESAR DATOS  
2 CONOCER ESPECIES EN EL SISTEMA  
3 INCORPORAR NUEVA ESPECIE  
4 INGRESAR DATOS DE TERRENO  
5 INGRESAR DATOS DE PRODUCTOS  
6 LISTADO ARCHIVOS DE TERRENO  
7 LISTADO ARCHIVOS DE PRODUCTOS  
8 SALIR AL DOS  
9 TERMINAR EJECUCION  
-----  
[Su selección] : SALIR AL DOS           | Desea corregir (S/N) ?  
-----
```

Esta opción permite salir al ambiente DOS, ejecutar cualquier operación y retomar la ejecución del proceso. Digite "EXIT" y presione <ENTER> para volver a entrar al programa.

IX TERMINAR EJECUCION.

```
SEÑALE OPERACION A REALIZAR

« MENU PRINCIPAL »

-----

1 PROCESAR DATOS
2 CONOCER ESPECIES EN EL SISTEMA
3 INCORPORAR NUEVA ESPECIE
4 INGRESAR DATOS DE TERRENO
5 INGRESAR DATOS DE PRODUCTOS
6 LISTADO ARCHIVOS DE TERRENO
7 LISTADO ARCHIVOS DE PRODUCTOS
8 SALIR AL DOS
9 TERMINAR EJECUCION

-----

[Su selección] : TERMINAR EJECUCION      | Desea corregir (S/N) ?
-----
```

Para terminar la sesión de trabajo, seleccionar la opción 9 del Menú Principal. Lleva a la pantalla de la Figura 9.1.

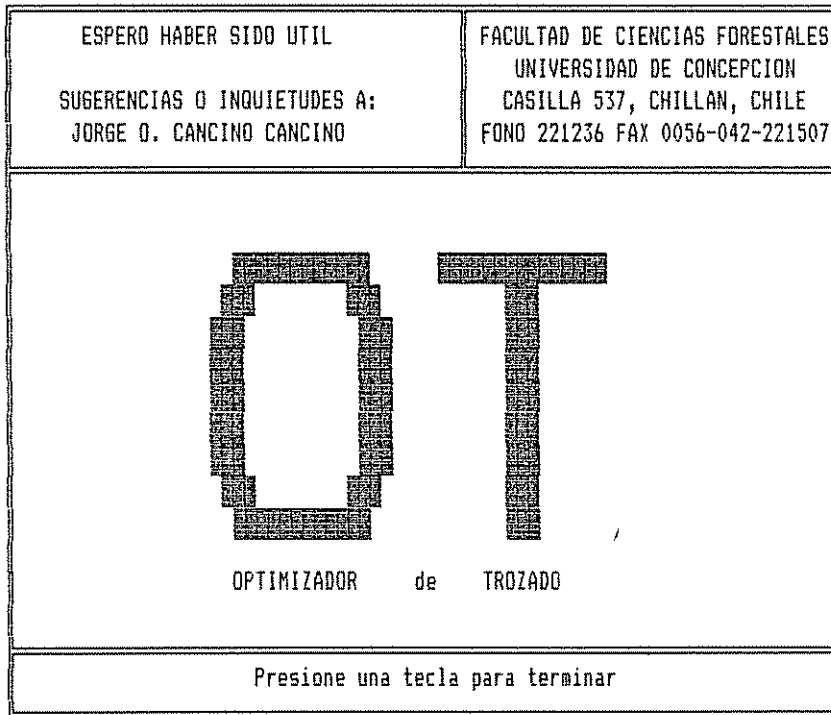


FIGURA 9.1. Pantalla de término de sesión de trabajo.

APENDICE D

PROCEDIMIENTOS DE EVALUACION
MEDIANTE "OT"

Modelo Optimizador de Trozado de
fustes

I N D I C E

MATERIA	PAGINA
D.1. OPTIMIZACION	145
D.1.1. Seccionamiento del fuste	146
D.1.2. Optimización sin producto prioritario	147
D.1.3. Optimización con producto prioritario	148
D.1.3.1. Zonificación	149
D.2. CUBICACION	151
D.2.1. Cubicación hasta un diámetro límite de utilización (dlu)	152
D.2.2. Cubicación hasta una altura límite de utilización (alu)	153
D.2.3. Cubicación total	154

Las alternativas de evaluación 1 a 6 (ver manual de operación de "OT"), que corresponden a procesos de optimización del trozado, se describen bajo el encabezado "optimización". Las alternativas de evaluación 7 a 9, que corresponden a procesos de cubicación, se describen bajo el encabezado "cubicación". Aunque en el proceso de optimización también se realiza la estimación del volumen de las piezas obtenidas, la operación principal realizada es la optimización; en cambio, en el proceso descrito como "cubicación" ésa es la única operación realizada. Ello da origen a los dos nombres genéricos de los procesos que se describen a continuación.

D.1. OPTIMIZACION

El proceso de optimización del trozado (por volumen, ingreso o utilidad) se realiza mediante un algoritmo de Programación Dinámica (PD), que determina el patrón de trozado óptimo del fuste etapa por etapa, avanzando desde la base (tocón) hasta el extremo superior del árbol (ápice). Cada etapa corresponde a una posición específica en el fuste, a partir de la cual se podría obtener un trozo de cualquier producto en dirección a la base del árbol.

El avance por etapa lo especifica el usuario, de acuerdo con las características de los productos a evaluar. Ese valor, por un lado, debe permitir realizar el proceso con rapidez aceptable (valor mínimo); por otro, debe evitar las posibles pérdidas que pueden ocurrir en el proceso de trozado por no coincidencia entre las posiciones definidas en el fuste etapa tras etapa (variable discreta) y la longitud de los productos a obtener (variable continua). Esto último determina el valor máximo para el avance por etapa de evaluación, que debe corresponder a la longitud del producto de menor largo, siempre que los demás productos en evaluación tengan longitudes múltiplos de la de aquél y que en el proceso no se consideren restricciones de diámetro.

D.1.1.1. Seccionamiento del fuste.

En el proceso de árboles sin defectos, el árbol completo (tocón-ápice) es tomado como una sola sección fustal a optimizar mediante PD (Figura D 1.1.1).

En presencia de defectos, cada defecto provoca la partición del fuste en dos secciones. Un árbol con n defectos es dividido en $n+1$ secciones fustales que se optimizan por separado, generando un patrón de trozado óptimo para cada sección (Figura D 1.1.2).

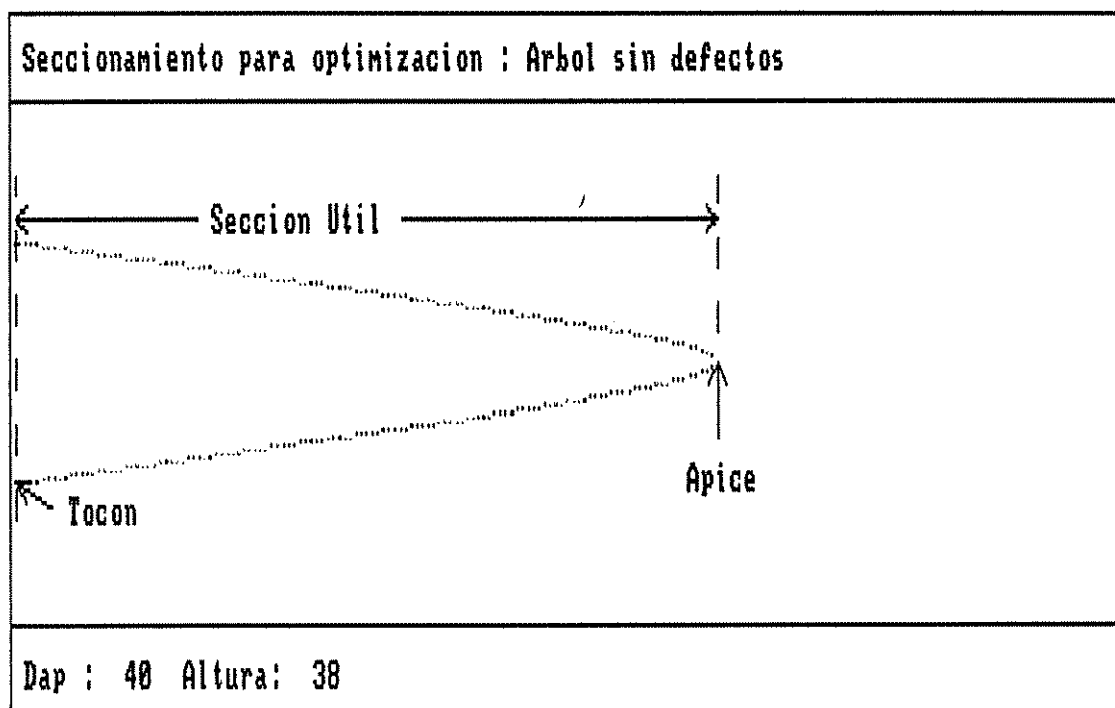


Figura D 1.1.1. Seccionamiento del fuste de árboles sin defectos

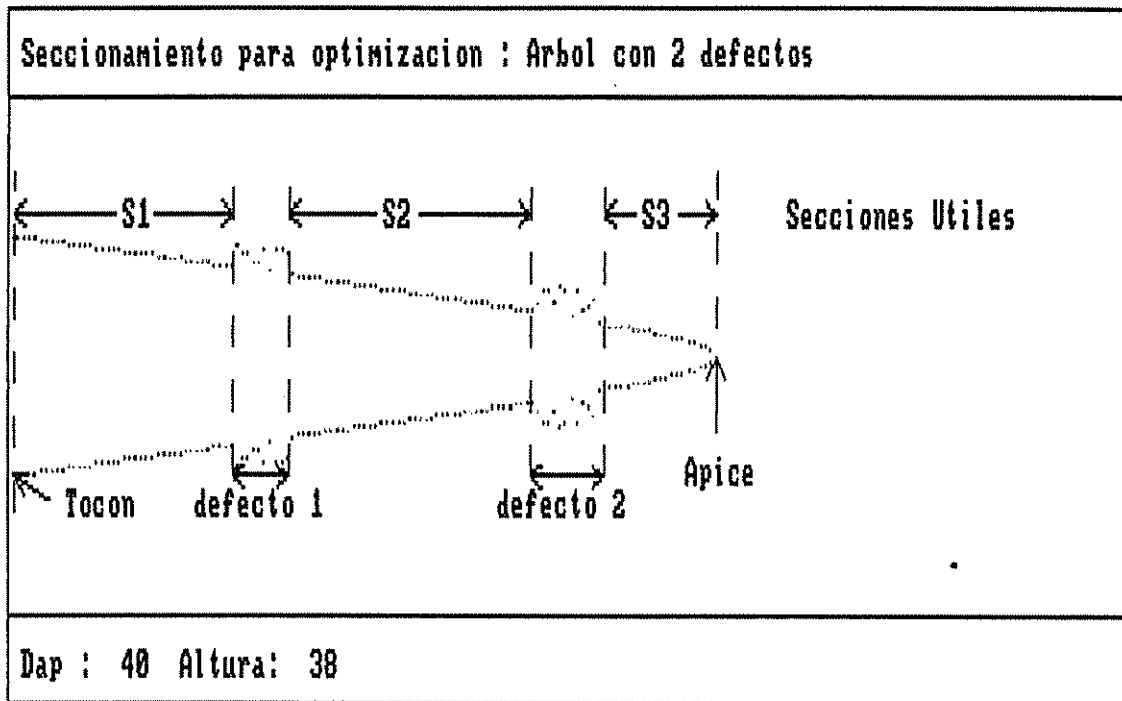


Figura D 1.1.2 Seccionamiento del fuste de árboles con defectos

D.1.2. Optimización sin producto prioritario

En este caso ningún producto tiene preferencia sobre otro para ser obtenido en el proceso de trozado. La probabilidad de obtener un producto depende exclusivamente de las especificaciones comerciales (precio, costo, dimensiones) y del valor a maximizar (volumen, ingreso, utilidad).

D.1.3. Optimización con producto prioritario

Un producto tiene preferencia sobre los demás para ser obtenido en el proceso de trozado. En el proceso de optimización se divide el fuste en zonas, con límites definidos por la sección comercial del producto prioritario. La sección comercial de un producto es definida por dos puntos en el fuste (correspondientes al diámetro comercial máximo y mínimo) entre los cuales puede obtenerse una pieza de ese producto.

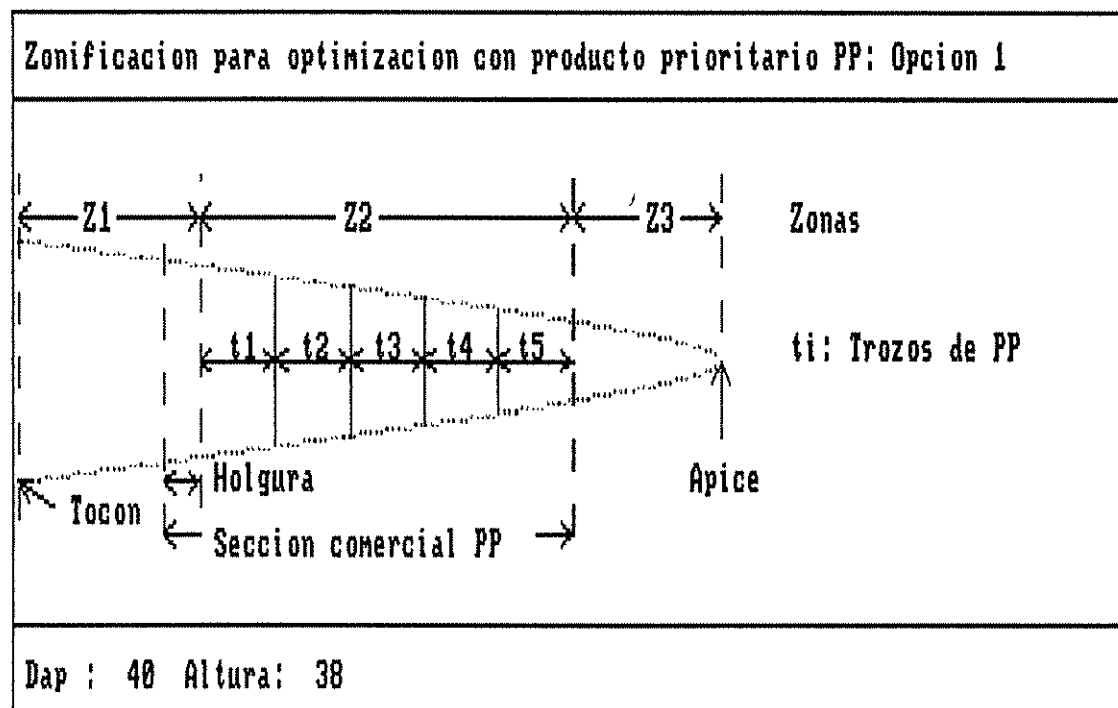


Figura D 1.3.1. Opción 1 de zonificación del fuste para optimización con producto prioritario. Arbol sin defectos

D.1.3.1. Zonificación

Para definir los límites de cada zona existen dos opciones (Figuras D 1.3.1 y D 1.3.2). Al obtener las piezas enteras del producto prioritario queda un remanente u holgura en su sección comercial, que puede ser aprovechado para obtener piezas de otros productos. Las opciones son obtener esas piezas dejando la holgura en la base o en el extremo de la sección comercial. La opción que genere el mayor valor (volumen, ingreso o utilidad según corresponda) se selecciona como óptima.

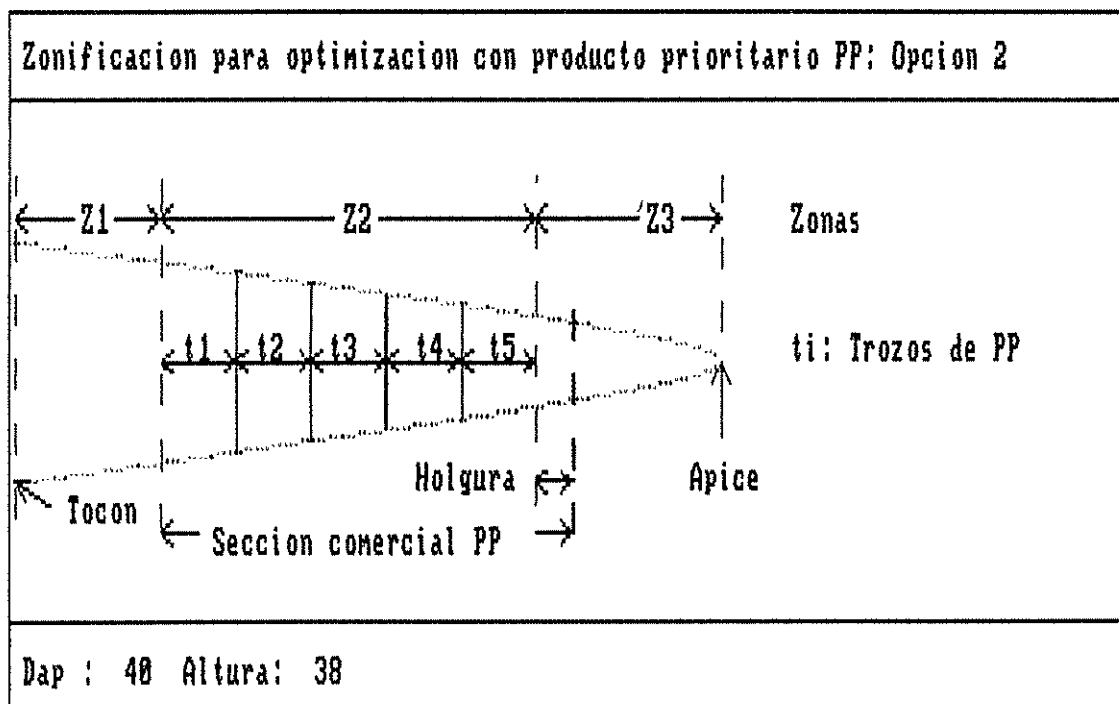


Figura D 1.3.2. Opción 2 de zonificación del fuste para optimización con producto prioritario. Arbol sin defectos

La zonificación puede generar desde una a tres zonas dependiendo de la sección comercial del producto prioritario. Cada zona se secciona o se define como una sola sección, dependiendo de la presencia o no de defectos, como se describe más arriba. Las secciones de la zona 2, que corresponde al producto prioritario, se trozan de acuerdo a la longitud de ese producto. El trozado de las secciones de las zonas 1 y 3 se optimiza mediante PD (Figura D 1.3.3).

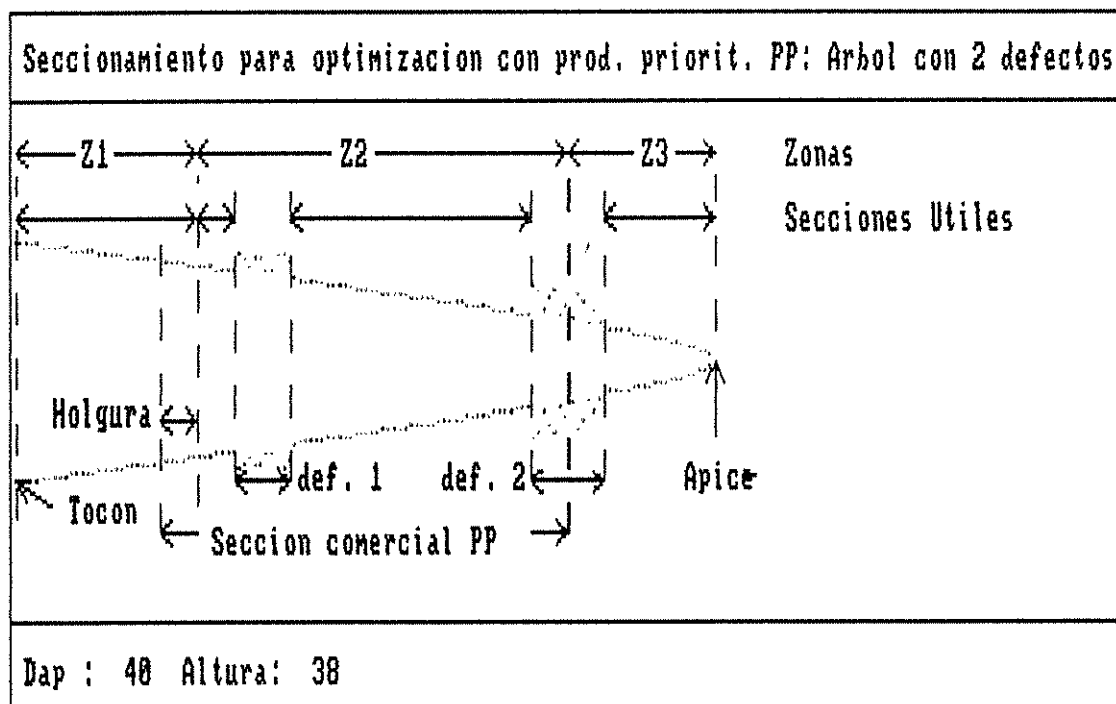


Figura D 1.3.3. Zonificación y seccionamiento del fuste para optimización con producto prioritario. Arbol con defectos

D.2. CUBICACION.

La cubicación consiste en estimar el volumen total entre dos posiciones cualquiera del fuste, sin considerar simultáneamente restricciones de diámetro y longitud. Puede considerarse como la estimación del volumen potencial para un proceso determinado.

Si se presentan defectos en el fuste, se estima el volumen de aquellos defectos ubicados dentro de la porción de fuste que se está evaluando. Al volumen total de la porción en evaluación se le resta este valor para obtener el volumen comercial.

D.2.1. Cubicación hasta un diámetro límite de utilización (dlu)

Estima el volumen comprendido entre el tocón y el punto en que el fuste tiene un diámetro igual al dlu (Figura D 2.1).

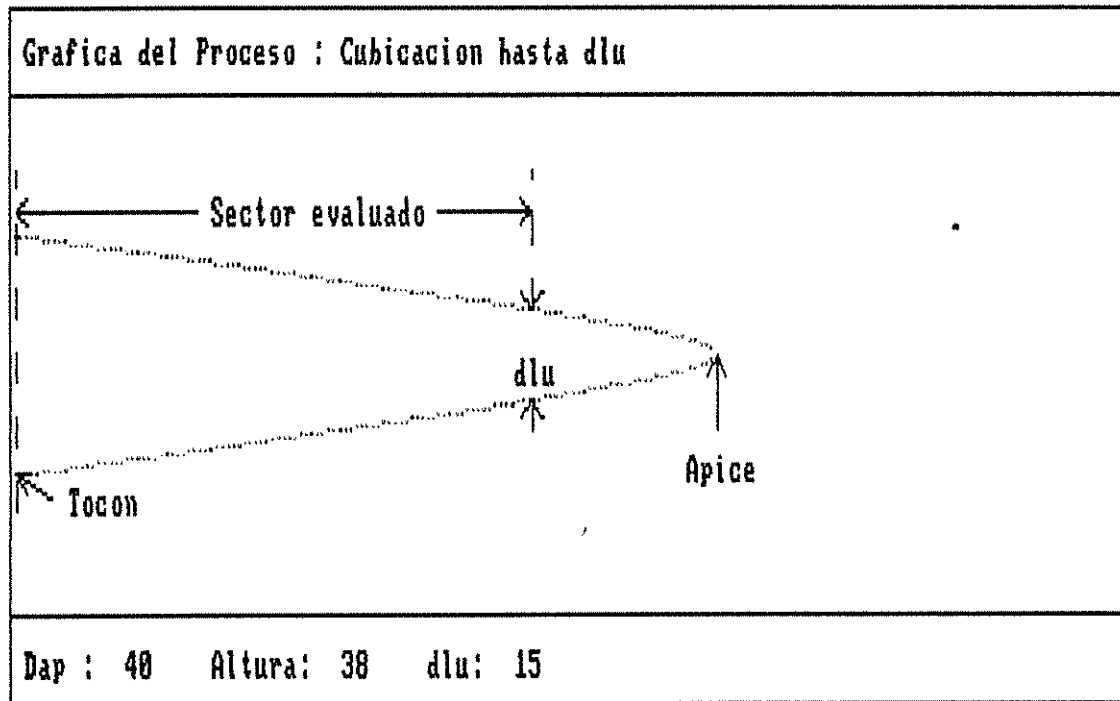


Figura D 2.1. Cubicación del fuste desde el tocón hasta un diámetro límite de utilización (dlu).

D.2.2. Cubicación hasta una altura límite de utilización (alu)

Estima el volumen de la porción de fuste comprendida entre el tocón y la alu (Figura D 2.2).

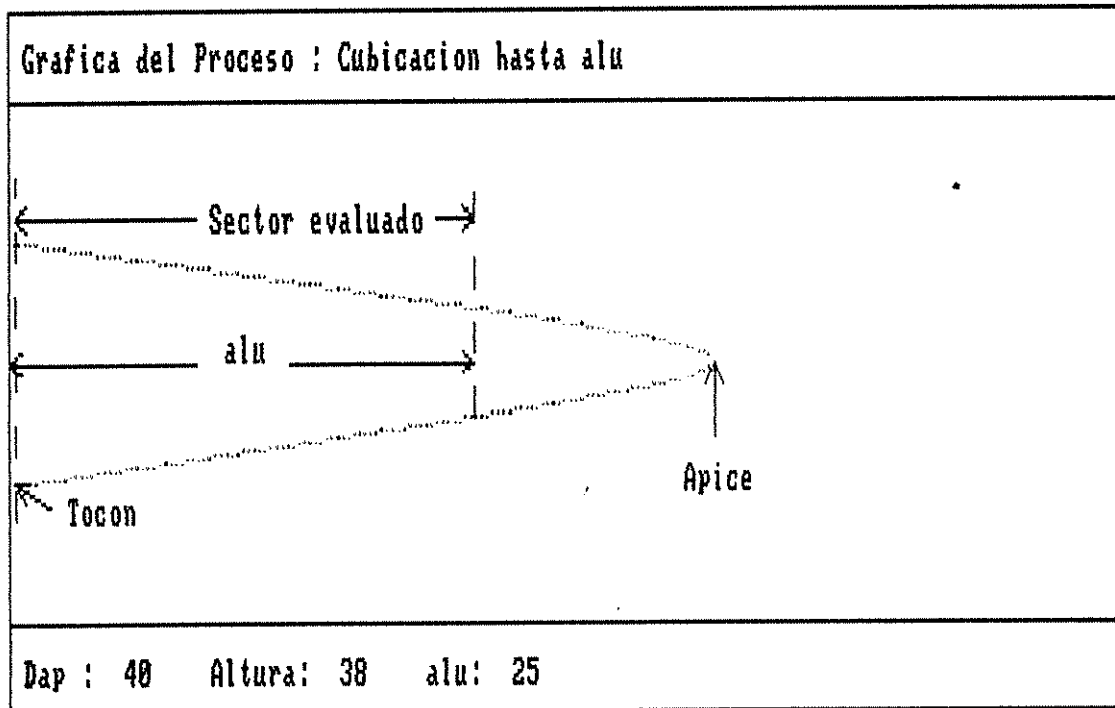


Figura D 2.2. Cubicación del fuste desde el tocón hasta una altura límite de utilización (alu).

D.2.3. Cubicación total

Estima el volumen del fuste entre el tocón y el ápice del árbol (Figura D 2.3).

