

TM
S540
.M38
C6
c.1



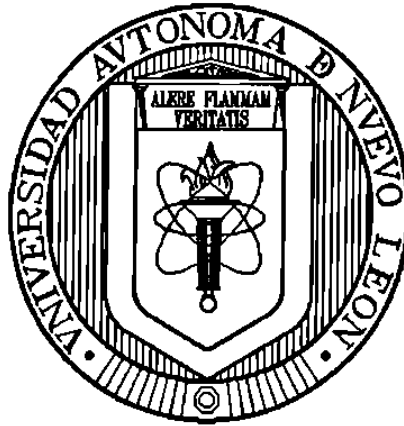
1080093513

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

70



**TECNOLOGÍAS MATEMÁTICAS PARA EL DESARROLLO DE
MODELOS DE CRECIMIENTO DE BOSQUES MIXTOS E
IRREGULARES DE DURANGO, MÉXICO**

**TESIS DE MAESTRÍA
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

PRESENTA

SACRAMENTO CORRAL RIVAS

LINARES, NUEVO LEÓN

NOVIEMBRE DE 1999

SDI 43

.CC.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

**Tecnologías matemáticas para el desarrollo de modelos de crecimiento de
bosques mixtos e irregulares de Durango, México**

TESIS DE MAESTRIA

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRIA EN CIENCIAS FORESTALES**

PRESENTA

SACRAMENTO CORRAL RIVAS

COMITÉ DE TESIS

Ph. D. José de Jesús Návar Cháidez
Presidente

Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón <i>Secretario</i>	Dr. Pedro Antonio Domínguez Calleros <i>Vocal</i>
----------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------

LINARES, NUEVO LEÓN

NOVIEMBRE DE 1999

DEDICATORIA

A DIOS.

Por ofrecerme todos los bienes de la creación con el don de la vida y ser la fe y esperanza en mi camino.

A MIS PADRES

Sacramento Corral y Socorro Rivas por enseñarme a buscar mi destino y cualquiera que éste sea ser el único responsable de mi superación o estancamiento. A ellos, quienes por darme la vida me enseñaron la humildad, constancia y ejemplo en el trabajo... a ellos mi gran orgullo.

A MI ESPOSA LUCY

Por ser más que mi compañera y compartir su vida a mi lado, por su confianza y apoyo en mi aventura académica, por su amor, humildad, ternura y por darme la hija más hermosa.

A MI HIJA LILY

Quien con su sonrisa nos alegra el hogar y me motiva a superarme en la vida, a ella que a traído alegría y felicidad a nuestras vidas.

A MIS HERMANOS (AS)

Pancho, Yolanda, Betillo, Margarita, Guille, Javier y Sergio:

Quienes nunca me han dejado de apoyar, a ellos que siempre están disponibles cuando los necesito.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por darme la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría en Ciencias Forestales a través de la beca crédito y con el apoyo del proyecto 28536-B.

A los maestros de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León por transmitir sus conocimientos y su amistad.

Al Dr. José de Jesús Návar Cháidez por la buena conducción de este trabajo, por su amable colaboración, por las importantes contribuciones y sugerencias que hicieron posible la realización de este trabajo.

Al Dr. Oscar Aguirre Calderón por su amistad y amable disposición al formar parte de comité de tesis, por sus valiosas sugerencias que enriquecen el escrito final, gracias por haberme inculcado llegar hasta aquí.

Al Dr. Pedro Antonio Domínguez Calleros por su participación en el comité de tesis y por el apoyo recibido con sus valiosos comentarios y sugerencias en la revisión final de la tesis.

Al Ing. Fabián Fernández quien me ha enseñado que la humildad, el respeto y la constancia en el trabajo son el cimiento de la superación, gracias por su grata amistad, por el apoyo brindado durante la toma de información en el Ejido San Pablo.

Al Ing. Jorge Luis Radilla por compartir los buenos y malos momentos que vivimos durante la toma de la datos y sobre todo por ser un gran amigo.