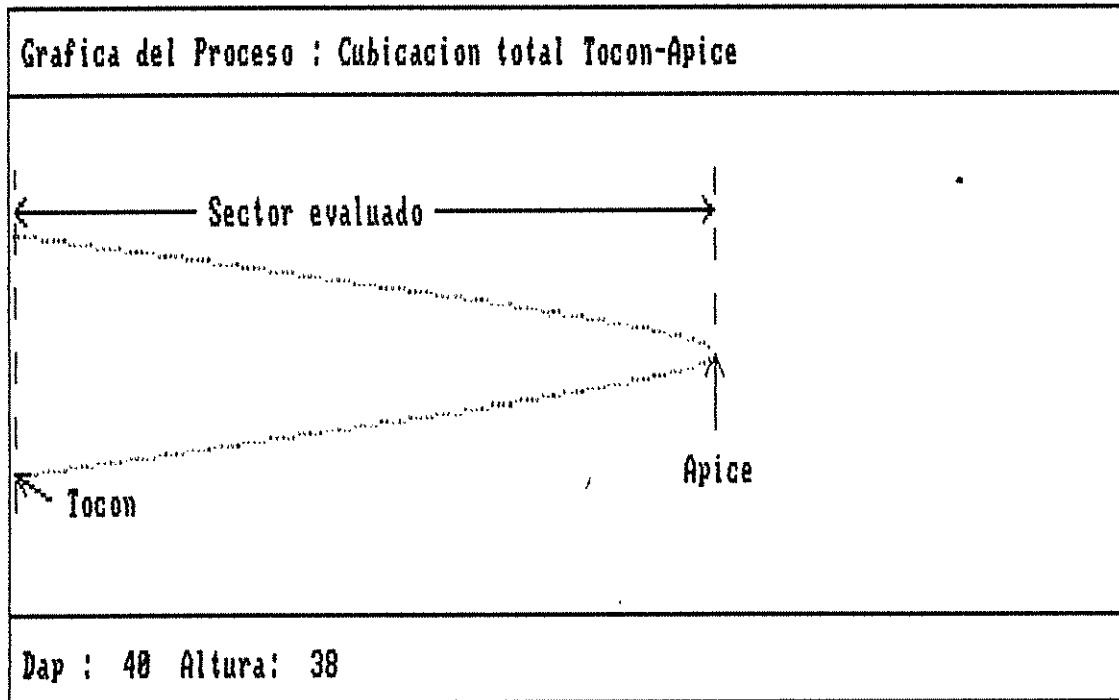


Figura D 2.3. Cubicación del fuste desde el tocón hasta el ápice (total)

APENDICE E

ESTRUCTURA DE "OT"

Modelo Optimizador de Trozado de
fustes

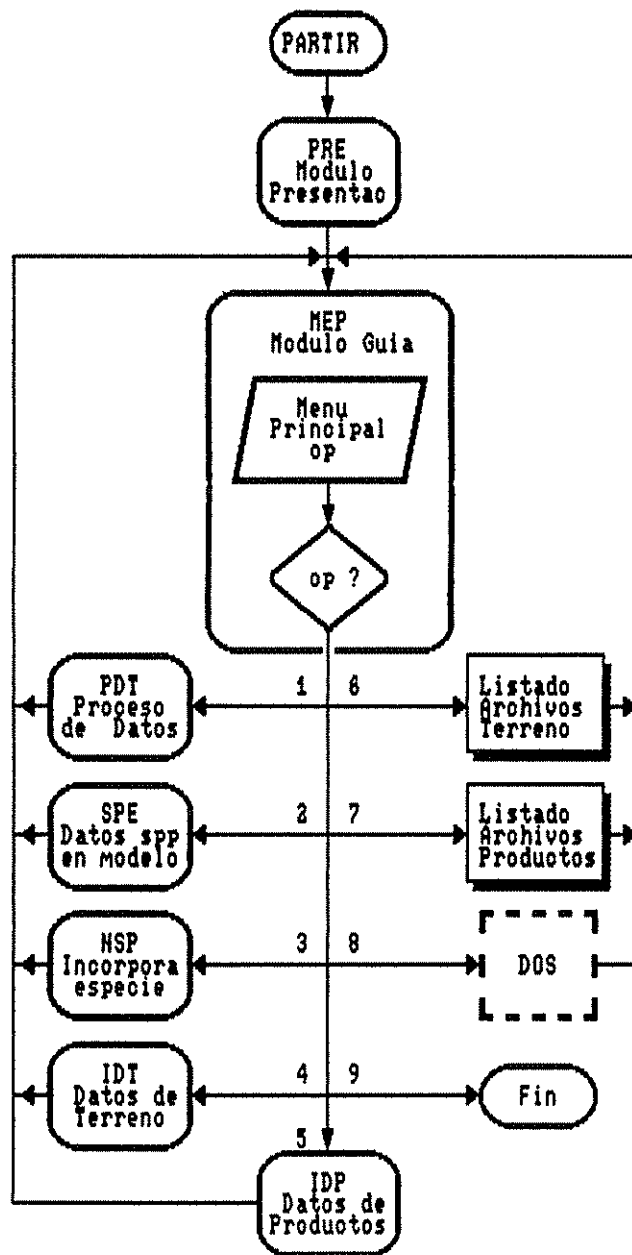


Figura E.1. Diagrama general de flujo de "OT". Relación entre los módulos componentes.

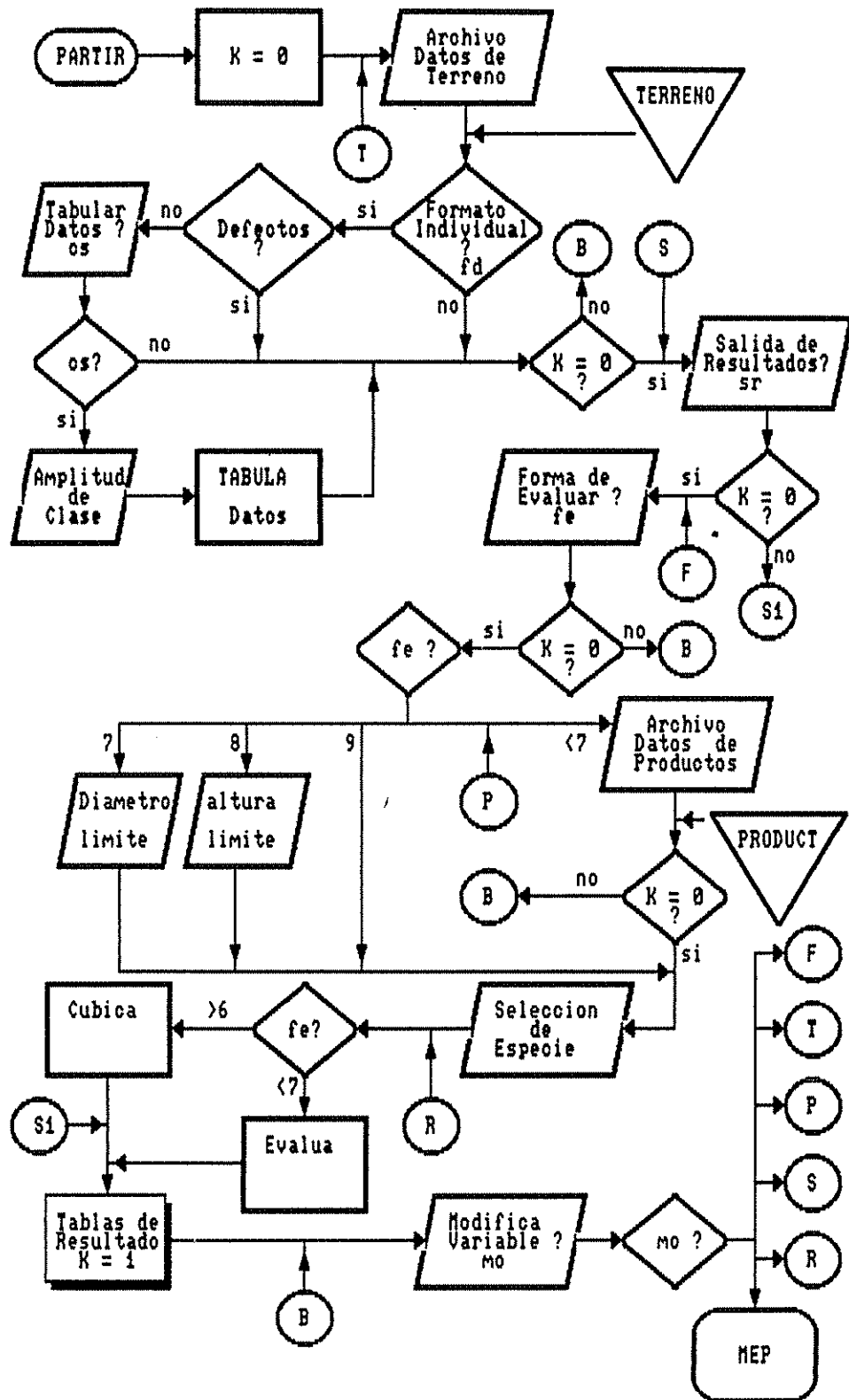


Figura E.2a. Diagrama de flujo del Módulo de Proceso de Datos (PDT).

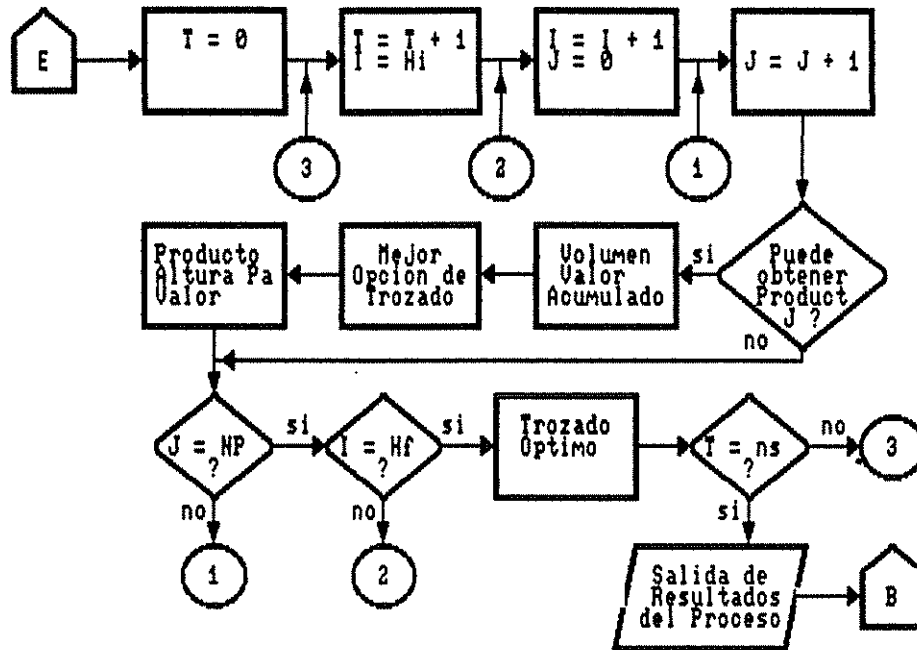


Figura E.2c. Diagrama de flujo del Módulo de Proceso de Datos (PDT). SUB Programa Evalúa.

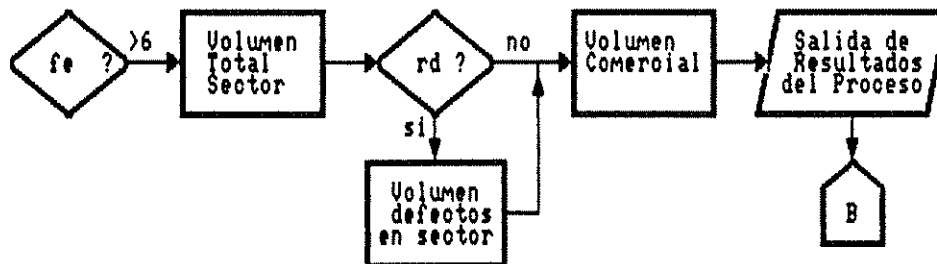


Figura E.2d. Diagrama de flujo del Módulo de Proceso de Datos (PDT). SUB Programa Cubica.

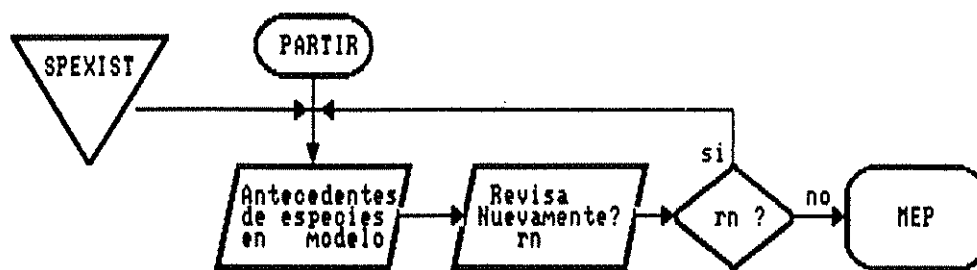


Figura E.3. Diagrama de flujo del Módulo SPE. Especies y modelos de ahusamiento incorporados en el sistema.

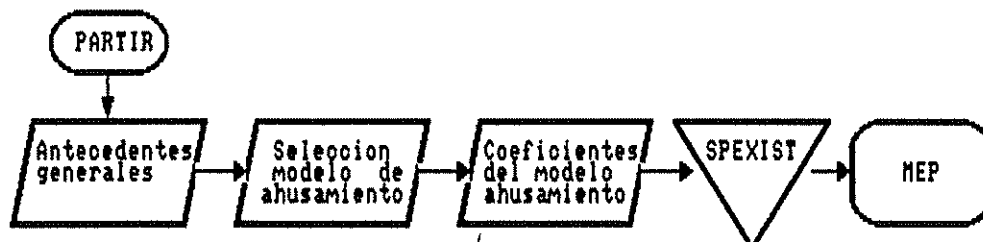


Figura E.4. Diagrama de flujo del Módulo NSP. Incorporación de nueva especie al sistema.

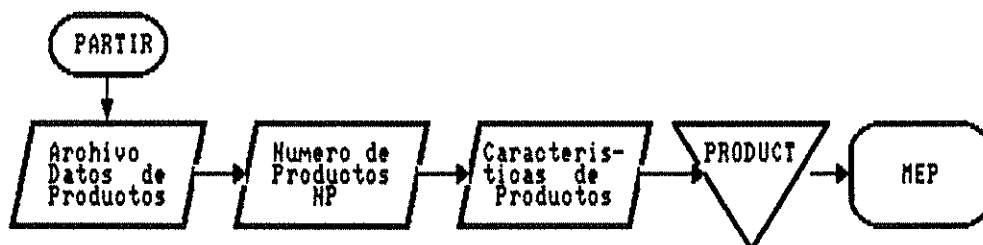


Figura E.5. Diagrama de flujo del Módulo IDP. Ingreso de datos de productos.

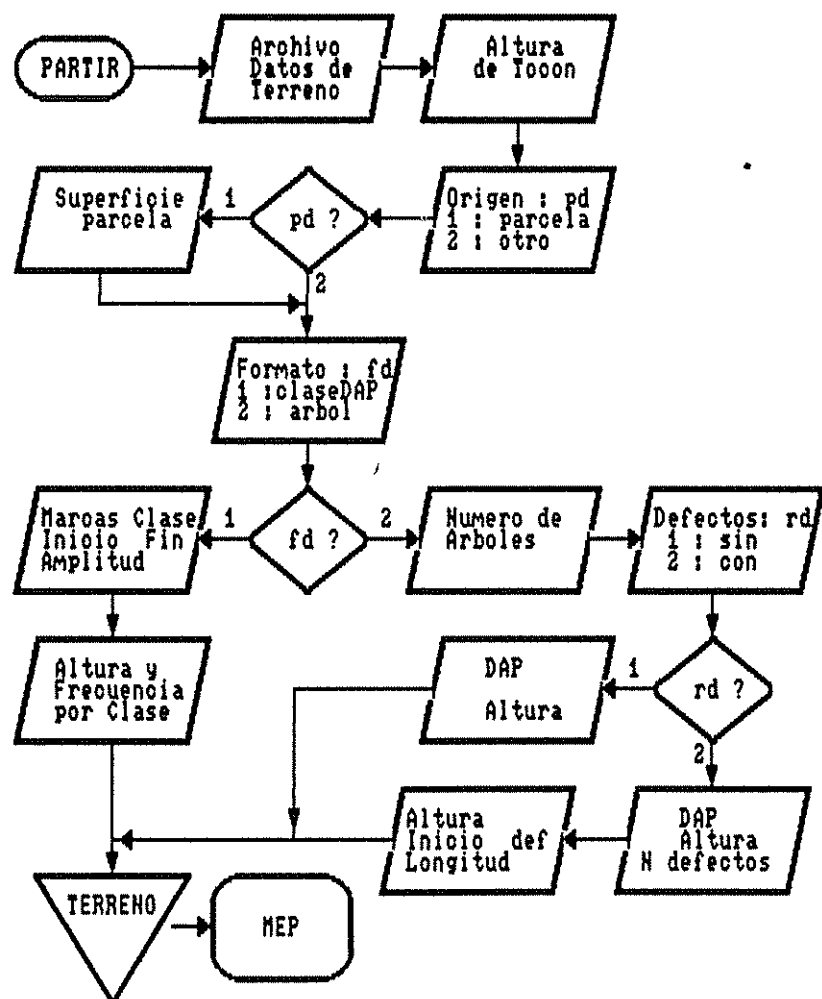


Figura E.6. Diagrama de flujo del Módulo IDT. Ingreso de datos de terreno.

APENDICE F .

RESULTADOS DEL ANALISIS DE
REGRESION Y VALIDACION DEL
MODELO DE AHUSAMIENTO

Tabla F.1.a. Coeficiente de determinación múltiple (R^2), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo ($P > F$) y de los coeficientes estimados ($P > |t|$) para la especie *Tectona grandis*, en la localidad de Santa Cruz (n=304)

Modelo	R^2	CME	$P > F$	.....		$P > |t|$		.....
				b1	b2	b3	b4	b5	
1	.9483	.00967	.0001	.0001	.0001	-	-	-	
2	.9832	.00440	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	
3	.9818	.00474	.0001	.0001	.0001	.0001	-	-	
4		.00240							
6		.00733							
8		.00235							

R^2 no ajustado por la media

Tabla F.1.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie *Tectona grandis*, en la localidad de Santa Cruz (n=304)

Modelo	b1	b2	b3	b4	b5	Ptos de unión	
	Error estandar					I1	I2
1	-2.83691	1.55193					
	.05705	.04616					
2	1.00934	-10.76422	43.14783	-61.97880	30.15465		
	.21198	1.89298	5.74403	7.07686	3.03371		
3	-.60904	.10489	.01965				
	.01193	.00590	.00045				
4	-2.15789	1.11223	244.99045			.05735	
	.03652	.02717	55.51454			.00505	
6	2.00922	-3.70092	-4.29978	6.45488		.21587	
	0	0	0	0		0	
8	-1.82759	.90887	270.03272	.62000		.05414	.50198
	.19229	.11640	68.16257	.27725		.00523	.15530

Tabla F.2.a. Coeficiente de determinación múltiple (R^2), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo ($P > F$) y de los coeficientes estimados ($P > |t|$) para la especie *Tectona grandis*, en la localidad de Nicoya ($n = 471$).

Modelo	R^2	CME	$P > F$	$P > |t|$				
				b1	b2	b3	b4	b5
1	.9127	.01874	.0001	.0001	.0001	-	-	-
2	.9717	.01006	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001
3	.9639	.01279	.0001	.0001	.0001	.0001	-	-
4		.00926						
6		.01413						
8		.00929						

R^2 no ajustado por la media

Tabla F.2.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie *Tectona grandis*, en la localidad de Nicoya ($n = 471$).

Modelo	b1	b2	b3	b4	b5	Ptos de unión	
	Error estandar					I1	I2
1	-2.77194	1.48259					
	.06444	.05315					
2	1.03601	-9.68129	39.38582	-57.20856	28.05991		
	.26182	2.26970	6.68975	8.02651	3.36349		
3	-.64908	.07102	.02073				
	.01353	.00832	.00058				
4	-1.75453	.78868	81.38855			.09602	
	.07028	.05024	14.19058			.00770	
6	4.10234	-8.11109	-7.71029	11.61418		.16243	
	0	0	0	0		0	
8	-1.54515	.65117	85.54207	.42346		.09141	.50000
	.32747	.20972	16.70099	.48698		.00907	.31885

Tabla F.3.a. Coeficiente de determinación múltiple (R^2), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo ($P > F$) y de los coeficientes estimados ($P > |t|$) para la especie *Tectona grandis*, en la localidad de Parrita ($n = 1324$).

Modelo	R^2	CME	$P > F$	$P > |t|$				
				b1	b2	b3	b4	b5
1	.8976	.01759	.0001	.0001	.0001	-	-	-
2	.9677	.00843	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001
3	.9762	.00622	.0001	.0001	.0001	.0001	-	-
4		.00473						
6		.01469						
8		.00472						

R^2 no ajustado por la media

Tabla F.3.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie *Tectona grandis*, en la localidad de Parrita ($n = 1324$).

Modelo	b1	b2	b3	b4	b5	Ptos de unión	
	Error estandar					I1	I2
1	-2.41425	1.23975					
	.03901	.03215					
2	1.38174	-14.80049	60.37581	-88.18756	42.82034		
	.13537	1.22343	3.72557	4.59261	1.96795		
3	-.60248	.06195	.02212				
	.00597	.00337	.00028				
4	-1.66303	.73309	404.05737			.05573	
	.02796	.02091	24.87146			.00131	
6	4.01750	-8.46515	-6.89913	11.35943		.15383	
	0	0	0	0		0	
8	-2.62133	1.27163	393.78235	-.60469		.05650	.84196
	1.71604	.92242	24.57184	.90758		.00140	.15421

Tabla F.4.a. Coeficiente de determinación múltiple (R^2), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo ($P > F$) y de los coeficientes estimados ($P > |t|$) para la especie *Tectona grandis*, en la localidad de Panamá 1 ($n = 43$).

Modelo	R^2	CME	$P > F$	$P > |t|$				
				b1	b2	b3	b4	b5
1	.8734	.01799	.0001	.0001	.0001	-	-	-
2	.9699	.01077	.0001	.4740	.4725	.3232	.2158	.1370
3	.9699	.01021	.0001	.0001	.5704	.0001	-	-
4		.01085						
6		.01337						
8		.00989						

R^2 no ajustado por la media

Tabla F.4.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie *Tectona grandis*, en la localidad de Panamá 1 ($n = 43$).

Modelo	b1	b2	b3	b4	b5	Ptos de unión	
	Error estandar					I1	I2
1	-1.96379	.97356					
	.19838	.16692					
2	1.42960	-10.11092	35.25410	-47.43186	21.93000		
	1.97694	13.93462	35.21956	37.68139	14.43663		
3	-.59506	.01917	.00512				
	.04004	.03350	.00058				
4	-1.08619	.34722	2658.239			.01798	
	0	0	0			0	
6	19.59305	-101.24058	-23.34434	104.33373		.07446	
	3.17539	0	3.777956	.85865		7.31345	
8	-1.30005	.45785	149.97655	-1.09096		.06535	.5
	1.34142	.88082	501.85756	1.13989		.09476	.44810

Tabla F.5.a. Coeficiente de determinación múltiple (R^2), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo ($P > F$) y de los coeficientes estimados ($P > |t|$) para la especie *Tectona grandis*, en la localidad de Panamá 2 ($n = 234$).

Modelo	R^2	CME	$P > F$	..... b1	..... b2	$P > |t|$ b3	..... b4	..... b5
1	.8419	.02268	.0001	.0001	.6263	-	-	-
2	.9720	.00982	.0001	.0016	.0117	.0038	.0008	.0001
3	.9713	.00999	.0001	.0001	.2056	.0001	-	-
4		.02271						
6		.01269						
8		.00950						

R^2 no ajustado por la media

Tabla F.5.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie *Tectona grandis*, en la localidad de Panamá 2 ($n = 234$).

Modelo	b1	b2	b3	b4	b5	Ptos de unión	
	Error estandar					I1	I2
1	-2.04028	.97130					
	.09692	.08004					
2	2.32775	-13.62287	40.44086	-51.00900	23.08135		
	.72908	5.36238	13.83149	14.94255	5.75243		
3	-.67754	-.01481	.00496				
	.01530	.01167	.00021				
4	-2.10991	1.11110	544.21213			.01755	
	0	0	0			0	
6	23.89627	-123.55114	-28.7982	127.5137		.07504	
	0	0	0	0		0	
8	-.31235	-.24005	55.95091	.48405		.10257	.56018
	.75006	.47231	17.50616	.54611		.014578	.44975

Tabla F.6.a. Coeficiente de determinación múltiple (R^2), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo ($P > F$) y de los coeficientes estimados ($P > |t|$) para la especie *Gmelina arborea*, en la localidad de Puerto Viejo, Sarapiquí (n = 528).

Modelo	R^2	CME	P > F	P > |t|				
				b1	b2	b3	b4	b5
1	.8343	.02871	.0001	.0001	.0001	-	-	-
2	.9671	.01154	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001
3	.9731	.00927	.0001	.0001	.0001	.0001	-	-
4		.00963						
6		.01786						
8		.00971						

R^2 no ajustado por la media

Tabla F.6.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie *Gmelina arborea*, en la localidad de Puerto Viejo, Sarapiquí (n = 528).

Modelo	b1		b2		b3		b4		b5		Ptos de unión	
	Error estandar		Error estandar		Error estandar		Error estandar		Error estandar		I1	I2
1	-2.49278	.07589	1.31070	.06181								
2	1.38185	.31486	-10.61209	2.50862	39.95733	6.90305	-56.94.44	7.84172	27.68678	3.14272		
3	-.65951	.00919	.04151	.00678	.00648	.00013						
4	-1.15843	.06687	.35493	.06075	565.33605	46.33807					.03942	.00137
6	8.47570	0	-23.07234	0	-13.91902	0	27.63569	0			.16816	0
8	-.97120	.34309	.22549	.22759	479.09871	46.69455	.31591	.36635			.04177	.50000
											.00156	.38027

Tabla F.7.a. Coeficiente de determinación múltiple (R^2), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo ($P > F$) y de los coeficientes estimados ($P > |t|$) para la especie *Gmelina arborea*, en la localidad de Monte Romo, Hojancha ($n = 132$).

Modelo	R^2	CME	$P > F$	$P > |t|$				
				b1	b2	b3	b4	b5
1	.9199	.01333	.0001	.0001	.0001	-	-	-
2	.9884	.00398	.0001	.0130	.0033	.0001	.0001	.0001
3	.9842	.00532	.0001	.0001	.0001	.0001	-	-
4		.00371						
6		.00758						
8		.00359						

R^2 no ajustado por la media

Tabla F.7.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie *Gmelina arborea*, en la localidad de Monte Romo, Hojancha ($n = 132$).

Modelo	b1	b2	b3	b4	b5	Ptos de unión	
	Error estandar					I1	I2
1	-2.55378 .10566	1.34483 .08558					
2	.88731 .35226	-8.55442 2.85497	35.91289 7.94531	-51.92641 9.10012	25.15001 3.67201		
3	-.68329 .01392	.08043 .01021	.00665 .00023				
4	-1.62746 .08085	.66688 .07289	772.99067 270.43825			.03068 .00770	
6	-6.57322 0	35.37506 0	-2.47200 0	-29.19395 0		.20867 0	
8	-2.60010 .56825	1.28501 .35584	46.47888 18.26740	-.89586 .44062		.11269 .02262	.67672 .11747

Tabla F.8.a. Coeficiente de determinación múltiple (R^2), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo ($P > F$) y de los coeficientes estimados ($P > |t|$) para la especie *Gmelina arborea*, en la localidad de Santa Marta, Hojancha (n = 99).

Modelo	R^2	CME	$P > F$	b1	b2	$P > |t|$ b3	b4	b5
1	.9201	.00981	.0001	.0001	.0001	-	-	-
2	.9875	.00388	.0001	.0868	.2370	.0291	.0026	.0002
3	.9879	.00365	.0001	.0001	.0009	.0001	-	-
4		.00975						
6		.00585						
8		.00373						

R^2 no ajustado por la media

Tabla F.8.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie *Gmelina arborea*, en la localidad de Santa Marta, Hojancha (n = 99).

Modelo	b1	b2	b3	b4	b5	Ptos de unión	
	Error estandar					I1	I2
1	-1.05279	.76703					
	.10332	.08383					
2	.69023	-3.82922	19.80961	-31.67080	16.23537		
	.39882	3.21781	8.94179	10.23064	4.12227		
3	-.74053	.03368	.00283				
	.01333	.00983	.00014				
4	-1.38919	.46067	105.05232			.05	
	.09465	.08752	3033.5329			.66601	
6	-3.11425	25.69022	-4.61531	-20.66083		.20165	
	0	0	0	0		0	
8	-1.39071	.44263	44.92545	-.56664		.1	.5
	.43247	.27856	300.50141	.55177		.32475	.28950

Tabla F.9.a. Coeficiente de determinación múltiple (R^2), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo ($P > F$) y de los coeficientes estimados ($P > |t|$) para la especie *Gmelina arborea*, en varias localidades de Costa Rica ($n = 220$).

Modelo	R^2	CME	$P > F$	$P > |t|$				
				b1	b2	b3	b4	b5
1	.9636	.00281	.0001	.0001	.0001	-	-	-
2	.9892	.00218	.0001	.2113	.7064	.4752	.3197	.1935
3	.9894	.00213	.0001	.0001	.0003	.0001	-	-
4		.00212						
6		.00235						
8		.00217						

R^2 no ajustado por la media

Tabla F.9.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie *Gmelina arborea*, en varias localidades de Costa Rica ($n = 220$).

Modelo	b1	b2	b3	b4	b5	Ptos de unión	
	Error estandar					I1	I2
1	-1.40817	.55002					
	.03816	.03089					
2	.56318	-1.31154	6.77797	-10.80111	5.75153		
	.44920	3.47697	9.47470	10.82936	4.34090		
3	-.56656	.01974	.02109				
	.00940	.00537	.00096				
4	-1.02079	.28170	36.99723			.10820	
	0	0	0			0	
6	9.29887	-39.15313	-10.37915	40.28379		.07698	
	0	0	0	0		0	
8	-.84894	.17233	57.28343	.45904		.08845	.5
	0	0	0	0		0	0

Tabla F.10.a. Coeficiente de determinación múltiple (R^2), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo ($P > F$) y de los coeficientes estimados ($P > |t|$) para la especie *Gmelina arborea*, en la localidad de CATIE (n = 425).

Modelo	R^2	CME	$P > F$	$P > |t|$				
				b1	b2	b3	b4	b5
1	.9460	.00658	.0001	.0001	.0001	-	-	-
2	.9852	.00314	.0001	.1245	.6579	.2097	.0103	.0001
3	.9811	.00399	.0001	.0001	.0001	.0001	-	-
4		.00419						
6		.00438						
8		.00528						

R^2 no ajustado por la media

Tabla F.10.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie *Gmelina arborea*, en la localidad de CATIE (n = 425).

Modelo	b1	b2	b3	b4	b5	Ptos de unión	
	Error estandar					I1	I2
1	-2.07427	.94184					
	.04245	.03351					
2	.23199	.58531	4.90023	-12.02861	7.54023		
	.15074	1.32102	3.90072	4.66556	1.93939		
3	-.71089	.04562	.00372				
	.00803	.00438	.00010				
4	-1.51262	.56484	8774.723			.01014	
	0	0	0			0	
6	4.60935	-8.89787	-7.04387	11.16885		.16847	
	0	0	0	0		0	
8	-.40421	.16428	-13649.6	2.63154		0	.5
	.27522	.18018	0	.23329		.17846	.03803

Tabla F.11.a. Coeficiente de determinación múltiple (R^2), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo ($P > F$) y de los coeficientes estimados ($P > |t|$) para la especie *Eucalyptus camaldulensis*, en la localidad de El Salvador ($n = 51$).

Modelo	R^2	CME	$P > F$	$P > |t|$				
				b1	b2	b3	b4	b5
1	.9242	.01353	.0001	.0001	.0001	-	-	-
2	.9775	.00906	.0001	.7744	.9049	.7150	.5694	.4379
3	.9662	.01304	.0001	.0001	.1944	.0001	-	-
4		.00927						
6		.01070						
8		.01227						

R^2 no ajustado por la media

Tabla F.11.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie *Eucalyptus camaldulensis*, en la localidad de El Salvador ($n = 51$).

Modelo	b1	b2	b3	b4	b5	Ptos de unión	
	Error estandar	Error estandar				I1	I2
1	-2.24541 .15905	1.09924 .13257					
2	.38257 1.32670	-1.27572 10.62218	10.71668 29.17361	-18.92041 33.01723	10.29300 13.15288		
3	-.70512 .04013	.03626 .02755	.00624 .00073				
4	-1.18462 0	.35089 0	9.93763 0			.20237 0	
6	12.18581 0	-55.59888 0	-14.28737 0	57.72645 0		.08219 0	
8	-.48531 .71940	-.06681 .49978	-6.56132 202.12723	2.78753 1.81920		.1 1.38480	.5 .21842

Tabla F.12.a. Coeficiente de determinación múltiple (R^2), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo ($P > F$) y de los coeficientes estimados ($P > |t|$) para la especie *Eucalyptus camaldulensis*, en la localidad de Nicaragua ($n = 384$).

Modelo	R^2	CME	$P > F$	b1	b2	$P > |t|$ b3	b4	b5
1	.9443	.00753	.0001	.0001	.0001	-	-	-
2	.9835	.00446	.0001	.0022	.1046	.0058	.0003	.0001
3	.9764	.00632	.0001	.0001	.0001	.0001	-	-
4		.00464						
6		.00551						
8		.00533						

R^2 no ajustado por la media

Tabla F.12.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie *Eucalyptus camaldulensis*, en la localidad de Nicaragua ($n = 384$).

Modelo	b1 Error estandar	b2 Error estandar	b3	b4	b5	Ptos de unión I1	I2
1	-2.02871 .04675	.95088 .03830					
2	.60509 .19633	-2.74078 1.68469	13.60397 4.89994	-21.08209 5.79114	10.80570 2.38749		
3	-.69989 .00994	.04225 .00673	.00512 .00018				
4	-1.42395 0	.52646 0	156.50141 0			.04805 0	
6	4.85660 0	-7.85490 0	-7.25922 0	10.08019 0		.13100 0	
8	-.85577 .30278	.16729 .19857	745.41616 245.04197	1.36009 .31040		.02079 .00194	.5 .07774

Tabla F.13.a. Coeficiente de determinación múltiple (R^2), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo ($P > F$) y de los coeficientes estimados ($P > |t|$) para la especie *Eucalyptus deglupta*, en la localidad de Juan Viñas, Turrialba ($n = 586$).

Modelo	R^2	CME	$P > F$	b1	b2	$P > |t|$	b4	b5
1	.9731	.00335	.0001	.0001	.0001	-	-	-
2	.9897	.00260	.0001	.5620	.0080	.7167	.2808	.0229
3	.9853	.00367	.0001	.0001	.0001	.0001	-	-
4		.00292						
6		.00310						
8		.00256						

R^2 no ajustado por la media

Tabla F.13.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie *Eucalyptus deglupta*, en la localidad de Juan Viñas, Turrialba ($n = 586$).

Modelo	b1	b2	b3	b4	b5	Ptos de unión	
	Error	estandar				I1	I2
1	-1.76461	.66221					
	.02674	.02138					
2	.06377	2.60427	-1.05691	-3.77619	3.33560		
	.10991	.97861	2.91120	3.49805	1.46244		
3	-.84401	.05754	.00481				
	.00608	.00383	.00019				
4	-1.66089	.59066	39.28915			.05	
	.03777	.03266	23.55603			.00854	
6	4.25905	-6.65083	-5.26065	7.65933		.19905	
	0	0	0	0		0	
8	-5.71555	2.86334	30.68441	-2.72901		.08965	.83149
	0	0	0	0		0	0

Tabla F.14.a. Coeficiente de determinación múltiple (R^2), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo ($P > F$) y de los coeficientes estimados ($P > |t|$) para la especie *Eucalyptus deglupta*, en la localidad de Florencia Sur 1, Turrialba ($n = 428$).

Modelo	R^2	CME	$P > F$	b1	b2	$P > |t|$ b3	b4	b5
1	.9808	.00228	.0001	.0001	.0001	-	-	-
2	.9923	.00181	.0001	.0241	.4168	.2868	.0379	.0030
3	.9865	.00315	.0001	.0001	.0001	.0001	-	-
4		.00183						
6		.00209						
8		.00172						

R^2 no ajustado por la media

Tabla F.14.b. Estimadores de los coeficientes de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie *Eucalyptus deglupta*, en la localidad de Florencia Sur 1, Turrialba ($n = 428$).

Modelo	b1	b2	b3	b4	b5	Ptos de unión	
	Error estandar					I1	I2
1	-1.91220	.79527					
	.02543	.02013					
2	.24477	.76236	2.92651	-6.78950	4.02829		
	.10810	.93797	2.74427	3.26066	1.35163		
3	-.81977	.07099	.00191				
	.00631	.00397	.00007				
4	-1.70231	.64849	74.42456			.04123	
	.03714	.03200	23.12210			.00543	
6	3.78667	-5.52343	-4.27666	6.34657		.14781	
	0	0	0	0	0		
8	-4.24689	2.08063	43.23051	-1.61462		.06370	.84287
	2.18565	1.18768	23.35015	1.17378		.01720	.06555

Tabla F.15.a. Coeficiente de determinación múltiple (R^2), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo ($P > F$) y de los coeficientes estimados ($P > |t|$) para la especie *Eucalyptus deglupta*, en la localidad de Florencia Sur 2, Turrialba ($n = 102$).

Modelo	R^2	CME	P > F	P > |t|				
				b1	b2	b3	b4	b5
1	.9422	.00770	.0001	.0001	.0001	-	-	-
2	.9878	.00373	.0001	.0751	.0342	.0008	.0001	.0001
3	.9837	.00489	.0001	.0001	.0001	.0001	-	-
4		.00366						
6		.00346						
8		.00337						

R^2 no ajustado por la media

Tabla F.15.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie *Eucalyptus deglupta*, en la localidad de Florencia Sur 2, Turrialba ($n = 102$).

Modelo	b1	b2	b3	b4	b5	Ptos de unión	
	Error estandar					I1	I2
1	-2.19020	1.05296					
	.09765	.07826					
2	.67285	-6.68334	30.85423	-45.82042	22.41081		
	.37401	3.11201	8.91666	10.50143	4.35205		
3	-.66823	.07750	.02111				
	.01712	.01139	.00118				
4	-1.67413	.68128	71.88776			.08823	
	0	0	0			0	
6	1.82501	-.98493	-378.8528	151.26783		.83475	
	0	0	0	0		0	
8	-3.15620	1.59617	49.26508	-1.45664		.11300	.66828
	0	0	0	0		0	0

Tabla F.16.a. Coeficiente de determinación múltiple (R^2), cuadrado medio residual (CME), significancia del modelo ($P > F$) y de los coeficientes estimados ($P > |t|$) para la especie *Eucalyptus deglupta*, en la localidad de El Salvador ($n = 194$).

Modelo	R^2	CME	$P > F$	$P > |t|$				
				b1	b2	b3	b4	b5
1	.9781	.00274	.0001	.0001	.0001	-	-	-
2	.9925	.00236	.0001	.2935	.5720	.6449	.3086	.1367
3	.9876	.00388	.0001	.0001	.0001	.0001	-	-
4		.00270						
6		.00249						
8		.00235						

R^2 no ajustado por la media

Tabla F.16.b. Estimadores de los coeficiente de regresión y Error estandar de los estimadores para la especie *Eucalyptus deglupta*, en la localidad de El Salvador ($n = 194$).

Modelo	b1	b2	b3	b4	b5	Ptos de unión	
	Error estandar					I1	I2
1	-1.80752	.71305					
	.03984	.032198					
2	.22633	.98416	2.23557	-5.66498	3.34460		
	.21487	1.73867	4.84278	5.54906	2.23758		
3	-.83168	.06935	.00222				
	.00985	.00723	.00014				
4	-1.77983	.68843	4.50480			.05807	
	.05497	.04961	159.11162			.90909	
6	2.61463	-1.34824	-3.81274	2.42507		.22930	
	0	0	0	0		0	
8	-4.02094	1.96715	7.33983	-1.60620		.13609	.80628
	2.15326	1.18494	4.60237	1.173941		.04810	.09207

Tabla F.17. Grados de libertad, suma de cuadrados de los desvíos (SCE) y cuadrado medio residual (CME) del modelo 3 por especie y localidad.

Especie	Localidad	gl	SCE	CME
<i>T. grandis</i>	Santa Cruz	301	1.42811099	.00474455
	Nicoya	468	5.98642786	.01279151
	Parrita	1324	8.22105528	.00622336
	Panamá 1	40	.40856812	.01021420
	Panamá 2	231	2.30875600	.00999461
<i>G. arborea</i>	Puerto Viejo	525	4.86883275	.00927397
	Monte Romo	129	.68639336	.00532088
	Santa Marta	96	.35057058	.00365178
	Varias CR	217	.46142225	.00212637
	CATIE	422	1.68525451	.00399349
<i>E. camaldulensis</i>	El Salvador	48	.62580024	.01303750
	Nicaragua	381	2.40723149	.00631819
<i>E. deglupta</i>	Juan Viñas	586	2.14932849	.00366780
	Florencia Sur 1	425	1.33858975	.00314962
	Florencia Sur 2	99	.48379693	.00488684
	El Salvador	191	.74135875	.00388146

Tabla F.18. Grados de libertad, suma de cuadrados de los desvíos (SCE) y cuadrado medio residual (CME) del modelo 3 para la especie *T. grandis*, por rango de DAP.

DAP (cm)	gl	SCE	CME
10	76	3.36008596	.04421166
15	281	8.44763250	.03006275
20	282	7.98950865	.02833159
25	241	4.77271742	.01980377
30	313	1.57915955	.00504524
35	442	1.53892083	.00348172
40	509	1.76740481	.00347231
45	192	.43871598	.00228498
50	14	.03482130	.00248724

Tabla F.19. Grados de libertad, suma de cuadrados de los desvíos (SCE) y cuadrado medio residual (CME) del modelo 3 para la especie *G. arborea*, por rango de DAP.

DAP (cm)	gl	SCE	CME
10	63	.62841625	.00997486
15	151	1.05357759	.00697734
20	222	1.78494769	.00804030
25	279	3.15556432	.01131027
30	319	1.94671316	.00610255
35	195	1.49818895	.00768302
40	102	.58080195	.00569414
45	26	.02561243	.00098509
50	15	.05565529	.00371035
55	2	.00008255	.00004128

Tabla F.20. Grados de libertad, suma de cuadrados de los desvíos (SCE) y cuadrado medio residual (CME) del modelo 3 para la especie *E. camaldulensis*, por rango de DAP.

DAP (cm)	gl	SCE	CME
5	55	.45759214	.00831986
10	142	.39874979	.00280810
15	167	.82007960	.00491066
20	60	.18537744	.00308962

Tabla F.21. Grados de libertad, suma de cuadrados de los desvíos (SCE) y cuadrado medio residual (CME) del modelo 3 para la especie *E. deglupta*, por rango de DAP.

DAP (cm)	gl	SCE	CME
10	51	.22679721	.00444700
15	213	.56234558	.00264012
20	352	1.67215715	.00475045
25	318	1.31339314	.00413017
30	201	.94346202	.00469384
35	17	.05696167	.00335069
45	18	.02736283	.00152016
50	31	.34611088	.01116487
55	16	.00792655	.00049541
60	31	.05600979	.00180677
65	11	.01188383	.00108035
75	18	.03460546	.00192253

Tabla F.22. Estadísticas^e de la validación del modelo 3 para la especie *T. grandis*.

Datos ^o		Variable		n	PVE	SEE	SESGO	P>|t|
Ajuste	Valida	media						
TS	TS	Y ²	.27	304	97	.02478	-.0046	.2408
		DSC	12.74	304	98	.71633	-.0141	.8901
		VOL	.6072	25	68	.06446	-.0111	.0504
	TS1	Y ²	.27	71	98	.05232	-.0029	.6823
		DSC	12.66	71	98	1.50074	.2027	.3311
		VOL	.5990	6	100	.12789	-.0111	.1484
TN	TN	Y ²	.37	471	94	.02133	-.0072	.1655
		DSC	11.39	471	97	.43461	-.5715	.0001
		VOL	.2968	39	96	.04719	-.0192	.0178
	TN1	Y ²	.35	127	95	.04059	-.0229	.0128
		DSC	11.41	127	96	.83552	-.9070	.0001
		VOL	.3014	10	91	.09018	-.0353	.0873
TP	TP	Y ²	.30	1323	96	.01139	-.0045	.0360
		DSC	14.65	1323	97	.33213	-.6382	.0001
		VOL	.7286	112	97	.04981	-.0150	.0425
	TP1	Y ²	.30	329	97	.02310	-.0029	.4899
		DSC	14.43	329	97	.66218	-.4988	.0001
		VOL	.7167	28	98	.09400	-.0053	.6941
TPA1	TPA1	Y ²	.42	43	93	.05679	-.0007	.9614
		DSC	7.03	43	95	.67151	-.1572	.2761
		VOL	.0577	8	68	.01009	.0056	.6337
	TPA11	Y ²	.50	22	93	.08521	.0567	.0065
		DSC	7.72	22	96	.97091	.4211	.0169
		VOL	.0717	4	76	.01257	.0156	.0545

(continúa...)

$$e \quad \text{SEE} = [\text{SCE}/(n-p+1)]^{1/2}$$

$$\text{Sesgo} = \sum_{i=1}^n e_i / n$$

$$\text{PVE} = 100(\text{SET}-\text{SCE})/\text{SET}$$

SCE : suma de cuadrados del error SET : suma de cuadrados total e_i : desvíos

^o [Datos para ajuste y validación interna / datos para validación externa]

Localidades:

[TS/TS1]: Santa Cruz

[TN/TN1]: Nicoya

[TP/TP1]: Parrita

[TPA1/TPA11]: Panamá !

Tabla F.22. Estadísticas^e (...continuación)

Datos ^o		Variable						
Ajuste	Valida	media	n	PVE	SEE	SESGO	P>|t|	
TPA2	TPA2	Y ²	.44	234	93	.02471	-.0006	.9272
		DSC	10.24	234	96	.37454	-.0591	.4098
		VOL	.1556	34	85	.01004	.0121	.0051
	TPA21	Y ²	.46	49	93	.05226	.0075	.5990
		DSC	10.24	49	96	.79110	.0804	.5999
		VOL	.1540	7	43	.01681	.0102	.2548
T1	T1	Y ²	.33	2377	87	.00874	-.0183	.0001
		DSC	13.98	2377	92	.21501	-1.2707	.0001
		VOL	.5234	218	94	.03675	-.0761	.0001
	T11	Y ²	.33	598	87	.01750	-.0180	.0034
		DSC	13.75	598	92	.42292	-1.1828	.0001
		VOL	.5098	55	95	.06913	-.0718	.0001
	TS	Y ²	.27	304	91	.02478	-.0212	.0035
		DSC	15.13	304	87	.60610	-2.4084	.0001
		VOL	.6072	25	92	.07245	-.0904	.0001
	TN	Y ²	.37	471	87	.02133	.0102	.1753
		DSC	11.53	471	92	.39833	-.7128	.0001
		VOL	.2968	39	94	.04989	-.0385	.0005
	TP	Y ²	.30	1323	90	.01139	-.0046	.2095
		DSC	15.27	1323	93	.31034	-1.2522	.0001
		VOL	.7285	112	92	.05589	-.1108	.0001
	TPA1	Y ²	.42	43	52	.05679	-.1617	.0001
		DSC	8.15	43	86	.81283	-1.2756	.0001
		VOL	.0577	8	46	.01301	-.0130	.1544
	TPA2	Y ²	.45	234	62	.02471	-.1160	.0001
		DSC	11.17	234	91	.45519	-.9874	.0001
		VOL	.1556	34	86	.01155	-.0093	.0252

(continúa...)

^e
$$\text{Sesgo} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n}$$

$$\text{SEE} = [\text{SCE}/(n-p+C-1)]^{1/2}$$

$$\text{PVE} = 100(\text{SCT}-\text{SCE})/\text{SCT}$$
SCE : suma de cuadrados del error SCT : suma de cuadrados total e_i : desvíos

^o [Datos para ajuste y validación interna / datos para validación externa]

Localidades:

[TS/TS1]: Santa Cruz

[TN/TN1]: Nicoya

[TP/TP1]: Parrita

[TPA1/TPA11]: Panamá 1

[TPA2/TPA21]: Panamá 2

Agrupación: [T1/T11]: Todas

Tabla F.22. Estadísticas^E (...continuación)

Datos ^D		Variable		n	PVE	SEE	SESGO	P>|t|
Ajuste	Valida	media						
T2	T2	Y ²	.31	2100	96	.00938	-.0051	.0080
		DSC	13.71	2100	97	.25468	-.5935	.0001
		VOL	.6156	176	98	.03733	-.0190	.0003
	T21	Y ²	.31	527	96	.01879	-.0070	.0495
		DSC	13.51	527	97	.50348	-.5526	.0001
		VOL	.6063	44	98	.06980	-.0159	.0966
	TS	Y ²	.27	304	97	.02478	-.0271	.0001
		DSC	14.37	304	96	.67812	-1.6509	.0001
		VOL	.6072	25	99	.06566	.0224	.0003
	TN	Y ²	.37	471	94	.02133	.0050	.3434
		DSC	11.12	471	97	.43247	-.3011	.0001
		VOL	.2968	39	98	.04517	-.0055	.3676
TP	Y ²	.30	1324	96	.01140	-.0033	.1301	
	DSC	14.46	1324	97	.33561	-.4483	.0001	
	VOL	.7296	112	97	.05031	-.0228	.0033	
T3	T3	Y ²	.33	775	95	.01630	-.0062	.0818
		DSC	12.15	775	97	.38469	-.5779	.0001
		VOL	.4181	64	98	.04322	-.0208	.0001
	T31	Y ²	.32	198	96	.03213	-.0147	.0218
		DSC	12.04	198	97	.75572	-.6907	.0001
		VOL	.4130	16	97	.08103	-.0300	.0116
	TS	Y ²	.27	304	97	.02478	-.0231	.0001
		DSC	13.97	304	97	.69219	-1.2509	.0001
		VOL	.6072	25	98	.06695	-.0351	.0001
	TN	Y ²	.37	471	94	.02133	.0047	.3756
		DSC	10.97	471	97	.44055	-.1436	.0547
		VOL	.2968	39	97	.04606	-.0116	.0950

(continúa...)

^E
$$\text{Sesgo} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n}$$

$$\text{SEE} = [\text{SCE}/(n-p+1)]^{1/2}$$

$$\text{PVE} = 100(\text{SCT}-\text{SCE})/\text{SCT}$$
 SCE : suma de cuadrados del error SCT : suma de cuadrados total e_i : desvíos

^D [Datos para ajuste y validación interna / datos para validación externa]

Localidades: [TS/TS1]: Santa Cruz [TN/TN1]: Nicoya [TP/TP1]: Parrita

Agrupaciones: [T2/T21]: TS, TN, TP [T3/T31]: TS, TN

Tabla F.22. Estadísticas^e (...continuación)

Datos ^p		Variable		n	PVE	SEE	SESGO	P>|t|
Ajuste	Valida	media						
T4	T4	Y ²	.45	277	93	.02262	-.0004	.9444
		DSC	9.73	277	96	.33809	-.0552	.4017
		VOL	.1370	42	83	.00965	.0103	.0069
	T41	Y ²	.47	71	93	.04439	.0176	.1170
		DSC	9.50	71	96	.63210	.1470	.2093
		VOL	.1241	11	86	.01594	.0093	.1064
	TPA1	Y ²	.42	43	92	.05679	-.0308	.0497
		DSC	7.33	43	94	.68364	-.4487	.0057
		VOL	.0577	8	65	.01120	.0032	.6335
TPA2	Y ²	.45	234	93	.02471	.0051	.4286	
	DSC	10.17	234	96	.37339	.0171	.8109	
	VOL	.1556	34	78	.00994	.0135	.0021	

$${}^e \text{ SEE} = [\text{SCE}/(n-p+C-1)]^{1/2}$$

$$\text{Sesgo} = \sum_{i=1}^n e_i / n$$

$$\text{PVE} = 100(\text{SCT}-\text{SCE})/\text{SCT}$$

SCE : suma de cuadrados del error SCT : suma de cuadrados total e_i : desvíos

^p [Datos para ajuste y validación interna / datos para validación externa]

Localidades: [TPA1/TPA11]: Panamá 1 [TPA2/TPA21]: Panamá 2

Agrupación: [T4/T41]: TPA1, TPA2

Tabla F.23. Estadísticas^e de la validación del modelo 3 para la especie *G. arborea*.

Datos ^o		Variable		n	PVE	SEE	SESGO	P>|t|
Ajuste	Valida	media						
MP	MP	Y ²	.41	528	95	.01823	-.0053	.2022
		DSC	12.78	528	97	.37709	-.3573	.0001
		VOL	.3636	48	97	.03302	.0136	.0135
	MP1	Y ²	.44	131	79	.04280	.0229	.2412
		DSC	12.97	131	88	.75697	-.0973	.7065
		VOL	.3781	12	83	.06154	.0382	.1713
MR	MR	Y ²	.41	132	97	.03536	-.0064	.3085
		DSC	17.11	132	97	.92392	-.4427	.0017
		VOL	.5214	12	97	.05509	.0157	.0571
	MR1	Y ²	.42	33	97	.07232	.0000	.9978
		DSC	17.36	33	98	1.86553	-.0949	.7217
		VOL	.5500	3	66	.06813	.0341	.1860
MM	MM	Y ²	.42	99	97	.03505	-.0028	.6452
		DSC	18.33	99	97	.99953	-.2998	.0664
		VOL	.8537	9	95	.09320	.0276	.1920
	MM1	Y ²	.42	22	97	.08206	-.0029	.8403
		DSC	18.42	22	98	2.07579	-.4402	.1520
		VOL	.8445	2	80	.07487	.0180	.5031
MC	MC	Y ²	.35	220	97	.01868	-.0003	.9218
		DSC	18.06	220	98	.79257	-.1553	.1371
		VOL	.8928	40	96	.08595	.0085	.6324
	MC1	Y ²	.36	36	96	.04812	.0207	.0199
		DSC	17.17	36	98	1.91575	.5494	.0327
		VOL	.8862	7	96	.18013	.0739	.0197

(continúa...)

$$e \quad \text{Sesgo} = \sum_{i=1}^n e_i / n \quad \text{SEE} = [\text{SCE}/(n-p+C-1)]^{1/2}$$

$$\text{PVE} = 100(\text{SCT}-\text{SCE})/\text{SCT}$$

SCE : suma de cuadrados del error SCT : suma de cuadrados total e_i : desvíos

^o [Datos para ajuste y validación interna / datos para validación externa]

Localidades:

[MP/MP1]: Puerto Viejo

[MR/MR1]: Monte Romo

[MM/MM1]: Santa Marta

[MC/MC1]: Varias CR

Tabla F.23. Estadísticas^e (...continuación)

Datos ^o		Variable		n	PVE	SEE	SESGO	P>|t|
Ajuste	Valida	media						
MCC	MCC	Y ²	.30	425	97	.01691	-.0031	.3063
		DSC	11.16	425	96	.40181	-.4619	.0001
		VOL	.4438	36	97	.04738	.0294	.0001
MCC1	MCC1	Y ²	.32	114	97	.03430	.0062	.2475
		DSC	11.43	114	97	.78804	-.2002	.1527
		VOL	.4799	10	93	.07732	.0579	.0040
G1	G1	Y ²	.37	1404	94	.01002	-.0063	.0114
		DSC	14.04	1404	96	.25995	-.4800	.0001
		VOL	.4799	145	93	.03800	-.0061	.4169
G11	G11	Y ²	.39	336	93	.02287	.0119	.1580
		DSC	13.77	336	94	.51336	-.1723	.1629
		VOL	.5552	34	95	.06184	.0344	.0076
MP	MP	Y ²	.41	528	93	.01823	-.0012	.7931
		DSC	12.84	528	97	.36622	-.4189	.0001
		VOL	.3636	48	97	.03401	.0031	.5650
MR	MR	Y ²	.41	132	95	.03536	.0084	.3037
		DSC	17.26	132	95	.83713	-.5969	.0018
		VOL	.5214	12	97	.05473	.0181	.0314
MM	MM	Y ²	.42	99	89	.03505	-.0141	.2262
		DSC	18.21	99	96	1.08067	-.1751	.4148
		VOL	.8537	9	89	.08874	.0201	.0100
MC	MC	Y ²	.35	220	93	.01868	-.0126	.0082
		DSC	18.49	220	97	.78560	-.5811	.0001
		VOL	.8928	40	92	.09423	-.0795	.0004
MCC	MCC	Y ²	.30	425	95	.01691	-.0122	.0012
		DSC	11.24	425	96	.41530	-.5384	.0001
		VOL	.4437	36	96	.04656	.0368	.0001

(continúa...)

$${}^e \text{ Sesgo} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n} \quad \text{SEE} = [\text{SCE}/(n-p+C-1)]^{1/2}$$

$$\text{SCE} = \sum_{i=1}^n e_i^2$$

$$\text{PVE} = 100(\text{SCT}-\text{SCE})/\text{SCT}$$

SCE : suma de cuadrados del error SCT : suma de cuadrados total e_i : desvíos

^o [Datos para ajuste y validación interna / datos para validación externa]

Localidades:

[MP/MP1]: Puerto Viejo

[MR/MR1]: Monte Roto

[MM/MM1]: Santa Marta

[MC/MC1]: Varias CR

[MCC/MCC1]: CATIE

Agrupación:

[G1/G11]: Todas

Tabla F.23. Estadísticas^ε (...continuación)

Datos ^ρ		Variable	media	n	PVE	SEE	SESGO	P>|t|	
Ajuste	Valida								
G2	G2	Y ²	.41	231	94	.02513	-.0082	.1952	
		DSC	17.83	231	96	.66770	-.5821	.0001	
		VOL	.6638	21	97	.05976	.0105	.3117	
	G21	Y ²	.42	55	95	.05391	-.0019	.8714	
		DSC	17.97	55	97	1.34461	-.4178	.0719	
		VOL	.6678	5	96	.08338	.0167	.2520	
	MR	Y ²	.41	132	93	.03536	.0011	.9069	
		DSC	17.45	132	94	.84745	-.7892	.0001	
		VOL	.5214	12	97	.05720	-.0053	.5329	
	MM	Y ²	.42	99	94	.03505	-.0178	.0387	
		DSC	18.34	99	97	1.07556	-.3059	.0953	
		VOL	.8537	9	95	.09276	.0316	.1415	
	G3	G3	Y ²	.36	1173	94	.01092	-.0059	.0272
			DSC	13.29	1173	97	.27691	-.4607	.0001
			VOL	.5576	124	96	.04285	-.0068	.3980
G31		Y ²	.38	281	85	.02526	.0146	.1376	
		DSC	12.95	281	93	.54281	-.1282	.3623	
		VOL	.5358	29	95	.07019	.0386	.0100	
MP		Y ²	.41	528	94	.01823	.0004	.9274	
		DSC	12.81	528	97	.36611	-.3861	.0001	
		VOL	.3636	48	97	.03362	.0073	.1785	
MC		Y ²	.35	220	94	.01868	-.0082	.0798	
		DSC	18.39	220	97	.78011	-.4809	.0007	
		VOL	.8928	40	93	.09304	-.0672	.0018	
MCC		Y ²	.30	425	94	.01691	-.0125	.0018	
		DSC	11.25	425	96	.41600	-.5428	.0001	
		VOL	.4437	36	96	.04603	.0414	.0001	

(continúa...)