Al Ing. Miguel Angel Romero por todas las facilidades prestadas con la información colectada en el inventario forestal y por su apoyo en la depuración y análisis de las bases de datos.

Al Ing. José de la Luz Santillan y Ing. Guadalupe Barrios por la disposición y facilidades prestadas durante la colecta de los datos.

A mis compañeros del programa de maestría que de una u otra forma contribuyeron en mi aprendizaje en la Facultad de Ciencias Forestales.

A las secretarías y empleados administrativos de la Facultad de Ciencias Forestales.

A todas aquellas personas que me brindaron su confianza y apoyo y que de alguna manera influyó en mi formación.

CONTENIDO

	Página
LISTA DE CUADROS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos particulares	3
2.3. Hipótesis.....	4
3. ANTECEDENTES	5
3.1. Enfoques de modelación	5
3.2. Estimación del volumen de los árboles individuales.....	6
3.2.1. Ecuaciones de volumen.....	6
3.2.2. Modelos de ahusamiento.....	7
3.2.3. Funciones compatibles	9
3.3. Modelos de índice de sitio	9
3.4. Modelos de crecimiento.....	11
3.4.1. Modelos basados en rodales completos.....	11
3.4.1.1. Modelos basados en distribuciones diamétricas	11
3.4.1.1.1. Estimación de los parámetros de la distribución Weibull.....	13
3.4.2. Modelos basados en árboles individuales	14
3.4.3. Antecedentes en México.....	15

4. MATERIALES Y METODOS	18
4.1. Caracterización del área de estudio	18
4.1.1. Localización	18
4.1.2. Topografía	18
4.1.3. Geología	18
4.1.4. Suelos	21
4.1.5. Clima.....	22
4.1.6. Precipitación	23
4.1.7. Tipos de vegetación.....	23
4.1.7.1. Bosque de pino	24
4.1.7.2. Bosque de encino.....	25
4.1.7.3. Bosque mezclado de pino-encino o encino-pino	26
4.1.7.4. Selva baja caducifolia.....	26
5. COMPARACION DE TECNICAS DE ESTIMACION DE VOLUMEN FUSTAL TOTAL PARA CINCO ESPECIE DE DURANGO, MEXICO.....	27
5.1. Resumen	27
5.2. Abstract	28
5.3. Introducción	28
5.4. Materiales y métodos	29
5.4.1. Descripción general del área de estudio.....	29
5.4.2. Metodología	30
5.5. Resultados y discusión	36
5.6. Conclusiones	41
5.7. Reconocimientos	42
5.8. Referencias bibliográficas	42
6. AJUSTE DE FUNCIONES DE AHUSAMIENTO A LOS PERFILES FUSTALES DE CINCO PINACEAS DE LA REGION DEL SALTO, DURANGO	45
6.1. Resumen	45

6.2.	Abstract	46
6.3.	Introducción	47
6.4.	Materiales y métodos	47
6.4.1.	Descripción general del área de estudio.....	47
6.4.2.	Metodología	48
6.4.2.1.	Modelos ajustados.....	49
6.4.2.2.	Procedimiento estadístico	50
6.4.3.	Características de los árboles muestra.....	48
6.5.	Resultados y discusión.....	47
6.6.	Conclusiones	62
6.7.	Reconocimiento.....	62
6.8.	Referencias bibliográficas	62
7.	ESTIMACION DE LA PRODUCTIVIDAD FORESTAL CON MODELOS DE INDICE DE SITIO PARA CINCO PINACEAS DE DURANGO, MEXICO	64
7.1.	Resumen	64
7.2.	Summary	64
7.3.	Introducción	65
7.4.	Materiales y métodos	66
7.4.1.	Descripción general del área de estudio.....	66
7.4.2.	Metodología	67
7.4.2.1.	Modelos utilizados	67
7.4.2.2.	Procedimiento estadístico	70
7.4.3.	Características de los árboles muestra.....	71
7.5.	Resultados y discusión.....	72
7.6.	Conclusiones	79
7.7.	Reconocimiento.....	79
7.8.	Referencias bibliográficas	79
8.	ANALISIS DEL CRECIMIENTO E INCREMENTO DE CINCO PINACEAS DE LOS BOSQUES DE DURANGO, MEXICO	82