$$\text{Sesgo} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n}$$

$$\text{SEE} = [\text{SCE}/(n-p-C-1)]^{1/2}$$

$$\text{PVE} = 100(\text{SCT}-\text{SCE})/\text{SCT}$$

SCE : suma de cuadrados del error SCT : suma de cuadrados total e_i : desvíos

^ρ [Datos para ajuste y validación interna / datos para validación externa]

Localidades:

[MP/MF1]: Puerto Viejo

[MR/MR1]: Monte Romo

[MM/MM1]: Santa Marta

[MC/MC1]: Varias CR

[MCC/MCC1]: CATIE

Agrupaciones:

[G2/G21]: MR, MM

[G3/G31]: MP, MC, MCC

Tabla F.23. Estadísticas^e (...continuación)

Datos ^p		Variable		n	PVE	SEE	SESGO	P>|t|
Ajuste	Valida		media					
G4	G4	Y ²	.41	758	93	.01482	-.0066	.0797
		DSC	14.32	758	97	.34237	-.4313	.0001
		VOL	.4549	69	97	.03257	.01532	.0059
G41	G41	Y ²	.44	186	82	.03403	.0150	.2981
		DSC	14.46	186	92	.68348	-.2053	.2928
		VOL	.4633	17	89	.05799	.0344	.0812
MP	MP	Y ²	.41	528	94	.01823	-.0066	.1266
		DSC	12.86	528	97	.37358	-.4334	.0001
		VOL	.3636	48	97	.03391	.0042	.4406
MR	MR	Y ²	.41	132	96	.03536	.0043	.5488
		DSC	17.27	132	95	.85499	-.5996	.0008
		VOL	.5214	12	97	.05459	.0197	.0206
MM	MM	Y ²	.42	99	83	.03505	-.0221	.1263
		DSC	18.25	99	95	1.11188	-.2203	.3638
		VOL	.8537	9	89	.08851	.0694	.0087

$$SEE = [SCE / (n - p + (-1))]^{1/2}$$

$$\text{Sesgo} = \sum_{i=1}^n e_i / n$$

$$PVE = 100(SCT - SCE) / SCT$$

SCE : suma de cuadrados del error SCT : suma de cuadrados total e_i : desvíos

^p [Datos para ajuste y validación interna / datos para validación externa]

Localidades: [MP/MP1]: Puerto Viejo [MR/MR1]: Monte Romo [MM/MM1]: Santa Marta

Agrupación: [G4/G41]: MP, MR, MM

Tabla F.24. Estadísticas^e de la validación del modelo 3 para la especie *E. camaldulensis*:

Datos ^o		Variable		n	PVE	SEE	SESGO	P>|t|
Ajuste	Valida	media						
CS	CS	Y ²	.44	51	93	.05858	-.0057	.7147
		DSC	6.18	51	97	.61729	-.2294	.0353
		VOL	.0446	9	97	.01221	.0012	.5569
	CS1	Y ²	.43	11	93	.12108	-.0548	.0576
		DSC	6.86	11	95	1.43146	-.6252	.0401
		VOL	.0474	2	91	.02980	-.0044	.5950
CN	CN	Y ²	.36	384	95	.01873	-.0049	.2212
		DSC	6.83	384	98	.25256	-.2258	.0001
		VOL	.0727	46	97	.00825	.0007	.5745
	CN1	Y ²	.37	85	97	.03897	.0005	.9461
		DSC	6.96	85	98	.54119	-.0325	.6899
		VOL	.0808	10	96	.01750	.0054	.1392
C1	C1	Y ²	.37	436	95	.01788	-.0052	.1961
		DSC	6.77	436	98	.23426	-.2330	.0001
		VOL	.0681	55	97	.00731	.0007	.5190
	C11	Y ²	.37	96	96	.03701	-.0058	.4048
		DSC	6.95	96	97	.50433	-.1062	.1816
		VOL	.0752	12	96	.01519	.0037	.2415
	CS	Y ²	.44	51	92	.05858	.0097	.5545
		DSC	6.08	51	97	.60320	-.1342	.1984
		VOL	.0446	9	97	.01205	.0018	.3803
	CN	Y ²	.36	384	95	.01873	-.0071	.0788
		DSC	6.85	384	98	.25339	-.2450	.0001
		VOL	.0727	46	97	.00828	.0005	.6895

^e
$$\text{Sesgo} = \sum_{i=1}^n e_i / n$$

$$\text{SEE} = [\text{SCE}/(n-p+1)]^{1/2}$$

$$\text{PVE} = 100(\text{SCT}-\text{SCE})/\text{SCT}$$
 SCE : suma de cuadrados del error SCT : suma de cuadrados total e_i : desvíos

^o [Datos para ajuste y validación interna / datos para validación externa]

Localidades: [CS/CS1]: El Salvador [CN/CN1]: Nicaragua

Agrupación: [C1/C11]: CS, CN

Tabla F.25. Estadísticas^e de la validación del modelo 3 para la especie *E. deglupta*.

Datos ^p		Variable	media	n	PVE	SEE	SESGO	P>|t|
Ajuste	Valida							
DJ	DJ	Y ²	.35	589	97	.01453	-.0067	.0071
		DSC	12.10	589	96	.31807	-.4746	.0001
		VOL	.4253	53	95	.02278	.0006	.9074
DJ1	DJ1	Y ²	.38	123	97	.03310	.0015	.8018
		DSC	12.33	123	97	.70956	-.2945	.0071
		VOL	.4480	11	97	.05746	.0115	.1733
DF1	DF1	Y ²	.34	428	97	.01666	-.0057	.0346
		DSC	11.88	428	98	.44631	-.4092	.0001
		VOL	.6157	29	99	.15175	-.0119	.4477
DF11	DF11	Y ²	.31	101	96	.03229	-.0178	.0029
		DSC	11.67	101	96	.78624	-.6651	.0001
		VOL	.5158	6	99	.17321	-.0043	.8071
DF2	DF2	Y ²	.40	102	96	.03597	-.0042	.5443
		DSC	34.19	102	97	1.99412	-.8424	.0068
		VOL	4.2037	6	84	.58007	-.0788	.6779
DS	DS	Y ²	.43	194	97	.02536	-.0060	.1746
		DSC	11.41	194	98	.50976	-.2759	.0001
		VOL	.2809	17	99	.04823	-.0001	.9828
DS1	DS1	Y ²	.41	51	98	.04848	-.0167	.0164
		DSC	11.36	51	99	.94842	-.3819	.0003
		VOL	.2989	4	99	.07806	-.0017	.7896

(continúa...)

$${}^e \text{ Sesgo} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n} \quad \text{SEE} = [\text{SCE}/(n-p+C-1)]^{1/2}$$

$$\text{SCE} = \sum_{i=1}^n e_i^2$$

$$\text{PVE} = 100(\text{SCT}-\text{SCE})/\text{SCT}$$

SCE : suma de cuadrados del error SCT : suma de cuadrados total e_i : desvíos

^p [Datos para ajuste y validación interna / datos para validación externa]

Localidades:

[DJ/DJ1]: Juan Viñas

[DF1/DF11]: Florencia Sur 1

[DF2/DF21]: Florencia Sur 2

[DS/DS1]: El Salvador

Tabla F.25. Estadísticas^e (...continuación)

Datos ^p		Variable	media	n	PVE	SEE	SESGO	P>|t|
Ajuste	Valida							
D1	D1	Y ²	.36	1313	95	.00971	-.0101	.0001
		DSC	13.89	1313	96	.31593	-.6981	.0001
		VOL	.6705	105	96	.11483	-.0453	.0229
D11	D11	Y ²	.36	275	95	.02105	-.0114	.0103
		DSC	12.00	275	96	.45981	-.5414	.0001
		VOL	.4390	21	98	.06057	-.0012	.8800
DJ	DJ	Y ²	.35	589	96	.01453	.0049	.1054
		DSC	11.93	589	96	.31197	-.3037	.0001
		VOL	.4253	53	95	.02263	.0034	.4838
DF1	DF1	Y ²	.34	428	97	.01666	-.0237	.0001
		DSC	12.28	428	97	.45281	-.8022	.0001
		VOL	.6157	29	97	.15786	-.0371	.0842
DF2	DF2	Y ²	.40	102	87	.03597	-.0295	.0219
		DSC	36.37	102	90	1.84484	-3.0275	.0001
		VOL	4.2037	6	36	.64441	-.6236	.0432
DS	DS	Y ²	.43	194	97	.02536	-.0153	.0006
		DSC	11.58	194	98	.51010	-.4409	.0001
		VOL	.2809	17	98	.04934	-.0066	.2606

(continúa...)

^e
$$\text{Sesgo} = \sum_{i=1}^n e_i / n$$

$$\text{SEE} = [\text{SCE}/(n-p+C-1)]^{1/2}$$

$$\text{PVE} = 100(\text{SCT}-\text{SCE})/\text{SCT}$$
SCE : suma de cuadrados del error SCT : suma de cuadrados total e_i : desvíos

^p [Datos para ajuste y validación interna / datos para validación externa]

Localidades:

[DJ/DJ1]: Juan Viñas [DF1/DF11]: Florencia Sur 1 [DF2/DF21]: Florencia Sur 2 [DS/DS1]: El Salvador

Agrupación: [D1/D11]: Todas

Tabla F.25. Estadísticas^e (...continuación)

Datos ^a		Variable		n	PVE	SEE	SESGO	P>|t|
Ajuste	Valida		media					
D2	D2	Y ²	.35	1119	95	.01048	-.0108	.0001
		DSC	14.33	1119	96	.35915	-.7827	.0001
		VOL	.7457	88	95	.13559	-.0560	.0208
D21	D21	Y ²	.35	224	95	.02335	-.0097	.0620
		DSC	12.15	224	96	.52276	-.5737	.0001
		VOL	.4719	17	98	.07115	-.0014	.8887
DJ	DJ	Y ²	.35	589	96	.01453	.0033	.2677
		DSC	11.97	589	96	.31216	-.3383	.0001
		VOL	.4253	53	95	.02272	.0016	.7338
DF1	DF1	Y ²	.34	428	97	.01666	-.0253	.0001
		DSC	12.31	428	97	.45329	-.8385	.0001
		VOL	.6157	29	97	.15850	-.0398	.0725
DF2	DF2	Y ²	.40	102	87	.03597	-.0312	.0151
		DSC	36.46	102	90	1.84561	-3.1149	.0001
		VOL	4.2037	6	33	.64703	-.6433	.0404

^e
$$\text{Sesgo} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n}$$

$$\text{SEE} = [\text{SCE}/(n-p+1)]^{1/2}$$

$$\text{PVE} = 100(\text{SCT}-\text{SCE})/\text{SCT}$$
SCE : suma de cuadrados del error SCT : suma de cuadrados total e_i : desvíos

^a [Datos para ajuste y validación interna / datos para validación externa]

Localidades:

[DJ/DJ1]: Juan Viñas [DF1/DF11]: Florencia Sur 1 [DF2/DF21]: Florencia Sur 2

Agrupación: [D2/D21]: DJ, DF1, DF2

Tabla F.26. Estadísticas^e de la validación interna del modelo 3 para la especie *T. grandis*, por clase de DAP.

DAP(cm)	Variable	media	n	PVE	SEE	SESGO	P>|t|
10	Y2	.52	79	83	.05689	-.0311	.1822
	DSC	7.20	79	89	.47702	-.5131	.0007
	VOL	.0480	14	--	.00403	-.0101	.0007
15	Y2	.44	284	83	.02510	-.0213	.0368
	DSC	9.25	284	89	.30450	-.5619	.0001
	VOL	.1067	42	59	.00497	-.0097	.0004
20	Y2	.43	285	86	.02659	-.0240	.0152
	DSC	11.54	285	90	.39731	-.7749	.0001
	VOL	.1995	35	100	.01058	-.0229	.0001
25	Y2	.36	244	90	.02794	-.0177	.0478
	DSC	12.71	244	93	.56131	-.9579	.0001
	VOL	.3162	25	22	.01317	-.0403	.0001
30	Y2	.31	315	97	.02345	-.0038	.3398
	DSC	13.03	315	98	.58493	-.3197	.0003
	VOL	.5275	29	82	.01483	.0127	.0896
35	Y2	.27	445	98	.01968	-.0021	.4503
	DSC	13.70	445	98	.57404	-.2030	.0170
	VOL	.8123	32	82	.02262	.0311	.0022
40	Y2	.25	512	98	.01699	-.0031	.2272
	DSC	15.41	512	91	.55073	-.3384	.0383
	VOL	1.1874	29	75	.03382	.0450	.0236
45	Y2	.26	195	99	.02811	-.0004	.9075
	DSC	17.42	195	98	1.02300	-.5713	.0001
	VOL	1.5187	11	33	.03662	.0910	.0196
50	Y2	.32	17	99	.12239	.0033	.7755
	DSC	20.05	17	99	4.54887	-.0699	.8879
	VOL	1.8949	1	--	---	.1936	---

e

$$\text{Sesgo} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n}$$

$$\text{SEE} = \{ \text{SCE} / (n-p+1) \}^{1/2}$$

$$\text{PVE} = 100(\text{SCT}-\text{SCE})/\text{SCT}$$

SCE : suma de cuadrados del error

SCT : suma de cuadrados total

 e_i : desvíos

Tabla F.27. Estadísticas^e de la validación externa del modelo 3 para la especie *T. grandis*, por clase de DAP.

DAP(cm)	Variable	media	n	PVE	SEE	SESGO	P>|t|
10	Y ²	.52	5	77	.17646	-.1390	.0462
	DSC	8.18	5	94	2.24070	-.9161	.0334
	VOL	.0568	1	--	---	-.0156	---
15	Y ²	.46	87	86	.04731	.0087	.6256
	DSC	9.09	87	88	.53534	-.2841	.1194
	VOL	.1884	12	70	.00842	-.0045	.3554
20	Y ²	.41	79	82	.01990	-.0538	.0084
	DSC	11.34	79	88	.72137	-1.1891	.0001
	VOL	.1863	9	--	.01269	-.0343	.0044
25	Y ²	.38	73	92	.05614	.0073	.6412
	DSC	12.74	73	94	1.07852	-.6502	.0114
	VOL	.3493	8	87	.04339	-.0188	.1752
30	Y ²	.27	79	97	.04386	-.0088	.2027
	DSC	12.31	79	98	1.15629	-.5246	.0012
	VOL	.5229	7	91	.03842	.0001	.9943
35	Y ²	.28	120	98	.03925	-.0052	.3799
	DSC	13.95	120	98	1.11746	-.4617	.0050
	VOL	.7460	9	84	.03741	.0082	.6695
40	Y ²	.26	120	97	.03562	.0059	.2944
	DSC	15.55	120	97	1.74466	.0689	.7232
	VOL	1.2656	7	74	.07688	.0734	.0781
45	Y ²	.26	35	99	.06405	-.0003	.9633
	DSC	17.88	35	98	2.39272	-.5866	.0752
	VOL	1.4893	2	86	.14525	.0536	.4439

$$SESGO = \sum_{i=1}^n e_i / n$$

$$SEE = [SCE / (n-p+1)]^{1/2}$$

$$PVE = 100(SCT-SCE) / SCT$$
 SCE : suma de cuadrados del error SCT : suma de cuadrados total e_i : desvíos

Tabla F.28. Estadísticas^E de la validación interna del modelo 3 para la especie *G. arborea*, por clase de DAP.

DAP(cm)	Variable	media	n	PVE	SEE	SESGO	P>|t|
10	Y ²	.41	66	94	.05017	-.0035	.7754
	DSC	6.41	66	96	.44034	-.1008	.2276
	VOL	.0630	6	73	.00559	.0042	.0996
15	Y ²	.37	154	95	.02990	-.0033	.6169
	DSC	7.93	154	98	.36250	-.0871	.1082
	VOL	.1260	14	87	.00968	.0075	.0277
20	Y ²	.37	225	95	.02581	-.0030	.6154
	DSC	10.54	225	96	.41244	-.1782	.0213
	VOL	.2362	23	65	.00945	.0152	.0339
25	Y ²	.36	282	93	.02381	-.0040	.5199
	DSC	12.75	282	96	.46598	-.2836	.0013
	VOL	.4041	27	74	.01293	.0264	.0002
30	Y ²	.37	322	96	.02078	-.0069	.1140
	DSC	15.75	322	97	.51996	-.4100	.0001
	VOL	.5708	33	64	.01788	.0097	.4010
35	Y ²	.35	198	94	.02636	-.0088	.1547
	DSC	17.79	198	96	.75653	-.6240	.0001
	VOL	.8154	20	77	.02722	.0226	.1657
40	Y ²	.34	105	95	.03181	-.0087	.2339
	DSC	20.14	105	97	1.15192	-.8199	.0016
	VOL	1.1457	13	52	.03698	-.0255	.4590
45	Y ²	.32	29	99	.05299	-.0004	.9477
	DSC	22.06	29	99	2.50049	-.1205	.6455
	VOL	1.5145	5	57	.05961	.0850	.1644
50	Y ²	.33	18	96	.07159	-.0011	.9347
	DSC	24.03	18	97	3.49713	-.2496	.6685
	VOL	1.7060	3	60	.09048	.0738	.6071
55	Y ²	.31	5	100	.15294	.0000	.9817
	DSC	26.01	5	100	8.81366	-.0139	.9144
	VOL	1.8691	1	--	---	.1695	---

$$e \quad \text{Seego} = \sum_{i=1}^n e_i \cdot n$$

$$\text{SEE} = [\text{SCE}/(n-p+C-1)]^{1/2}$$

$$\text{PVE} = 100(\text{SCT}-\text{SCE})/\text{SCT}$$

SCE : suma de cuadrados del error

SCT : suma de cuadrados total

e_i : desvíos

Tabla F.29. Estadísticas^e de la validación externa del modelo 3 para la especie *G. arborea*, por clase de DAP.

DAP(cm)	Variable	media	n	PVE	SEE	SESGO	P>|t|
10	Y ²	.47	10	97	.13950	.0544	.0019
	DSC	6.25	10	97	1.26890	.5224	.0012
	VOL	.0757	1	--	---	.0155	---
15	Y ²	.48	36	78	.08969	.0908	.0263
	DSC	7.92	36	89	.74708	.7303	.0018
	VOL	.1473	3	33	.02492	.0360	.0961
20	Y ²	.34	73	92	.04101	-.0344	.0019
	DSC	10.70	73	94	.71915	-.7112	.0001
	VOL	.2394	7	81	.02173	.0055	.6190
25	Y ²	.35	44	69	.05844	-.0100	.7599
	DSC	12.33	44	77	1.19778	-.1840	.7485
	VOL	.4002	4	47	.02693	.0473	.1918
30	Y ²	.41	100	88	.04437	.0252	.1038
	DSC	15.83	100	94	.96300	.2049	.3700
	VOL	.6401	10	--	.03081	.0656	.0625
35	Y ²	.38	62	95	.05307	.0116	.3221
	DSC	17.72	62	96	1.38840	-.2198	.4052
	VOL	.8280	7	43	.05025	.0703	.0537
40	Y ²	.36	5	97	.14053	.0043	.8615
	DSC	19.42	5	99	5.89063	.1834	.7799
	VOL	1.1189	1	--	---	-.0139	---
45	Y ²	.36	6	95	.13178	.0189	.5172
	DSC	22.98	6	97	6.10535	.6033	.5465
	VOL	1.7671	1	--	---	.1928	---

$$e \quad \text{SESGO} = \sum_{i=1}^n e_i / n$$

$$\text{SEE} = [\text{SCE}/(n-p+1)]^{1/2}$$

$$\text{PVE} = 100(\text{SCT}-\text{SCE})/\text{SCT}$$

SCE : suma de cuadrados del error SCT : suma de cuadrados total e_i : desvíos

Tabla F.30. Estadísticas^e de la validación interna del modelo 3 para la especie *E. camaldulensis*, por clase de DAP.

DAP(cm)	Variable	media	n	PVE	SEE	SESGO	P>|t|
5	Y ²	.44	58	96	.05996	.0001	.9911
	DSC	3.40	58	98	.31804	-.0212	.6232
	VOL	.0106	11	82	.00010	.0010	.0008
10	Y ²	.37	145	98	.03029	-.0012	.7769
	DSC	5.39	145	98	.29528	-.0630	.1083
	VOL	.0378	20	92	.00298	.0019	.0073
15	Y ²	.36	170	96	.02790	-.0023	.6723
	DSC	7.83	170	98	.38593	-.1132	.0518
	VOL	.1066	18	85	.00583	.0063	.0053
20	Y ²	.34	63	97	.04198	-.0032	.6390
	DSC	9.19	63	98	.71178	-.1500	.1435
	VOL	.1592	6	47	.00820	.0084	.3546

Tabla F.31. Estadísticas^e de la validación externa del modelo 3 para la especie *E. camaldulensis*, por clase de DAP.

DAP(cm)	Variable	media	n	PVE	SEE	SESGO	P>|t|
5	Y ²	.37	6	99	.19086	-.0400	.0437
	DSC	3.39	6	98	1.03646	-.2518	.0387
	VOL	.0100	1	--	---	-.0000	---
10	Y ²	.36	34	98	.06346	-.0120	.1285
	DSC	4.78	34	98	.56251	-.1642	.0262
	VOL	.0283	5	83	.00395	.0009	.5532
15	Y ²	.40	46	96	.05188	.0191	.0732
	DSC	8.21	46	99	.75177	.3044	.0350
	VOL	.1211	5	45	.00893	.0149	.0653
20	Y ²	.33	10	97	.11860	-.0019	.9262
	DSC	9.14	10	98	1.86881	-.1572	.5226
	VOL	.1455	1	--	---	.0042	---

$$e \quad \text{Sesgo} = \sum_{i=1}^n e_i / n$$

$$\text{SEE} = [\text{SCE}/(n-p+1)]^{1/2}$$

$$\text{PVE} = 100(\text{SCT}-\text{SCE})/\text{SCT}$$

SCE : suma de cuadrados del error

SCT : suma de cuadrados total

e_i : desvíos

Tabla F.32. Estadísticas^e de la validación interna del modelo 3 para la especie *E. deglupta*, por clase de DAP.

DAP(cm)	Variable	media	n	PVE	SEE	SESGO	P>|t|
10	Y ²	.44	54	100	.05162	-.0029	.7406
	DSC	6.65	54	99	.51556	-.0624	.3144
	VOL	.0732	6	91	.00590	.0026	.1045
15	Y ²	.36	216	98	.02379	-.0053	.1302
	DSC	7.79	216	98	.31958	-.1307	.0009
	VOL	.1421	19	98	.01160	.0014	.4020
20	Y ²	.37	355	96	.01861	-.0090	.0134
	DSC	11.17	355	97	.33883	-.3915	.0001
	VOL	.3488	29	89	.01139	.0000	.9952
25	Y ²	.36	321	97	.01969	-.0091	.0103
	DSC	13.11	321	97	.43898	-.5309	.0001
	VOL	.5039	27	89	.02147	-.0047	.5073
30	Y ²	.34	204	96	.02414	-.0104	.0287
	DSC	14.83	204	96	.62613	-.6760	.0001
	VOL	.7381	15	92	.04558	-.0097	.5075
35	Y ²	.31	20	98	.08120	-.0035	.7766
	DSC	15.17	20	97	2.73844	-.4348	.3618
	VOL	1.3017	1	--	---	.0178	---
45	Y ²	.29	21	99	.07280	-.0054	.5060
	DSC	20.39	21	98	2.90371	-.6978	.0442
	VOL	2.5667	1	--	---	.0708	---
50	Y ²	.32	34	91	.06044	-.0167	.3405
	DSC	25.00	34	94	2.67637	-1.6674	.0059
	VOL	3.0838	2	53	.19245	-.1737	.3339
55	Y ²	.44	19	100	.08823	.0003	.9497
	DSC	32.49	19	100	4.12784	-.0748	.7682
	VOL	3.8064	1	--	---	.0522	.3339
60	Y ²	.41	34	99	.06535	-.0016	.8248
	DSC	33.31	34	99	3.41291	-.2970	.2454
	VOL	3.9498	2	98	.48723	.0321	.6032
65	Y ²	.41	14	99	.10376	-.0036	.6580
	DSC	36.61	14	99	6.04454	-.5213	.2052
	VOL	4.7380	1	--	---	-.0028	---
75	Y ²	.36	21	98	.06909	-.0054	.5527
	DSC	38.79	21	99	4.83300	-.9965	.0803
	VOL	5.9874	1	--	---	-.0314	---

$$e \quad \text{Seego} = \sum_{i=1}^n e_i / n$$

$$\text{SEE} = [\text{SCE}/(n-p+1)]^{1/2}$$

$$\text{PVE} = 100(\text{SCT}-\text{SCE})/\text{SCT}$$

SCE : suma de cuadrados del error SCT : suma de cuadrados total e_i : desvíos

Tabla F.33. Estadísticas^e de la validación externa del modelo 3 para la especie *E. deglupta*, por clase de DAP.

DAP(cm)	Variable	media	n	PVE	SEE	SESGO	P>|t|
15	Y ²	.37	59	96	.04538	-.0085	.3412
	DSC	7.79	59	97	.59922	-.1518	.1204
	VOL	.1450	5	72	.00765	.0027	.6886
20	Y ²	.39	50	99	.04943	-.0080	.0899
	DSC	10.81	50	99	.88336	-.2507	.0082
	VOL	.3105	4	96	.02969	.0031	.6364
25	Y ²	.37	97	94	.03701	-.0053	.5599
	DSC	13.03	97	97	.79309	-.3934	.0052
	VOL	.4950	8	95	.03906	.0061	.5299
30	Y ²	.31	69	95	.03957	-.0302	.0002
	DSC	15.02	69	95	1.05045	-1.2832	.0001
	VOL	.8229	4	90	.12256	-.0296	.3650

^e
$$\text{Sesgo} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n}$$

$$\text{SEE} = [\text{SCE}/(n-p+C-1)]^{1/2}$$

$$\text{PVE} = 100(\text{SCT}-\text{SEE})/\text{SCT}$$

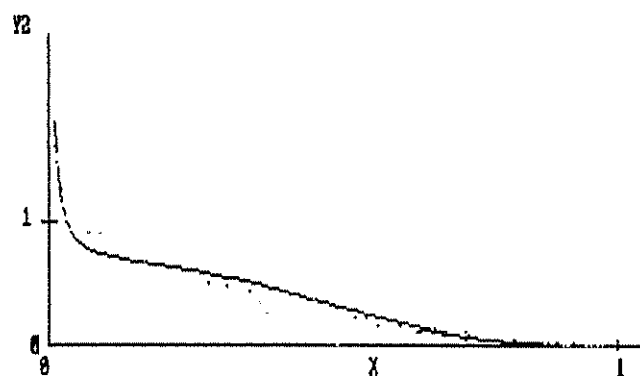
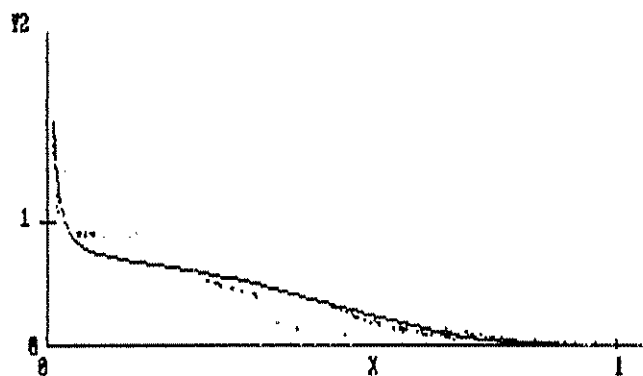
SCE : suma de cuadrados del error SCT : suma de cuadrados total e_i : desvíos

APENDICE G

GRAFICOS DEL AJUSTE DEL MODELO 3
POR ESPECIE, LOCALIDAD Y
AGRUPACION DE LOCALIDADES

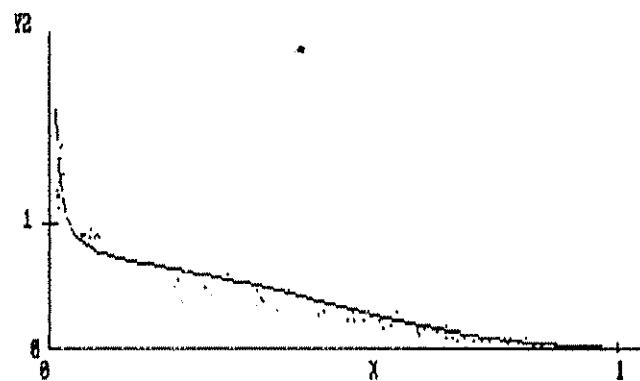
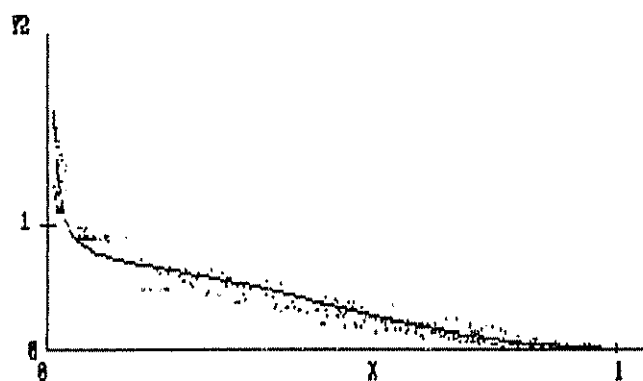
TS

TS1



TN

TN1



TP

TP1

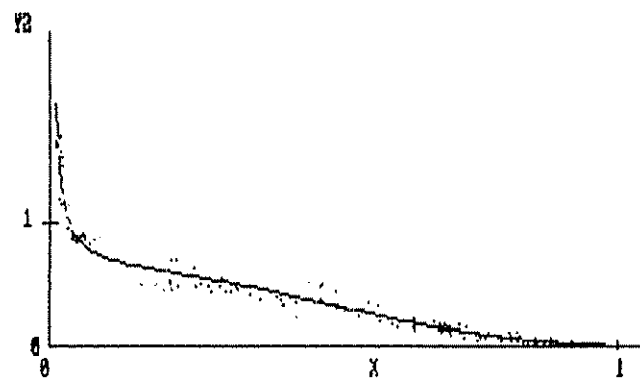
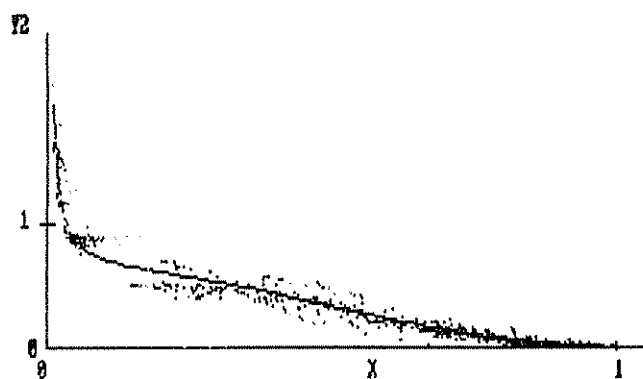
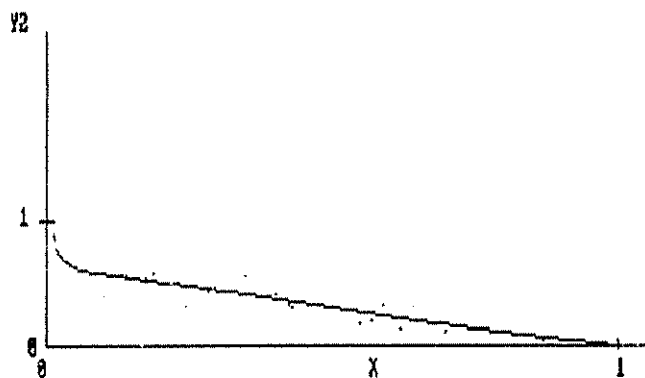


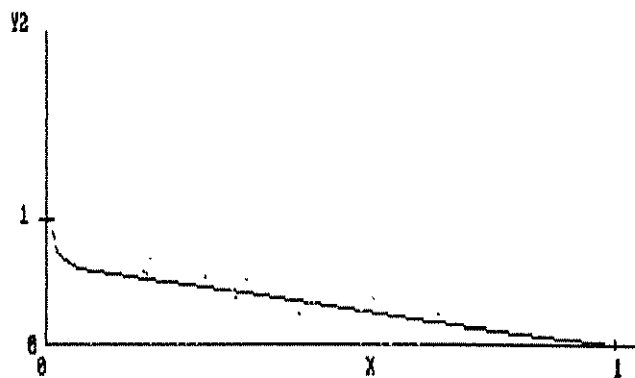
Figura G 1. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 para *Tectona grandis* por localidad (Costa Rica)

[Validación interna / validación externa]
 [TS/TS1]: Santa Cruz [TN/TN1]: Nicoya [TP/TP1]: Parrita

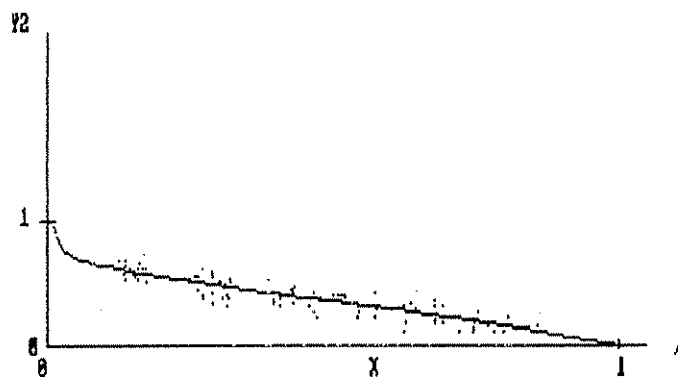
TPA1



TPA11



TPA2



TPA21

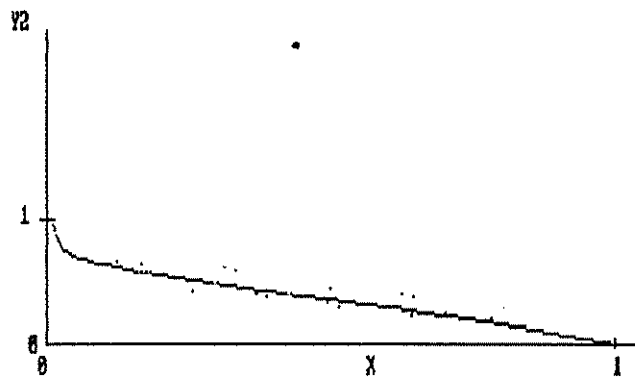
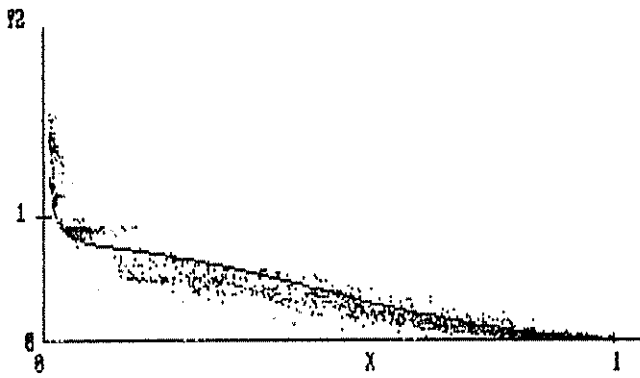


Figura G 2. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 para *Tectona grandis* por localidad (Panamá).

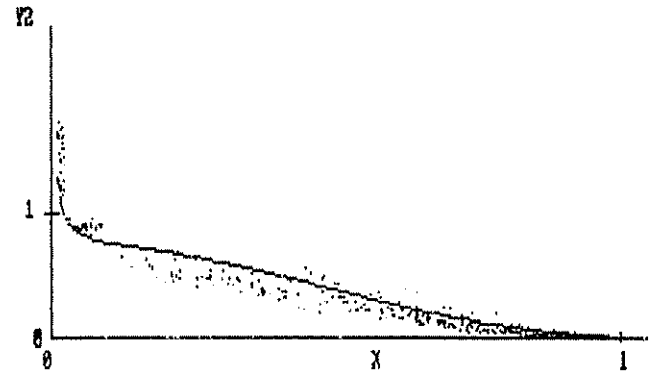
[Validación interna / validación externa]

[TPA1/TPA11]: Panamá 1 [TPA2/TPA21]: Panamá 2

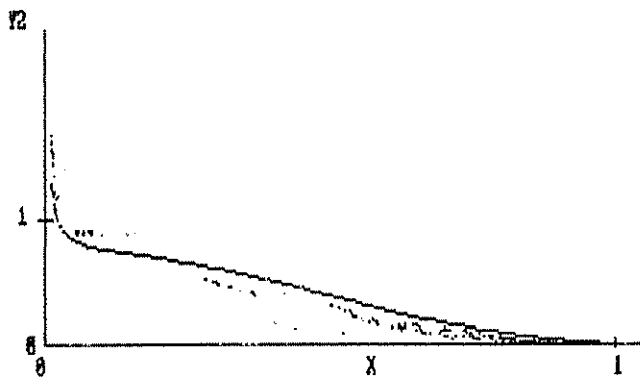
II



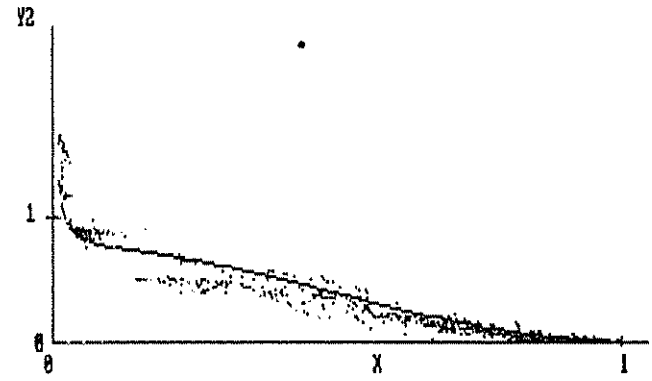
III



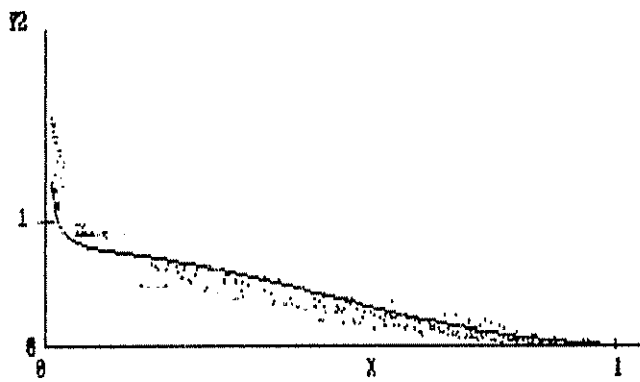
IS



IP



IN



IPA1

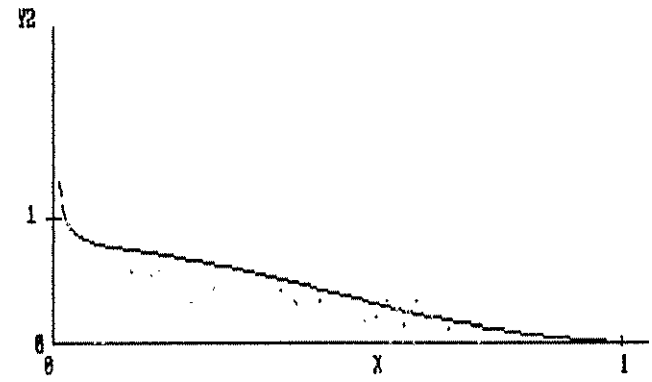
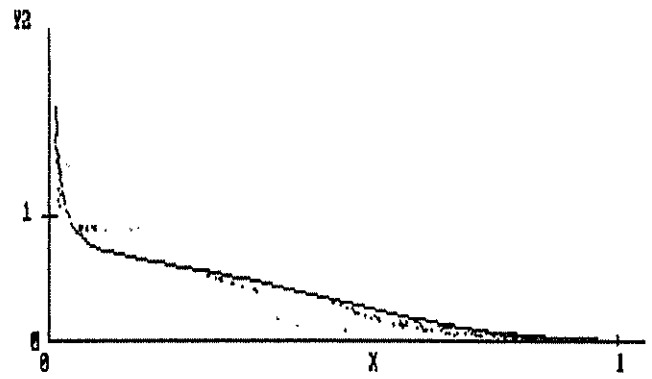
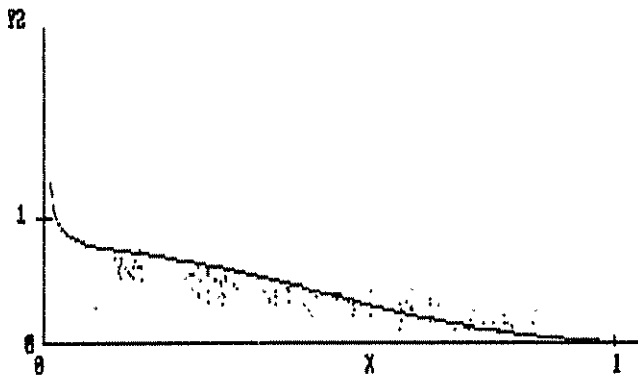


Figura G 3. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos agrupados de *Tectona grandis* (T1)

[Validación interna / validación externa]
 [II/III]: Agrupa todas [IS]: Santa Cruz [IN]: Nicoya [IP]:
 Parrita [IPA1]: Panamá 1

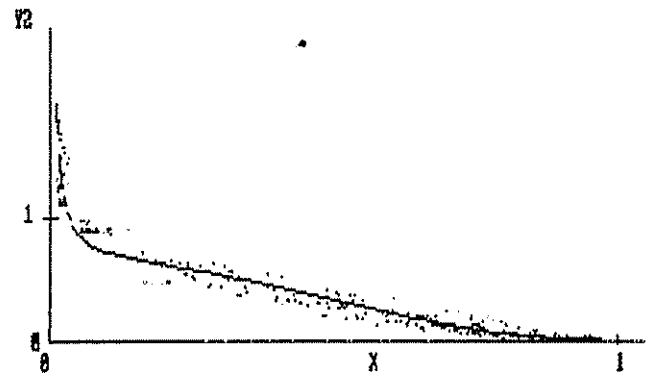
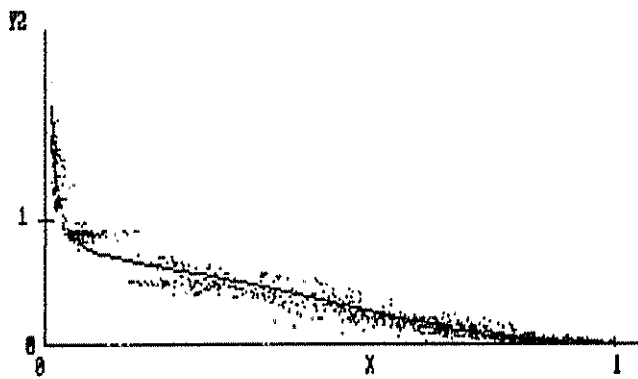
TPA2

TS



T2

TN



T21

TP

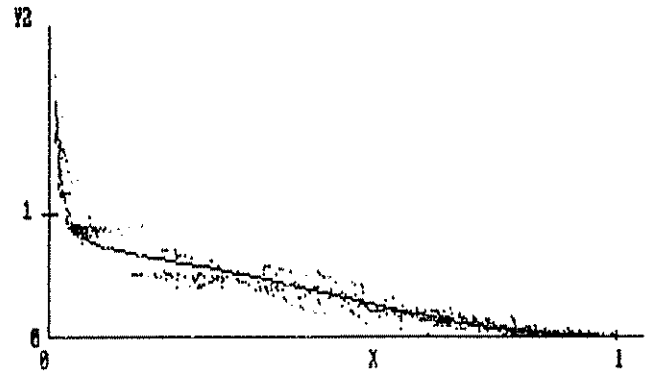
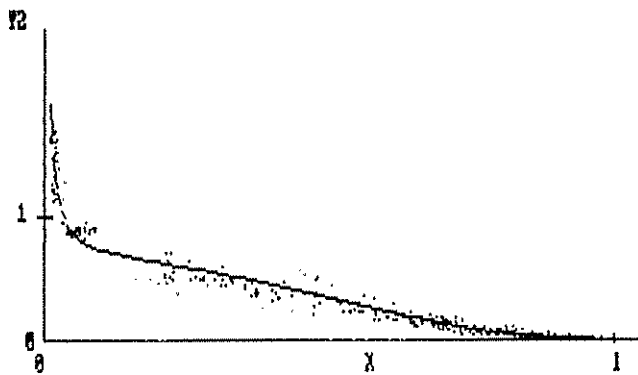


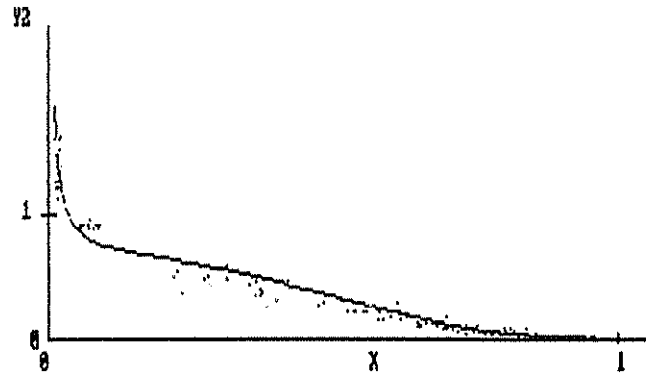
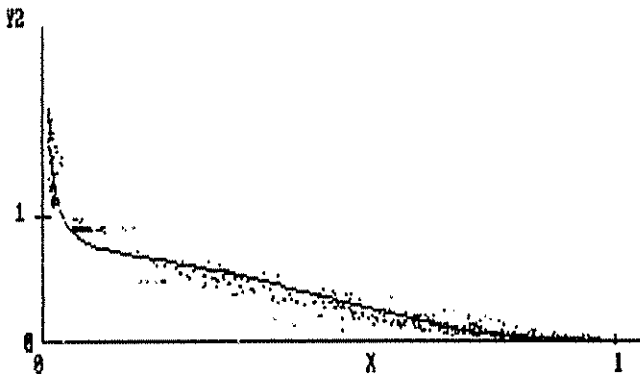
Figura G 4. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos agrupados de *Tectona grandis* (T1, T2)

[Validación interna / validación externa]

[TPA2]: Panamá 2 [T2/T21]: Agrupa TS, TN, TP [TS]: Santa Cruz [TN]: Nicoya [TP]: Parrita

T3

T31



T5

TN

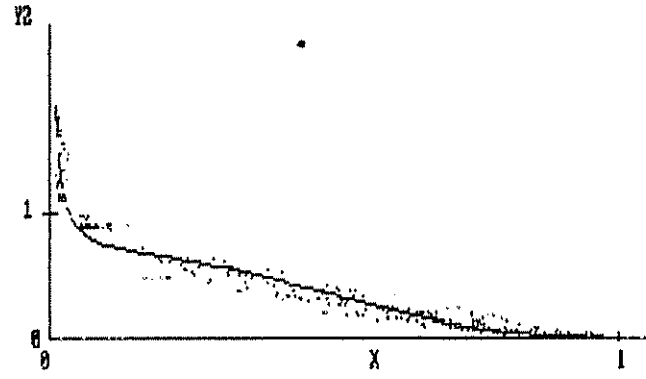
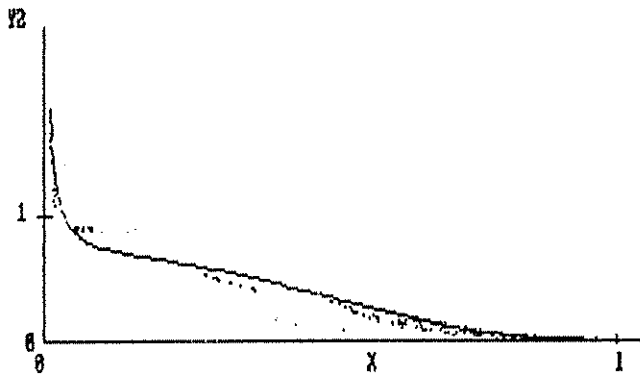
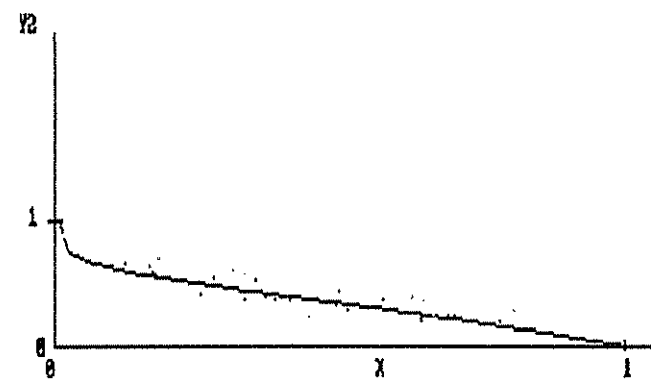
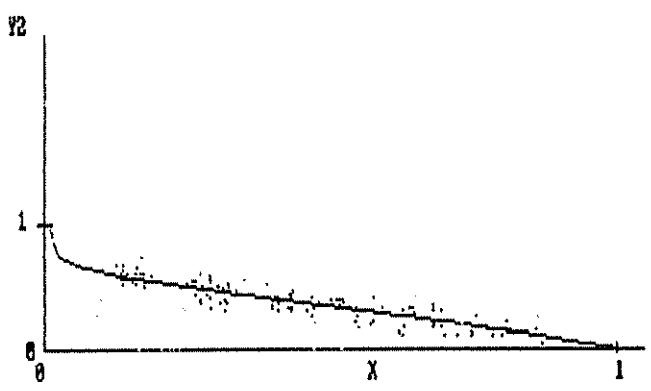


Figura G 5. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos agrupados de *Tectona grandis* (T3)

[Validación interna / validación externa]
 [T3/T31]: Agrupa T5, TN
 [T5]: Santa Cruz [TN]: Nicoya

T4

T41



TPA1

TPA2

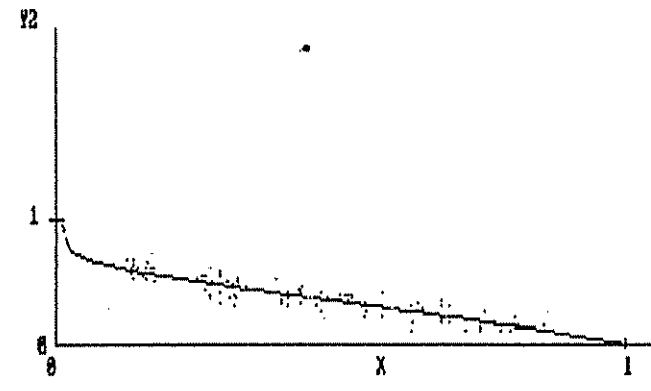


Figura G 6. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos agrupados de *Tectona grandis* (T4)

[Validación interna / validación externa]
 [T4/T41]: Agrupa TPA1, TPA2
 [TPA1]: Panamá 1 [TPA2]: Panamá 2

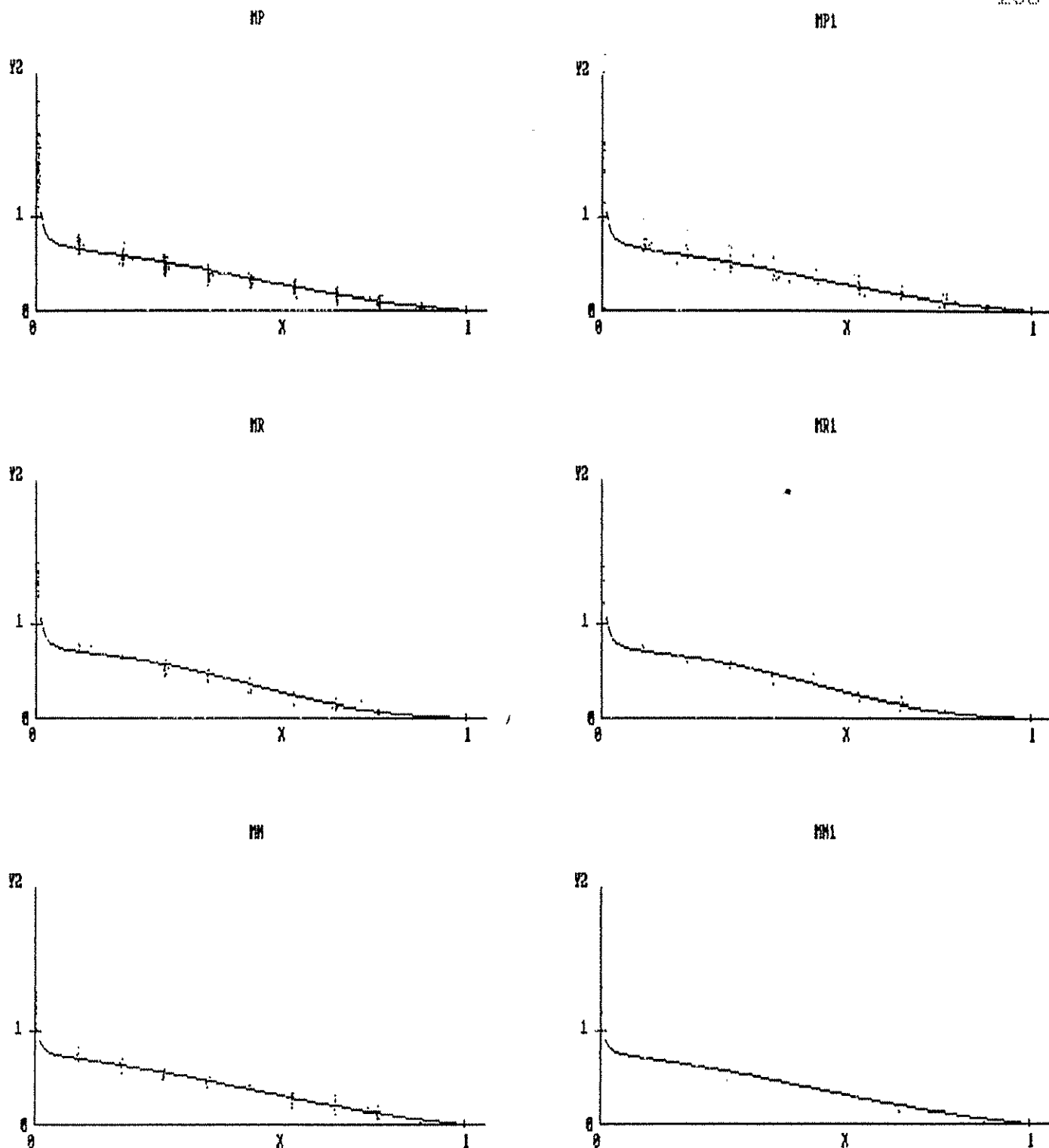


Figura G 7. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 para *Gmelina arborea* por localidad.

[Validación interna / validación externa]
 [MP/MP1]: Puerto Viejo [MR/MR1]: Monte Roto [MM/MM1]:
 Santa Marta

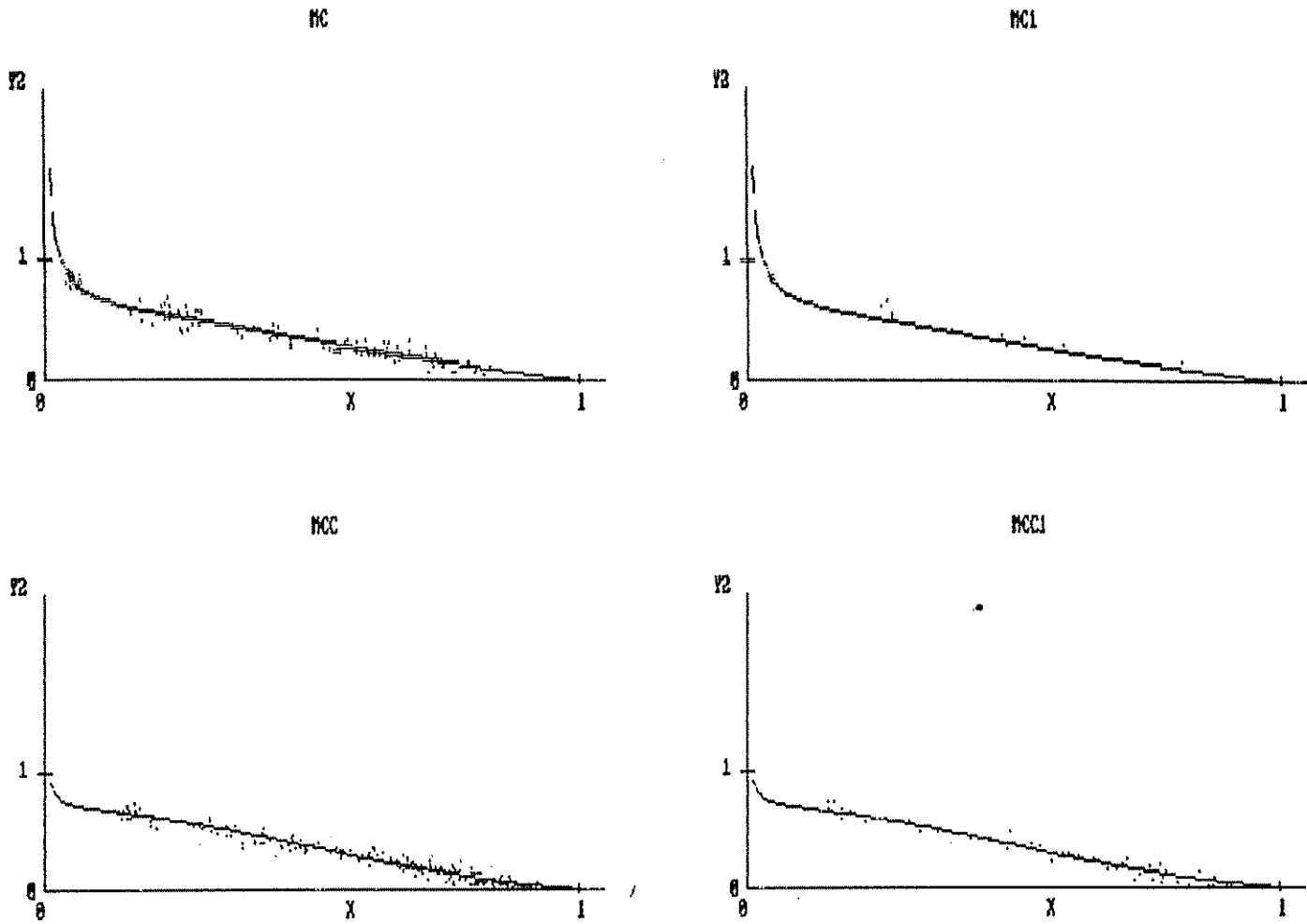
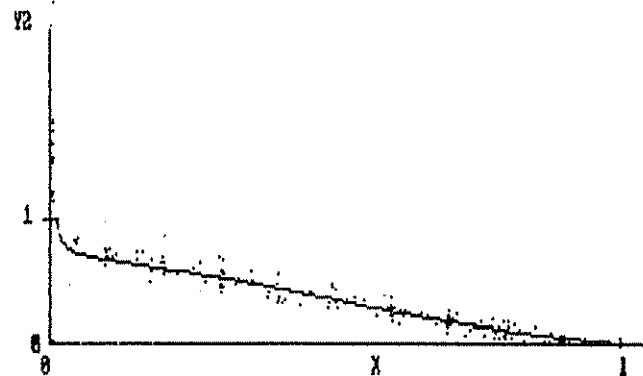
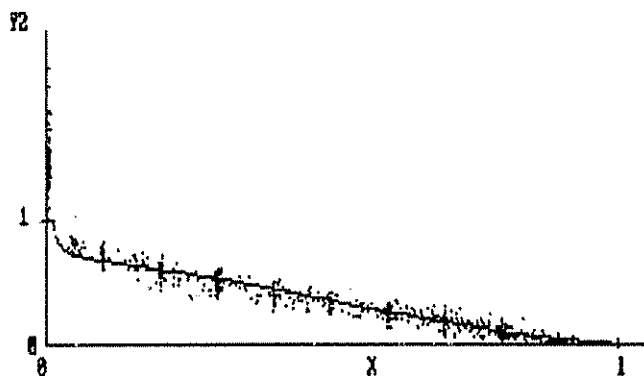


Figura G 8. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 para *Gmelina arborea* por localidad.