8.1.	Resumen	82
8.2.	Abstract	82
8.3.	Introducción	83
8.4.	Materiales y métodos	85
8.4.1.	Descripción general del área de estudio.....	85
8.4.2.	Metodología	86
8.4.2.1.	Ecuaciones utilizadas	86
8.4.2.2.	Procedimiento estadístico	88
8.4.3.	Características de los árboles muestra.....	89
8.5.	Resultados y discusión.....	91
8.5.1.	Crecimiento.....	91
8.5.2.	Incremento.....	99
8.6.	Conclusiones	104
8.7.	Reconocimiento.....	105
8.8.	Referencias bibliográficas	105
9.	ESTIMACION Y PREDICION DE PARAMETROS DE LA DISTRIBUCION WEIBULL EN RODALES MEXTOS E IRREGULARES DE DURANGO, MEXICO.	108
9.1.	Resumen	108
9.2.	Abstract	108
9.3.	Introducción	109
9.4.	Materiales y métodos	110
9.4.1.	Descripción general del área de estudio.....	110
9.4.2.	Metodología	111
9.4.3.	La función Weibull	112
9.5.	Resultados y discusión.....	119
9.5.1.	Estimación de parámetros	119
9.5.2.	Pruebas de bondad de ajuste.....	120
9.5.3.	Sesgo y eficiencia de los estimadores.....	122
9.5.4.	Predicción de parámetros.....	124
9.6.	Conclusiones	126

9.7. Reconocimientos	126
9.8. Literatura citada.....	127
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	130
11. BIBLIOGRAFIA	132

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 4.1. Distribución de las asociaciones de rocas encontradas en la región de El Salto, Durango.	20
Cuadro 4.2. Descripción de las unidades de suelo encontrados en la región de El Salto, Durango.	21
Cuadro 4.3. Descripción de los tipos climáticos presentes en la región de El Salto, Durango.	22
Cuadro 5.1. Estadísticos de 5 especies de pino de la región de El Salto, Durango, México.	31
Cuadro 5.2. Estadísticos del volumen estimado por 10 técnicas de cubicación de cinco especies de pino en Durango, México.	33
Cuadro 5.3. Estadísticos promedio del ajuste y validación de siete funciones de volumen para predecir volumen rollo total sin corteza de 5 pináceas de Durango, México.	36
Cuadro 5.4. Error total (%) el volumen predicho con los modelos de Schumacher y Hall y Spurr transformado y estimado con los modelos de Amidon y Biging para cinco especies de pino en Durango, México.	40
Cuadro 5.5. Parámetros del ajuste de los modelos de Amidon, (1984) y Biging, (1984) a los perfiles fustales de 5 pináceas de la región de El Salto, Durango. México.	41

Cuadro 6.1. Estadísticos de 5 especies de pino de la región de El Salto, Durango. México.....	52
Cuadro 6.2. Estadísticos promedio del ajuste de parámetros de 7 funciones de ahusamiento a los perfiles fustales sin corteza de 5 especies pino de la región de El Salto, Durango, México.....	54
Cuadro 6.3. Estadísticos promedio de la validación de 7 funciones de ahusamiento a los perfiles fustales sin corteza de 5 especies pino de la región de El Salto, Durango. México.....	55
Cuadro 6.4. Parámetros del ajuste del modelo de Biging (1984) para 5 pináceas de la región de El Salto, Durango, México.	56
Cuadro 6.5. Mapa de distribución de la muestra para ajustar y validar 7 modelos de ahusamiento a 5 especies de coníferas de El Salto, Durango, México.....	56
Cuadro 7.1. Estadísticos de algunos parámetros dasométricos de 5 especies pino de Durango, México, para el ajuste y validación de 9 modelos de índice de sitio.....	71
Cuadro 7.2. Estadísticos promedio del ajuste de parámetros de 9 modelos de índice de sitio a 5 especies de pino de Durango, México.....	73
Cuadro 7.3. Estadísticos promedio de validación de 9 modelos de índice de sitio ajustados a 5 especies de pino de Durango, México	74
Cuadro 7.4. Índices de sitio resultantes del modelo anamórfico de Schamacher para 5 especies de Durango, México.....	77