[Validación interna / validación externa]
 [MC/MC1]: Varias C.R. [MCC/MCC1]: CATIE

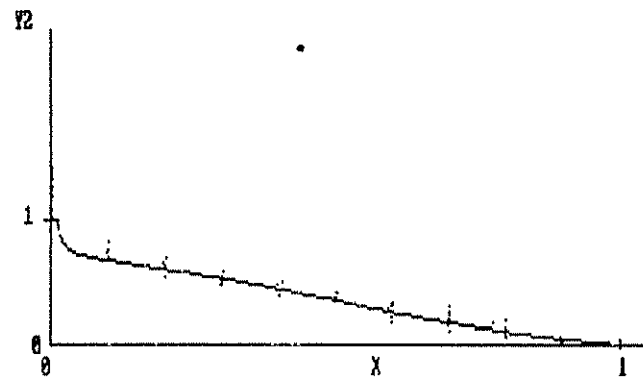
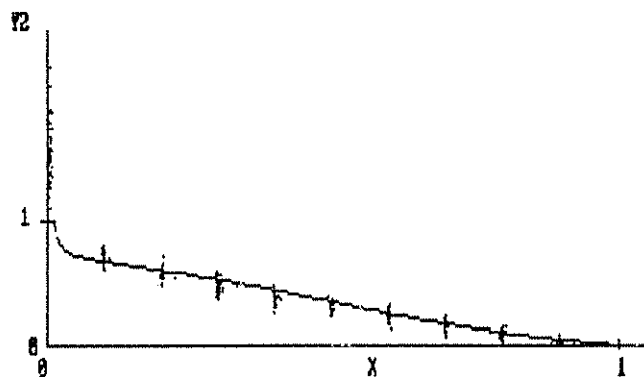
G1

G11



MP

MH



MR

MC

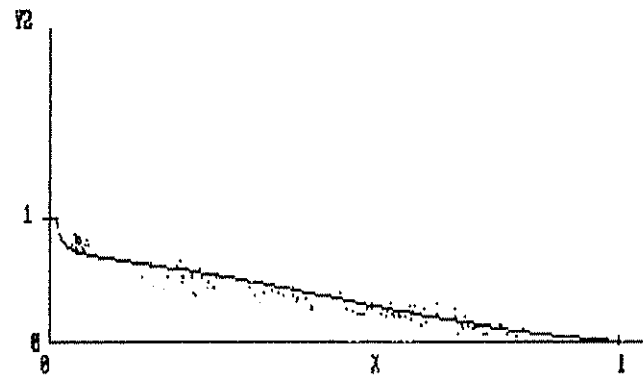
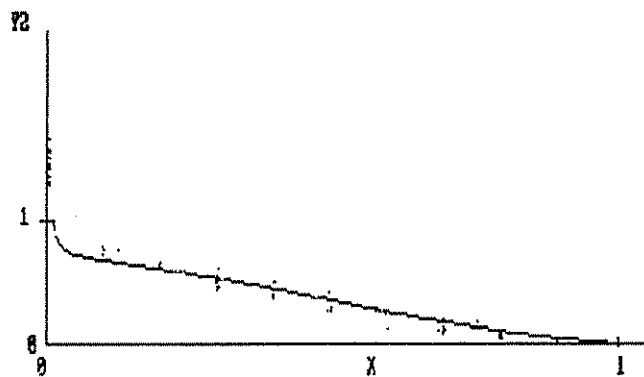
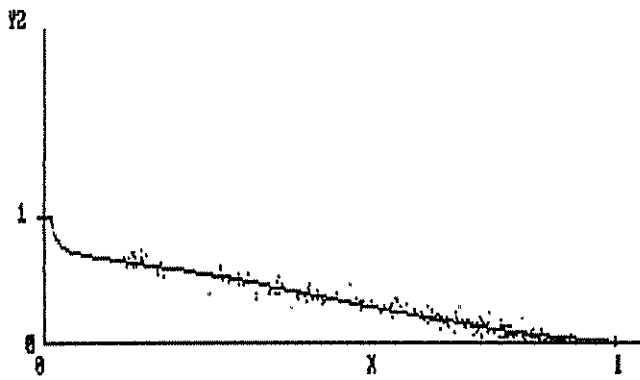


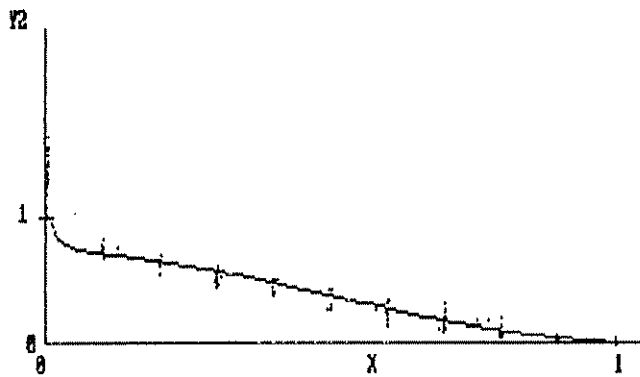
Figura G 9. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos agrupados de *Gmelina arborea* (G1).

[Validación interna / validación externa]
 [G1/G11]: Agrupa todas [MP]: Puerto Viejo [MR]: Monte
 Roco [MH]: Santa Marta [MC]: Varias C.R.

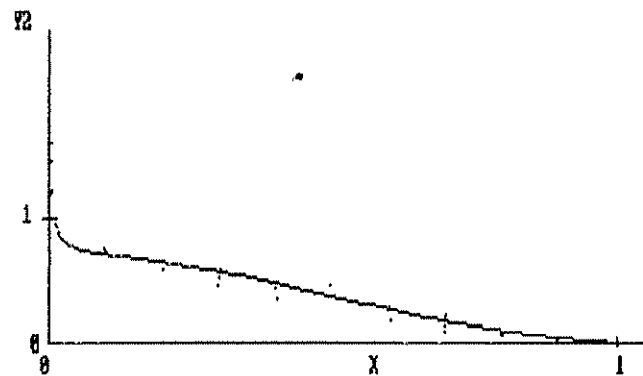
HCC



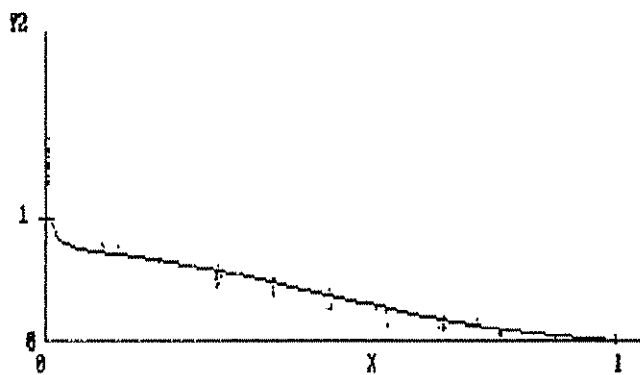
G2



G21



MR



MM

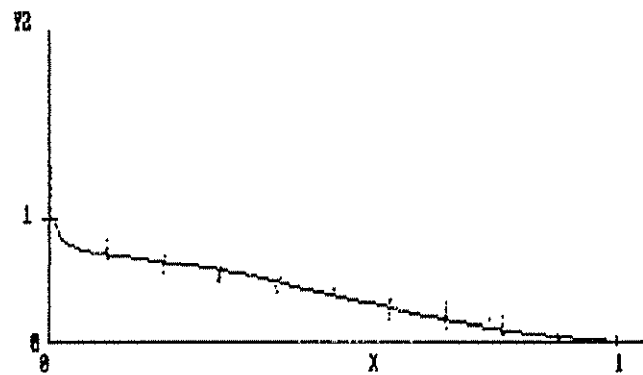
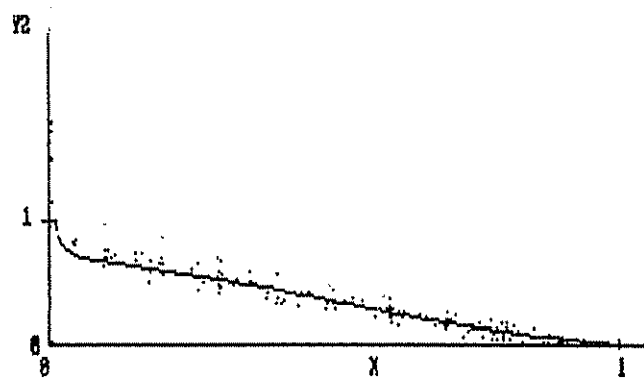
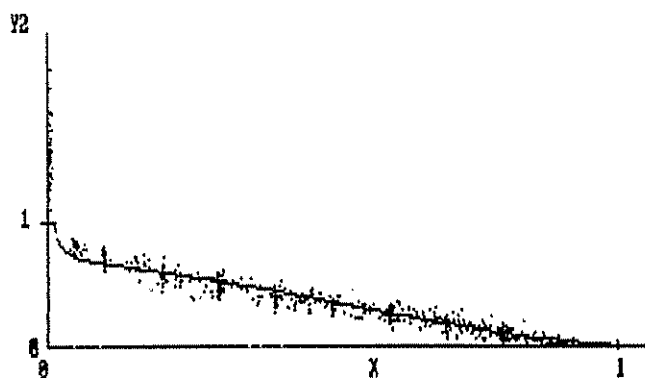


Figura G 10. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos agrupados de *Gmelina arborea* (G1, G2).

[Validación interna / validación externa] [HCC]: CATIE
 [G2/G21]: Agrupa MR, MM [MR]: Monte Romo [MM]: Santa
 Marta

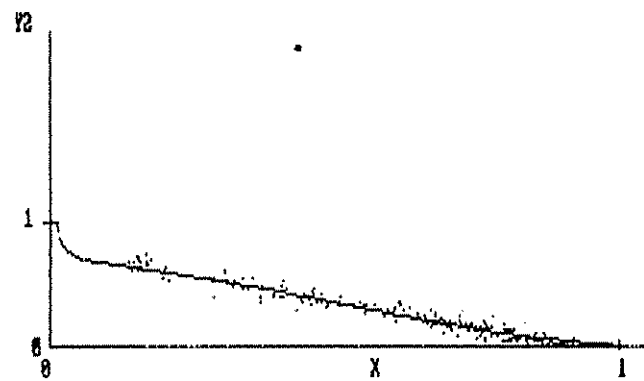
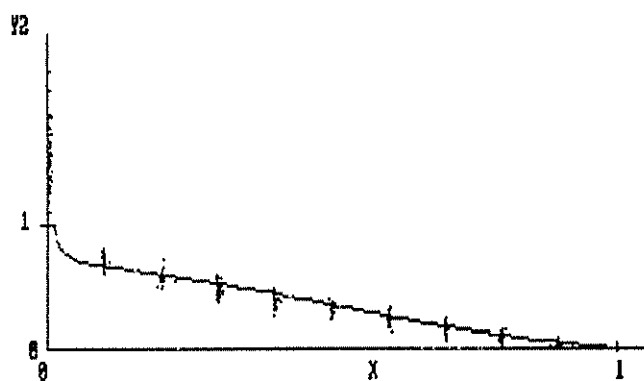
G3

G31



MP

MCC



MC

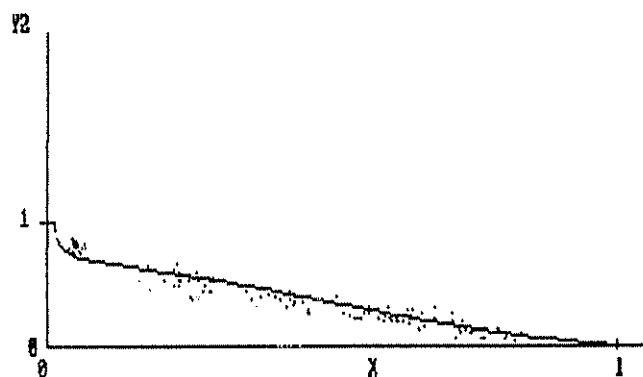


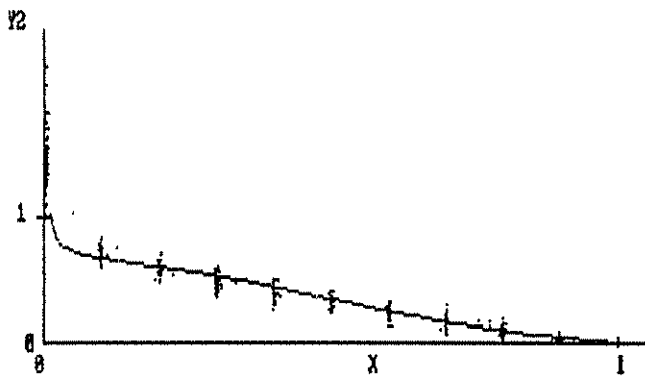
Figura G 11. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos agrupados de *Gmelina arborea* (G3).

[Validación interna / validación externa]

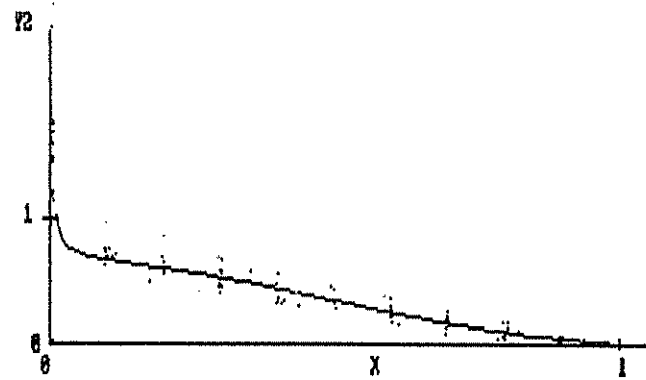
[G3/G31]: Agrupa MP, MC, MCC

[MP]: Puerto Viejo [MC]: Varias C.R. [MCC]: CATIE

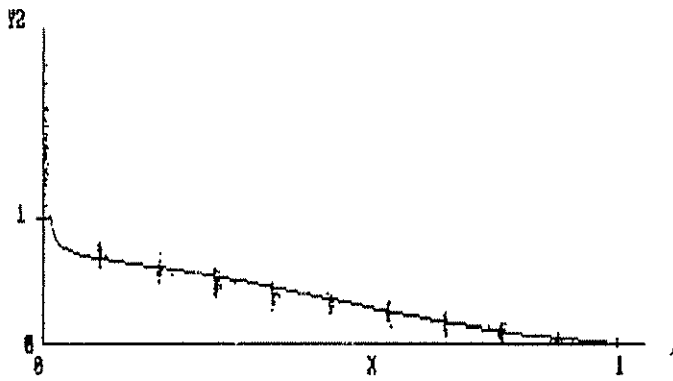
G4



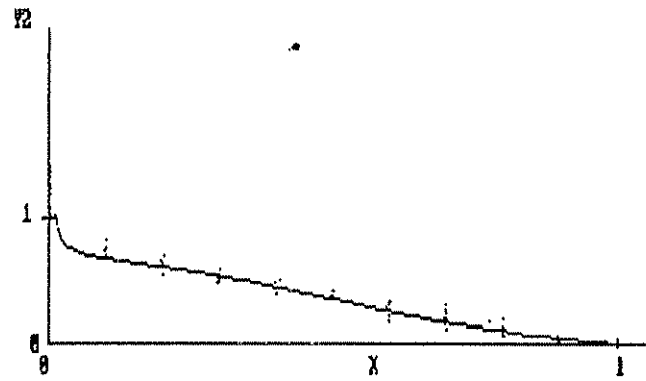
G41



MP



MM



MR

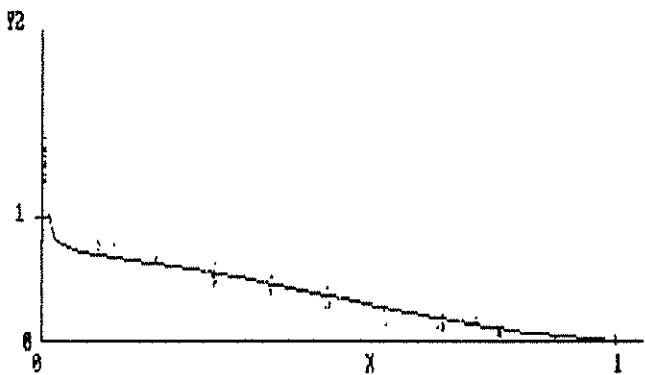


Figura G 12. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos agrupados de *Gmelina arborea* (G4).

[Validación interna / validación externa]

[G3/G31]: Agrupa MP, MR, MM

[MP]: Puerto Viejo [MR]: Monte Roro [MM]: Santa Marta

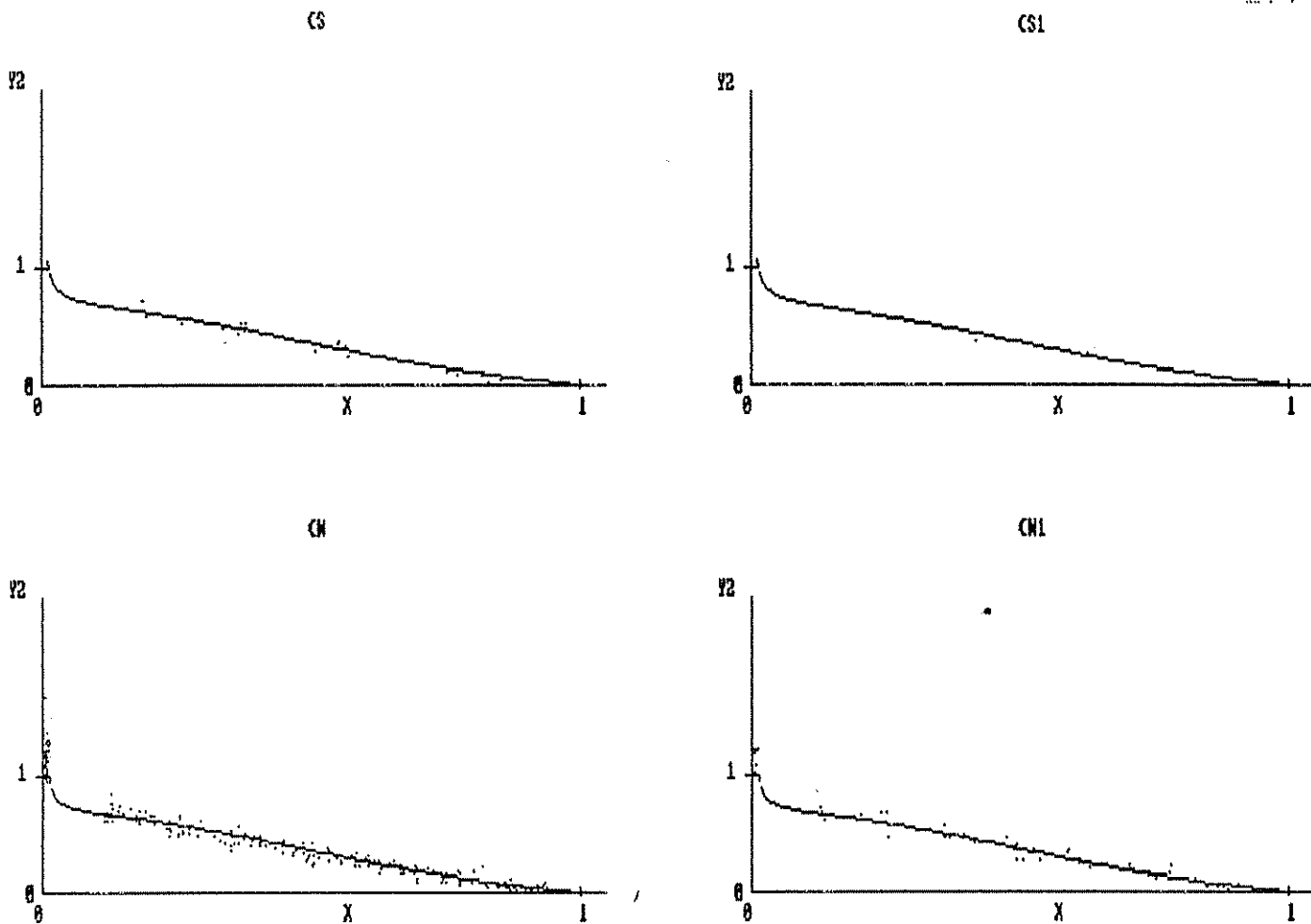


Figura G 13. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 para *Eucalyptus camaldulensis* por localidad.

[Validación interna / validación externa]
 [CS/CS1]: El Salvador [CN/CN1]: Nicaragua

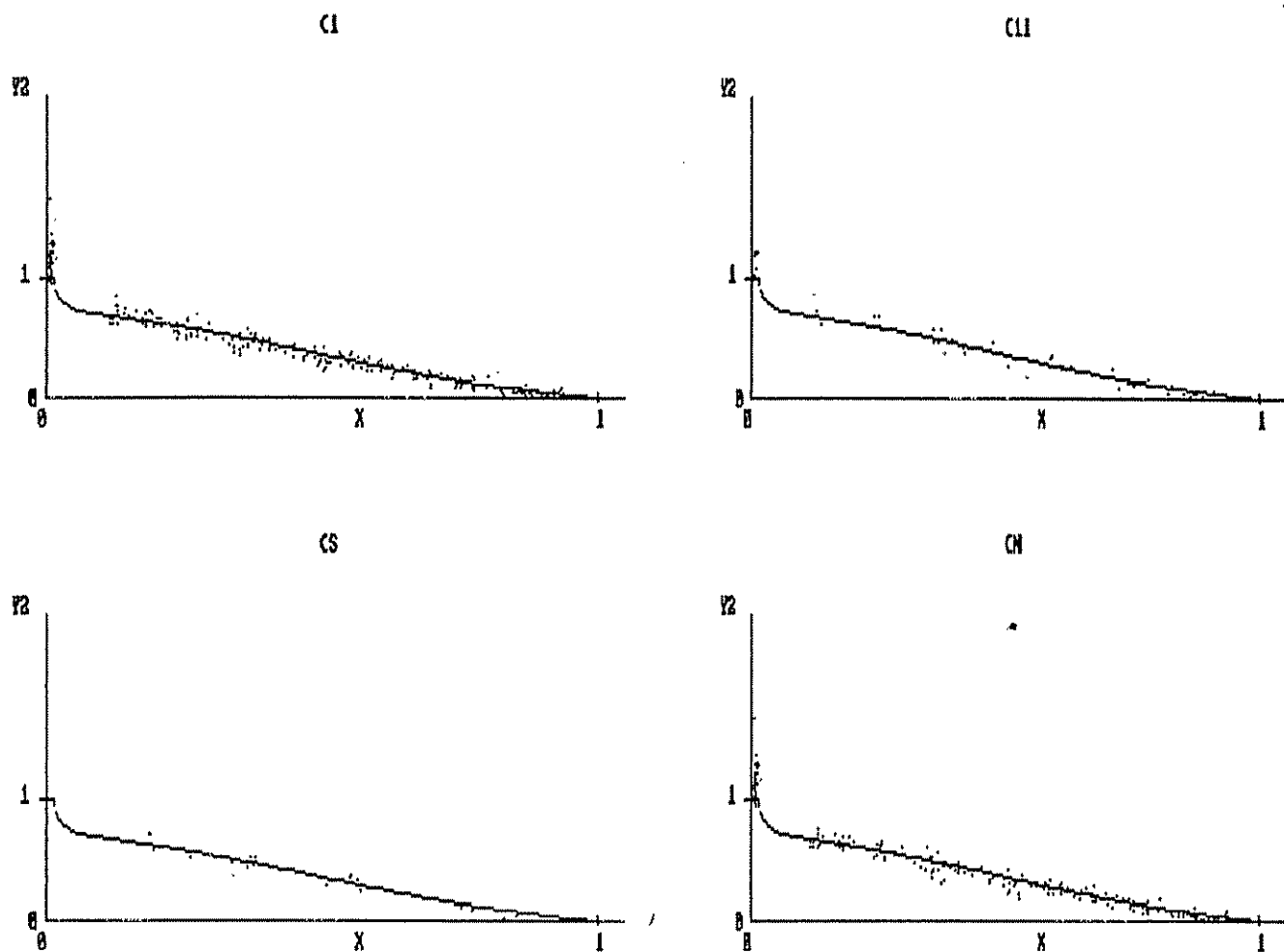


Figura G 14. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos agrupados de *Eucalyptus camaldulensis* (C1).

[Validación interna / validación externa]

[C1/C11]: Agrupa C5, CN

[C5]: El Salvador [CN]: Nicaragua

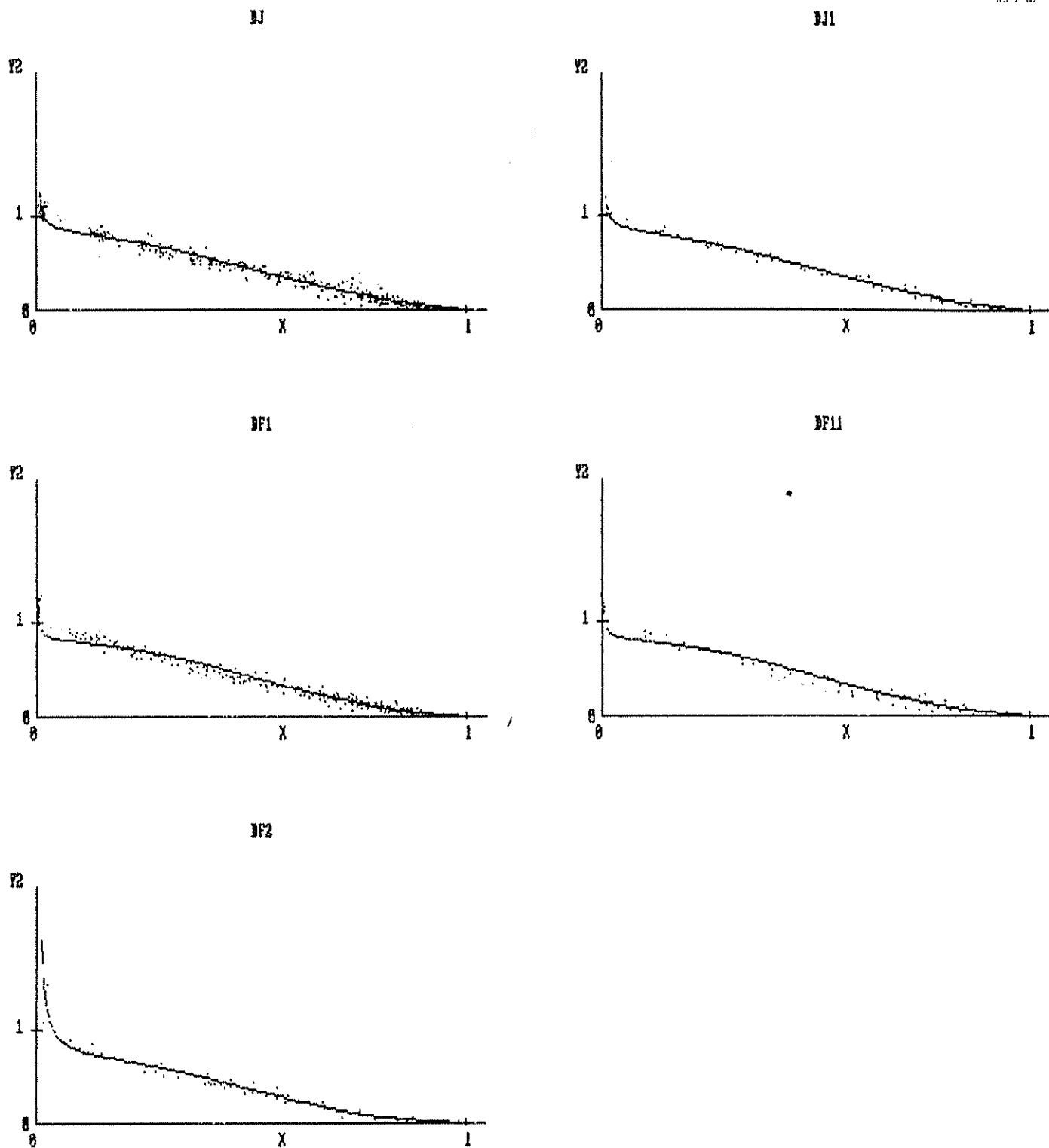


Figura G 15. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 para *Eucalyptus deglupta* por localidad.