Cuadro 8.1. Estadísticos de parámetros dasométricos de cinco pináceas de Durango México, para el ajuste y validación de ecuaciones de crecimiento e incremento	89
Cuadro 8.2. Mapa de distribución de la muestra para ajustar y validar ecuaciones de crecimiento e incremento de 5 pináceas de El Salto, Durango, México.....	90
Cuadro 8.3. Estadísticos promedio del ajuste y validación de ecuaciones de crecimiento en diámetro para el grupo de árboles de 5 especies de pino en Durango, México	91
Cuadro 8.4. Estadísticos promedio del ajuste y validación de ecuaciones de crecimiento en altura para el grupo de árboles de 5 especies de pino en Durango, México	92
Cuadro 8.5. Estadísticos promedio del ajuste y validación de ecuaciones de crecimiento en volumen para el grupo de árboles de 5 especies de pino en Durango, México	93
Cuadro 8.6. Estadísticos promedio del ajuste y validación de ecuaciones de crecimiento en diámetro para árboles individuales de 5 especies de pino en Durango, México	94
Cuadro 8.7. Estadísticos promedio del ajuste y validación de ecuaciones de crecimiento en altura para árboles individuales de 5 especies de pino en Durango, México	95
Cuadro 8.8. Estadísticos promedio del ajuste y validación de ecuaciones de crecimiento en volumen para árboles individuales de 5 especies de pino en Durango, México	97

Cuadro 8.9. Parámetros estimados de las ecuaciones seleccionadas para estimar el crecimiento en diámetro, altura y volumen de grupos y árboles individuales de cinco especies de la región de El Salto, Durango, México	98
Cuadro 9.1. Número de rodales por grupo de especies en bosques mixtos e irregulares de Durango, México	112
Cuadro 9.2. Estadísticos de 10 muestras seleccionadas del 70 y 30 % de los datos para ajustar y predecir parámetros de la distribución Weibull en bosques mixtos e irregulares de Durango, México.....	118
Cuadro 9.3. Estadísticos de los parámetros de la distribución Weibull ajustados por 8 procedimientos a 587 rodales irregulares y mezclados en Durango, México.....	120
Cuadro 9.4. Eficiencia de los parámetros α , β y ϵ estimados por 8 métodos para pinos y hojosas en bosques mixtos e irregulares de Durango, México.....	123
Cuadro 9.5. Análisis de sensibilidad para las ecuaciones que predicen los parámetros α y β de la distribución Weibull de los grupos pino y hojosas en Durango, México	126

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 4.1. Ubicación geográfica del área de estudio.....	19
Figura 5.1. Tendencia promedio del volumen fustal de 10 formas de cubicación explicado por el modelo de Schumacher y Hall (a) y Spurr transformado (b) para <i>Pinus durangensis</i>	39
Figura 6.1. Ajuste de siete funciones de ahusamiento a los perfiles fustales sin corteza de <i>P. durangensis</i> de la región de El Salto, Durango, México.....	60
Figura 6.2. Ajuste de la función de Biging a los perfiles fustales sin corteza de cinco especies de pino en la región de El Salto, Durango, México	61
Figura 7.1. Índices de sitio de 5 especies de pino de Durango, México	78
Figura 8.1. Comparación de las curvas de crecimiento e incremento en diámetro de 5 especies de la región de El Salto, Durango.....	101
Figura 8.2. Comparación de las curvas de crecimiento e incremento en altura de 5 especies de la región de El Salto, Durango.....	102
Figura 8.3. Comparación de las curvas de crecimiento e incremento en volumen de 5 especies de la región de El Salto, Durango.....	103
Figura 9.1. Resultados de las pruebas de bondad de ajuste de χ^2 (a y b) y K-S (c y d) con diferentes tecnologías de estimación de parámetros de la distribución Weibull a las estructuras diamétricas de 566 rodales del grupo Pino y 256 rodales del grupo Hojosas en bosques mixtos e irregulares de la Sierra Madre Occidental en Durango, México	121