[Validación interna / validación externa]
 [DJ/DJ1]: Juan Viñas [DF1/DF11]: Florencia Sur 1 [DF2]:
 Florencia Sur 2

DS

DS1

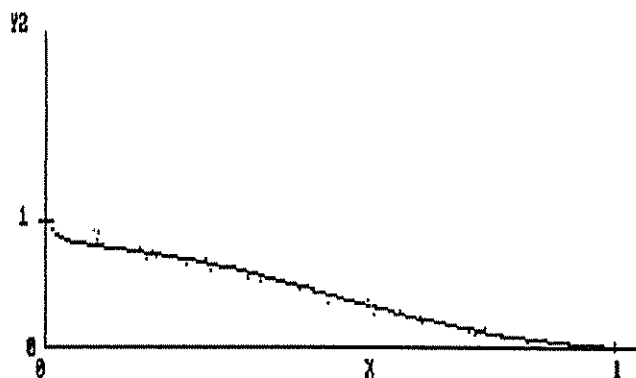
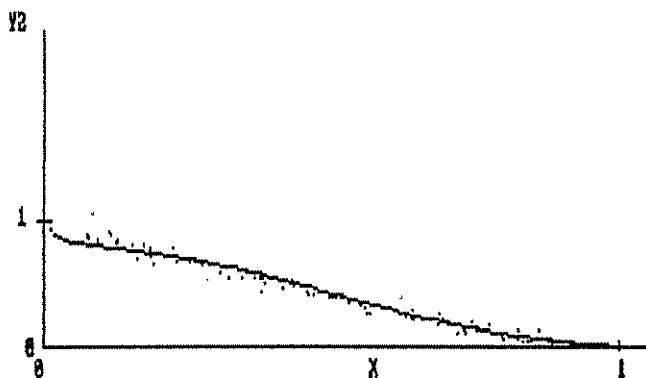


Figura G 16. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 para *Eucalyptus deglupta* por localidad.

[Validación interna / validación externa]
[DS/DS1]: El Salvador

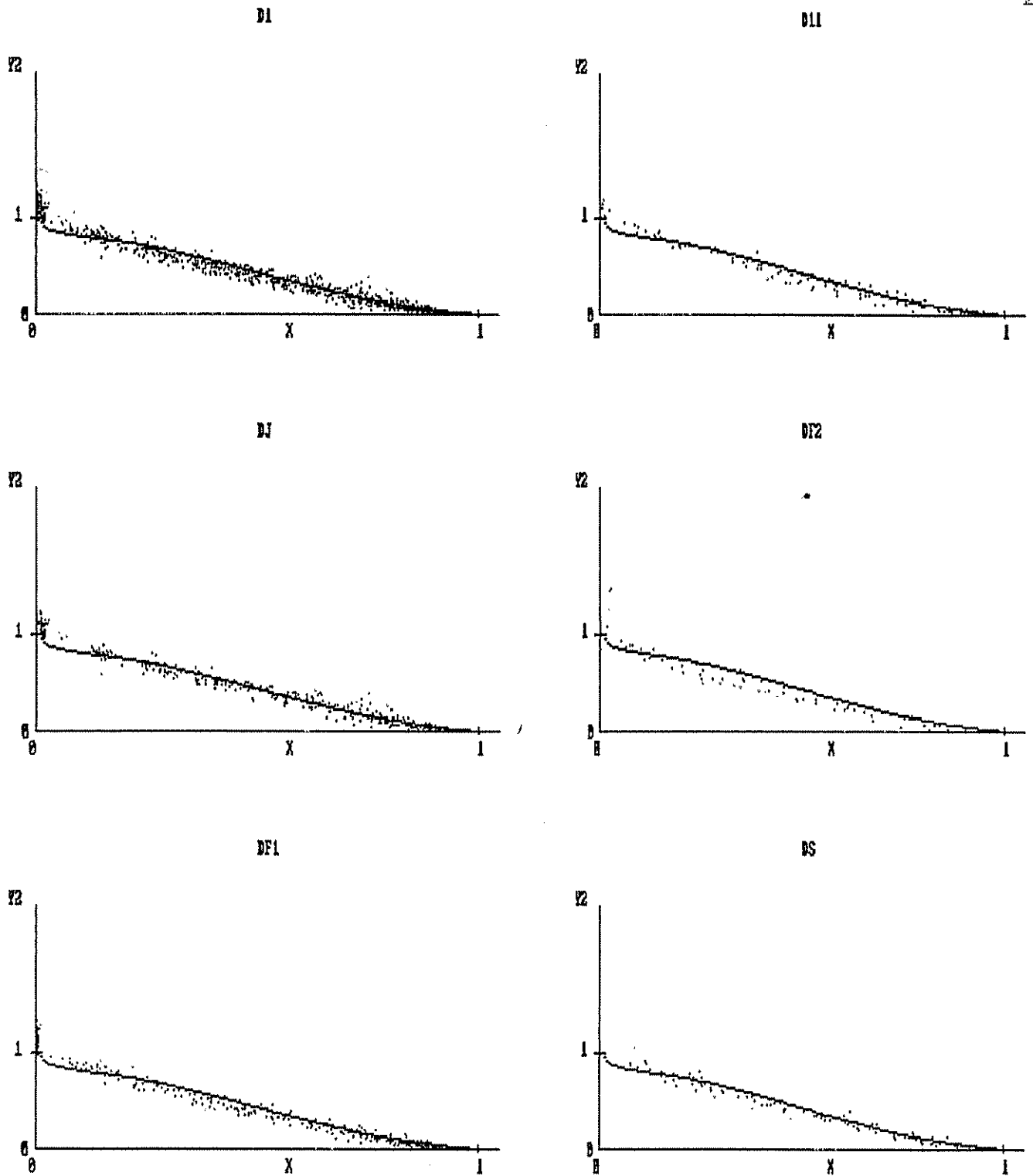


Figura G 17. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos agrupados de *Eucalyptus deglupta* (D1).

[Validación interna / validación externa]

[D1/D11]: Agrupa todas [DJ]: Juan Viñas [DF1]: Florencia Sur 1 [DF2]: Florencia Sur 2 [DS]: El Salvador.

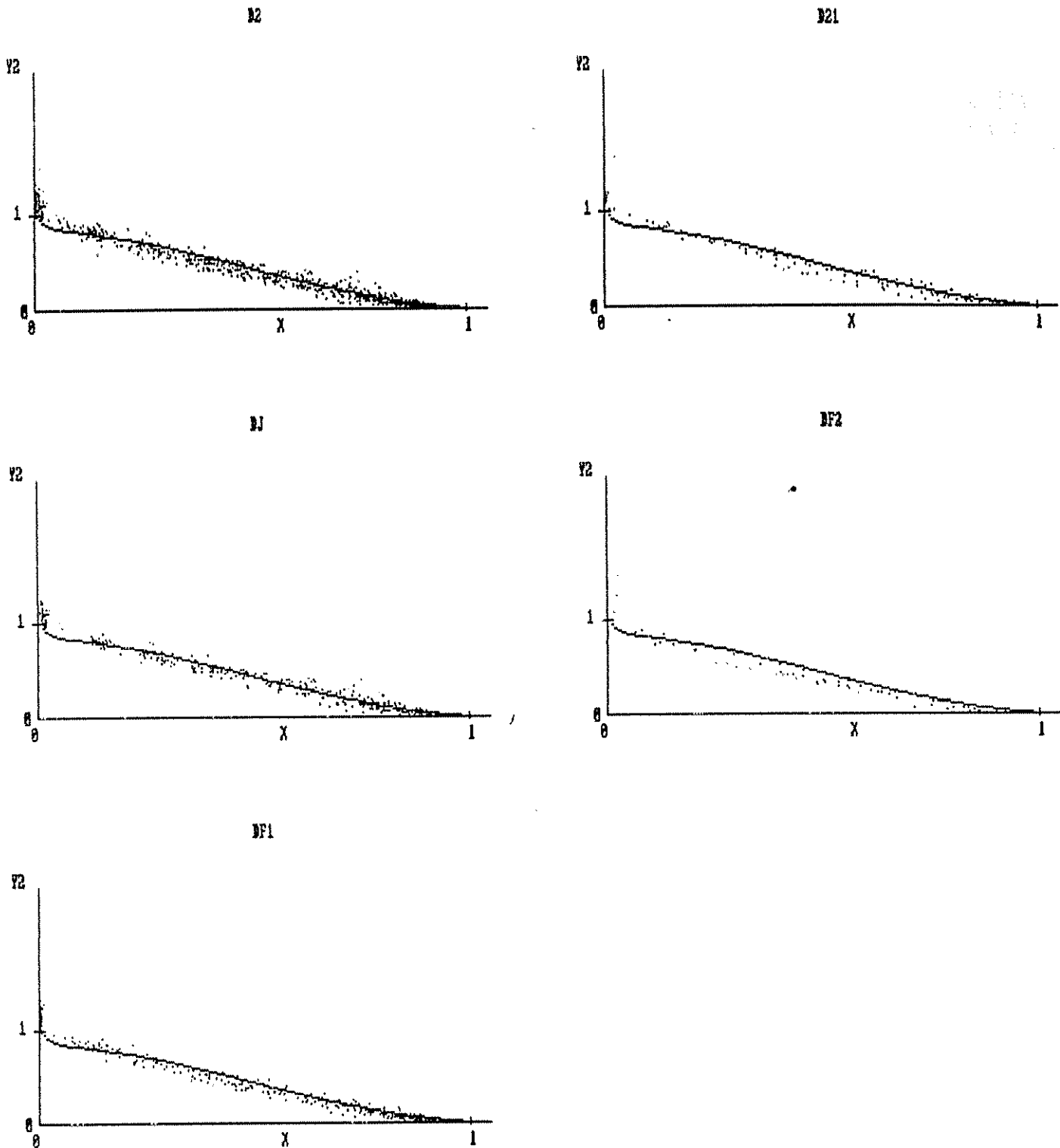


Figura G 18. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos agrupados de *Eucalyptus deglupta* (D2).

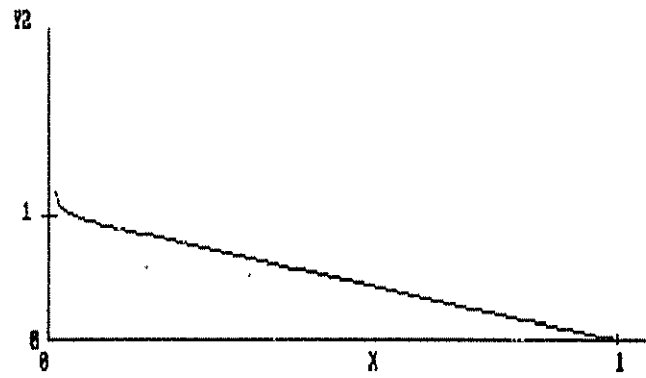
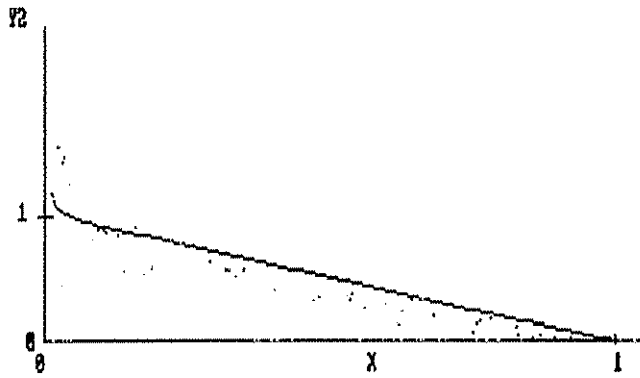
[Validación interna / validación externa]

[D2/D21]: Agrupa D3, DF1, DF2

[D3]: Juan Viñas [DF1]: Florencia Sur 1 [DF2]: Florencia Sur 2.

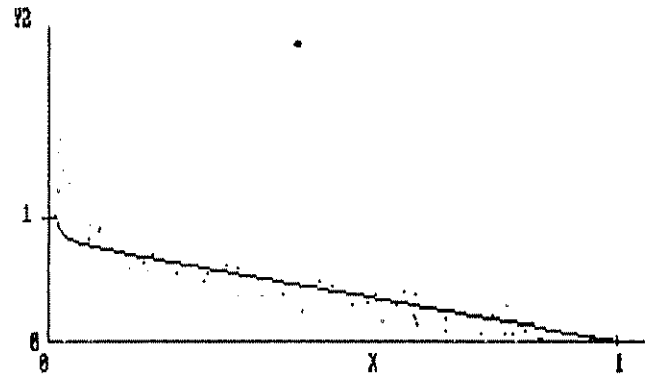
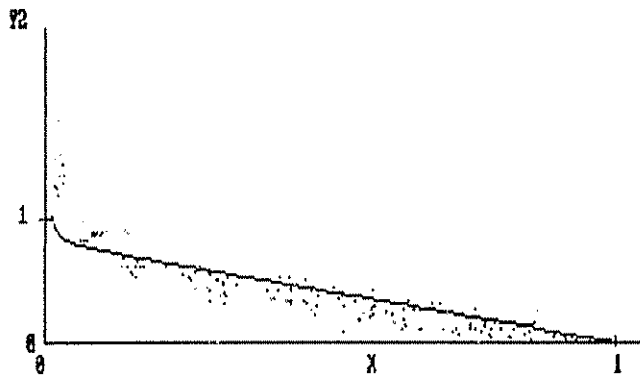
Tectona : 10

Tectona : 10



Tectona : 15

Tectona : 15



Tectona : 20

Tectona : 20

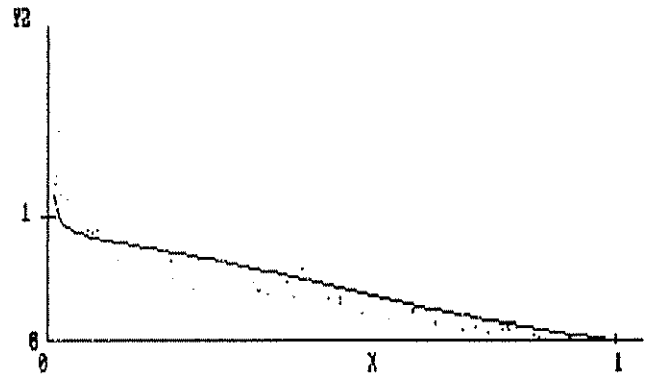
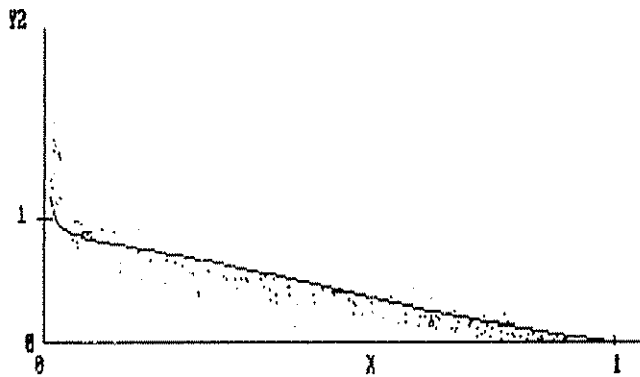
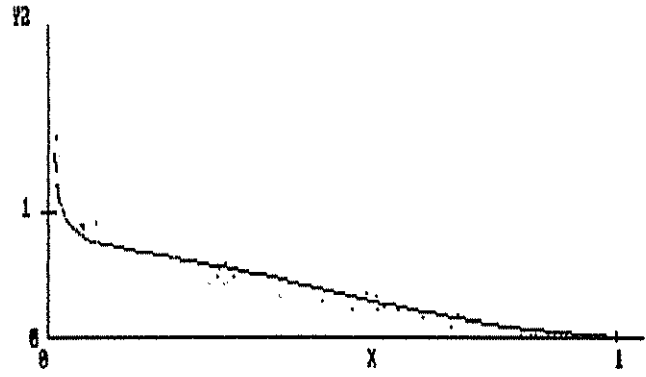
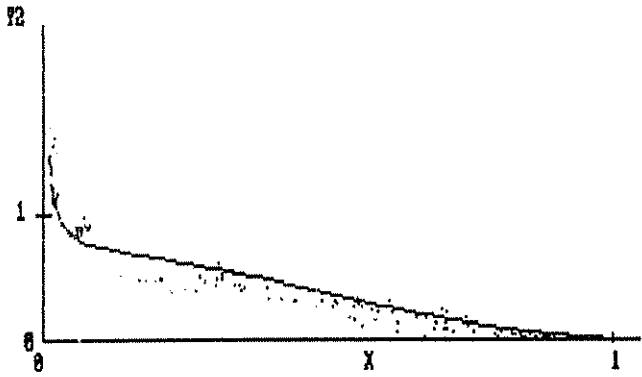


Figura G 19. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos de *Tectona grandis*, por clase de DAP.

[Izquierda: validación interna
 Derecha : validación externa]

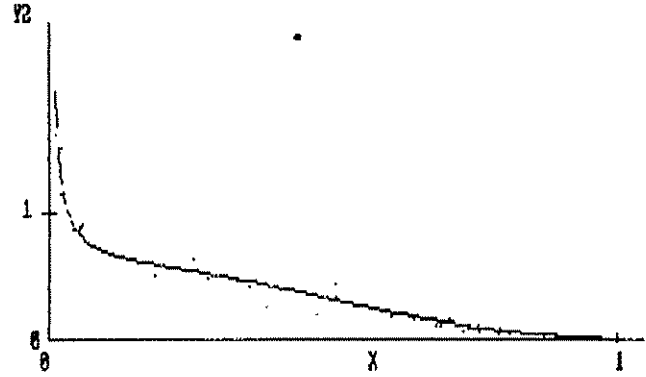
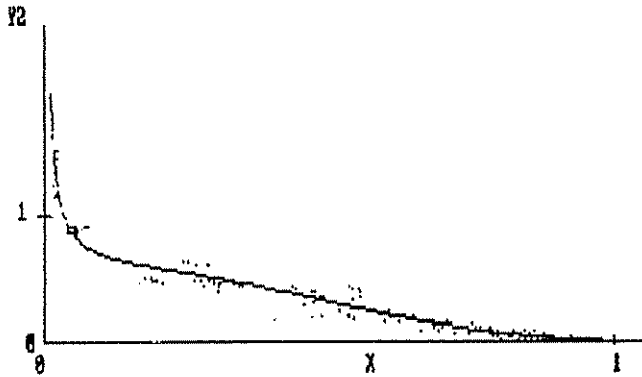
Tectona : 25

Tectona : 25



Tectona : 30

Tectona : 30



Tectona : 35

Tectona : 35

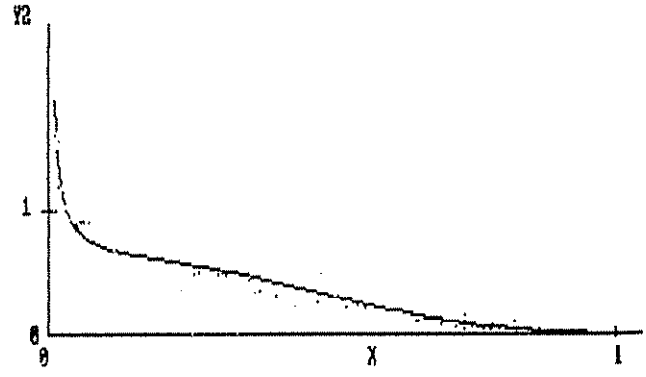
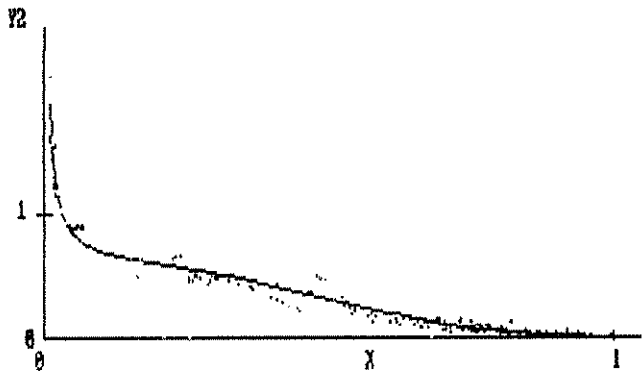
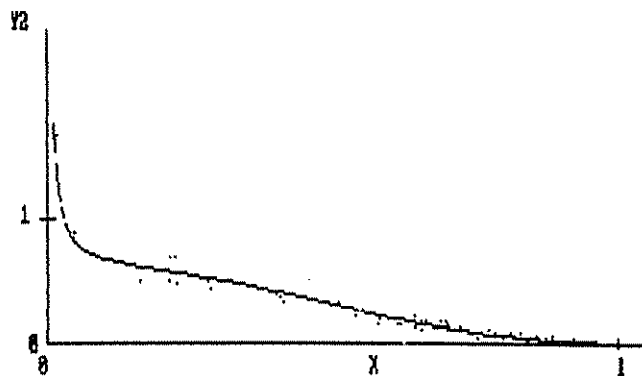
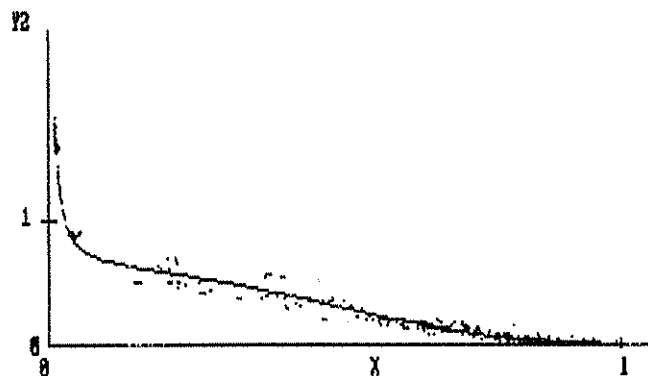


Figura G 20. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos de *Tectona grandis*, por clase de DAP.

[Izquierda: validación interna
Derecha : validación externa]

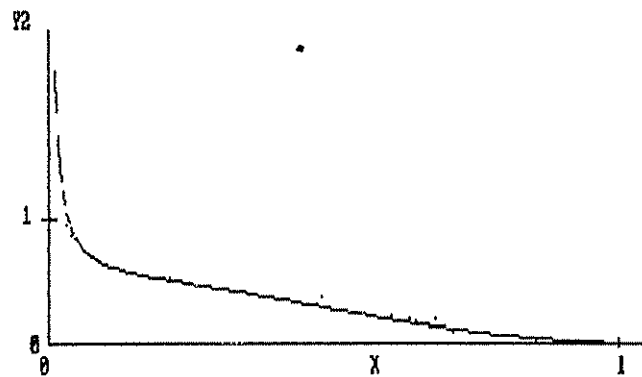
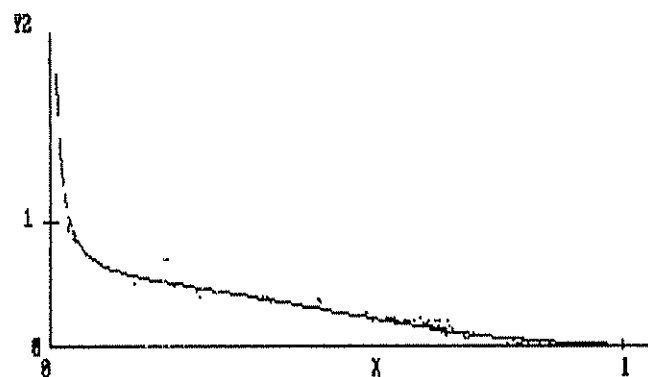
Tectona : 40

Tectona : 40



Tectona : 45

Tectona : 45



Tectona : 50

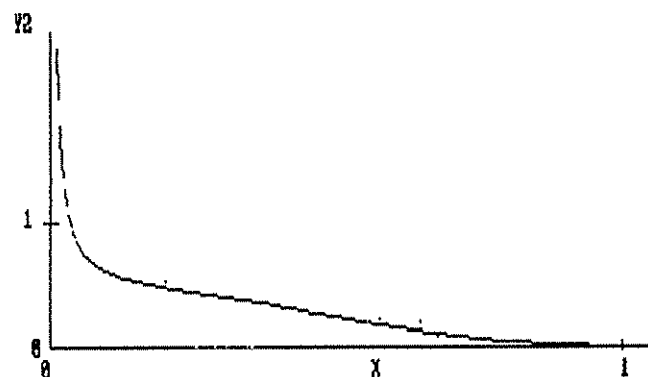
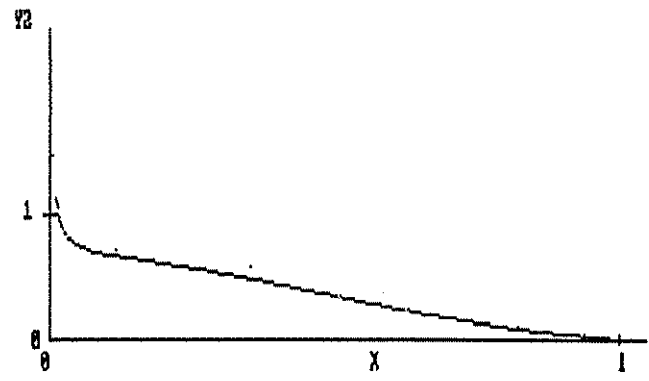
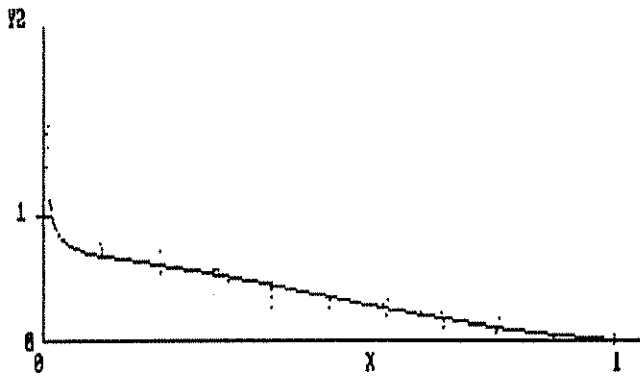


Figura G 21. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos de *Tectona grandis*, por clase de DAP.

[Izquierda: validación interna
Derecha : validación externa]

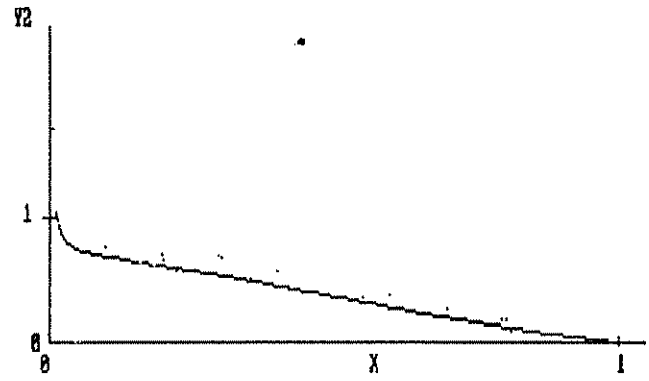
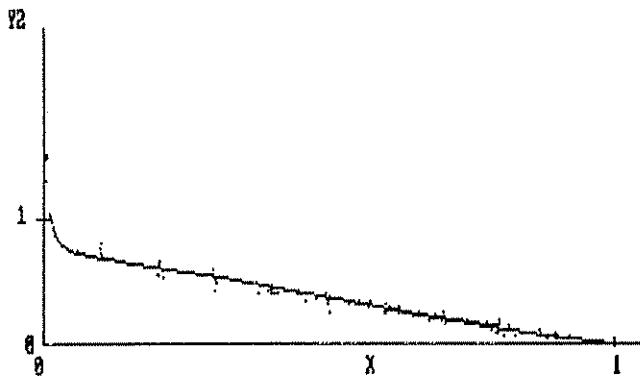
Gmelina : 10

Gmelina : 10



Gmelina : 15

Gmelina : 15



Gmelina : 20

Gmelina : 20

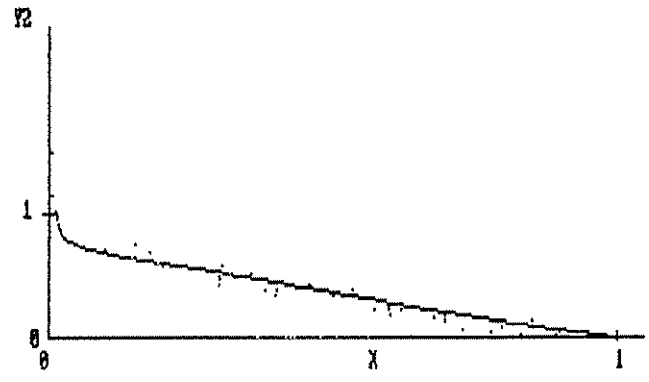
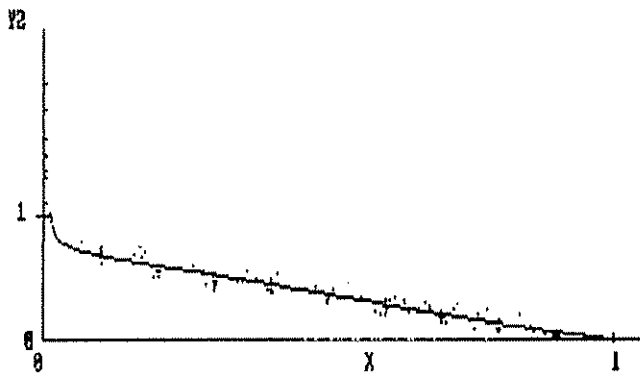
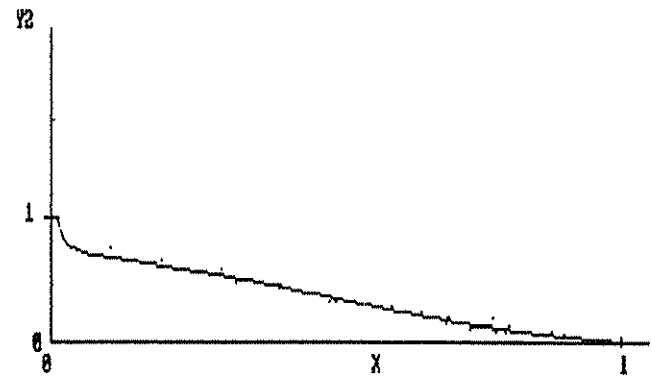
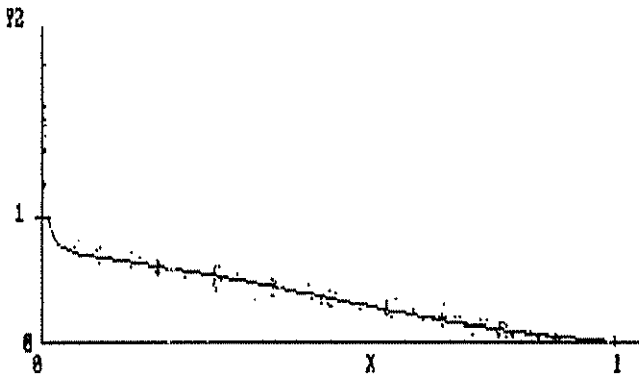


Figura G 22. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos de *Gmelina arborea*, por clase de DAP.

[Izquierda: validación interna
Derecha : validación externa]

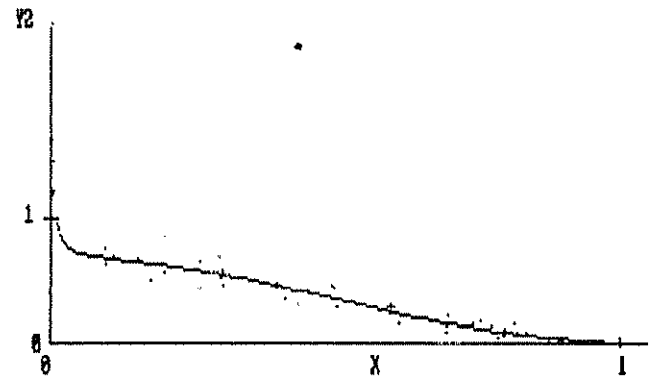
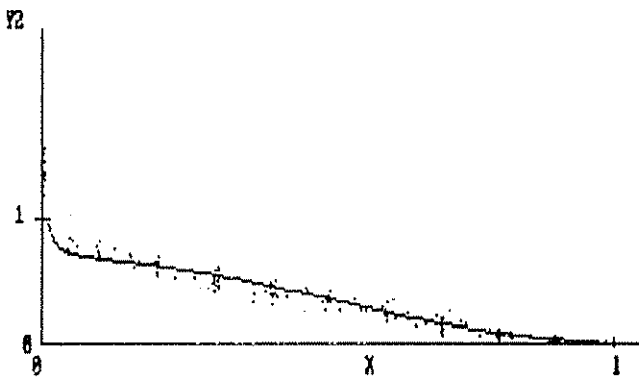
Gmelina : 25

Gmelina : 25



Gmelina : 30

Gmelina : 30



Gmelina : 35

Gmelina : 35

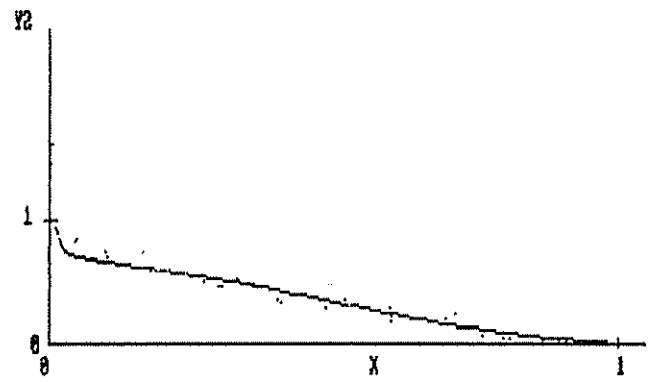
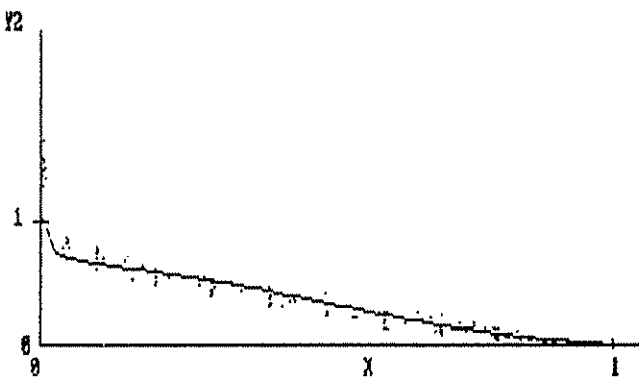
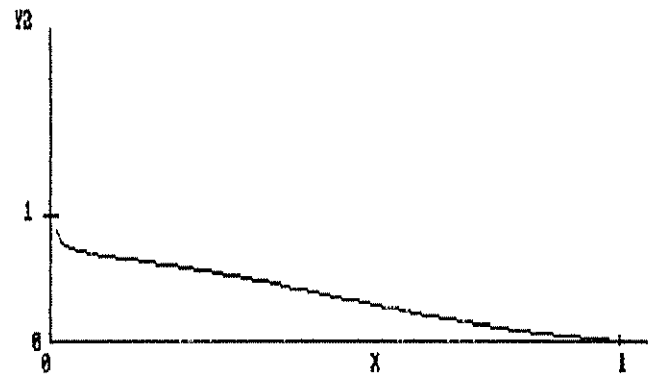
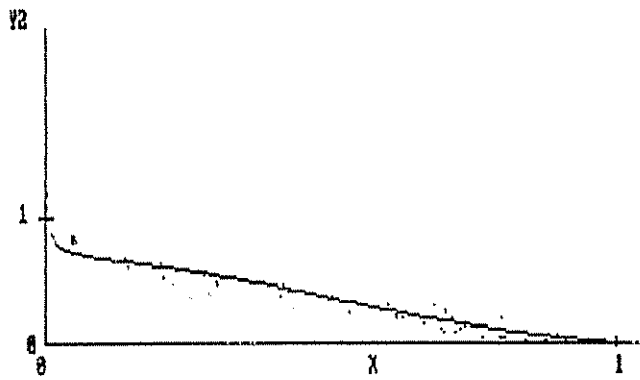


Figura G 23. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos de *Gmelina arborea*, por clase de DAP.

[Izquierda: validación interna
Derecha : validación externa]

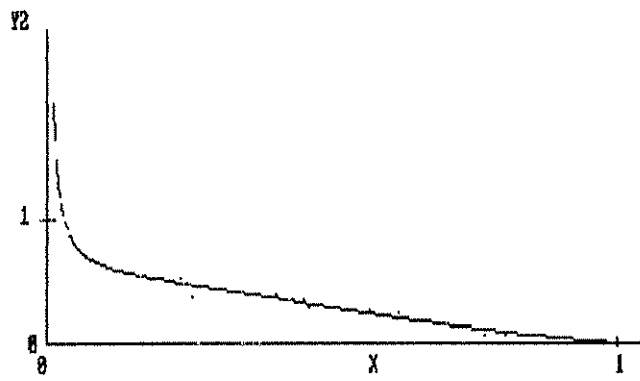
Gmelina : 40

Gmelina : 40



Gmelina : 45

Gmelina : 45



Gmelina : 50

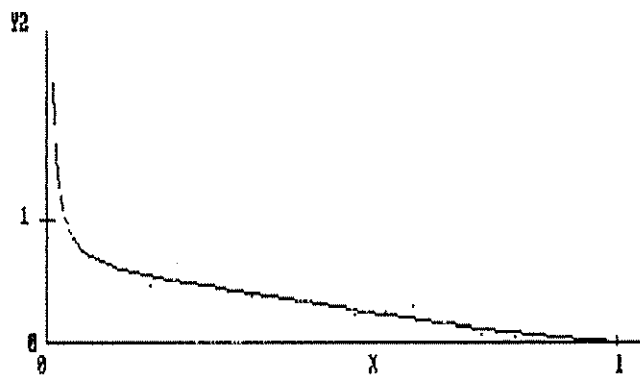
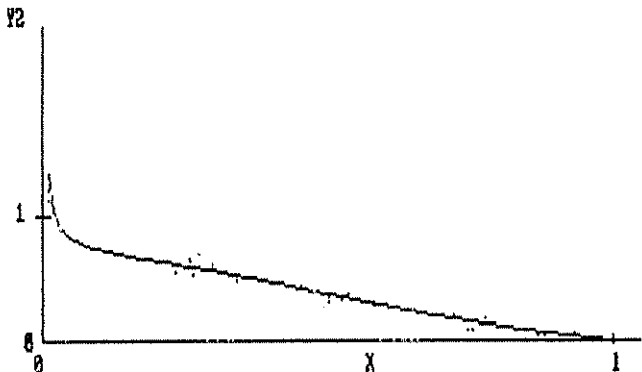


Figura G 24. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos de *Gmelina arborea*, por clase de DAP.

[izquierda: validación interna
Derecha : validación externa]

E. Camaldulensis : 5

E. Camaldulensis : 5



E. Camaldulensis : 10

E. Camaldulensis : 10

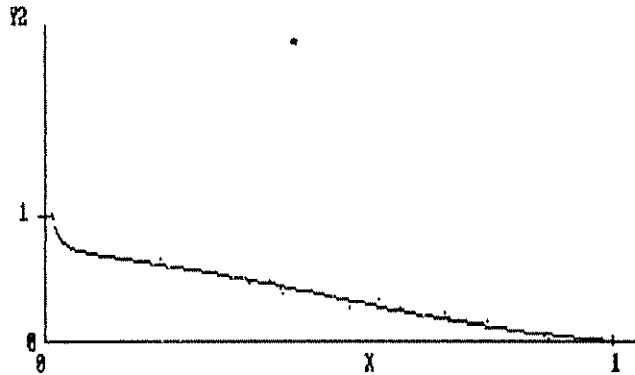
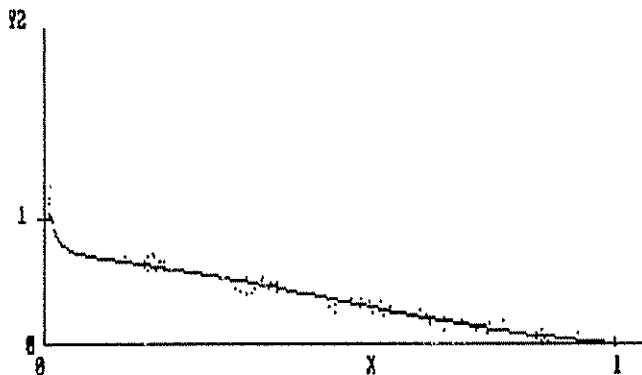
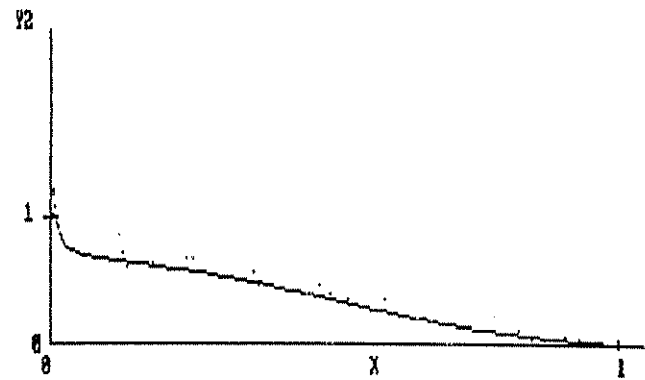
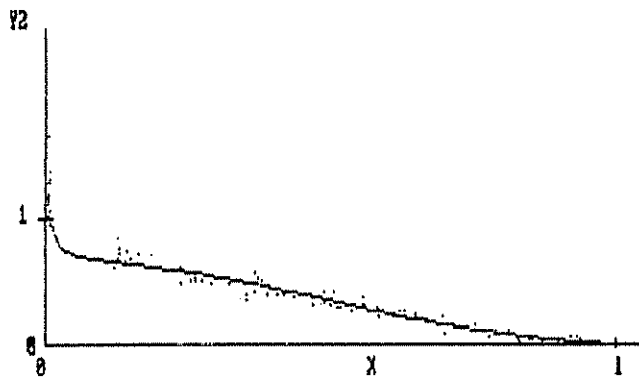


Figura G 25. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos de *Eucalyptus camaldulensis*, por clase de DAP.

[Izquierda: validación interna
Derecha : validación externa]



E. Camaldulensis : 20

E. Camaldulensis : 20

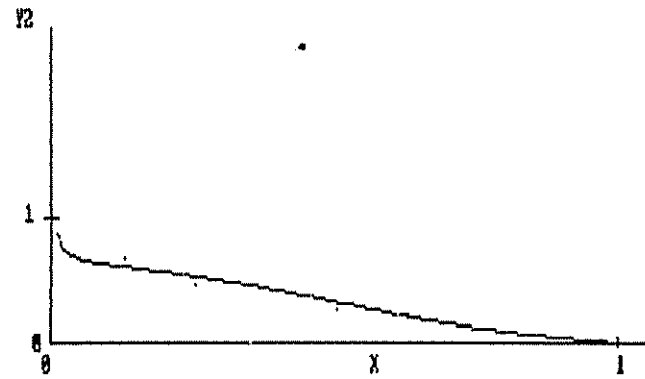
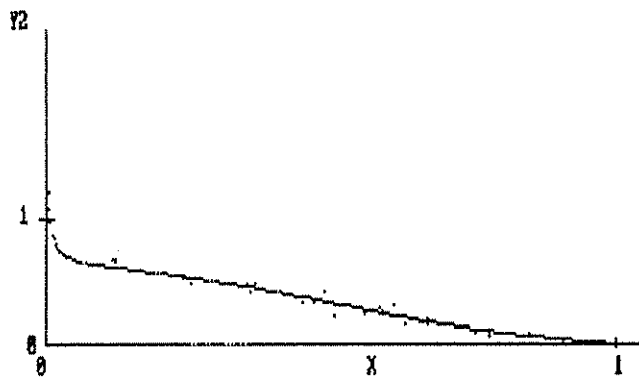
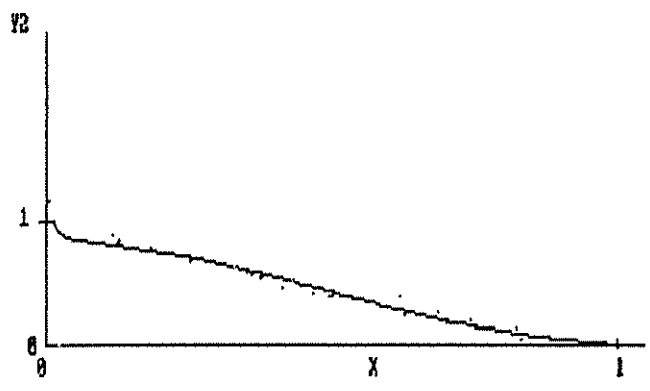


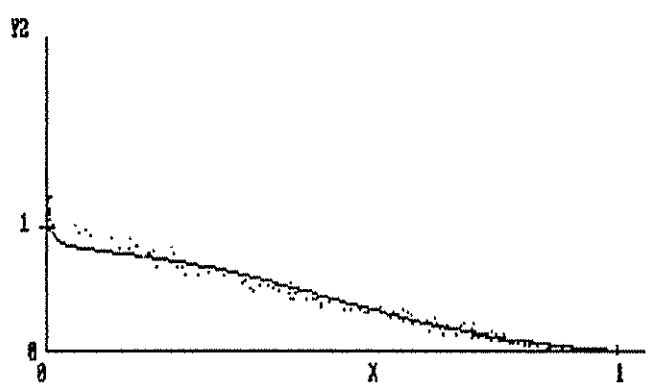
Figura G 26. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos de *Eucalyptus camaldulensis*, por clase de DAP.

[Izquierda: validación interna
Derecha : validación externa]

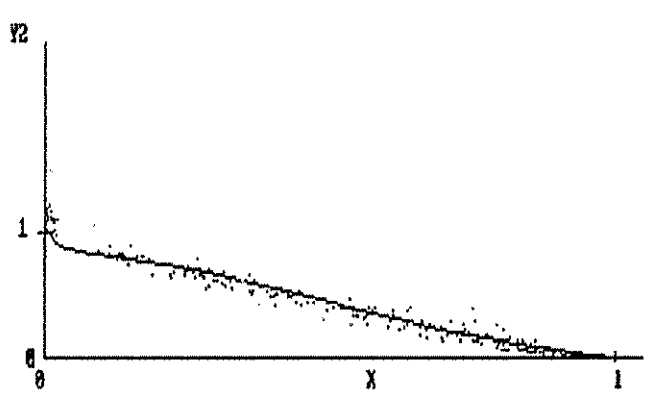
I. deglupta : 10



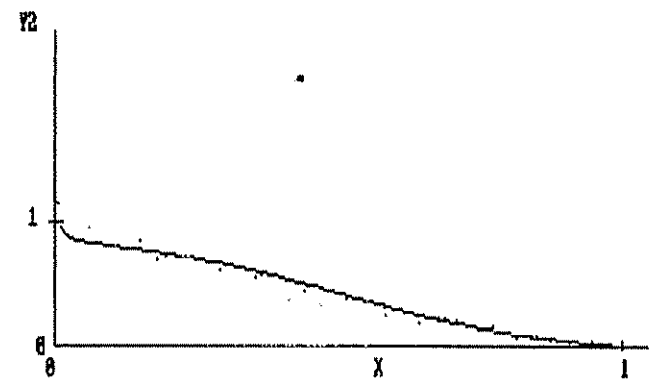
I. deglupta : 15



I. deglupta : 20



I. deglupta : 15



I. deglupta : 20

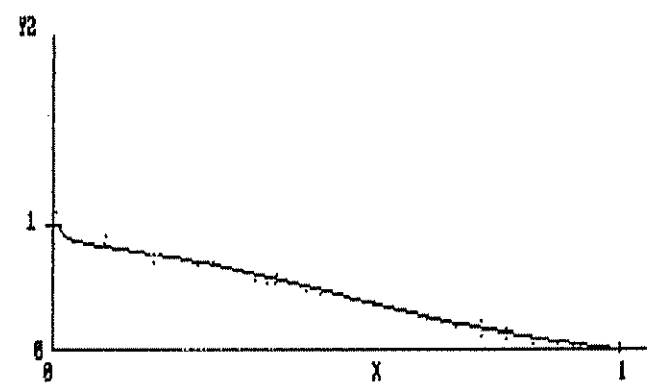
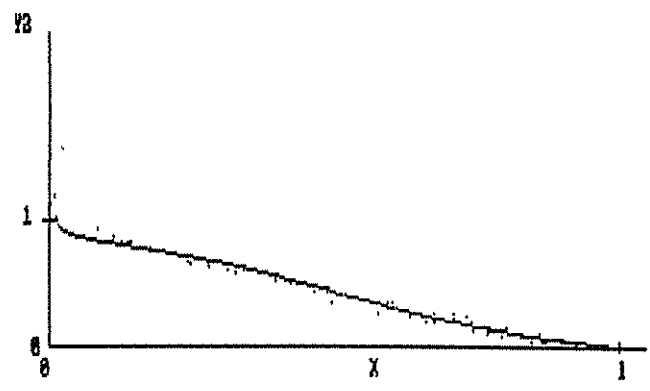
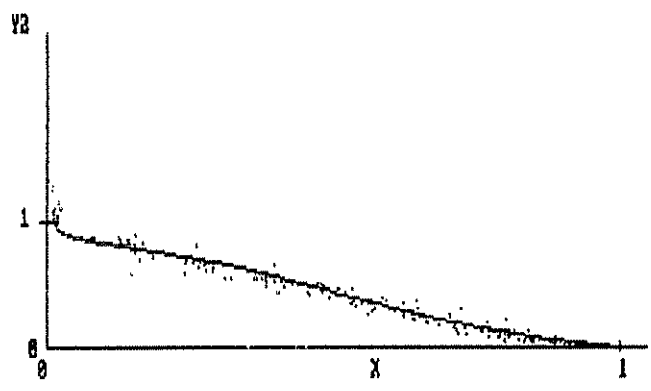


Figura G 26. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos de *Eucalyptus deglupta*, por clase de DAP.

[Izquierda: validación interna
Derecha : validación externa]

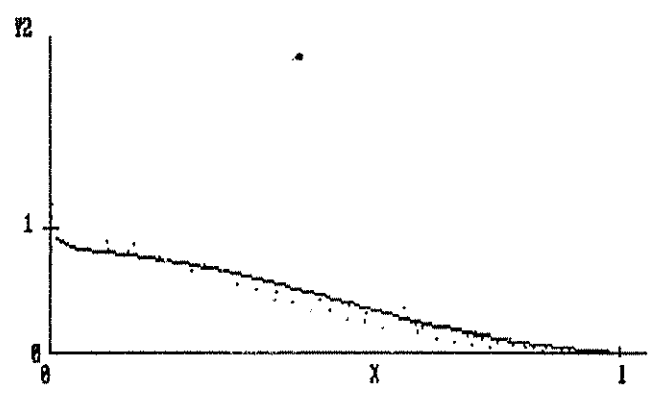
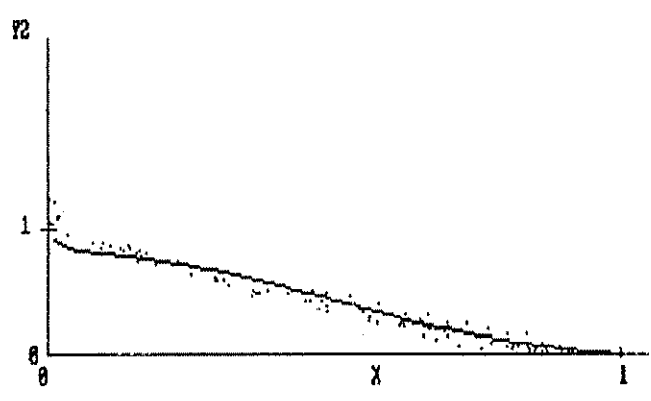
I. deglupta : 25

I. deglupta : 25



I. deglupta : 30

I. deglupta : 30



I. deglupta : 35

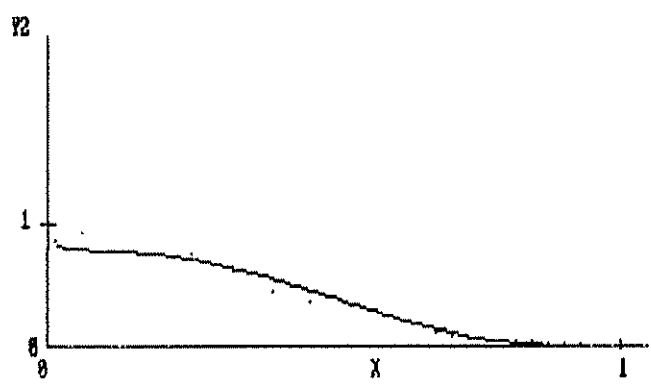
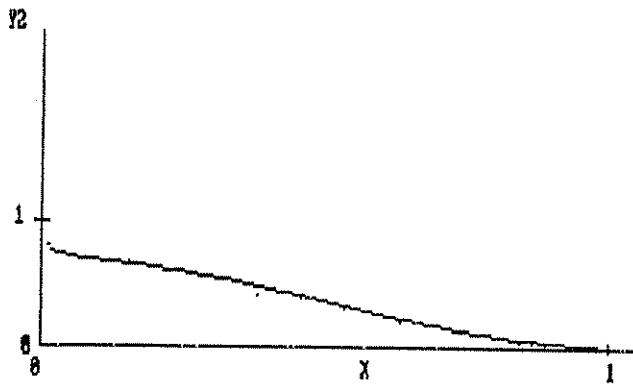


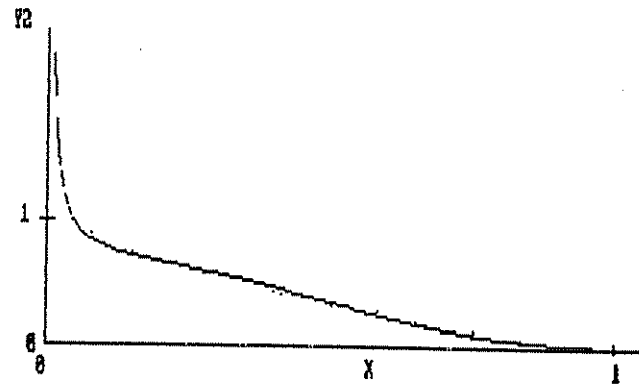
Figura G 27. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos de *Eucalyptus deglupta*, por clase de DAP.

[Izquierda: validación interna
Derecha : validación externa]

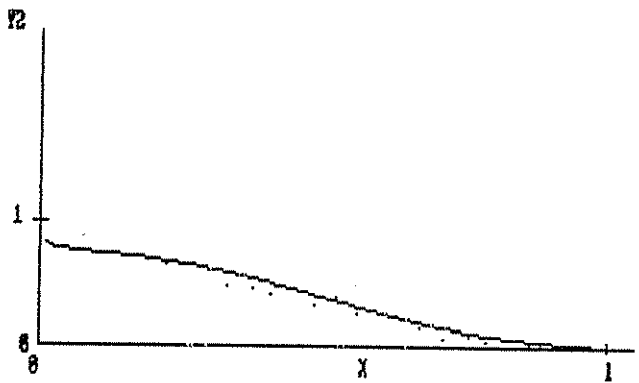
I. deglupta : 45



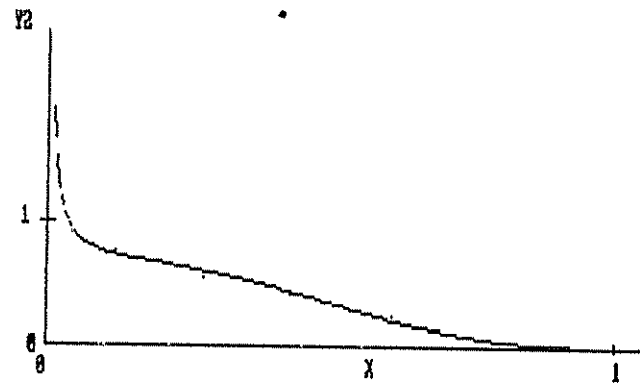
I. deglupta : 60



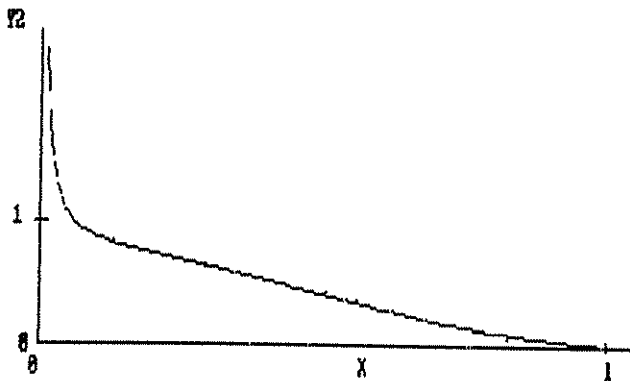
I. deglupta : 50



I. deglupta : 65



I. deglupta : 55



I. deglupta : 75

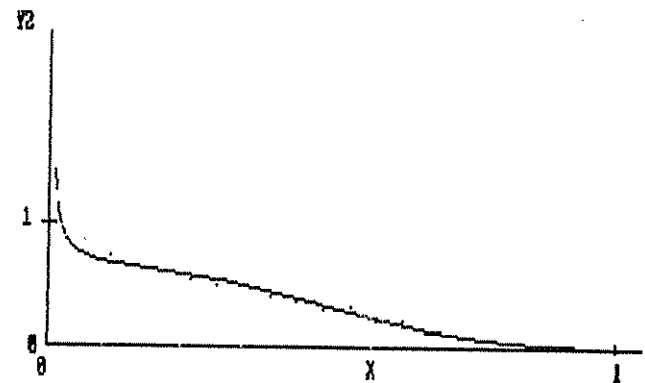


Figura G 28. Gráfico del ajuste y validación del modelo 3 a datos de *Eucalyptus deglupta*, por clase de DAP.

[Izquierda y derecha: validación interna]