TECNOLOGÍAS MATEMÁTICAS PARA EL DESARROLLO DE MODELOS DE CRECIMIENTO DE BOSQUES MIXTOS E IRREGULARES DE DURANGO, MÉXICO

RESUMEN

Los objetivos de la presente investigación consistieron en probar diversas ecuaciones de volumen, ahusamiento, índices de sitio y crecimiento e incremento para las especies *Pinus durangensis*, *P. cooperi*, *P. leiophylla*, *P. engelmannii* y *P. herrerae* y modelar las estructuras diamétricas de los rodales mixtos e irregulares por la distribución probabilística Weibull con diferentes métodos de estimación de parámetros para pináceas y latifoliadas que se distribuyen naturalmente en la región de El Salto, Durango, México. Los resultados mostraron que las ecuaciones de Amidon (1984) y Biging (1984) estimaron tan bien como los modelos convencionales de Smalian y Newton el volumen fustal total de las especies estudiadas. La última ecuación también modela adecuadamente el perfil fustal de las pináceas bajo estudio. El modelo anamórfico de Schumacher predice mejor la altura en función de la edad para las cinco especies estudiadas, recomendando su uso para clasificar los rodales por niveles de productividad a través de esta tecnología matemática. Las ecuaciones de Chapman-Richards y Weibull predicen mejor el crecimiento, demostraron que el *P. durangensis* presenta el crecimiento e incremento mayor cuando este parámetro se estima a nivel grupo de árboles e individualmente. Para el uso de las ecuaciones de crecimiento existe la necesidad de establecer parcelas permanentes de muestreo para entender también la regeneración, reclutamiento y mortalidad de las especies estudiadas para ajustar modelos de crecimiento al nivel de rodales completos, grupos de árboles o árboles individuales. El procedimiento de máxima verosimilitud presentó los mejores estimadores de la función probabilística Weibull para modelar las estructuras diamétricas para especies del género *Pinus* y latifoliadas. Ecuaciones para predecir los parámetros en función de los atributos del rodal se presentan como una aproximación al crecimiento de rodales completos a escalas especiales cortas.

MATHEMATICAL TECHNOLOGIES FOR THE DEVELOPMENT OF GROWTH MODELS FOR MIXED UNEVENAGED FORESTS OF DURANGO, MEXICO

ABSTRACT

The objectives of this research consisted on testing several volume equations, taper, site index and growth and increment models for the species *Pinus durangensis*, *P. cooperi*, *P. engelmannii*, *P. leiophylla* and *P. herrerae* as well as to model the diameter structure of mixed and unevenaged forest stands with the Weibull density function with several methods of parameter estimation for pine and oaks which naturally distribute in the region of El Salto, Durango, Mexico. The results showed that the equations of Amidon (1984) and Biging (1984) performed as well as the conventional equations of Smalian and Newton in estimating stem volume of the studied species. The last equation modeled better the stem profile of the studied tree species as well. The anamorphic model of Schumacher predicted better tree height as a function of age for the five pine species studied, therefore this model is recommended to classify forest stands by productivity with the use of this mathematical technology. The equations of Chapman-Richards and Weibull predicted better growth and demonstrated that *P. durangensis* presents the highest growth and increment when these parameters are estimated either individually or by group of trees. To use and validate these equations, permanent sampling plots must be established to understand plant regeneration, recruitment and mortality, as well. This information is required to fit growth and yield models at the whole stand, size class or individual tree levels. The procedure of maximum likelihood produced the best parameter estimation of the Weibull density function to model the diameter structure for pine and oaks. Equations to predict these parameters as a function of the stand attributes are also presented as an approximation to model stand growth at short temporal scales.